

**UNIVERSIDAD DE BURGOS**

**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**  
***ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS***

**Departamento de Didácticas Específicas**



**CAMPO CONCEPTUAL**  
**COMPOSICIÓN/ESTRUCTURA EN QUÍMICA:**  
**TENDENCIAS COGNITIVAS**  
**ETAPAS Y AYUDAS COGNITIVAS**

**TESIS DOCTORAL**

MARÍA VICTORIA ALZATE CANO

Burgos, febrero de 2007

**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

**Departamento de Didácticas Específicas**



**Universidad de Burgos**



**Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul**

**CAMPO CONCEPTUAL  
COMPOSICIÓN/ESTRUCTURA EN QUÍMICA:  
TENDENCIAS COGNITIVAS  
ETAPAS Y AYUDAS COGNITIVAS**

**MARÍA VICTORIA ALZATE CANO**

Tesis Doctoral realizada por **D. María Victoria Alzate Cano**, para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección del **Dr. Marco Antonio Moreira** y la codirección de la **Dra. M<sup>a</sup> Concesa Caballero**.

Burgos, febrero de 2007

## **RECONOCIMIENTOS**

A la Universidad de Burgos y la Universidade Federal do Rio Grande do Sul por su hospitalidad y amabilidad y la oportunidad de realizar el doctorado.

A los profesores Marco Antonio Moreira y María Concesa Caballero por su inquebrantable voluntad y disponibilidad humana, académica y científica.

A la Universidad de Antioquia, Vicerrectoría de Docencia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales e Instituto de Química, por su invaluable apoyo a la realización de este proyecto.

A los estudiantes de los programas de Química Y Tecnología Química por su disposición para aprender y facilitar el desarrollo de la investigación.

A mi hija por su comprensión y constancia humana.

A todos mis colegas de doctorado, familiares y amigos.

## CONTENIDO

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes y formulación del problema	1
1.2 Preguntas de la investigación	12
1.3 Aspectos metodológicos	13
1.4 Organización de la presentación	15
<b>CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1 Introducción	17
2.2 Materia y modelo corpuscular	19
2.3 Progresos materia-modelo corpuscular	24
2.4 Identidad de la sustancia y conexión con el modelo corpuscular	30
2.5 Representaciones mentales como lingüística química y de modelos analógicos de la estructura química	42
2.6 A modo de síntesis de la revisión de la literatura	54
2.7 Revisión bibliográfica y perspectiva de investigación	59
<b>CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>63</b>
3.1 La Química es racional	63
3.1.1 La sustancia normalizada	63
3.1.2 Las sustancias normalizadas tienen múltiples sustitutos racionales	67
3.1.3 Progreso de la representación y pluralidad de significados	76
3.1.4 Pensamiento topológico y dinamismo molecular	82
3.1.5 La representación lingüística en Química	84
3.1.6 A modo de síntesis acerca de la racionalidad de la Química	87

3.2 Bachelard y la enseñanza de la Química	89
3.3 Aprendizaje significativo D. Ausubel	93
3.4 Campos conceptuales G. Vergnaud	100
3.5 Campos conceptuales en Química	113
<b>CAPITULO 4. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>117</b>
4.1 Enfoque etnográfico	117
4.2 Grupo participante	124
4.3 Situación de aula	125
4.4 Tendencias cognitivas	128
4.5 Tendencias y ayudas cognitivas: Filiaciones y rupturas	129
<b>CAPITULO 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>135</b>
5.1 Tendencias cognitivas	135
5.1.1 Equivalencias perceptuales entre conceptos	136
<b>SIMPLES</b>	<b>144</b>
<b>COMPUESTAS</b>	<b>144</b>
5.1.2 Tendencias cognitivas afines entre alumnos	151
5.1.3 Cuarteto del concepto-en-acto mezcla	156
5.1.4 Dos tríadas de conceptos-en acto: sustancia simple-elemento-átomo y sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula	162
5.1.5 Conclusiones tendencias cognitivas	164
<b>5.2 Tendencias cognitivas etapas y ayudas cognitivas</b>	<b>166</b>
5.2.1 Tendencias cognitivas en situación	167
5.2.2 Etapas y ayudas cognitivas.	178
5.2.3 Progreso cognitivo en cuanto emergen subclases: elemento, compuesto, mezcla	179
5.2.4 Ruptura con el conocimiento común y nuevas filiaciones	187

5.2.5 Ruptura con el simplismo del lenguaje químico y nuevas filiaciones	191
5.2.6 Nuevas filiaciones	196
5.2.7 Conclusiones tendencias cognitivas–etapas y ayudas cognitiva	202
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES</b>	<b>212</b>
<b>CAPITULO 7. IMPLICACIONES</b>	<b>221</b>
<b>CAPITULO 8. RECOMENDACIONES</b>	<b>223</b>
<b>CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>226</b>
<b>CAPITULO 10. ANEXOS</b>	<b>238</b>
<b>10.1 Anexo 1: Cuestionario</b>	<b>238</b>
<b>10.2 Anexo 2: Material potencialmente significativo</b>	<b>239</b>
 <b>CONTENIDO DE FIGURAS</b>	
Figura N° 1: Perfil epistemológico del concepto sustancia	64
Figura N° 2: Representación en química	72
Figura N° 3: Representaciones de la molécula de metano	74
Figura N° 4: Fórmulas estructurales de alcoholes hidrocarburos	79
Figura N° 5: Variantes estructurales de C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	83
Figura N° 6: Diagrama de flujo, separación mezcla (etanol, agua, cloruro de sodio)	149
Figura N° 7: Tríadas SS-E-A, SC-MH-M	163
Figura N° 8: Representación síntesis final a modo de Ve	220

## CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro N° 1: Síntesis revisión bibliográfica	59
Cuadro N° 2: Niveles conceptuales y dimensiones de la Química (Jensen)	82
Cuadro N° 3: Esquemas y conceptos según Vergnaud	109
Cuadro N° 4: Colección de materiales	131
Cuadro N° 5: Representación conceptos-en-acto subgrupo A	173
Cuadro N° 6: Representación clasificación pseudoclasas “estados de la materia”	173
Cuadro N° 7: Representación clasificación pseudoclasas “sustancias” subgrupo C	174
Cuadro N° 8: Modificación significantes subgrupos A, B, C	175
Cuadro N° 9: Representación clasificación “Estados de la materia” subgrupos A y B	183
Cuadro N° 10: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C	183
Cuadro N° 11: Representación clasificación “Estados de la materia” subgrupos A y B	190
Cuadro N° 12: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C	191
Cuadro N° 13: Representación clasificación “sustancias” subgrupos A y B	195
Cuadro N° 14: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C	195
Cuadro N° 15: Representación clasificación química sustancias subgrupos A y B	199
Cuadro N° 16: Representación clasificación química sustancias subgrupo C	199
Cuadro N° 17: Representación clasificación química sustancias subgrupos A, B, C	201

Cuadro N° 18: Representación clasificación química sustancias subgrupos A, B, C	202
Cuadro N° 19: Síntesis conclusiones tendencias cognitivas, etapas y ayudas cognitivas	211
Cuadro N° 20: Secuencia comportamientos grupo de alumnos para concepto sustancia	218

### **CONTENIDO DE MAPAS CONCEPTUALES**

Mapa Conceptual N° 1: Equivalencia conceptual sustancia, mezcla, molécula	144
Mapa Conceptual N° 2: Equivalencia* conceptual elemento, sustancia simple, átomo, molécula	145
Mapa Conceptual N° 3 Equivalencia* conceptual sustancia, mezcla homogénea, molécula	148
Mapa Conceptual N° 4: Equivalencia conceptual sustancia- elemento-molécula	153
Mapa Conceptual N° 5: Equivalencia conceptual sustancia- elemento-molécula	153
Mapa Conceptual N° 6: Equivalencia conceptual sustancia-molécula	154
Mapa Conceptual N° 7: Equivalencia conceptual sustancia-molécula	155

## RESUMEN

En este trabajo se proyecta la indagación del conocimiento previo como tendencias cognitivas en términos de conceptos-en-acto y teoremas-en-acto, y se analizan algunas rupturas, dificultades y filiaciones como etapas y ayudas cognitivas, cuando un grupo de alumnos de segundo nivel universitario interactúa con una secuencia de situaciones: cuestionario, colección de materiales y materiales potencialmente significativos, durante el progreso cognitivo hacia la meta de construir una clasificación química. Esta investigación se realiza en la perspectiva de la teoría de campos conceptuales de G. Vergnaud [1990, 1994; Barais y Vergnaud 1990; Moreira 2002] y describe, analiza e interpreta lo que pasa en un aula de Química como proceso de aprendizaje significativo (Ausubel, 2002; Moreira 2000, 2005) del campo conceptual composición/estructura, de modo parcial, en el nivel de la conceptualización molar y molecular, en particular del sistema de conceptos: sustancia, sustancia simple y compuesta, elemento, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea y combinación química, y de la representación lingüística como fórmulas químicas relativas y moleculares. Campo conceptual concebido en una forma compatible con la epistemología de Bachelard (1976, 1993). Desde un enfoque cualitativo observación participante, se reconoce la comunicación profesor-alumno y entre alumnos, la colaboración entre alumnos, mapas conceptuales, cuadernos de aula, soluciones a tareas, diagramas de clasificación y diario de campo de la profesora, como medios que permiten investigar las concepciones previas, filiaciones y rupturas y la posible construcción de un nuevo esquema de asimilación. Los resultados permiten plantear que posiblemente las concepciones previas se constituyen como dos tríadas de equivalencia de los conceptos-en-acto: elemento-sustancia simple-átomo y sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula, la primera funcional con el símbolo químico elemental y la segunda con la asociación mecánica de estos símbolos. Estas posibles equivalencias en la interacción con la colección de materiales y materiales educativos, la mediación de la profesora y del lenguaje químico, parece ser progresan mediante rodeos, rupturas y filiaciones, de un

esquema centrado en la percepción sensorial inmediata y el lenguaje natural a una estructura en términos de invariantes operatorios próximos al conocimiento químico y de los respectivos significantes químicos.

## ABSTRACT

In this work we project the question of previous knowledge as cognitive tendencies in terms of concepts-in-action and theorems-in-action. We also analyze some ruptures, difficulties and associations as stages and cognitive helps, when a group of students in the second year of college interact with a sequence of situations: survey, collection of materials and potentially meaningful materials, during the cognitive process towards the goal of constructing a chemical classification. This research was carried out under the perspective of the theory of conceptual fields of G. Vergnaud [1990, 1994, Barais and Vergnaud (1990) and Moreira (2002)]. We describe, analyze and interpret what happens in a chemistry classroom in the process of meaningful learning (Ausubel 2002; Moreira 2000), of the composition/structure conceptual field, partially at the molar and molecular conceptual level, and in particular of the following system concepts: substance, simple and compound substance, element, mixture, homogeneous and heterogeneous mixture and chemical combination and of the linguistic representation as relative and molecular chemical formulas. Conceptual field taken in a compatible form with Bachelard's epistemology (1976, 1993). From a qualitative perspective, participant observation in the chemistry classroom, we recognize professor-student communication, student communication, student collaboration, concept maps, students notebooks, homework solutions, classification diagrams and professor logs, as venues that allow us to investigate what happens in the classroom as previous conceptions, associations and ruptures and the possible construction of a new assimilation scheme. The results suggest that previous conceptions constitute two equivalent triads of the in-act-concepts: element-substance simple-atom and compound substance-homogeneous mixture-molecule, the previous functional with the elementary chemical symbols, the later with the mechanical association of elemental symbols. These possible equivalencies in the interaction with the collection of materials and educational materials, the teacher's mediation and of the chemical language, seem to progress via going around, ruptures and associations of an assimilation scheme centered in

the immediate sensorial perception and natural language, towards an assimilation structure in terms of a chemical classification, operational invariant close to chemical knowledge and of the respective chemical signifiers.

## **CAPITULO 1. INTRODUCCION**

### **1.1 Antecedentes y formulación del problema**

La Química en los últimos sesenta años ha estado inmersa en una profunda transformación en los métodos de hacer química, a raíz de los desarrollos de la química cuántica computacional, la simulación de sistemas químicos, la mecánica y la dinámica molecular. La modelación de sistemas químicos simples y complejos es cada vez más dominante en las actividades de diseño experimental con énfasis en la síntesis química de nuevos materiales. La Química moderna trata con sustancias y sus transformaciones, sus representaciones lingüísticas y moleculares afinadas en los cambios estructurales en un dado contexto. Los aspectos sintáctico y semántico del simbolismo químico orientan los límites de la actual investigación en Química. A decir de Jacob (2001), la Química moderna transforma sustancias y lenguaje químico. Comprender el lenguaje químico y la diversidad de las teorías moleculares, así como las conexiones entre lenguaje y modelo, requiere del dominio de varios campos conceptuales de la Química, en particular del campo conceptual composición/estructura, para fines de interpretar, explicar, inferir y predecir el comportamiento de sustancias simples y compuestas, de sistemas acuosos y de otros sistemas en diferentes ambientes químicos.

Tolman y Parshall (1999) con base en su experiencia en la empresa Dupont, expresan los grandes cambios tecnológicos en una perspectiva química industrial, a partir de la década de 1950, fundamentada en programas de investigación de naturaleza interdisciplinaria y de carácter internacional, enraizados en el conocimiento de las fórmulas estructurales, sus parámetros estructurales, su estereoquímica y sus relaciones con las propiedades químicas y físicas relativas a materiales en contextos específicos como zeolitas, nylon, catalizadores, drogas quirales, enantiómeros selectivos y plásticos estructurales entre otros. En la perspectiva de correlacionar el diseño estadístico de experimentos con la

modelación molecular y la fenomenología química en contexto, destacan como implicaciones de los grandes cambios para la educación en Química, una sólida fundamentación en el conocimiento esencial de la Química, el desarrollo de habilidades para la creatividad al interactuar con problemas complejos y poco familiares, la comunicación efectiva hablada y escrita y el trabajo cooperativo en grupos interdisciplinarios.

En la “Conferencia Internacional sobre Educación Química” realizada en julio de 1970 y a la cual asistieron químicos de los países desarrollados, el panel sobre “La Estructura de la Química” coordinado por Hammond y Nyholm (1971), llama la atención a que la estructura clásica de la Química en: orgánica, inorgánica, fisicoquímica y analítica, originada en las actividades del pasado de los químicos, es un factor que en gran medida ha determinado y aún hoy incide de un modo altamente predominante en como enseñar Química, con consecuencias traducidas en propósitos pedagógicos de crear un ambiente parroquial caracterizado por la poca comunicación social, una enseñanza que atiende de forma mecánica la exposición de una gran cantidad de hechos, teorías, resultados y técnicas de forma inconexa, un menosprecio por el rol de los modelos para guiar las acciones de la Química, un énfasis excesivo en la rutina experimental con detrimento de la relevancia de las teorías y de la enorme importancia de enfatizar la construcción de modelos y la comprensión de sus limitaciones para simular nuevas situaciones experimentales. Esta atmósfera no se corresponde con los desarrollos de la Química moderna, con la expansión y superposición de las fronteras de la Química con la Biología, la Física, la Ingeniería, la Medicina, la Geología y la ciencia de los llamados nuevos materiales, ni con las cada vez más crecientes interacciones entre lo inorgánico y lo orgánico, lo físico-químico y lo estructural. Invitó a plantear otras clasificaciones o estructuras de la Química de naturaleza flexible, a la revisión de los currículos y a rediseñar la enseñanza de la Química para ofrecer ayudas a la instrucción, a fin de reducir la visión empirista de la ciencia que ha influenciado en alto grado la enseñanza y el aprendizaje de la Química y a propender por el desarrollo consciente de construcciones mentales,

para encaminar el pensamiento de los estudiantes y la utilización del conocimiento de la ciencia Química para analizar y modelar sistemas químicos complejos.

La conferencia hizo un llamado a revisar de modo continuado la educación Química a la luz de los desarrollos modernos de la ciencia, para asegurar a los estudiantes un aprendizaje fundamentado en los cambios de la época moderna y no en los hechos del pasado, en la importancia de las teorías y modelos, sus fortalezas y debilidades para inventar y crear modelos, con el objetivo de interpretar problemas y analizar situaciones en contextos específicos y a transformarlos en experimentalmente productivos.

En una perspectiva epistemológica Bachelard [1976, 1979(1948)], considera a la Química como una ciencia que se relaciona con las sustancias y sus comportamientos por medio de la razón y plantea una fuerte crítica a la enseñanza de la Química centrada en la enseñanza de hechos y datos aislados que dan gran importancia a la apariencia, implica la memorización y desprecia los procesos de formación y asimilación de conceptos. Anota como libros y manuales escolares hacen de las lecciones experimentales un modelo de empirismo simple, al borrar la perspectiva de los dramas de la cultura química en la construcción de conocimiento acerca de una sustancia, y de este modo, enmascaran la fina estructura epistemológica de una problemática que es múltiple. Se sitúa Bachelard en la necesaria ruptura con el materialismo ingenuo y con todas aquellas nociones obstáculo que impiden el aprendizaje de conceptos químicos y es su constante preocupación, el cómo trascender del realismo ingenuo a la racionalidad de la Química.

En un interés constante por encontrar fundamento teórico y metodológico a una enseñanza más racional de la Química, al cómo aprenden los estudiantes Química y acercar el aprendizaje a las perspectivas modernas de la Química, en el campo de la investigación educativa en Química en los últimos 25 años, es una constante preocupación una enseñanza para un aprendizaje en términos de progreso conceptual acerca de las sustancias, sus interacciones y modelos y las

representaciones que construyen los estudiantes en aula de clase. Consideraciones y resultados de algunas investigaciones, entre otras Caamaño (1982), Yarroch (1995), Benzi y otros (1982, 1987), Wobbe y Verdonk (1987), Pozo y otros (1991), Solomonidou y Stavridrou (2000), Johnson (2000), Harrison y Treagust (2000), Cavalo y otros (2003), evidencian la constante preocupación por la conexión con la representación molecular y del aprendizaje por los alumnos de grupos de sustancias y de propiedades químicas y físicas que aporten a la experiencia cognitiva y empírica de los alumnos y que permitan diferenciar con algún grado de significatividad, los objetos y eventos fenomenológicos: sustancias, su identidad y comportamientos, de los objetos y eventos conceptuales y representacionales: lingüística química, moléculas y su identidad y la conexión entre ellos. Destacan cómo la enseñanza debe ocuparse del necesario progreso de los alumnos de la percepción sensorial a la percepción conceptual. Estas investigaciones indican una tendencia hacia la orientación para el aprendizaje significativo según los principios de la teoría de D. Ausubel (1980, 2002).

Si la enseñanza de la Química debe propender hacia una mayor relevancia en el aprendizaje de la noción de sustancia química, de clases de sustancias y sus comportamientos considerados de modo operatorio y teórico, en la lingüística química acerca de fórmulas relativas, moleculares, estructurales y ecuaciones químicas y en los modelos moleculares, debemos orientarnos en dirección a que el núcleo de este problema es la conceptualización y se trata del progreso cognitivo de los alumnos a lo largo de sus vidas y de la educación.

Conceptualización indispensable para afrontar la solución de problemas químicos en contexto y en la perspectiva de interpretaciones alternativas para un problema dado o para un fenómeno conocido, con el fin de ampliar y profundizar el conocimiento e intensificar la percepción conceptual y las representaciones mentales de los alumnos. Se trata de considerar como orientar la enseñanza para el aprendizaje significativo de conocimiento químico, de cómo llevar a cabo la

investigación educativa en el campo de la Química y en indagar qué referentes teóricos y metodológicos son más adecuados para guiar su realización.

En esta dirección, la teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud (1990, 1994) reclama dar cuenta del conocimiento contenido en los comportamientos de las personas, en particular en aula de clase. Sirve para analizar cómo se organizan las ideas que están interrelacionadas y cómo esto genera conceptos y representaciones a lo largo del tiempo en el continuo trasegar del sujeto al interactuar con situaciones y problemas. Considerando que los problemas que afrontan niños, jóvenes y adultos son al mismo tiempo teóricos y prácticos, esta teoría propicia una estructura a las investigaciones sobre actividades cognitivas, en particular a aquellas referenciadas al aprendizaje de conocimiento científico y tecnológico.

En Colombia y en particular en el Departamento de Antioquia, la enseñanza de la Química aunque dista bastante en cuanto a recursos y capacitación de los docentes de la educación en Química en los países desarrollados, no es ajena a una visión empirista y al llamado modelo “transmisionista”. Cubillos y otros (1989), se refieren al trabajo pedagógico en Química en términos de estar abocado con frecuencia a conceptos que parecen simples formalismos desprovistos de interés, lo cual implica para el estudiante aprender mecánicamente lo necesario para aprobar el curso y muchos profesionales químicos preparan exitosamente soluciones de sustancias cuando lo requieren, pero rara vez poseen los conceptos que están detrás de la técnica respectiva.

La enseñanza de la Química en nuestros liceos y colegios urbanos de mayor nivel académico, de acuerdo a los currículos establecidos, está circunscrita a dos horas semanales en promedio en los grados décimo y undécimo, en los de menor calidad a una hora promedio semanal. En las zonas rurales y aún urbanas pertenecientes a los estratos uno y dos de la población, la experiencia de los estudiantes con el aprendizaje de la Química es bastante reducida. El contexto de la enseñanza ligado a una fuerte tradición de las estrategias de educación

“transmisionista” y a una concepción empirista de la ciencia, generalmente inconsciente para los participantes, alimenta y realimenta la enseñanza de la Química basada en fenómenos químicos aislados y sus características de primer plano inmediato, así como un énfasis en cálculos estequiométricos con muy poca relación con la conceptualización molar, molecular y eléctrica de la Química.

La práctica docente universitaria con estudiantes de primero y segundo nivel del Programa de Química ha permitido sistematizar algunas características comunes a la mayoría de los alumnos acerca de su experiencia en el campo de aprendizaje de la Química, de las cuales se destacan: muy poca experiencia con el trabajo experimental en Química; aislamiento de los conocimientos adquiridos como pequeños paquetes de área con interrelaciones muy pobres internas y externas; orientación mental con predominio a encontrar una respuesta única que depende de modo principal del banco de memoria del estudiante y de la operatividad matemática para casos relativamente simples; fuertes confusiones en los conocimientos adquiridos con tergiversaciones difíciles de superar aún en períodos de tiempo considerados prudentes para el aprendizaje; ausencia de experiencia de interacción con modelos moleculares y con significar nombres químicos, así como fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales. Por ejemplo, Guevara (1998) reporta para el 90% de un grupo de 59 alumnos de décimo grado, un alto nivel de dificultades conceptuales e incongruencias en la comprensión de conceptos relacionados con la estructura atómica y la persistencia de las mismas en el onceavo grado para el 68% de los estudiantes.

De otra parte Cubillos y otros (1989) refiriéndose al material bibliográfico para la enseñanza de la Química, anotan cómo los contenidos se cristalizan en forma atemporal y alcanzan a cubrir el aspecto informativo, lo cual proporciona a la mente de los estudiantes elementos desarticulados y pasajeros. Llamen la atención a que el nivel puramente informativo o epistemológico clásico, puede ser trascendido al incorporar una perspectiva histórica desde la cual el estudiante podrá ver la ciencia no como algo ya revelado, sino como algo en continua

construcción en el proceso creador del hombre; podrá ver que su papel no tiene que ser el de un consumidor pasivo, sino el de un sujeto capaz de vincularse al proceso de construcción de la ciencia en el cual han participado y participan hombres como él.

Al Programa de Química de la Universidad de Antioquia, entidad pública de educación superior, ingresan alumnos de los diferentes estratos<sup>1</sup> socio-económicos, principalmente del uno, dos y tres; deben relacionarse de modo permanente y rápido con conceptos y relaciones conceptuales de diferente nivel de la conceptualización en Química: molar, molecular y eléctrica, e interactúan con una serie de actividades de naturaleza experimental, concebida ésta en el modelo tradicional de un instructivo que facilita la realización de procedimientos. La mayoría de los estudiantes interactúan con los contenidos químicos a modo de repetición de la información para cumplir con una evaluación, que en general poco hace para desarrollar en los alumnos la comprensión de conocimiento químico. Un gran número de estudiantes encuentra serias dificultades para el aprendizaje de conceptos químicos y de otros campos como por ejemplo las matemáticas, así como para resolver tareas, problemas comunes y no comunes.

Alzate y otros (2001) realizaron un estudio piloto sobre aprendizaje significativo de fórmulas químicas estructurales con alumnos de segundo nivel universitario. En este estudio localizaron varias dificultades para la comprensión y la representación de una fórmula estructural y la relación representacional de ésta con la sustancia. Una dificultad hallada en este estudio es aquella relacionada con la ausencia de significado para la fórmula química relativa y molecular. Ésta es adoptada como un símbolo simple, útil en Química para comunicar algo respecto a una sustancia sin saber que comunica, lo cual dificulta el aprendizaje de la fórmula estructural como conectividad según las reglas de la valencia.

---

<sup>1</sup> La categoría estrato social hace referencia a la clasificación de la población según recursos económicos, siendo el más bajo el estrato uno y el más alto el seis.

En otro estudio realizado con estudiantes de primer nivel universitario y relacionado con el aprendizaje significativo del sistema periódico de los elementos químicos, Alzate (2002), encontró que los alumnos no diferencian sustancia simple y elemento químico, mezcla y sustancia compuesta, así como una gran confusión respecto al conjunto de propiedades presentadas en un formato de la tabla periódica, sin tener referentes conceptuales respecto a un conjunto de conceptos químicos de naturaleza operatoria (sustancia, mezcla, solubilidad, combinación química entre otros) que parece ser, son conceptos necesarios para iniciar la comprensión de las sustancias y sus propiedades y para significar a las fórmulas químicas. También la mayoría carece de alguna información respecto a fórmulas químicas y modelo molecular. Frente a las fórmulas químicas, su actitud se caracteriza por una pasiva espera a que le sea dada por algún medio, principalmente el profesor y se constata que su aprendizaje significativo requiere de tiempo, de conciencia de los alumnos para asumirlas, de materiales y actividades de aula propias para el aprendizaje de la representación lingüística en Química y de la mediación constante de la profesora (Alzate, 2006).

Este proyecto tiene un intento inicial fallido acerca de investigar los modelos mentales, en la perspectiva de J. Laird (1996) y del aprendizaje significativo de D. Ausubel (1980, 2002), de un grupo de alumnos de segundo nivel universitario sobre modelos analógicos de la estructura atómica y molecular. Fallido, entre otras consideraciones, no sólo por la falta de experiencia de la profesora investigadora en este campo, sino también porque el grupo investigado presentó una actitud altamente dominante de adoptar de modo repetitivo y no significado las fórmulas químicas, además de inscribirse en una concepción acerca de las sustancias y sus comportamientos centrada en el realismo ingenuo con muy poca aceptación de aquello que exige un mayor grado de abstracción.

Reconsideraciones al respecto, principalmente en cuanto qué saben los alumnos y cómo lo saben, cómo introducir la enseñanza de la representación lingüística y molecular y cómo lograr el compromiso de los alumnos con un

conjunto de conceptos químicos operatorios y teóricos, dieron lugar a la adopción del referente teórico de la teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud (1990), la cual en momento oportuno fue viable de conocer, y de la teoría del aprendizaje significativo de D. Ausubel (1980, 2002). En particular, reconsiderar el reconocimiento de la validez del principio de Ausubel que señala como factor aislado más importante que influye en el aprendizaje significativo, lo que el aprendiz ya sabe, averígüese esto y enseñar de acuerdo con ello; y lo que Vergnaud destaca en su teoría acerca de que la adquisición de conocimiento y la construcción de nuevos esquemas de asimilación para nuevas situaciones, es moldeada por las situaciones previamente dominadas y por muchas de las concepciones que han sido capaces de dominar y de su experiencia tratando de modificarlas. En ambas perspectivas el conocimiento previo es determinante para el progresivo dominio de un campo de conocimiento según Ausubel, o de un campo conceptual según Vergnaud.

En ambos referentes teóricos se trata de indagar las concepciones previas de los alumnos y Vergnaud propone que éstas sean analizadas en dos direcciones: Una como tendencias cognitivas y otra como etapas y ayudas cognitivas, en la perspectiva de concebir el aprendizaje y el desarrollo cognitivo como un sistema dinámico de construcción de esquemas de asimilación, en el cual concepciones previas pueden entrar en conflicto con otras concepciones nuevas, generar desequilibrio en la estructura cognitiva y promover procesos de acomodación, al considerar al sujeto como un sistema dinámico dotado de mecanismos regulatorios con capacidad para garantizar su progreso (Barais y Vergnaud, 1990).

Estos investigadores definen concepciones de los estudiantes como la tendencia que ayuda a describir los “conceptos significado” y los significantes puestos en acción por los alumnos cuando se aproximan a un campo de conocimiento. Las concepciones de los estudiantes como tendencias cognitivas hace referencia a las respuestas sistemáticas de los alumnos que difieren de los

contenidos de enseñanza y examinadas como invariantes operatorios implícitos o explícitos y los significantes manifiestos por ellos en situación. Las concepciones de los alumnos como etapas y ayudas cognitivas, corresponde a diseñar clases de situaciones que estimulen la activación de los invariantes operatorios y significantes antecedentes, los inciten a actuar en situación y a propiciar su progreso conceptual.

La teoría de los campos conceptuales permite indagar el conocimiento previo en la búsqueda de las rupturas y filiaciones entre los invariantes operatorios construidos al interactuar con el medio y en la escuela, y los invariantes que constituyen conocimiento científico.

Moreira (2002) reconoce que es normal que los alumnos presenten concepciones previas y que éstas deben considerarse como precursoras de los conceptos científicos a ser aprendidos y que la activación de tales precursores, en términos de conceptos-en-acto y teoremas-en-acto, es necesaria y debe ser guiada por el profesor o profesora, así como también es necesario desestabilizar cognitivamente al alumno, más no demasiado que lo desborde.

Las prioridades dadas por Vergnaud al campo conceptual, a la conceptualización como núcleo del desarrollo cognitivo, al concepto de esquema y de concepto-en-acto y teorema-en-acto, a la interacción esquema-situación y al concepto de concepto como un triplete formado de: situaciones que dan sentido al concepto, invariantes operatorios usados por el individuo para tratar la situación y representaciones lingüísticas y de otras clases para representar la situación, los invariantes operatorios y los procedimientos, pueden dar respuesta a la problemática antes enunciada, acerca de la dificultad para el aprendizaje significativo de conocimiento químico, y permiten investigar el sujeto en situación e indagar acerca del conjunto de conceptos interconectados con los cuales trata de resolver la situación, los procedimientos que realiza y las ayudas representacionales que utiliza para interactuar con la situación.

La investigación educativa en ciencias, en particular en Química, debe ocuparse de cuáles son los conocimientos previos en que se apoya el estudiante para aprender conceptos científicos en Química en el campo conceptual composición/ estructura. En esta vía es muy importante seleccionar una clase de situación, colección de materiales, en la cual apoyarse para poner en acción los conocimientos previos y potenciar el desarrollo cognitivo; describir, analizar e interpretar las rupturas que deben realizar los alumnos y las filiaciones al nuevo conocimiento, así como los procesos de acomodación de esquemas de asimilación y la posible construcción de nuevos esquemas de asimilación, lo cual se constituye en un componente en el tiempo, para el progresivo dominio del campo conceptual.

Esa búsqueda de Bachelard, como de la investigación educativa en Química, del tránsito de la percepción sensorial de lo inmediato a aquella con mayor atención conceptual y a la percepción conceptual, es decir, el tránsito del realismo ingenuo a la racionalidad de la Química, y también la búsqueda de cómo enlazar la fenomenología Química con las representaciones lingüísticas y moleculares, tiene un espacio para su investigación y potenciación en aula de clase, en la teoría de campos conceptuales en la perspectiva del aprendizaje significativo por los alumnos. Como expresa Moreira (2002), la teoría de los campos conceptuales suministra un referencial teórico para comprender, explicar e investigar el proceso del aprendizaje significativo, parece ser permite una estructura fina para indagar el aprendizaje significativo de grupos de estudiantes.

De este modo, el problema de investigación está definido en los siguientes términos:

*Investigar las concepciones previas de un grupo de alumnos de segundo nivel universitario, en términos de invariantes operatorios conceptos-en-acto y teoremas-en-acto, su estructura como estructura de asimilación en el campo conceptual composición/estructura de modo parcial en la conceptualización molar*

*y molecular, es un propósito plausible con el fin de hallar aquellos precursores que constituyen filiaciones al nuevo conocimiento y aquellos que constituyen obstáculos mentales para el aprendizaje significativo del progresivo dominio del campo conceptual.*

*Investigar el conocimiento previo como tendencias cognitivas mediante un cuestionario y dialogo informal de aula y personal y en la interacción con la clase de situación, colección de materiales, e indagar rupturas y filiaciones, la acomodación de esquemas de asimilación y la posible construcción de un nuevo esquema de asimilación en la interacción con la colección de materiales y material potencialmente significativo, cuya meta es lograr una clasificación química. Es la posibilidad de hallar bases científicas a las numerosas dificultades para el aprendizaje de la Química, en particular de los conceptos sustancia simple y elemento químico, sustancia compuesta y mezcla y de las representaciones lingüísticas en términos de fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales. Es también la posibilidad de hallar caminos viables para posibilitar la enseñanza de la Química en ayuda de un aprendizaje significativo por los alumnos.*

## **1.2 Preguntas de la investigación**

El planteamiento de los antecedentes y del problema nos dan lugar a plantear las siguientes cuestiones motivo de la investigación:

*¿Qué invariantes operatorios, conceptos-en-acto y teoremas-en-acto, constituyen concepciones previas como tendencias cognitivas de los estudiantes en el campo conceptual composición/estructura de modo parcial en los niveles de conceptualización molar y molecular de la Química y qué estructuras de asimilación organizan tales invariantes operatorios?*

*¿Qué rupturas cognitivas realizan los estudiantes y qué filiaciones cognitivas como etapas y ayudas cognitivas llevan a cabo cuando interactúan con la situación, colección de materiales, cuya meta es una clasificación química?*

*¿Cómo progresan esquemas de asimilación mediante acomodación y posible construcción de un nuevo esquema de asimilación en la interacción de un grupo de alumnos con material potencialmente significativo y una colección de materiales?*

*¿Qué ideas epistemológicas subyacen en las concepciones previas del grupo de alumnos?*

### **1.3 Aspectos metodológicos**

Esta investigación se orienta en el campo de las metodologías cualitativas, en particular el enfoque etnográfico u observación participante. Este método de investigación social de naturaleza humanista, tiene su énfasis en el proceso y le interesa como evoluciona la situación, que le antecede y la caracteriza. Es un método llevado a cabo en lugares cotidianos, como un aula de clase, que reconoce al investigador como parte del mundo social que estudia.

Un caso de un grupo social es el aula de clase de Química de segundo nivel universitario, el cual puede ser estudiado etnográficamente, al constituir un ambiente en el que se comparten, intercambian y adquieren significados y las acciones se modifican de modo permanente. De una parte, al describir e interpretar el conocimiento antecedente de los alumnos como esquemas de asimilación adquiridos en la vida ordinaria, en la educación secundaria y en el primer nivel universitario. En una segunda instancia, al compartir e interactuar con una serie de materiales y actividades relacionados con contenido químico, considerados potencialmente significativos, cuyo propósito es la internalización de nuevo conocimiento y la acción del sujeto en situación de aprendizaje significativo,

en la perspectiva de la modificación y acomodación de esquemas de asimilación y la construcción posible de nuevos esquemas de asimilación.

Descripción e interpretación por la investigadora como observadora-participante de los esquemas del sujeto en situación, con lo cual se pretende indagar el significado de las acciones de los participantes y de los significantes que utilizan en sus comportamientos en clase de Química. Se trata de dar razón de las estructuras dinámicas de asimilación a partir de los eventos percibidos en aula de clase como interacción con un cuestionario abierto y dialogo informal e individual con la profesora, y mediante otros medios como soluciones a tareas, mapas conceptuales y cuadros elaborados por los participantes, en cuanto corresponden a conjuntos percibidos consistentes en una red de relaciones visualizadas en espacios de vivencias de aprendizaje significativo en el marco de la teoría de los campos conceptuales.

Análisis descriptivo-interpretativo de esquemas de asimilación de alumnos en términos del contenido de la disciplina y la epistemología del concepto; análisis conceptual de las acciones de los individuos, de los significados usados por los alumnos, sus filiaciones, rupturas y progresos, y de los significantes utilizados por ellos en la acción.

El grupo participante constituido de veintiocho alumnos de segundo nivel universitario del Programa de Química de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, diez mujeres y dieciocho hombres. Dos subgrupos, uno, aproximadamente 93% con edad entre los dieciocho y veinte años y un segundo, aproximadamente 7% entre veinticinco y veintiocho años. La universidad es una entidad pública de educación superior, a la cual acceden mayoritariamente jóvenes de los estratos socio-económicos uno, dos y tres. La composición social del grupo corresponde aproximadamente por partes iguales a esta estratificación.

El 93% del grupo posee una experiencia en aprendizaje escolar de Química que se remonta a cursos de dos horas semana (90 minutos), durante diez meses en los grados décimo y onceavo de la educación secundaria y diez horas-semana

durante un semestre (160 horas-semester) en el primer nivel de Química en la universidad. Las diez horas están distribuidas en dos cursos denominados “Teórico” y “Práctico”. El teórico, dos sesiones-semana de cien minutos cada una y el práctico, dos sesiones-semana de ciento cincuenta minutos cada una. “Soluciones y Estequiometría” centrado en los temas: soluciones, gases, reacciones químicas y cálculos estequiométricos y “Técnicas de Laboratorio”, dirigido a desarrollar habilidades en el manejo de instrumentos y de algunas técnicas de separación de mezclas, preparación de soluciones y de medición de propiedades como la densidad, las temperaturas de fusión y ebullición y la solubilidad. Estos cursos son dictados por profesores diferentes.

La intervención se realiza durante un semestre académico, en el ejercicio de la realización de uno de los cursos de Química de segundo nivel, denominado “Estructura y Enlace”. La intensidad horaria corresponde a veinte semanas con un total de ciento dieciséis horas, distribuidas en ochenta horas-clase, dos sesiones-semana de cien minutos cada una y dos horas semana de encuentro del grupo y la profesora, en la figura de asesoría, dirigida a dialogar respuestas a preguntas planteadas por los participantes, aclarar conocimientos, solución de dudas y confusiones y a realizar reconstrucción de tareas. El 93% de los alumnos participó de modo regular del total de las sesiones de clase y asesoría.

#### **1.4 Organización de la presentación**

En este texto se presenta en orden progresivo en primer lugar, el estudio de la revisión bibliográfica y una mirada de lo que pretende este estudio en relación con resultados de investigación precedentes. Progresa hacia el marco teórico con un enfoque de la epistemología de la Química según Bachelard y el reconocimiento a los aportes de un grupo de químicos en cuanto planteamientos epistémicos relacionados con la estructura del conocimiento químico y lo que constituye el núcleo de este conocimiento, sustancias y sus comportamientos y sus sistemas representacionales, con el propósito de delimitar el campo conceptual composición/estructura motivo de esta investigación.

En tercer lugar, la metodología se inscribe en la línea cualitativa, enfoque etnográfico descriptivo-interpretativo; se realiza una descripción del grupo participante y del diseño de la intervención en el aula. Se avanza a análisis y resultados en sus dos momentos, interacción con cuestionarios y dialogo de aula y personal e interacción con colección de materiales. Descripción-interpretación acerca de invariantes operatorios y la interpretación de posibles esquemas de asimilación, su acomodación y posible nueva construcción. Esta sesión se acompaña de mapas conceptuales y de un conjunto de cuadros, instrumentos representacionales de posibles esquemas de asimilación del grupo participante. Cada sesión de análisis y resultados presenta sus respectivas conclusiones.

Finalmente, concluye la presentación con los apartados referidos a conclusiones en un marco general del proyecto, implicaciones y recomendaciones.

## **CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Introducción**

La bibliografía revisada 1982-2003, permite afirmar que la investigación educativa en Química constituye un período de tiempo relativamente corto y algunos de sus primeros resultados se presentan en el transcurrir de la década del ochenta del siglo XX. Las publicaciones estudiadas dan lugar a visualizar tres tendencias de investigación en una línea dirigida a establecer conexiones entre sustancias, interacciones entre sustancias y modelos analógicos en calidad de representaciones de las sustancias y sus interacciones.

Una primera tendencia es la identificación de ideas antecedentes de grupos de alumnos después de períodos de enseñanza-aprendizaje. Una segunda, consiste en la identificación de ideas previas y progreso conceptual en procesos de intervención en el aula mediante interacción con sustancias y algunos comportamientos químicos y físicos. La tercera tendencia se refiere a la identificación de representaciones mentales de modelos analógicos de la Química mediante intervención en el aula en algunos casos, y para otros, después de períodos educativos.

Estas tendencias no se suceden una a una en el tiempo, por el contrario son discontinuas y se entrelazan publicaciones de una u otra a través del tiempo. Salvo unos pocos casos, y de modo principal para finales de la década del noventa, no hay referentes constantes en los diversos estudios que indiquen un claro debate, o una guía y/o el progreso de líneas de pensamiento en lo teórico, metodológico y estructuras conceptuales de la disciplina.

La etapa 1980-1995, puede caracterizarse como un período de identificación de las ideas previas de grupos de alumnos de educación secundaria con edades entre los doce (12) y dieciséis (16) años en diferentes contextos. Ideas

reconocidas mediante el análisis de respuestas a cuestionarios realizados después de un período de enseñanza-aprendizaje.

El inventario de preconcepciones hace referencia a los conceptos sustancia química disperso en el concepto materia, mezcla, compuesto y elemento químico, implicados en un grupo de fenómenos relativos a las sustancias: Fases y cambios de fase, disolución, reacción química, equilibrio químico y relaciones cuantitativas de proporcionalidad. Es de particular interés, las ideas acerca del modelo particulado de materia, como una cuestión general que no establece diferencias entre partículas, y el grado de utilización de estas preconcepciones cuando los alumnos responden por fenómenos químicos y físicos. Esta temática tiene gran dominio en la enseñanza y precede los contenidos relativos a sustancias y sus propiedades.

Pozo, Limón, Sanz, (1991), Nakhleh (1992), Fenshan (1994), Krnel, Watson and Glažar (1998) exponen aproximaciones sistemáticas acerca de las concepciones alternativas relacionadas a varios conceptos y fenómenos químicos.

Otros trabajos se apartan de la tendencia anterior. Caamaño, Mayos, Maestre y Ventura (1983), Wobbe and Verdonk (1987), Vogelezang (1987) se inscriben en la segunda tendencia que caracteriza los trabajos a partir de mediados de la década del noventa.

Aunque los trabajos son pocos, la investigación está dirigida de modo dominante a indagar las ideas previas de grupos de estudiantes de diferentes grados de secundaria, en la interacción de éstos con sustancias y fenómenos químicos. También investigan el progreso conceptual de ellas mediante secuencias experimentales de fenómenos químicos, acompañadas de cuestionarios como medio de obtener las respuestas de los alumnos. Los estudios se centran en dar relevancia al concepto de sustancia química en la perspectiva del significado "identidad de la sustancia" y a adoptarlo como una condición necesaria para la comprensión del concepto cambio químico y para establecer la

conexión con la representación en calidad de modelo corpuscular de las sustancias.

La tercera tendencia se manifiesta con mayor énfasis en la última década del siglo XX y primeros años del XXI. Expresa el interés por investigar las representaciones mentales de grupos de estudiantes acerca de las moléculas. Estos trabajos son pocos y estudian transformación de representaciones 2D a 3D; representaciones mentales, en particular modelos mentales acerca de átomos y moléculas de alumnos de onceavo grado, college, pregrado y postgrado en Química. Otro, trata de diversos sistemas representacionales utilizados por los sujetos al resolver problemas de síntesis química.

En esta tendencia insertamos, además, los estudios exploratorios de Schmidt (1992, 2000), inscritos en la comprensión de lenguaje químico relativo a isómeros y oxo-sales. Lenguaje en cuantas fórmulas moleculares, relativas y estructurales como representaciones de las sustancias.

Aunque pocos y variados, estos estudios anotan indicativos importantes para la orientación de investigaciones futuras y el diseño de estrategias de aula para la enseñanza de las sustancias y sus transformaciones, sus modelos y la modelación en Química.

Las tres tendencias anotadas son denominadas según categorías de análisis de la revisión bibliográfica como: Materia y modelo corpuscular y progresos materia-modelo corpuscular; identidad de la sustancia y conexión con el modelo corpuscular; representaciones mentales de alumnos acerca de modelos analógicos. Estas tendencias son detalladas a continuación y al final de la sesión se presenta una síntesis conclusiva.

## **2.2 Materia y modelo corpuscular**

**Pozo et al (1991)** reconocen la década del ochenta del siglo XX como la “época de las concepciones alternativas” y caracterizan la investigación al respecto como dispersa, dada la gran cantidad de datos relevantes poco

organizados, la amplia variedad de enfoques y la ausencia de una teoría coherente que los englobe. Realizan un gran esfuerzo de integración de los datos obtenidos por un número amplio de investigadores con respecto a las teorías implícitas de grupos de alumnos, en contextos diferentes, con edades entre los diez (10) y quince (15) años acerca de una variedad de fenómenos físicos y químicos de las sustancias. También sistematizan una serie de datos para estudiantes entre los dieciséis (16) y dieciocho (18) en algunos casos.

Los datos sistematizados provienen de la resolución de tareas concretas de lápiz y papel, preguntas abiertas y cerradas mediante cuestionarios de selección múltiple, representaciones gráficas de alumnos con respecto a un fenómeno o algunas de sus ideas, entrevistas clínicas y en algunas ocasiones experimentos de laboratorio, todas ellas realizadas después de haber participado los alumnos en períodos de instrucción química, los cuales varían según la edad de los participantes y el nivel de instrucción. Las tareas no fueron acompañadas de solicitud explícita a los sujetos para dar explicaciones a sus respuestas, salvo casos particulares donde la pregunta estuviese planteada en términos de explicación oral o escrita de un evento.

En la sistemática encuentran un alto número de conceptos alternativos referentes a las nociones de partícula, átomo, molécula, estados de agregación: sólido, líquido, gaseoso, cambios de estado de la materia, disolución, sustancia pura, elemento, compuesto y mezcla, reacciones químicas de combustión y oxidación, equilibrio químico, relaciones cuantitativas de proporcionalidad y el concepto de mol. El conocimiento antecedente está caracterizado por un predominio de lo observable sobre lo no observable; un alto dominio de la percepción sensorial dificulta la comprensión. Tales preconcepciones, así como las dificultades para el aprendizaje de la Química, persisten aunque en menor grado después de varios años de instrucción.

Intentan proporcionar criterios explicativos e interpretativos con respecto a las principales dificultades de comprensión encontradas por los estudiantes en el

aprendizaje de la Química. Parten de la idea, según la cual, la mayor parte de las dificultades provienen de una asimilación insuficiente de lo que denominan tres núcleos o estructuras conceptuales generales de la Química, de las cuales se deriva un gran conjunto de nociones específicas. Tales estructuras son: Naturaleza discontinua de la materia; conservación de propiedades no observables de la materia y la cuantificación de relaciones (Ibid.). Consideran que estos tres problemas están latentes en las ideas de los estudiantes sobre los distintos conceptos químicos y en las dificultades que encuentran para comprenderlos y aplicarlos.

Particular atención anotan los autores a la noción de discontinuidad de la materia, concebida por ellos como materia formada por partículas. Asignan a esta idea la condición de necesaria para comprender y explicar aspectos diversos de la estructura de la materia: los estados en que se presenta, los cambios de estado, la difusión de los gases, los fenómenos de disolución (Ibid.). A la ausencia de representación de los fenómenos en términos corpusculares, asignan la causa principal de las dificultades de los alumnos para el aprendizaje de la Química y la persistencia de lo perceptible de modo directo. Atribuyen gran relevancia a este factor de representación de lo no observable, el cual consideran no ha recibido atención suficiente en la investigación realizada hasta la fecha. Opinan que en la medida que el alumno debe abandonar los indicios perceptivos como fuente de representaciones, carece de otro código de representación alternativo.

“Si las imágenes que el alumno recibe del mundo no son suficientes para que comprenda la estructura de la materia, la enseñanza no logra proporcionarles sistemas de representación alternativos que les permitan comprender su naturaleza. Los sistemas proposicionales que se les proporcionan –matemáticos, algebraicos o mediante símbolos químicos–, junto con una utilización muy escasa de representaciones analógicas –basadas en imágenes–, no resultan suficientes. De ser cierta esta interpretación, se precisaría un esfuerzo en la elaboración de sistemas de representación alternativos para la didáctica de la Química, no sólo analíticos o proposicionales, sino fundamentalmente analógicos” (Ibid., 107).

Si la enseñanza atribuye gran relevancia, como parece ser, a la naturaleza continua y discontinua de la materia en términos de partículas o modelo corpuscular (átomos y moléculas como agregados mecánicos de átomos) como

sistema de representación y éste no logra ser captado por los alumnos de modo significativo, entonces los sistemas de representación en Química para las sustancias en contexto, tales como fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales, funciones químicas y moléculas como geometría molecular, no constituyen un tema central de enseñanza y aprendizaje y, por lo tanto, no surgen en las respuestas de los alumnos y no pueden ser avizorados en la aproximación de integración de los diversos datos. Tampoco son perceptibles en las diversas preguntas y problemas planteados en el apéndice de tareas, en el cual predominan enunciados en términos del nombre común de las sustancias; sólo unas pocas preguntas relativas a representar fórmulas moleculares y algunas ecuaciones químicas dan cuenta del simbolismo químico.

Es dominante la noción de partícula como objeto microscópico simple y mecánico, no diferenciado en composición, estructura y dimensionalidad, para representar situaciones de fase (los autores nombran estados de la materia), cambios de fase de las sustancias (nombrados cambios de estados de la materia), disoluciones y difusión de gases, y no plantea de modo explícito la representación en Química de fórmulas relativas, moleculares y estructurales. De ahí el llamado a un esfuerzo por la enseñanza de los sistemas alternativos de representación en la didáctica de la Química. Aunque los autores reconocen (Ibid., 144) la palabra “partícula” como un término polisémico que al ser empleado con diversas connotaciones conduce a errores y malentendidos, lo cual debería obligar a profesores y libros de texto a ser explícitos en el significado, no se constituye en tales condiciones en la representación relevante en Química, a pesar del énfasis dado en la enseñanza.

La aproximación sistemática permite percibir la investigación centrada en indagar ideas concretas de grupos de alumnos acerca de fenómenos de las sustancias (los autores adoptan de modo implícito una equivalencia entre materia y sustancias) y aunque algunos subtítulos hacen referencia a las ideas previas de sustancia pura, mezcla, compuesto y elemento, a la construcción de estos

conceptos por los alumnos no se ha prestado suficiente atención, así como a lo denominado por los autores sistemas alternativos de representación. Está implícita la idea de sustancia química como objeto aislado y estático, contrario al desarrollo del conocimiento químico, así como una confusión que lleva a la no diferenciación del concepto de sustancia química desde los significados operatorio y teórico. No hay una distinción clara entre las entidades del nivel ontológico y las entidades teóricas como partículas del modelo corpuscular. La partícula, átomo y molécula, es concebida como un objeto material invisible a la que se atribuye el rol de la interpretación y la explicación en Química.

La representación en términos de fórmulas de composición relativas, moleculares, estructurales y moléculas como geometría molecular adaptadas a uno u otro problema, no se erige en igualdad de importancia con relación a la partícula y en conexión con las sustancias y sus comportamientos.

De este modo sustancias y sistemas alternativos de representación no deberían tener la connotación de ser aspectos conceptuales en un segundo plano, sino la de ser altamente relevantes en la didáctica de la Química, así como la jerarquía de presentación y las conexiones de tales contenidos a los alumnos.

Una conclusión importante en la mirada psicológica de esta aproximación, es la necesidad de una teoría integradora para explicar los “abundantes y sugestivos datos”, que posea además algún carácter predictivo que permita actuar sobre ellos. Desde una mirada de las concepciones alternativas y la teoría de las operaciones formales de Piaget, vislumbran que parte de las ideas integradoras se encuentran en la obra de Piaget y sus continuadores, y otras en la psicología cognitiva. Para la idea ausubeliana, el alumno aprende a partir de sus conocimientos previos, “...es imprescindible conocer cómo están organizados y representados esos conocimientos, en qué consisten, antes de aventurarse a responder la pregunta de cómo progresan esos conocimientos” (Ibid., 51).

De otra parte, la poca atención a la representación en Química es también expresada por Ingham and Gilbert (1991), al reconocer que la literatura sobre

enseñanza y modelos analógicos es fragmentada y polarizada. Mientras unos pocos autores, Baker and Talley (1972), Nicholson and Seddon (1977), Eliot and Hauptman (1981), Seddon et al (1984), examinan la habilidad de grupos de alumnos para relacionar y transformar representaciones analógicas 2D en 3D; otras publicaciones, Buglass (1980), Rozelle and Rosenfeld (1985), Kildahl et al (1986), reportan actividades de aula de clase relacionadas con modelos analógicos y su uso en estereoquímica, mecanismos de reacción y estructura cristalina, sin constituir investigación de aula de clase.

Finalmente, Yaroch (1985) encontró serias dificultades de los alumnos para dar significado a los símbolos químicos cuando escriben ecuaciones químicas. Ignoran leyes y teorías que dan significado a las fórmulas químicas y trabajan las ecuaciones químicas como un juego de números. Este resultado es coincidente con el estudio de Ben-Zi, Ephem and Silverstein (1982, 1987), quienes hallaron que grupos de estudiantes tienen gran dificultad para cambiar su pensamiento del nivel fenomenológico de los cambios de sustancias al nivel de la teoría de átomos, moléculas e interacciones. Esta carencia de movilidad genera otros problemas como atribuir color, cambio de estado y en general propiedades de las sustancias a los átomos y moléculas.

### **2.3 Progresos materia-modelo corpuscular**

Para la década de los noventa, nuevas investigaciones orientadas en la idea materia-corpúsculo y en los fenómenos cambios de fase, disolución y reacción química, dan mayor importancia a los conceptos, a los procesos de comprensión de los alumnos y a la conexión con el modelo corpuscular para explicar los eventos mencionados, sin avanzar a un compromiso conceptual con las fórmulas de composición, a la representación estructural como fórmulas estructurales y a la geometría molecular. Progresan como estudios cualitativos-descriptivos que concluyen acerca de como los métodos tradicionales de enseñanza de la Química son ineficaces como ayudas para la comprensión y visualizan el cambio didáctico direccionado a la producción de materiales educativos y de una enseñanza que

tenga en cuenta las ideas antecedentes de los alumnos, que permita el aprendizaje de conceptos y la diferenciación de ellos.

En estos trabajos persiste el planteamiento poco claro respecto a teorías de aprendizaje y/o cognitivas relacionadas con los procesos de formación y asimilación de conceptos. Están inscritos en la idea de cambio conceptual sin una adecuada estructura teórica al respecto y en un tratamiento cualitativo de los datos obtenidos desde cuestionarios y entrevistas, realizados a los estudiantes después de un período de aprendizaje en la mayoría de los casos.

Elaboran una serie de importantes recomendaciones que aportan a la renovación de la investigación y al currículo en dirección a insistir en un fuerte trabajo de aula para enlazar la experiencia concreta con los modelos abstractos atómico y molecular, y dar mayor relevancia a centrar el currículo en los conceptos y no en los hechos. Se configura una conclusión según la cual eventos, conceptos y representaciones moleculares constituyen un todo para ser abordado en el aula de clase.

**Hess and Anderson (1992)** en la idea de cambio conceptual y ecología conceptual, reafirman los resultados de investigaciones anteriores y plantean la necesidad de una revisión sustancial de la práctica de la enseñanza de la Química a la luz de la persistencia de las concepciones previas de los estudiantes.

Después de un período de instrucción de seis semanas sobre cambio químico y completados tres meses de actividad académica en Química, cien (100) alumnos de High School responden a un cuestionario (post-test) dirigido a explicar tres casos de cambios químicos de oxido-reducción, los cuales fueron presentados por el profesor a modo de demostración. Once estudiantes con las respuestas más adecuadas fueron sometidos a entrevista clínica para justificar sus respuestas; tres de ellos, entre los de mejor resultado, resultado bajo y uno promedio, fueron seleccionados para estudio de caso. Un estudio comparativo de los datos correspondientes a los tres estudios de casos y los restantes ocho estudiantes fue llevado a cabo.

El estudio comparativo los lleva a clasificar las dificultades de los alumnos para comprender cambio químico en tres clases de razonamiento: Conocimiento químico, razonamiento de conservación e ideales explicativos. Los estudiantes fallan para invocar átomos y moléculas como constructo explicativo, aunque esto ha sido enfatizado durante la enseñanza en el curso de Química. Los estudiantes no pueden explicar o inferir acerca de cambios de masa en las reacciones químicas y no comprenden el rol invisible de reaccionantes y productos. La mayoría de los alumnos tiene preferencia por explicaciones basadas en analogías superficiales con eventos de la vida cotidiana y no muestran una comprensión adecuada de lo que constituye una explicación aceptable en Química.

El cambio químico es mucho más complicado de lo que parece ser. Para los autores el significado de las ecuaciones químicas está inmerso en una compleja ecología conceptual que agrupa hechos, teorías y creencias acerca de la naturaleza de la materia y la función de las explicaciones científicas. El aprendizaje del cambio químico es un complejo proceso de cambio conceptual que implica muchos aspectos de la ecología conceptual de los alumnos.

**Haidar and Abraham (1991)**, Abraham, Grzybowiski, Renner and Marek (1992), Abraham, Williamson and Westbrook (1994), presentan resultados de varios grupos de alumnos: 183 High School, 247 grado octavo, 100 Junior High School Physical, High School Chemistry, Introductory College Chemistry. Estos fueron encuestados acerca de cinco conceptos químicos después de participar en períodos de enseñanza-aprendizaje, durante los cuales han utilizado textos y diversos materiales según organización del currículo. El propósito de indagar los conceptos: cambio químico, disolución de un sólido, conservación de átomos, periodicidad y cambio de fase, está centrado en cómo los alumnos utilizan las ideas corpusculares para explicar fenómenos que implican tales conceptos.

Los estudios revelan que los alumnos emplean en sus explicaciones, de modo predominante, concepciones alternativas ya reportadas en investigaciones

anotadas en páginas anteriores y reiteran el no uso espontáneo de las ideas corpusculares para sus explicaciones.

El primer estudio destaca una diferencia significativa en las respuestas de los alumnos cuando son preguntados en lenguaje natural y cuando los cuestionarios son expresados en el lenguaje formal utilizado en el aula de clase, relacionado de modo específico a partículas como átomos y moléculas. Para el primer caso, las respuestas son dadas en términos de concepciones alternativas referentes a su experiencia cotidiana. Para el segundo, el 70% utiliza ideas de la teoría corpuscular que difieren cualitativamente de las primeras.

El segundo estudio concluye que los alumnos no comprenden bien los cinco conceptos y no utilizan el modelo corpuscular para sus explicaciones; sus respuestas están dadas como concepciones alternativas. El tercer estudio destaca las siguientes conclusiones que evidencian los resultados de las investigaciones de estos autores:

Limitadas habilidades de razonamiento y de experiencias con conceptos para la comprensión de los conceptos químicos.

Habilidades de razonamiento juegan un rol central en el desarrollo de la habilidad del estudiante para refutar una concepción alternativa.

Estudiantes de todos los niveles tienden a no utilizar explicaciones atómicas y moleculares para fenómenos químicos. Aunque el uso de los modelos incrementa con la exposición a conceptos químicos, es sorprendente el bajo número de estudiantes de Collage (universitarios) que utiliza tal clase de explicaciones.

No es posible predecir modelos en la frecuencia de las concepciones alternativas con respecto a la experiencia con conceptos.

Las concepciones alternativas son inevitables e ineludibles, son resultado natural del proceso de aprendizaje. El interés de los educadores debe centrarse en la resistencia que muchas concepciones tienen al cambio.

La limitada habilidad de razonamiento debe influir la selección de los materiales del currículo y las estrategias instruccionales.

Enfatizar en un principio experiencias concretas y esperar grandes dificultades para enlazar esta experiencia a modelos abstractos de teoría atómica y molecular. A este enlace, problema central de la instrucción, debe dársele la mayor importancia y ayudar al máximo a los alumnos a ejercerlo.

Lo anterior implica diseñar estrategias de instrucción más efectivas para potenciar las habilidades de razonamiento a fin de facilitar el enlace entre percepciones experimentales y modelo atómico-molecular. Un currículo en espiral debe ser desarrollado y sustituir el currículo centrado en hechos y datos por un currículo centrado en conceptos.

La sugerencia de un currículo en espiral centrado en el progreso conceptual surge del cambio en las estrategias instruccionales que implica a los docentes el no tratamiento de los conceptos como ideas inmutables y los hechos de evidencia como equivalentes a la verdad. No es que los estudiantes persistan en aferrarse a sus propios hechos y conceptos, se trata de que las estrategias instruccionales enfatizan cómo los conceptos son desarrollados y modificados, dar a los estudiantes la oportunidad para explorar conformidad con el cambio de sus propios conceptos por encima de la apariencia de la evidencia.

**Cavallo et al (2003)** exploran las ideas de sesenta alumnos de noveno grado acerca del concepto reacción química y las relaciones entre átomos y compuestos.

Los alumnos organizados en dos grupos, veintiocho y treinta y dos respectivamente, participan de un ciclo de aprendizaje donde uno de los temas es el cambio químico. La diferencia entre los dos grupos reside en suministrar al segundo palabras científicas claves para argumentar sus respuestas en la idea de auscultar la posible superación de la persistencia de las preconcepciones.

El profesor utilizó como guía el currículo de ciencias "Investigations in Natural Sciences: Physical Science" (Atkinson et al, 1986, 1997). En esencia es un estudio comparativo de las ideas previas y su evolución conceptual. Las primeras consultadas por medio de un pre-test acerca de la reacción química entre ácido nítrico [ $\text{HNO}_{3(\text{ac})}$ ] y cobre metálico [ $\text{Cu}_n$ ] realizada vía experimental, y la segunda, mediante las respuestas a tres cuestionarios pos-test, dos realizados en relación con actividades experimentales de reacciones de descomposición de sustancias compuestas a simples orientadas por el material de enseñanza y otro, independiente de actividad empírica.

Este estudio centrado en la equivalencia de átomo y elemento, el compuesto formado por átomos de dos o más elementos y el cambio químico como aumento, disminución o agrupamiento de átomos dentro de la molécula acompañado de cambios físicos, no está fundamentado en una diferencia clara entre sustancia y reacción química como eventos fenomenológicos y modelo molecular en términos de modelo estructural. Persiste la idea de partícula sin estructura y el reagrupamiento mecánico de corpúsculos.

Aunque los autores se refieren a herramientas metacognitivas como mapas conceptuales y a teorías como aprendizaje significativo [Ausubel (1963)] y modelos mentales [Vosniadou (1994), Harrison y Treagust (1996), Gentner and Stevens (1983)], los resultados no son presentados en la perspectiva de alguna de estas propuestas; constituyen un catálogo descriptivo de las ideas de los alumnos.

La descripción corrobora la idea de concebir la combinación química como una mezcla, las propiedades químicas como físicas, no claridad para los conceptos átomo y compuesto y la dificultad de los estudiantes para el cambio

conceptual, persistiendo varias de las ideas ingenuas. Las respuestas de los alumnos están dirigidas más a repetir el uso de los conceptos planteado en clase que a organizar sus ideas y ampliar la comprensión. Afirman los autores, que el segundo grupo al tener la oportunidad de las palabras clave, presenta explicaciones más coherentes con el contenido del ciclo de aprendizaje.

Destacan la importancia de ayudar muchísimo a los alumnos a comprender el significado para los términos científicos enunciados y evitar plantear éstos de modo aislado. Tales términos pueden ser utilizados como anclaje una vez que han construido significado adecuado para ellos, lo cual permite a los alumnos organizar sus pensamientos para el aprendizaje de nuevos conceptos. Alta relevancia debe darse a la comprensión de los conceptos durante la actividad experimental. Los educadores necesitan examinar lo que ocurre conceptualmente, qué conceptos construyen inicialmente y diseñar cuidadosamente la instrucción, y no meramente implementar actividades empíricas.

#### **2.4 Identidad de la sustancia y conexión con el modelo corpuscular**

Para la década de los ochenta algunos trabajos que se distancian de la concepción materia-partícula, llaman la atención sobre la falta de adquisición de conceptos operatorios para mezcla, sustancia pura, elemento y compuesto.

**Caamaño (1982)** (citado en Pozo et al, 1991), identifica como causa de la equivalencia establecida por los alumnos para los conceptos compuesto y mezcla, la ausencia de adquisición de conceptos operativos y la introducción precipitada de conceptos de teoría atómica, tales como la definición de sustancia constituida por átomos, lo cual no permite diferenciar la diversidad de entidades empíricas. Considera que la superación de este problema debe darse sobre la base de permitir a los alumnos interactuar con los métodos de separación de sustancias y

la adquisición de los conceptos operacionales de sustancia pura<sup>2</sup> y mezcla, para luego trabajar la diferenciación de los conceptos elemento y compuesto.

**Wobbe y Verdonk (1987a, 1987b)**, en una vía similar a la anterior y con un énfasis en conectar sustancias y moléculas, destacan la gran influencia del concepto social de sustancia en la vida cotidiana y cómo impide el aprendizaje del concepto, identidad de la sustancia, como el concepto químico que deben aprender los sujetos. La vida diaria no proporciona el conjunto de propiedades tales como temperaturas de fusión y ebullición, solubilidad e índice de refracción entre otras, así como características químicas propias de clases de sustancias, que permitan el reconocimiento de procedimientos estándares para la identificación y comparación de sustancias. Enfatizan la diferencia entre los conceptos operatorio y teórico para sustancia química y la importancia de los sistemas de clasificación en Química, así como las jerarquías químicas establecidas usando propiedades y criterios de estructura, para la inferencia y la predicción de nuevas sustancias.

Consideran, en una jerarquía química, cada sustancia determinada por un conjunto de propiedades y definida por su fórmula. Son estos conceptos de sustancia, los que permiten definir una reacción química como un proceso en el cual una sustancia se convierte en otra sustancia.

Criticán la tradición en la didáctica de la Química, de enseñar primero átomos-moléculas y después esperar que los alumnos de modo espontáneo utilicen estos conocimientos para dar explicaciones e integrarlos en procesos químicos y físicos. Juzgan esta práctica como un fracaso, dado que los estudiantes son incapaces de integrar conocimientos de átomos y moléculas con fenómenos químicos y físicos. Igualmente, atacan los experimentos espectaculares, dado que no conducen al fortalecimiento de una red teórica de conceptos y métodos acerca de las sustancias.

---

<sup>2</sup> Sustancia pura es un término equivalente para sustancia o sustancia química.

Opinan que la enseñanza de la Química debe partir de las ideas primitivas y no científicas de los alumnos acerca de las sustancias y de la naturaleza corpuscular, aceptarlas como el conocimiento que los aprendices utilizan en la enseñanza de los conceptos sustancia y reacción química. Al estimar que conceptos e ideas primitivas son un estado natural e inevitable en el desarrollo cognitivo de los aprendices, diseñan secuencias de estrategias experimentales con alumnos entre doce (12) y catorce (14) años durante un período de cuatro (4) años, dirigidas a la construcción del concepto “identidad de la sustancia” y a la puesta en acción de las ideas corpusculares, con el fin de promover el progreso de los conceptos cambio químico, elemento, átomo y molécula, y a establecer el puente entre sustancias y moléculas como representaciones de aquellas, la molécula como objeto conceptual con estructura.

En un primer curso de Química elemental, identifican las ideas previas acerca de moléculas, de un grupo de alumnos y alumnas con edades entre catorce (14) y quince (15) años, mediante organización en pequeños grupos. Éstos interactúan mediante actividades prácticas, con sustancias y fenómenos de reacciones químicas y con cuestionarios de respuesta abierta oral y escrita. Las preguntas fueron diseñadas para estimular la observación cuidadosa y la interpretación de los resultados obtenidos en el trabajo práctico.

Hallan como resultado, que los estudiantes inmersos en el lenguaje común y el nombre común de las sustancias, conciben molécula como sustancia, como una cosa a la cual se asigna las propiedades de la sustancia. Atribuyen el origen de esta idea al primer curso de Física general y a los libros de ciencia general, donde la molécula es presentada como producto de un largo proceso de rompimiento hasta llegar a la partícula más pequeña.

Sobre esta base, diseñan una intervención centrada en actividades experimentales con sustancias químicas y cambios físicos y químicos, dirigida a orientar a los alumnos a diferenciar sustancias y sus propiedades y moléculas pensadas como representaciones de las sustancias. Introducen el concepto de

modelo teórico como algo inventado, como algo que no tiene bases empíricas directas y no debe enseñarse como consecuencia de la experiencia. En este proceso concluyen que las respuestas de los alumnos están dirigidas a la historia de la muestra como procedimientos empíricos realizados, que lo obvio y evidente no da lugar a construir nuevas representaciones, por el contrario, los alumnos refuerzan las adquiridas y se limitan a repetir de modo mecánico lo que aprenden acerca de moléculas.

Se vuelve necesario profundizar en diferenciar sustancias y moléculas, en la construcción de los conceptos “identidad de la sustancia” como conjunto de propiedades no perceptibles de modo directo, e “identidad de la molécula” como relación cuantitativa entre elementos. De este modo, es vital centrar la atención en la representación por medio de moléculas con identidad diferente para cada clase de sustancia y potenciar la diferenciación de moléculas para sustancias diferentes. La diferenciación es guiada por una secuencia de actividades experimentales progresivas, con sustancias no comunes, que incluye la obtención de una sustancia por métodos de descomposición, centrada en diferenciar los conceptos de sustancia, mezcla, métodos de separación, elemento químico, conservación de los elementos y cambio químico, siempre intentando establecer el puente entre sustancia y molécula.

Juzgan los autores que su aproximación es válida y no resuelve todos los problemas. Muchos estudiantes tratan de recordar la definición de identidad de la molécula, tienen dificultades para aplicarlo, piensan de un modo inseguro cuando son preguntados para expresar conclusiones acerca de las moléculas sobre la base de sus observaciones durante el trabajo práctico. Atribuyen la dificultad de aplicar dicho concepto a la naturaleza hipotética del mundo corpuscular, como es reconocido por Piaget e Inhelder (1969) al argumentar las dificultades de razonamiento lógico a partir de una hipótesis. Conceptúan haber encontrado una pista que ayuda a los estudiantes, al menos, a progresar desde sus ideas primitivas a una comprensión básica de los conceptos sustancia y reacción

química, mediante el análisis de una situación: antes, durante y después del evento, exigiendo criterios para interpretar los cambios observados. “En general el enlace del concepto de sustancia al concepto de especie molecular simple es alcanzado por los alumno” (**Ibid., 694**).

Bastante avanzada la intervención, especial énfasis merecen los conceptos de elemento químico, átomo y conservación de los elementos para comprender el cambio químico y que la molécula tiene estructura. Una secuencia experimental denominada “ciclo del cobre” y la vía corpuscular al concepto de elemento<sup>3</sup>, es el camino para examinar la distinción entre cobre como elemento (Cu), cobre como sustancia (Cu<sub>n</sub>) y cobre formando el compuesto sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>) entre otras sales. Esto les permite afirmar que los conceptos elemento y conservación de los elementos, no emergen simplemente de la experiencia con reacciones. Estos conceptos “requieren del pensamiento creativo y de la historia de la Química para percibir que ‘elemento’ ha sido una guía teórica para el trabajo experimental, más que un resultado de éste” (Ibid., 1011).

Concluyen finalmente los autores, en primer lugar y de un modo bastante tímido sin comentarios adicionales, que la fórmula molecular debe hacerse comprensible para algunas sustancias y plantearse respecto a la clase y número de átomos que constituyen la molécula. Sugieren que el agrupamiento de átomos en una molécula sea expresado como fórmula HOH en lugar de H<sub>2</sub>O por ejemplo. En segundo término, la secuencia experimental no es suficiente para el progreso conceptual y realizar inferencias. Inevitablemente, debe ser adicionado algo a la observación con el fin de alcanzar la comprensión. Creen que a los estudiantes se les debe dar todo lo más posible para contribuir a la adición (Ibid.).

Ese algo es proporcionar conceptos y modelos, la diferenciación de ellos y sus conexiones para interpretar los eventos relacionados con las sustancias, los cuales deben ser diseñados por los docentes según las ideas previas de los

---

<sup>3</sup> Para estos autores elemento tiene el significado de átomo.

alumnos y en una secuencia progresiva de desarrollo conceptual que permita la contrastación de las ideas iniciales de los aprendices, de tal manera, que de modo gradual acepten modelos más sofisticados como resultado del proceso de enseñanza. Éste, debe proporcionar los aspectos racionales del uso de modelos en ciencia, pero esto requiere mucho tiempo y debería iniciarse en un estado muy temprano de la educación en Química, “antes de que los alumnos piensen que un átomo de cobre es como un granulo de cobre” (Ibid., 1013).

La idea según la cual el concepto de sustancia química no es un concepto natural, las ideas sobre moléculas no deben ser anticipadas a los alumnos y la investigación debe ocuparse de modo directo con actividades de intervención en el aula e ir más allá del inventario de ideas previas que caracteriza varios estudios de finales de la década del noventa y primeros años del siglo XXI. También se evidencia en algunos de estos estudios compromiso más claro con algunas teorías para guiar el diseño de la investigación orientada en una metodología cualitativa-descriptiva.

Por ejemplo, Solomonidou y Stavidrou (2000) señalan que otras revisiones de investigaciones: Nakhleh (1992), Fenshan (1994), Garnett, Garnett & Hackling (1995), Krnell, Watson & Glažar (1998), centran la atención en la identificación de concepciones alternativas acerca de varios conceptos y fenómenos químicos y cómo pocos de estos estudios se han ocupado de la comprensión por parte de los alumnos del concepto sustancia química. Dan mayor importancia a este tema: Vogelezand (1987), Drivers, Squires, Rushworth and Wood-Robinson (1994), Krnel et al (1998), Stavidrou and Solomonidou (1998).

Estos trabajos indican que los estudiantes no comprenden el concepto de sustancia química de modo científico. Se interesan por superar el listado de ideas relativas al conocimiento antecedente e intervienen en el aula con el propósito de promover procesos de comprensión acerca del concepto sustancia química y de fenómenos químicos que implican tal concepto de modo central, como son los procesos de disolución y de reacción química.

Otros trabajos, Johnson (2000, 2002), Solomonidou y Stavidrou (2000), Cavalo (2003) avanzan con mayor decisión en concebir como concepto central, un concepto operacional de sustancia, la identidad de la sustancia, en cuanto caracterización de la sustancia por un conjunto de propiedades, lo cual es más acorde y próximo al conocimiento científico en Química. Establecen la diferencia entre sustancias, moléculas y átomos, perciben estas últimas en calidad de representaciones de las sustancias. Sus investigaciones conducen a plantear que el concepto sustancia química, debe preceder al de cambio químico y al de estructura atómica como condición necesaria para ayudar a los estudiantes a conectar entidades empíricas y entidades moleculares.

**Johnson (2000, 2002)**, con base los resultados de una serie de investigaciones sobre sustancia, cambio de fase y modelo corpuscular (Johnson 1998<sup>a</sup>, 1998<sup>b</sup>, 1998<sup>c</sup>) y dado que los estudiantes no tienen referentes concretos para identificar sustancias y cambio químico, para su comprensión y explicación, procede con un nuevo grupo. Realiza con 36 alumnos entre once (11) y catorce (14) años, durante un período de tres años (1990-1993), estudios orientados a dar mayor relevancia al concepto de identidad de la sustancia como clave para la habilidad de reconocer qué es el cambio químico. Centra la atención en la interacción de los alumnos con dos ideas centrales. Una primera, es la identificación de la identidad de la sustancia con base a las cualidades de temperatura de fusión y de ebullición, como una metodología operatoria que no sólo tiene la función de caracterizar la sustancia química, sino también posibilitar a los alumnos el reconocimiento de que algunas propiedades, en particular físicas, pueden cambiar sin modificar la sustancia química. Promueve la idea de que la identidad de la sustancia es independiente de cualquier muestra y de cualquier estado particular, la caracterización corresponde a un conjunto de propiedades que modifican aspectos externos de la sustancia. Una segunda idea, no operatoria sino teórica, está asociada a considerar la identidad como definida por el enlace entre átomos y la clase de estructura formada, para dar significado al cambio químico.

Para el primer caso diseña una metodología de módulos o unidades acerca del concepto de sustancia con propiedades fijas y reproducibles, en la perspectiva de los principios de organización secuencial, diferenciación progresiva y consolidación de la teoría de Ausubel et al. (1978). Para el segundo caso, diseña un modulo de introducción al modelo corpuscular y el enlace entre átomos. La principal fuente de la recolección de datos fue entrevista clínica periódica intercalada con las unidades de enseñanza, usando sustancias y fenómenos para estimular las preguntas a ser resueltas por los alumnos. Los siguientes numerales identifican las unidades consideradas:

Diferenciar entre material (sustancia o mezcla de sustancias) y el objeto cotidiano, y cómo las propiedades dependen del material.

Distinguir sustancia pura y mezcla de sustancias mediante las propiedades de temperatura de fusión ( $T_{fus}$ ) y de ebullición ( $T_{eb}$ ) Uso del modelo básico de partícula (no diferenciación de las partículas) para explicar los posibles estados.

Cambio químico como fenómeno usando la definición de identidad de la sustancia ( $T_{fus}$ ,  $T_{eb}$ ) para apreciar cómo una sustancia cambia a otra sustancia diferente, cada cual con su propia identidad.

Explicación de cambio químico: Introducir los conceptos de elemento y compuesto como dos clases de sustancias diferentes y dar cuenta de esto con la idea de átomos y de enlace entre átomos.

Este estudio concluye que el pensamiento de los alumnos progresa de la historia de la muestra, origen y procedimientos, a la adquisición del concepto 'identidad de la sustancia' a través de las tres primeras unidades. Son percibidos cambios dramáticos en el aprendizaje cuando interactúan con muestras no

familiares; perpetúan el pensamiento apoyado en la percepción visual y en la historia de la muestra cuando se relacionan con muestras familiares.

Respecto al concepto cambio químico, éste es pensado inicialmente como mezcla de sustancias y progresa en cuanto comprensión de 'identidad de la sustancia' y reconocimiento de elemento<sup>4</sup> y compuesto como dos clases de sustancias y la conexión con el modelo corpuscular de átomo y enlace entre átomos. "Fue después de la unidad cuatro cuando los estudiantes comenzaron a expresar el significado en términos de una sustancia que cambia a otra sustancia, a pesar de las dificultades para explicarlo" (**Ibid.**, 1050).

Anotan dos cuestiones importantes respecto a sustancias y modelo corpuscular. El concepto de sustancia es fundamental en Química y esta idea debe ser enseñada y no meramente enseñar propiedades como si los estudiantes comprendieran tal concepto. Sin el concepto de sustancia los alumnos no progresan a reconocer el significado de cambio químico. En los primeros cursos de Química, el concepto de sustancia debe ser el blanco de la enseñanza, no hay nada obvio acerca de las sustancias.

El modelo corpuscular debe ser introducido desde temprano para facilitar a los estudiantes la comprensión y explicación de los fenómenos químicos. El modelo de partícula básica facilita la comprensión de los tres estados de las sustancias, más no posibilita la comprensión del cambio químico y menos aún cuando a la partícula se asignan las propiedades de la sustancia. La mejor comprensión del cambio químico se alcanza cuando los alumnos se apropian de la idea de enlace entre átomos y de estructura de la molécula para lo cual ha tenido un rol central la distinción de elemento y compuesto en términos de moléculas.

Los resultados de Johnson con respecto a estudios anteriores avanzan en confirmar la idea según la cual los estudiantes deben comprender la dualidad del

---

<sup>4</sup> Para estos autores elemento tiene el significado de sustancia simple, por ejemplo Pb<sub>(s)</sub>, O<sub>2(g)</sub>; llaman la atención a diferenciar elemento como sustancia de átomo.

concepto sustancia para acceder al concepto de cambio químico. Además, contribuyen a aclarar la gran limitación para la comprensión del modelo corpuscular en términos de partículas indiferenciadas y su nula contribución a la comprensión del cambio químico. Esta situación requiere de la representación molecular como estructuras diferenciadas para lograr cambio conceptual en los alumnos. La representación estructural adquiere el estatus de altamente relevante para la enseñanza de la Química y el aprendizaje significativo de los alumnos.

Igualmente es importante destacar la diferencia de comportamientos de los alumnos cuando interactúan con muestras familiares y no familiares. Con las primeras se fortalece la experiencia cotidiana centrada en la percepción visual, mientras el segundo caso, obliga a utilizar los nuevos conceptos planteados en la enseñanza.

**Solomonidou y Stavridrou (2000)**, concluyen una idea similar a la anterior. Preocupadas por el progreso conceptual de los alumnos in situ y en calidad de observadoras, diseñan una secuencia guiada de Química experimental introductoria con duración de tres horas. Participan 168 alumnos distribuidos en seis (6) clases de veintiocho (28) participantes con edades entre trece (13) y catorce (14) años. Cada grupo dirigido por un profesor, está implicado en una nueva situación socio-cultural, que permite expresar la descripción y diferenciación de once (11) sustancias y dieciocho (18) interacciones entre ellas, mediante cuestionarios entregados de modo progresivo durante la secuencia. Forman cinco (5) grupos de mezclas y algunas de ellas generan cambios químicos; las mezclas son entregadas a todos los grupos. Los participantes ya habían iniciado el aprendizaje de la Química en la escuela y expuestos a una primera introducción y uso del modelo particulado de la estructura de la materia que acompaña el preámbulo al estudio de los fenómenos químicos.

Orientadas las autoras por la incidencia de las concepciones previas en el aprendizaje de nuevo conocimiento y como éste debe darse en una situación sociocultural nueva, diferente a aquellas de la vida cotidiana en cuanto experiencia

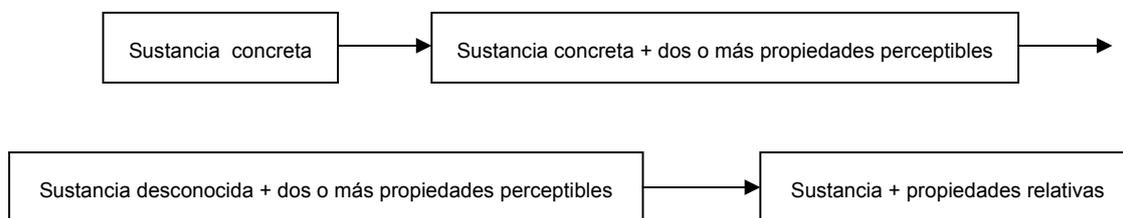
personal y social que provee las ideas antecedentes de los alumnos, propician la construcción de nuevas representaciones acerca de las sustancias y la superación parcial de las representaciones comunes que poseen.

La indagación se centra en el análisis de los textos producidos por los alumnos, al considerar que el cambio conceptual se expresa de modo especial en la forma como el lenguaje es utilizado para expresar los cambios en el pensamiento y manifestar la creación de nuevas categorías para referirse a las sustancias, sus propiedades e interacciones, grupos de categorías constituyen esquemas conceptuales. Las ideas de aprendizaje situado de Brown (1999), de Vygotsky [1964 (1932)] sobre lenguaje y formación de conceptos y de Wallon [1989 (1945)] sobre las características del pensamiento sincrético y su evolución como creación de nuevas categorías conceptuales guían la investigación.

Los resultados de este trabajo indican en primer lugar, que la actividad de descripción y diferenciación de sustancias familiares favoreció, en un 73%, la expresión de las ideas iniciales de los estudiantes, más no contribuyó a su desarrollo conceptual. Los alumnos movilizan su pensamiento inicial de la sustancia concreta e inerte designada con su nombre común, a describirla en un segundo momento por una o dos propiedades perceptibles: color, gránulos, forma, tamaño, olor.

De otra parte, con respecto a las sustancias no familiares, los sujetos proceden en la descripción y diferenciación con la asignación inmediata de propiedades perceptibles; eso es más acentuado cuando los sujetos describen, predicen y explican experimentos relacionados con mezclas de las sustancias y los cambios inesperados que proveen modificaciones externas manifiestas en las propiedades perceptibles. Este proceder, evidencia la generación de un nuevo esquema conceptual en términos de propiedades relativas, aunque los alumnos consideren que las sustancias permanecen inertes aún en los cambios de las propiedades, esto es, la mezcla concebida inerte. Son las situaciones nuevas, no cotidianas, las que permiten que emerjan nuevos esquemas conceptuales. La

actividad de diferenciación ayuda a un considerable número de estudiantes a movilizar sus esquemas conceptuales en la siguiente dirección:



Este desarrollo conceptual, es atribuido al compromiso activo de los participantes en una nueva situación mediante la interacción con sustancias desconocidas. Esto les permite concluir que el contexto de la vida cotidiana no favorece el progreso conceptual. Sustancias desconocidas y cambios inesperados, dirigen a los alumnos a poner en acción de modo simultáneo, varios conceptos y generar nuevos esquemas para dar respuesta a la diferenciación de sustancias y a la interacción entre ellas (Ibid.). Por ejemplo, la idea previa de reunión de sustancias como una mezcla inerte, una sustancia abajo y otra arriba o a un lado, es modificada por la idea de interacción en términos de las sustancias iniciales con propiedades a las sustancias con nuevas propiedades, en la medida que los alumnos interactúan con mezclas de sustancias desconocidas para las cuales sus predicciones iniciales fallan.

Las ideas relativas al modelo particulado de la estructura de la materia, no fueron planteadas por los alumnos en ningún momento, lo cual lleva a las investigadoras a concluir que la enseñanza del concepto sustancia química debería preceder al de estructura atómica. Es una condición necesaria para ayudar a los estudiantes operacionalmente a conectar las entidades del nivel empírico y las entidades del nivel atómico (sustancia y molécula, nueva sustancia y nueva molécula) (Ibid.).

Esta última noción reafirma la idea de Caamaño et al (1983), Wobbe and Verdonk (1987) y Johnson (2000), respecto a que la enseñanza de la Química debe dar mayor importancia a los conceptos de sustancia e identidad química y

propiedades de las sustancias. Incorpora la idea de interacción química como un concepto de mayor globalidad para asumir las transformaciones de las sustancias.

## **2.5 Representaciones mentales como lingüística química y de modelos analógicos de la estructura química**

Algunos resultados de investigación relativos a las representaciones de grupos de alumnos de onceavo grado, educación superior pregrado y postgrado, son localizados durante la década de los noventa del siglo XX y los primeros años del siglo XXI. Estos trabajos, sin exponer de modo claro referentes teóricos cognitivos acerca de las representaciones internas y externas, destacan la importancia de diversos sistemas representacionales utilizados por los estudiantes para resolver problemas en Química y la necesidad de que la enseñanza asuma de modo consciente proveer a los alumnos el aprendizaje de dichos sistemas en Química y en otras áreas como Matemáticas y Física. Estos estudios se caracterizan por el análisis de representaciones mentales de fenómenos presentados en aula de clase, para los cuales los alumnos tienen alguna trayectoria de familiaridad con ellos a través de la participación durante varios años en educación en Química.

La mayoría de estos estudios centran la atención en la representación de fórmulas estructurales y geometría molecular 2D y 3D como herramientas mentales para interpretar, explicar e inferir acerca de fenómenos químicos. Denotan cómo el corpúsculo pierde utilidad pedagógica y la representación estructural es la clave para la enseñanza y aprendizaje de la Química conectada a sustancias e interacciones.

**Bowen (1990)** en un curso de postgrado de síntesis orgánica, estudia los sistemas representacionales utilizados por treinta y cinco (35) alumnos voluntarios, cuando resuelven tareas de síntesis e indaga los procesos de solución de diez de ellos mediante entrevistas. Es de su interés, las representaciones que construyen y cómo las utilizan, centrado en la idea según la cual expertos y aprendices

resuelven problemas de modo diferente y hacen uso de representaciones diversas en la dinámica de solución de las síntesis.

Un análisis cualitativo-descriptivo, le permite concluir siete sistemas representacionales puestos en acción por los participantes, a saber: Verbal, pictográfico, metodológico, orientado por principios, apoyado en la literatura, guiado por el laboratorio y económico. Verbal y pictográfico son utilizados por el 100% de los sujetos; metodológico 53,8%; basados en principios termodinámicos, cinéticos y estereoquímicos 33,0%; guiados por la literatura 5,4%; apoyados en acciones de laboratorio 6,8% y económico 1,0%. Anota el investigador, que los alumnos utilizan la representación pictográfica 2D y evitan la 3D; no emplean un conjunto de modelos 3D que es permitido usar durante la entrevista. El modelo 2D les resulta más adecuado y cómodo. Concluye que la representación pictográfica permite la comunicación rápida de información estructural muy útil en la propuesta de mecanismos o de la trayectoria de la síntesis para predecir el producto.

Recomienda el autor, que la enseñanza de la síntesis debería basarse en estos siete sistemas e iniciar el proceso por el aprendizaje de la representación pictográfica y de los conceptos y relaciones entre estos implicados en ella; y después promover la enseñanza de los otros sistemas y las relaciones entre ellos, para que los alumnos construyan soluciones más poderosas que aquellas restringidas a uno o dos sistemas representacionales. El profesor debe ayudar al alumno, en primer lugar, a descubrir qué sistemas son más útiles en una situación y por otra parte, ayudar a aplicar conceptos y resolver problemas de síntesis usando tales sistemas.

**Ingham and Gilbert (1991)**, indagan mediante entrevistas de una hora, las respuestas de cuarenta y cinco sujetos voluntarios con pregrado en Química y experiencia investigadora a nivel de postgrado o como profesor de Química, respecto a identificar en primer lugar, el uso que hacen de modelos analógicos al plantearles un conjunto de esta clase de modelos, y en una segunda etapa, cuando relacionan los modelos con ecuaciones para proyectar mecanismos de

reacción en el caso de la hidrólisis de un alquil, y en particular, identificar las razones o argumentos para emplearlos. Los resultados están dirigidos a la identificación de concepciones previas de los sujetos acerca de varios modelos de la Química.

A partir del análisis cualitativo de las entrevistas, encuentran cuatro cuestiones centrales. En primer lugar, la mayoría de los entrevistados no tiene familiaridad con los códigos de colores para designar átomos. En un segundo término, identifican que el uso de los modelos para propósitos personales se inscribe en tres categorías: El modelo para pensar lo que no se ve es una idea mayoritaria; el modelo como un medio para comprender la teoría; y el modelo como un vínculo de los niveles macro y micro de la Química es una idea minoritaria.

Una tercera cuestión se relaciona con el uso de los modelos para los propósitos de otras personas, en cuanto que les son útiles para alcanzar la comprensión, para la comunicación entre los químicos y como un medio para implicar a otros en el estudio de los fenómenos químicos. Finalmente, el modelo como enlace para proyectar trayectorias de modificaciones químicas, permite concluir el no reconocimiento de las ecuaciones químicas y los mecanismos de reacción como modelos y asignar esta categoría sólo a los modelos analógicos en cuanto que estos poseen proyección 3D.

Concluyen los autores la existencia de una debilidad en la educación Química, relacionada con el uso de modelos de mayor complejidad al progresar los niveles educativos; recomiendan que la educación de pregrado debería ocuparse de modo principal del uso de los modelos analógicos como herramientas pedagógicas y situar el currículo en una atención sistemática a los modelos y la modelación en Química.

**Williamson and Abraham (1995)**, producto de sus investigaciones precedentes (ver pág. 24), reconocen que las experiencias en Química son importantes pero no suficientes para la comprensión de los conceptos químicos.

Atribuyen como causa principal de la dificultad de los alumnos para la comprensión de conceptos químicos, la carencia respecto a utilizar átomos y moléculas en sus explicaciones en términos de la teoría corpuscular. Modelo adoptado de modo estático y equivalente para cualquier situación.

En esta perspectiva asumen una incapacidad para construir modelos mentales completos que visualicen comportamiento corpuscular. En la idea de contribuir a superar esta inhabilidad, exploran el efecto de animaciones por computador (3D y dinámicas) relacionadas con la naturaleza particulada, sobre los modelos mentales de los alumnos acerca de fenómenos químicos.

En un estudio cuasi-experimental (48 alumnos participan de clase, laboratorio animación con computador y sesiones de discusión) con grupo control 1 (41 alumnos participan de clase y laboratorio animación con computador) y 2 (35 alumnos participan de clase), diseñan estrategias de intervención para proveer la habilidad de desarrollar secuencias de comportamiento atómico y molecular en dos y tres dimensiones, a fin de contrastarlos y diferenciar modelo de partículas estático y modelo dinámico. Los alumnos interactúan con imágenes en una secuencia de representaciones gráficas y sesiones de discusión de procesos moleculares alusivos a los tres estados de la materia, cambios de fase, disolución y reacción química. Habilidades de razonamiento son medidas mediante un test de pensamiento lógico, al final de cada sesión, el cual contiene tareas de medición y control de variables para razonamiento proporcional, combinatorio, probabilístico y correlacional, validado mediante entrevistas que implican tareas con dichos razonamientos.

Dos conclusiones se emiten de este estudio. Una primera se refiere al incremento en la comprensión conceptual inducida por la formación de modelos mentales dinámicos de los fenómenos, dadas las cualidades dinámicas de la animación. Una segunda conclusión hace referencia al hecho de que vistas estáticas como filminas o diagramas en el tablero, dan lugar a la formación de modelos mentales estáticos que fallan para proveer una comprensión adecuada

del fenómeno y persiste la imagen macroscópica del mismo. Estas conclusiones están apoyadas de modo importante en las diferencias de representaciones gráficas de los tres grupos de alumnos cuando dibujan lo ocurrido en la fusión de un sólido y cuando se dispone de dos frascos sellados, uno al vacío y otro con un líquido volátil.

Basados en la teoría de la codificación dual de Paivio (1986), imágenes y palabras activan códigos imaginísticos y verbales, asignando a las imágenes un rol superior, al ser el código verbal de éstas, un código de mayor disponibilidad que el código imaginista para palabras y ser codificadas de modo dual con mayor facilidad.

Sugieren para futuras investigaciones diseños de interacción de los alumnos con animaciones durante períodos de tiempo de mayor duración, con secuencias graduales de aumento de la complejidad y diversidad de los fenómenos y el desarrollo de actividades que permitan la transferencia del modelo particulado a situaciones no tratadas en la animación.

**Harrison y Treagust (1996, 2000)**, exploran los modelos mentales experimentados por alumnos de octavo a onceavo grado, cuando estos interactúan con modelos analógicos de átomos y moléculas durante el aprendizaje. El primer estudio explora modelos mentales de átomos y moléculas de estudiantes de octavo a décimo grado, después de un período de enseñanza. El segundo, estudia modelos mentales de átomos, moléculas y enlace químico en un proceso de aula de clase durante un año curricular. La primera investigación dio origen a una base de datos para una investigación más detallada en el grado once, tanto en la organización de la intervención en el aula como para el análisis cualitativo de los datos.

Harrison y Treagust (1996), realizaron un estudio descriptivo de los modelos mentales relativos a átomos y moléculas de 48 estudiantes de los grados octavo, noveno, y décimo, de tres escuelas australianas, quienes participaron voluntariamente y estaban familiarizados con modelos de átomos y moléculas en

al menos un curso de Química durante la enseñanza. Los autores utilizan el término modelo mental para describir sus interpretaciones de las concepciones individuales de los alumnos acerca de átomos y moléculas.

Los datos se lograron mediante dibujos y entrevistas semi-estructuradas de veinte minutos de duración. El análisis cualitativo permitió identificar dos categorías conceptuales relativas a los atributos de átomos y moléculas y las preferencias de los alumnos por diferentes modelos analógicos. La metodología de la entrevista semi-estructurada estuvo fundamentada en las respuestas de los alumnos a preguntas concretas del investigador sobre los constituyentes de sustancias simples metálicas. Cuando el estudiante no daba respuesta durante los primeros cinco minutos, se le daba una pista empleando la palabra "átomo" y se solicitaba al alumno que pensara sobre un modelo mental de átomo, lo dibujara y describiera éste. Como un alto número de estudiantes se expresaba en términos de una esfera, se hizo entrega de una bola de poliestireno y un pompón con núcleo duro de 5 cm. de diámetro cada uno. A continuación se les preguntaba cuál de estos modelos tenía similaridad con su diseño y descripción. Luego los alumnos recibieron una hoja en la cual se presentaban dibujos de átomos obtenidos de libros utilizados por los profesores y debían seleccionar el diagrama que se correspondía mejor con su modelo mental de átomo y cuáles no eran de su agrado. Si el alumno no expresaba atributos de los átomos, el entrevistador daba pistas y preguntaba acerca de capas electrónicas y de nubes, de los cuales debía seleccionar uno y dar las razones de su decisión. Culminado este proceso el diálogo cambió al referente molécula de agua.

A la luz de los últimos desarrollos de la teoría del cambio conceptual esta investigación sugiere que dada la metodología de la entrevista, surgieron *in situ* concepciones alternativas ya que los modelos de nubes y niveles fueron constructos de la entrevista y de forma similar debe ocurrir en el aula de clase con relación al discurso del profesor. Una objeción a éste trabajo es el hecho de que

los modelos de nubes y niveles fueron presentados a los alumnos y no construidos por iniciativa personal de ellos.

De otra parte, el estudio identificó que algunos de los problemas con respecto a los modelos analógicos en el aula están relacionados con la asimilación total o parcial que hacen los estudiantes de las explicaciones del profesor y con el hecho de que a los estudiantes se les deje libremente elaborar sus propias conclusiones acerca de modelos analógicos. Las respuestas inadecuadas acerca de los modelos analógicos por parte del profesor pueden echar para atrás la significatividad del término modelo. Esto tiene una incidencia negativa para el aprendizaje, ya que la enseñanza de la Química sin modelos analógicos se reduce a una mera descripción mecánica de las propiedades y cambios macroscópicos de las sustancias.

Una implicación de este estudio es que los profesores tomen el tiempo necesario para que los estudiantes desarrollen las habilidades de modelación y puedan avanzar a la interpretación de modelos más complejos, así como adelantar discusiones con los estudiantes y/o reflexiones metacognitivas acerca de las concepciones científicas de modelos, metáforas, y analogías. Escuchar a los estudiantes adquiere alta relevancia en la enseñanza de las ciencias si los profesores toman el tiempo para considerar cuidadosamente los modelos mentales que los estudiantes llevan a la instrucción o construyen durante la instrucción. También se recomienda que los currículos de ciencias incluyan instrucciones explícitas en la modelación científica y que analogías, metáforas y modelos analógicos se presenten de manera sistemática (Ibid.).

**Harrison and Treagust (2000)**, investigan los modelos mentales de modelos analógicos en una perspectiva de enseñanza, aunque no explícita, centrada en los principios de aprendizaje significativo según la teoría de Ausubel (1978): producción de material potencialmente significativo, organización secuencial, diferenciación progresiva, reconciliación integradora y transferencia.

Realizan un estudio de caso del alumno de mejor rendimiento y mayor participación en el aula de clase de Química de onceavo grado, dirigido a indagar los modelos mentales acerca de modelos analógicos en Química para átomo y las moléculas orgánicas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ . Es su interés, como progresan los modelos mentales del alumno de estáticos a dinámicos, detectados a través de dibujos y la expresión de sus interpretaciones mediante entrevista.

El alumno participó de treinta y seis sesiones de clases guiadas por la decisión pedagógica de enseñar analogías químicas y modelos de un modo sistemático, mediante la planificación de material adecuado para la enseñanza y el chequeo permanente de la familiaridad de los estudiantes con tales modelos, antes de proceder a mapear en una segunda instancia, los atributos del modelo compartidos y no compartidos por los estudiantes, y luego averiguar la aplicación del modelo por parte de éstos a una situación de temperatura de fusión y de ebullición. El conocimiento antecedente fue indagado por medio de cuestionarios tipo pre-test a fin de establecer las concepciones previas de los alumnos.

La preconcepción del alumno de un átomo con gran número de incongruencias, evolucionó de modo progresivo a varias versiones de partícula microscópica estática y más adelante a varias ideas de átomo dinámico y logra una aproximación según su nivel, de átomo como espacios orbitales difusos, que utilizó regularmente de modo consistente durante un período de tiempo. Durante este intervalo hizo uso simultáneo de varios modelos según la demanda de la tarea y expresó explicaciones aceptables de sus representaciones. Sin embargo, al finalizar el período académico, permanecía un modelo de átomo estático de estructura compacta con los electrones agrupados en niveles.

Respecto a las moléculas orgánicas, la descripción de sus características covalentes, la utilización de éstas para plantear explicaciones y hacer predicciones simples acerca de su estructura y algunos de sus comportamientos, el investigador hace uso de seis diferentes clases de modelos analógicos: bolas y

conectivas, llenado de espacio, puntos de electrones, nubes de electrones superpuestas, diagramas estructurales 2D y un modelo de bolas.

La construcción de modelos mentales múltiples por parte del alumno es considerada por los investigadores como exitosa, porque su concepción le permite resolver y explicar problemas con los cuales está familiarizado y establecer predicciones simples en algunos casos.

Los autores plantean cinco recomendaciones pedagógicas para la enseñanza centrada en modelos analógicos:

La enseñanza debe chequear el modelo utilizado por el alumno para un objeto, evento o concepto y planear según ello la actividad de aula para el progreso conceptual del alumno.

El mapeo análogo-referente de metáforas, analogías y modelos debe ser activamente negociado con los alumnos.

La naturaleza arbitraria de los modelos y su uso como herramientas de pensamiento debe ser planteada y discutida con los alumnos.

La legitimidad y el deseo de utilizar modelos múltiples debe ser introducido desde muy temprano. De igual modo las actividades de modelación para potenciar la creatividad al resolver problemas.

Los profesores de modo consciente deben permitir a los alumnos, la evolución de sus concepciones acerca de metáforas, analogías y modelos que son experimentados en el aula mediante acciones como escribir explicaciones cualitativas del significado del

modelo, resolver problemas basados en el modelo y permitir a los estudiantes jugar y explorar diferentes modelos.

**Ferk et al (2003)**, en otra vía diferente, realizan un estudio exploratorio relacionado con las habilidades espaciales de percepción, rotación, reflexión y combinación percepción-reflexión, percepción-rotación-reflexión, al interactuar ciento veinticuatro alumnos de diversos niveles educativos con una “prueba de visualización química” (creada por uno de los investigadores) relacionada con diferentes representaciones de estructura molecular. Es de interés las habilidades para comprender objetos 3D y diferenciar de la representación 2D, con el propósito de estimular la imaginación de una representación en diferentes perspectivas y para visualizar los efectos de las operaciones de simetría o manipulación mental del objeto.

En la perspectiva de un contexto de ciencia de la comunicación según Trumbo (1999, 2000), se investiga la lectura y escritura visual dentro de una red de pensamiento visual, aprendizaje visual y comunicación visual para una comunicación efectiva en ciencias y el reconocimiento del pensamiento visual (llámese imágenes) para conceptualizar soluciones a problemas.

Alumnos de tercer grado(13-14 años), octavo grado (17-18 años) y cuarto año de universidad (21-25 años), interactúan con un conjunto (adecuado para cada grupo) de fotografías, modelos concretos de esferas y conectivas y modelos de diversas representaciones moleculares 3D generados en el computador, a fin de evaluar la percepción correcta y la habilidad de manipular dichas imágenes mentales: percepción; percepción y rotación; percepción y reflexiones; percepción, rotación y reflexión; percepción y transferencia mental de información.

Varias conclusiones reportan los autores:

Representaciones concretas parecen ser más útiles a los estudiantes que las abstractas, son las más utilizadas para resolver tareas de diferente complejidad. Para

modelos más abstractos el porcentaje de estudiantes exitosos disminuye en un 25% aproximadamente. Lo anterior es muy notable en los alumnos de tercer grado y cada vez menor para secundaria y universidad respectivamente.

En los niveles inferiores enfatizar modelos concretos y cada vez en menor grado al progresar a niveles superiores.

La educación debe prestar mucha atención a cada una de las etapas realizadas en la investigación. Las operaciones de habilidad espacial deben ser estudiadas al tiempo y combinadas rápidamente.

Estudiantes de todos los niveles requieren mayor número de tareas prácticas para manipular estructuras 3D con una amplia diversidad de estructuras moleculares.

Permitir a los alumnos construir modelos 3D, manipularlos y operar las operaciones espaciales de simetría y la traslación 3D a 2D.

Vincular las habilidades anteriores con el contexto de las reacciones químicas e introducir los mecanismos de reacción en los niveles superiores.

No utilizar colores y tamaños estandarizados para evitar preconcepciones en los alumnos y enfatizar siempre que son modelos, representaciones que no corresponden a la realidad y están vinculados a ideas científicas apoyadas en datos empíricos y tratamientos matemáticos.

**Schmidt (1992, 2000)**, tiene estudios exploratorios considerados en la perspectiva de las representaciones mentales, con los que pretende estudiar la comprensión de un número amplio de alumnos acerca de conceptos involucrados

en el significado de algunas fórmulas químicas, sin tener referente en teorías de aprendizaje.

Schmidt (1992), realiza un estudio exploratorio descriptivo relacionado con las dificultades conceptuales de 7441 estudiantes alemanes de *high school* grados 11 a 13, indagadas por medio de un cuestionario de quince preguntas de elección múltiple, alusivas unas a seleccionar desde grupos de fórmulas estructurales, cuáles corresponden a isómeros de cadenas de carbono con enlace de carbono con hidrógeno y/o oxígeno, y otras, dada una fórmula molecular condensada, seleccionar los nombres químicos adecuados de los respectivos isómeros. Con el ánimo de averiguar por qué los alumnos expresan determinada solución, realiza entrevista a algunos grupos de estudiantes.

Concluye en este estudio, que los alumnos tienen un concepto limitado de isómeros y asocian el significado no a la diversidad de la representación estructural y de los grupos funcionales en una fórmula molecular condensada, sino a fórmulas estructurales que tengan un grupo funcional en común (para el caso alcohol OH) y sean cadenas de la misma forma.

Sugiere que los profesores deberían tratar con mucho cuidado la nomenclatura de isómeros, su definición y sus aplicaciones en diferentes formas, esto es, el profesor debe asumir el dinamismo de la representación estructural de una fórmula molecular condensada.

Schmidt (2000), al tener en cuenta las sugerencias de algunos estudios, Moréllis (1981), Wainwright (1989), los cuales insinúan respectivamente las dificultades de los alumnos para reconocer un radical ácido como una unidad estructural e interpretar la fórmula de una sustancia; leer en una fórmula química el significado de la relación de composición entre elementos, identificar un grupo funcional y asignar el nombre a un compuesto dada la fórmula, realiza un estudio relacionado con las dificultades de 10058 alumnos alemanes de *high school* grados 11 a 13, para comprender la fórmula de composición relativa, los nombres

químicos de fórmulas químicas de oxo-sales y en qué grado los alumnos clasifican oxo-sales como óxidos.

Realiza tres ciclos de cuestionarios de elección múltiple, los alumnos deben argumentar la elección de la solución. Uno primero, averigua qué nombre asignan los alumnos a un conjunto de fórmulas químicas; un segundo, indaga en qué grado los alumnos aceptan sus propios nombres en comparación con el nombre común y el nombre sistemático simplificado recomendado por la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), y el tercero investiga cómo los alumnos asignan una fórmula química según un conjunto de nombres químicos.

Halla como resultado que la gran mayoría de los alumnos plantean respuestas incorrectas, no identifican grupos funcionales en una fórmula o en un nombre químico y establecen una conectividad inadecuada entre elementos, confunden la función oxo con la función óxido, usan las reglas para fórmulas binarias como generalización para los casos de fórmulas ternarias y argumentan a favor de sus soluciones inadecuadas.

Sugiere a los profesores de Química preocuparse por una cultura de enseñanza que promueva el interés de los alumnos por el pensamiento y el progreso de la comprensión, en particular de las fórmulas químicas, las funciones químicas y los nombres químicos. Este autor percibe la necesidad por parte de los alumnos de significar fórmulas y nombres químicos y la enseñanza debe incidir de modo decisivo en formar esta comprensión sin abandonarla al azar.

## **2.6 A modo de síntesis de la revisión de la literatura**

En la perspectiva de esta revisión bibliográfica, cualquiera de las tres tendencias, busca una acción educativa que permita a los alumnos enlazar sustancias y modelo atómico-molecular, comprender sustancias y algunas de sus interacciones químicas y físicas, y comprender moléculas para interpretar, explicar e inferir acerca de aquellas. De este modo, la enseñanza para un aprendizaje en términos de progreso conceptual acerca de sustancias, sus interacciones y

modelos, es una constante preocupación. En la perspectiva de las representaciones mentales es importante la línea de énfasis en la significación de la fórmula química, su representación estructural y el respectivo nombre químico, lo cual es un indicativo de cómo la representación lingüística en Química no se aprende al azar y la enseñanza debe incluirla en su variedad de formas para la adquisición significativa de ella.

Inscritos estos estudios en una metodología cualitativa-descriptiva y comprometidos con el cambio conceptual, los más estructurados avanzan a situaciones interpretativas comprometidos con una teoría, aunque de modo parcial y no explicitada de modo claro, aprendizaje significativo, aprendizaje situado, modelos mentales y ciencia de la comunicación.

Fensham (1994), conceptúa que la teoría de partículas es difícil para que los alumnos aprendan y aconseja retrasarse su enseñanza. Argumenta al respecto, que los fenómenos cotidianos no necesitan explicaciones en términos de la teoría atómica y cinético molecular; las descripciones y explicaciones macroscópicas de fenómenos de las sustancias implican un continuo más que una discontinuidad.

Contrario a Fensham, Johnson (2000) juzga que las evidencias de sus investigaciones no soportan las consideraciones de aquél y la teoría corpuscular juega un rol central para el desarrollo de nuevas ideas de los jóvenes acerca de la comprensión del cambio químico y no debe ser un tópico separado donde el progreso de los sujetos no es significativo, como ya fue anotado según Pozo y otros autores (1992) en su aproximación sistemática, quienes además reclaman que la enseñanza de la Química debe dar mayor relevancia a los sistemas representacionales en Química, principalmente analógicos.

Johnson declara la necesidad, según la cual, previamente los alumnos deben haber adquirido la experiencia de reconocimiento macroscópico de las sustancias y el cambio químico. Para comprender éste se necesita, según Johnson (Ibid.), visualizar la sustancia como una entidad que puede cambiar entre los tres estados, transitar dentro y fuera de su existencia e identificada por sus

propiedades; mientras la teoría corpuscular debe dar sentido a las anteriores cualidades: explicar los cambios de estado, el tránsito de las sustancias mediante el enlace entre átomos, estructuras y tipos de enlace para explicar propiedades.

Estas ideas son coherentes con los resultados de Wobbe and Verdonk (1987), Stavridou and Solomonidou (1998), Solomonidou and Stavridou (2000), Johnson (2000). Estos estudios, además de indicar que la teoría atómica no debe preceder la enseñanza de la 'identidad de la sustancia', sino de ser introducida en el momento oportuno, de modo integrado a posibilitar la comprensión de los alumnos de los fenómenos químicos, también concluyen que la comprensión requiere del significado de los conceptos elemento, compuesto, mezcla, su diferenciación e integración. Entre los autores no hay un significado convergente para el concepto de elemento, es contradictorio entre ellos y no es coherente con el progreso del conocimiento científico.

Al respecto, la equivalencia de elemento con átomo o con sustancia simple, crea confusiones e indica el necesario debate epistemológico de la conceptualización en Química. Ya Paneth (1962, 155), anotaba una dualidad epistemológica del estatus del concepto "elemento químico" cuando este es tomado en el sentido "realístico-ingenuo" para dar significado a la "sustancia simple" y cuando es tomado como significado trascendental de "sustancia básica" para aquello que no es perceptible a los sentidos, requiere de la fenomenología de alta racionalidad y permanece invariante en todas las modificaciones químicas, salvo aquellas relacionadas con las modificaciones químicas nucleares, el núcleo atómico, una clase de núcleos, todos los cuales tienen el mismo número atómico (Z). Además, la equivalencia de elemento con átomo no es coherente con el progreso científico y corresponde a cuestiones del pasado fundamentadas en la teoría atómica de Dalton. También, en esta dirección, Bachelard diferencia los niveles de realismo ingenuo, racionalidad y superracionalidad en la Química. Este debate epistemológico, es necesario en aras de contribuir lo menos posible a instaurar concepciones inadecuadas y convoca a profesoras y profesores de

Química a un compromiso con la historia y la epistemología de la Química. Epistemología necesaria para conceptualizar la evolución de los conceptos elemento, sustancia, molécula y lenguaje químico.

Los investigadores mencionados en párrafos anteriores, conectados al modelo corpuscular, una vez hay evidencias del concepto identidad de la sustancia y cambio de la sustancia a nivel molar, centran la atención en átomos y el enlace entre átomos para introducir la idea de estructura molecular muy ligada al concepto de cambio de una sustancia a otra sustancia, con el fin de la aprehensión por parte del alumno de una clase de molécula para una clase de sustancia. Este proceso de adquisición de una primera aproximación a la representación corpuscular requiere de muchos tiempo, como lo demuestran las intervenciones de varios años de Wobbe and Verdonk, de Johnson y las investigaciones de Solomonidou and Stavridou.

Aunque no es explícito en estos estudios, la idea de átomo está concebida como partícula mecánica que enlaza de modo mecánico y no se hace ninguna alusión sobre fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales. No plantean la representación como sistema simbólico o semiótico de la Química, en términos de fórmulas moleculares y estructurales desarrolladas con el concepto de valencia química y la introducción de la conectividad entre elementos (o entre átomos) para plantear fórmulas estructurales.

Se refieren a sustancias en términos del nombre común y el nombre químico común para las sustancias desconocidas. Solo Wobbe and Verdonk (1987), sin mayor detalle, se refieren a que en un momento del estudio de la conservación de los elementos vía corpuscular, la fórmula molecular debe hacerse comprensible para algunos compuestos. La fórmula es planteada con respecto al número y tipo de átomos que constituyen una molécula. Sugieren que el agrupamiento de átomos en una molécula sea expresado como la fórmula HOH en lugar de H<sub>2</sub>O por ejemplo, dado que parece ser facilita la comprensión de que el enlace no es al azar.

Los estudios acerca de representaciones mentales de modelos analógicos, confirman que el aprendizaje de los modelos en Química es muy lento, debe iniciarse desde muy temprano y requiere de mucho tiempo, como es corroborado por los trabajos adelantados con alumnos de pregrado y postgrado en Química, en particular relacionados con los mecanismos de reacción para interpretar los cambios químicos en los procesos de síntesis. Presupone, además, un conocimiento acerca de los conceptos operacionales de las sustancias y de las interacciones entre estas, como antecedentes necesarios para la conexión con la estructura molecular y la comprensión de la diversidad de representaciones. También estas investigaciones centran la atención en la representación estructural como clave para la enseñanza y aprendizaje de la Química, e indican que el corpúsculo tiene poca utilidad pedagógica, como ha sido sugerido por Johnson (2000).

Una pensamiento final se relaciona con la idea explícita en las recomendaciones de todos los estudios, relacionada con un necesario viraje en la enseñanza de la Química, al insistir en la preparación de materiales según conocimiento previo de los alumnos, diferenciación de conceptos relaciones entre conceptos y largos períodos de tiempo para evidenciar el progreso conceptual de los alumnos. Esto denota una tendencia de organización de la enseñanza para un cambio conceptual en dirección a la validez de los principios de la teoría de aprendizaje significativo de D. Ausubel (1963), conocimiento previo, material potencialmente significativo, organización secuencial, diferenciación progresiva, reconciliación integradora y consolidación. Las características del material potencialmente significativo, significado lógico y psicológico, diferenciación, reconciliación y consolidación, son tenidas en cuenta de modo importante por Solomonidou and Stavridou (2000) Johnson (2000) y Harrison and Treagust (2000) para diseñar la intervención y ayudar a los alumnos en sus procesos para el aprendizaje de sustancias, sus propiedades y de modelación en el aula de clase. El Cuadro N° 1, representa una síntesis de la categorización según resultado de la revisión bibliográfica.

**Cuadro Nº 1: Síntesis revisión bibliográfica**

CATEGORÍA QUÍMICA	PRIMERA TENDENCIA 1980 – 2003	SEGUNDA TENDENCIA 1982 – 2003	TERCERA TENDENCIA 2000	CATEGORÍA DE INVESTIGACIÓN
MATERIA – MODELO CORPUSCULAR	Estudio ideas previas después de períodos de enseñanza aprendizaje			Concepciones alternativas
PROGRESOS MATERIA – MODELO CORPUSCULAR CAMBIO QUÍMICO		Estudio ideas previas después de períodos de enseñanza aprendizaje		No referente Cambio conceptual
IDENTIDAD DE LA SUSTANCIA – MODELO CORPUSCULAR CAMBIO QUÍMICO		Estudio ideas previas y progreso conceptual mediante intervención en el aula.		Cambio conceptual Aprendizaje significativo
REPRESENTACIONES MENTALES COMO LINGÜÍSTICA QUÍMICA Y DE MODELOS ANALÓGICOS DE LA ESTRUCTURA QUÍMICA CAMBIO QUÍMICO		Estudio lenguaje químico	Estudio representaciones mentales en términos de lenguaje químico y modelos analógicos, mediante intervención en el aula y después de períodos de enseñanza y aprendizaje	No referente Aprendizaje significativo Representaciones mentales Modelos mentales

## 2.7 Revisión bibliográfica y perspectiva de investigación

Mientras un estudio de modo bastante tímido aborda la necesaria comprensión de la fórmula molecular y el aprendizaje de la lógica de la conectividad para fórmulas estructurales y otro, percibe la necesaria comprensión significativa del simbolismo químico, la mayoría de estos estudios presenta una fuerte debilidad respecto a la enseñanza del lenguaje químico como símbolos simples y asociación de símbolos según unas reglas de la semiótica química. Parece ser se abandona al azar la enseñanza y el aprendizaje de las fórmulas químicas de composición relativa y absoluta y de las fórmulas estructurales; se desconoce la conexión de las sustancias y sus modificaciones con el simbolismo

químico y la transformación de éste en coherencia con los cambios de las sustancias.

La investigación se centra de modo muy importante en la conexión entre sustancias y sus modificaciones con el modelo corpuscular en términos de partículas, átomos y moléculas, y progresan de la tendencia del corpúsculo como objeto estático al corpúsculo como objeto conceptual dinámico y con estructura. Esta última concepción adolece también del tránsito de la enseñanza y el aprendizaje por el sistema simbólico de la Química como elemento inherente a las sustancias, a la representación estructural y molecular y al progreso conceptual de los alumnos. Aprendizaje del simbolismo, necesario para trascender del lenguaje natural, nombre común de las sustancias, al lenguaje químico y que encuentra serias dificultades como anota Yarroch (1985), así como la gran dificultad anotada por Benzi y otros (1982, 1987), para cambiar del pensamiento del nivel fenomenológico al nivel conceptual.

En el presente trabajo admitimos el reconocimiento de los aportes de la teoría de Aprendizaje Significativo de D. Ausubel (1980, 2002), para la organización de la enseñanza de la Química, la metodología cualitativa y el enfoque etnográfico, el importante hallazgo de la diferente incidencia sobre el progreso cognitivo al interactuar los alumnos con muestras de sustancias químicas familiares y no familiares, la poca utilidad pedagógica del corpúsculo para asumir el estudio de las sustancias y sus modificaciones y la importancia de significar fórmulas químicas de composición relativas, moleculares y estructurales y los respectivos nombres químicos. Esto es, nos alejamos de las concepciones de corpúsculo, discontinuidad, materia y estados de la materia y aceptamos la enseñanza y el aprendizaje de las sustancias y sus transformaciones en la perspectiva de las teorías de Aprendizaje Significativo de D. Ausubel (1980, 2002) y de los Campos Conceptuales de G. Vergnaud (1990, 1998)

Reconocemos la incesante preocupación por la conexión con la representación, así como el aprendizaje por los alumnos de grupos de sustancias

y de propiedades químicas y físicas que aportan a la construcción de la experiencia cognitiva y empírica que permita diferenciar con algún grado de significatividad los objetos y eventos fenomenológicos de los objetos y eventos conceptuales y representacionales, las sustancias y su identidad y las moléculas y su identidad, la conexión entre ellas y el necesario progreso de la percepción sensorial a la percepción conceptual.

Este estudio a diferencia de los reportados, involucra un grupo de alumnos de segundo nivel universitario de Química y está comprometido con las teorías de D. Ausubel y G. Vergnaud en una perspectiva epistemológica que reúne contribuciones de G. Bachelard, (1973, 1976, 1993) W. Jensen (1998), J. Schummer (1998) y C. Jacob (2001). Se pretende, en primer lugar, indagar las tendencias cognitivas en cuanto conocimiento previo para los conceptos sustancia, mezcla, molécula y fórmula química. En segundo término, estudiar las tendencias cognitivas y las etapas y ayudas cognitivas, cuando el grupo de alumnos interactúa con una colección de materiales.

Esta investigación analiza el conocimiento previo como tendencias cognitivas, y etapas y ayudas cognitivas en la búsqueda de las rupturas y filiaciones entre los invariantes operatorios construidos al interactuar con el medio y en la escuela, y los invariantes que constituyen conocimiento científico. Tendencias cognitivas y etapas y ayudas cognitivas son concebidas como concepciones desde la perspectiva de Barais y Vergnaud (1990) en cuanto tendencia que ayuda a describir los “conceptos significado” y los significantes puestos en acción por los alumnos cuando se aproximan a un campo de conocimiento. Tendencias cognitivas definidas como las respuestas sistemáticas de los alumnos que defieren de los contenidos de enseñanza y examinadas como invariantes operatorios implícitos o explícitos y los significantes manifiestos por los estudiantes en situación. Etapas y ayudas cognitivas, hace referencia a diseñar clases de situaciones que estimulen la activación de los invariantes operatorios y

significantes antecedentes integrantes de los esquemas de asimilación de los estudiantes, los inciten a actuar en situación y a propiciar su progreso conceptual.

## **CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 La Química es racional**

Bajo este título se incorpora de modo breve la concepción epistemológica de Bachelard al concebir la Química como ciencia racional y defender su estatus científico como materialismo racional, en contra de las burdas posiciones empiristas como forma de pensamiento de un gran número de químicos. También se incluyen las miradas de un grupo de químicos en defensa de la esencia del conocimiento químico, las sustancias sus transformaciones y sus sistemas representacionales.

#### **3.1.1 La sustancia normalizada**

En 1940, se publica en francés, la primera edición de la obra de G. Bachelard titulada "La Filosofía del No". Esta "Filosofía del No" tiene entre otros títulos, "El no sustancialismo. Los pródromos de una Química no lavoisieriana". En este capítulo, Bachelard significa las fases del progreso científico de la Química. Plantea su perfil epistemológico de la noción de sustancia, estructurado en tres regiones denominadas realismo o sustancialismo, racionalismo y superracionalismo.

Perfil epistemológico o pluralismo filosófico de los diversos significados de un concepto, lo asume el autor (1993) como un espíritu particular que examina a sí mismo un estadio particular de su cultura. Toda noción es una filosofía dispersa, un momento de la evolución de un pensamiento, la cual tiene sin embargo, una cohesión de la dialéctica de su progreso, realizado éste en el sentido de un racionalismo creciente que elimina con respecto a todas las nociones el realismo inicial. La eliminación implica diferentes problemas denominados obstáculos epistemológicos, que una determinada cultura debió superar y cuya huella se conserva en un perfil epistemológico. En la dialéctica, perfil epistemológico-obstáculo epistemológico, radica la esencia de la discontinuidad de la razón, la búsqueda de las variaciones del razonamiento. El progreso de un concepto implica

aspectos filosóficos variados, pluralismo filosófico no semejante para todos los conceptos.

El pluralismo del concepto sustancia, difiere del pluralismo filosófico, por ejemplo, para los conceptos masa y energía. Mientras Bachelard (Ibid.) clasifica tres regiones en el perfil epistemológico de sustancia, para los conceptos masa y energía plantea cinco niveles: Realismo ingenuo; empirismo claro y positivista; racionalismo clásico de la mecánica racional; racionalismo completo y racionalismo discursivo. Diferencia el grado de importancia para los perfiles 1, 2 y 5 y una semejanza entre los niveles 3 y 4. Los tres perfiles del concepto sustancia (ver Figura N° 1), se diferencian también en grado de importancia: Una muy amplia franja realista y el reconocimiento del nacimiento de las regiones racional y superracional en la cultura de su época. Estas dos últimas constituyen el espacio en el cual se encuentra dialectizada y normalizada la sustancia, donde se ordena el pluralismo de los diferentes estados de la sustancia como trayectorias dinámicas expuestas y discutidas en el espacio de la representación.

El perfil epistemológico del concepto sustancia, progresa de la descripción de las sustancias como entes estáticos de cualidades perceptibles de modo directo y concebidas sus transformaciones como trayectorias mecánicas, a concebir la categoría sustancia como dialectizada y normalizada.

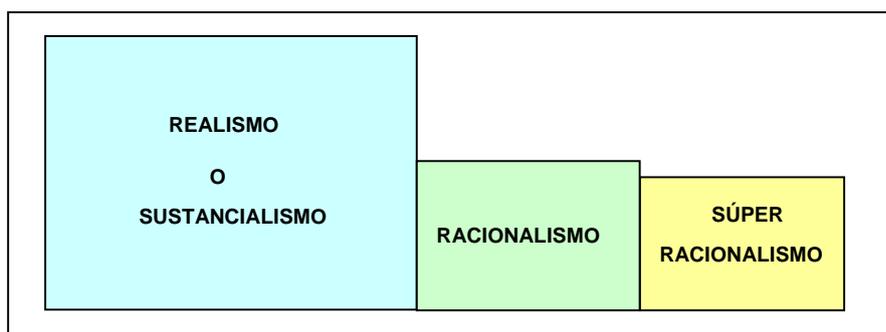


Figura N° 1: Perfil epistemológico del concepto sustancia

La ordenación del pluralismo disperso propio del realismo, una multitud de datos diseminados y una gran variedad de sustancias y estados disgregados, crea un pluralismo coherente para pensar la sustancia como una pluralidad de estados, como una familia de casos regida por reglas metodológicas en la pluralidad de la identidad en las operaciones de purificación y en las transformaciones químicas. Una concepción operatoria normalizada y dialectizada del concepto sustancia es establecida del lado de la complejidad ordenada. La Química es una ciencia de transformaciones y creaciones de sustancias.

Las sustancias son estudiadas en evolución, la designación de una sustancia pura requiere experiencias múltiples, la sustancia es pensada como el conjunto de reglas que presiden su purificación (Ibid.) y sus propiedades no son propiedades en si, son comportamientos sustanciales determinados en contexto y mediante operaciones diversas en el espacio y el tiempo. En los procesos de síntesis química también las sustancias son creadas mediante experiencias múltiples y diversas que finalizan con las operaciones de purificación. La sustancia se obtiene por una especie de inducción que agrupa múltiples síntesis. En el materialismo instruido las sustancias son hechos sociales no hechos naturales (Ibid.).

La designación de las especies químicas, implica no sólo un reordenamiento de las sustancias en una amplia variedad de sistemas de clasificación que constituyen un pluralismo coherente, sino también la relatividad de los conceptos de pureza y homogeneidad de la sustancia. Pureza y homogeneidad, como la diversidad de propiedades, no son cualidades en sí, no corresponden a hechos naturales, constituyen una conquista del dinamismo de la sustancia mediante una serie de operaciones artificiales en un ambiente específico.

Bachelard (1976) considera homogeneidad como una pausa temporal en el progreso de los conocimientos, el punto de partida de una dialéctica materialista. Plantea que un químico indaga primero la sustancia homogénea, luego cuestiona la homogeneidad en la idea de buscar la heterogeneidad en el seno de la misma, la cual está oculta ante la homogeneidad aparente. Resolver esta situación,

requiere de numerosas percepciones y experiencias, es desarrollar una trayectoria de operaciones químicas que conduce a las especies químicas homogéneas. Las técnicas químicas no son absolutas, son relativas y el progreso científico técnico las ha refinado, tienen historia y por tanto, la homogeneidad como el grado de pureza son reconsiderados en las diferentes épocas de la cultura humana. La realidad ofrece mezclas burdas y una gran diversidad de materiales confusos, punto de partida para el químico transgredir y evolucionar a las diversas sustancias homogéneas mediante la diversidad de las trayectorias químicas. Una sustancia está bien definida cuando es homogénea, la homogeneidad se obtiene de modo indirecto por operaciones siempre rectificadas.

Pureza y homogeneidad son una coherencia, alta pureza es homogeneidad de la sustancia, baja pureza es bajo grado de homogeneidad, una relatividad pureza-homogeneidad, es un hecho artificial de diferentes grados según el procedimiento de purificación. Para una determinada sustancia son posibles diferentes grados de pureza. Según Bachelard (Ibid.), la pureza conserva una relatividad esencial condicionada por el pasado de experiencias, donde a pesar de los esfuerzos, decididamente artificiales, nunca está segura de apuntar a la pureza absoluta. Una propiedad química puede revelarse de uno u otro modo según el grado de pureza, pero la sustancia homogénea, la sustancia sin accidentes como la nombra el autor, está provista de cualidades sin fluctuaciones, cumple la esencia para la cual fue producida y corresponde a lo absoluto de su fórmula molecular, a la relación invariante de composición elemental.

Cuando una sustancia es homogénea, cualquier cantidad en gramos manifiesta la sustancia, es el reconocimiento de la misma, identificada por un conjunto de propiedades en relaciones diversas de su interacción con energía y/o con otras sustancias. En el conocimiento químico, homogeneidad es un signo de identidad de la sustancia: 0.5 g de NaCl, 1,0 g NaCl o 10,0 g de NaCl expresan del mismo modo la identidad del cloruro de sodio Na/Cl:1/1. Cualquiera de estas muestras en situación, por ejemplo, de temperatura de fusión o ebullición a 1 atm

y 25 °C, permite una lectura similar para dichas cualidades; o cualquiera de las muestras fundida por electrolisis genera sodio metálico  $\text{Na}_n$  y dicloro gaseoso  $\text{Cl}_{2(g)}$ . La identidad se expresa como un conjunto de propiedades relativas a la sustancia homogénea que corresponde a la identidad de relación de composición elemental invariante  $\text{NaCl}$ . Identidad de la sustancia es una dualidad, homogeneidad y composición invariante a través de una serie de transformaciones y variable en otra serie de transformaciones químicas que implican un cambio en el conjunto de propiedades y de la composición.

### **3.1.2 Las sustancias normalizadas tienen múltiples sustitutos racionales**

En el plano de lo racional, progresa de modo simultáneo y en una dialéctica con los estudios de evolución de las sustancias, la representación en Química, las fórmulas químicas, en particular las fórmulas desarrolladas o fórmulas estructurales, como un intermediario que determina las relaciones entre el fenómeno químico pensado y el fenómeno químico real. La fórmula química desarrollada es una representación que sugiere experiencia, es un sustituto racional que da, por la experiencia, una contabilidad clara de posibilidades (Bachelard, 1993). La fórmula química es un ente racional en estrecha relación con el fenómeno, la cual traduce punto a punto en un lenguaje simbólico, las características que pueden expresarse en un lenguaje experimental: las transformaciones de las sustancias.

Paralelo a los conceptos sustancia, pureza y homogeneidad, Bachelard perfila el concepto sustancia simple, también como un resultado, y diferencia las sustancias como simples y compuestas, lo que el denomina materias simples y materias compuestas en unos casos y en otros cuerpos simples y compuestos, ambos son hechos sociales de una ciudad científica. Las simples metálicas como productos de la violenta transformación del mineral heterogéneo en metal homogéneo, une de modo muy fuerte los conceptos de homogeneidad y

simplicidad (Bachelard, 1976). Homogeneidad y simplicidad resultan ser nociones operatorias logradas desde la heterogeneidad y la complejidad.

La realización de trayectorias químicas de descomposición cada vez más complejas incrementó el número de sustancias simples metálicas y no metálicas a finales del siglo XVIII, durante el siglo XIX y comienzos del siglo XX. Se creó un límite a la descomposición. Las sustancias simples resultado de la descomposición crearon un espectro, ya sustancia homogénea, en otro momento formando una mezcla, y en otro tiempo combinada con otra sustancia. Dinamismo de la sustancia crece en su racionalidad y se dirige al encuentro de la sustancia elemental.

En una racionalidad cada vez más abstracta, centrada en la apertura de los marcos del racionalismo, en una línea cercana a los elementos químicos, la categoría de sustancia es ramificada y establecida en el nivel superracional. Una función matemática que implica una ampliación del plano metafórico, define al elemento químico en el estatus de núcleo atómico como la sustancia básica.

En un nivel de mayor complejidad fenomenológica, donde la pluralidad de las sustancias simples y compuestas es fracturada, más allá de los límites de la sustancia pura donde las operaciones y las transformaciones en términos de la pluralidad originan una nueva pluralidad, en la cual, la dialéctica de la cualidad química y física origina la apertura de la noción sustancia básica y la de sustancia simple se instaura en la región racional. Bajo la cualidad química, la cualidad física se manifiesta para crear la categoría de sustancia básica como equivalencia del concepto elemento químico significado con el núcleo atómico, mediante la relación lineal establecida por el físico inglés H. Moseley (1887-1915) con base en los datos empíricos ( $\lambda$  longitudes de onda emitidas en la región de Rayos-x) de los espectros atómicos de Rayos-X de los metales de transición del período cuatro de la tabla periódica.

$$\left(\nu\right)_k = \left(\frac{1}{\lambda}\right)_k = \frac{3}{4} R(Z - \sigma)^2 \quad \sqrt{\nu/R} \propto Z \quad R \text{ constante de Rydberg} \quad \sigma = 1$$

Esta relación significa que el número de onda  $[(\nu)_k]$  inverso de la longitud de onda] depende estrictamente como relación directa proporcional del número atómico o número de protones en el núcleo atómico, el cual es inferido para adoptar la magnitud 1, 2, 3,... Este fenómeno no está relacionado con electrones externos de los átomos o moléculas mononucleares, sino con aquellos más cercanos al núcleo atómico. El número atómico no es un dato inicial, es un resultado, un número inferido que da lugar a inferir otros números, el número másico A, total de protones y neutrones en el núcleo, y el número de electrones de un átomo neutro. La fenomenología de las sustancias se desdobra y se instaura una sistemática nuclear y electrónica como base de la sistemática química de Mendeléiev.

Esta nueva racionalidad dio lugar en una primera instancia a modificar la organización periódica de los elementos químicos de D. Mendeléiev (1834-1907), en términos de las variables masa atómica y valencia, por las variables número atómico y valencia, dando lugar a aclarar y resolver las anomalías planteadas por Mendeléiev en su construcción. Un segundo aporte ha sido el progreso de la conceptualización de la molécula en términos de interacciones entre núcleos y electrones; y en tercer lugar, generó el desarrollo de la nucleosíntesis artificial.

El racionalismo de la sistemática de Mendeléiev absorbe la nueva noción de sustancia elemental y se abre en dos direcciones: El descubrimiento de los isótopos y la síntesis nuclear. El elemento es multiplicidad coherente y los elementos son creados mediante síntesis nuclear. La asimilación del ordenamiento inicial de noventa y dos elementos (92), permite a la fenomenología superracional, la fabricación de un número ilimitado de isótopos de una clase de elemento mediante las operaciones de síntesis nuclear. El racionalismo en Química "...se establece sobre un conjunto numeroso y coherente, en un racionalismo de la multiplicidad coherente..." (Ibid., 134).

La estructura de la sistemática de Mendeléiev adquiere nuevos matices filosóficos. El cuadro de doble entrada sintetiza las relaciones de los diferentes

elementos con respecto al número atómico; el factor actuante es el número de protones en el núcleo atómico y cada valor tiene un representante químico. La valencia fundada como una cualidad química trasciende a la estructura electrónica del nivel externo de energía de un átomo.

El plano de lo superracional avanza después de haber encontrado núcleos y electrones como constituyentes de las moléculas para definir éstas como campos de fuerza estructurados como estados de energía cuantizados. Esta idea ha implicado concebir el mundo microscópico como conjuntos de individuales interactuantes, primero independientes y luego dependientes del tiempo descritos en términos de probabilidades. Una función electrónica matemática se extiende en algunos casos como una forma ondulatoria y en otros como una forma corpuscular para dar sentido a la raíz profunda de los fenómenos.

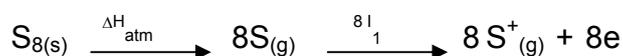
Es nuestro interés centrar la atención en la región de lo racional estructurada en torno a las nociones “dinamización de la sustancia química” y “sustituto racional” de las sustancias, las fórmulas químicas relativas, moleculares y desarrolladas o estructurales. Con una postura epistemológica, el materialismo racional, para argumentar la superación de la descripción sustancialista centrada en la cualidades de primer nivel, perceptibles de modo inmediato y el concepto “trayectoria mecánica” para referirse a las modificaciones químicas de las sustancias, Bachelard alude a una organización más general del conocimiento químico, la cual abarca teorías más generales que unifican dos cuestiones centrales: En primera instancia, una paridad entre los conceptos sustancia y energía; en segundo lugar, la noción de “trayectoria química” planteada por P. Renaud y retomada por Bachelard para trascender las trayectorias mecánicas individuales a familias de trayectorias químicas, con el fin de percibir de modo claro la evolución de una sustancia en una dada familia de operaciones químicas.

La naturaleza dialéctica de los conceptos sustancia-energía, supera el dominio de la idea en la Química lavoisieriana, según la cual, la sustancia es un ente supremo y la energía una cualidad transitoria de ésta, en términos de la

sustancia contiene energía y los cambios energéticos son expresados en términos de resultado final, para afirmar la naturaleza exotérmica o endotérmica de una reacción. Sustancia y energía dibujan un devenir, los intercambios energéticos determinan modificaciones de las sustancias y las modificaciones materiales condicionan intercambios energéticos. La energía es parte integral de la sustancia, ésta es inseparable de su energía. Bachelard (1993) piensa a la sustancia como un sistema multiresonante que puede absorber y emitir cierta clase de radiación y de este modo la transformación de la sustancia en diferentes especies químicas a lo largo de una trayectoria constituye un grupo de resonancias, un grupo de categorías para afrontar la complejidad del fenómeno químico. El caso 1 representa la situación de una trayectoria dinámica de modificaciones químicas; para la tercera opción se detallan los cambios de la representación molecular.



ó



ó



Red monoclinica de moléculas octanucleares

moléculas octanucleares corona de ocho puntas

moléculas mononucleares

moléculas mononucleares ionizadas

La fenomenología particular de la Química lavoisieriana es subsumida por una fenomenología más global, conectada a una racionalidad que guía a priori la sustancia química y sus comportamientos.

El estudio de las fases intermedias en las reacciones químicas y de los mecanismos de activación, permite superar la enumeración de hechos y el concebir la reacción química como un problema de entrada [reactivos (datos)] y salida [ productos (resultado)] para ocuparse de la actividad de las sustancias como una continuidad de mecanismos intermedios para percibir la dinámica

química de las sustancias, descrita ésta, como trayectorias normalizadas para percibir desde la racionalidad, el devenir de la sustancia integrada a los cambios energéticos. La modificación química es representada como una trayectoria que da lugar a visualizar estados sustanciales de la sustancia química, los cuales son concomitantes con cambios energéticos, sustancia y energía son algo así como las dos caras de una moneda.

Las sustancias y sus trayectorias químicas se desenvuelven en el plano operatorio de un modo normalizado, el cual es reproducible en función de un método de producción en un contexto específico. Paralela a esta normatividad y en una dialéctica de lo racional y lo real, progresa la representación en Química expresada en diversos sistemas simbólicos, las fórmulas químicas, las cuales actúan como un intermediario para establecer las relaciones entre el mundo de lo racional y el mundo de la fenomenología. El plano de la representación se proyecta integrado a la dinamización de la sustancia (ver Figura N° 2).

La representación se establece como un ente racional supremo sobre el mundo de lo real. Las sustancias y las familias de trayectorias químicas son pensadas y configuradas en un espacio metafórico. Las sustancias tienen un sustituto racional, las fórmulas químicas desarrolladas o estructurales (Ibid.)

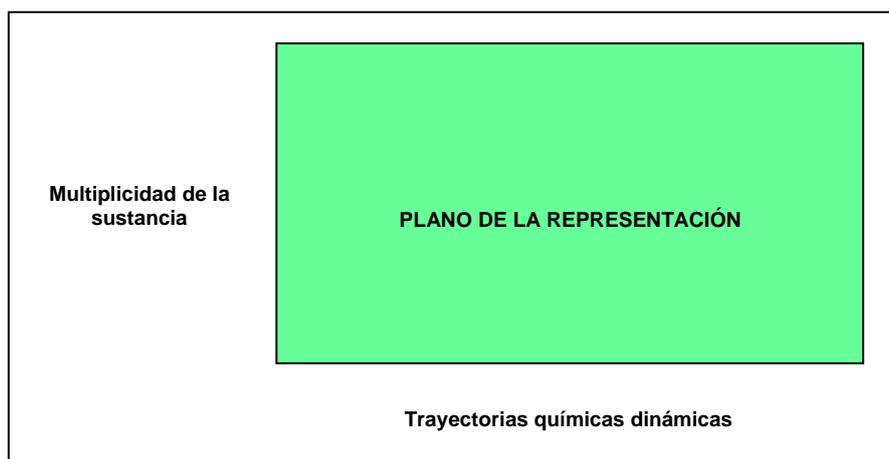


Figura N° 2: Representación en química

El tránsito de la sustancia a un sustituto racional progresa de las fórmulas químicas de composición, relativas y moleculares, a fórmulas desarrolladas como verdaderas organizaciones estructurales de naturaleza pictográfica que permiten razonar, inferir y predecir acerca de la fenomenología química. Las fórmulas químicas progresan con la experiencia química racionalizada y se constituyen en una normativa que anticipa posibilidad de desarrollo de las experiencias químicas y, a la vez, plantea las limitaciones para realizarlas en términos de los reagrupamientos y configuraciones de las funciones químicas.

Con palabras de Bachelard (Ibid.51) “Se razona sobre una sustancia química desde que se ha establecido su fórmula desarrollada...”, fórmula estructural conceptualizada como un “...noúmeno complejo” que “reúne muchas funciones”, es decir, la sustancia en su pluralidad de comportamientos es conocida por la razón y anticipada por la razón para guiar la acción química. Pluralidad de la representación se corresponde de un modo integral con la multiplicidad de la sustancia y sus trayectorias químicas dinámicas en los procesos operatorios de purificación y de síntesis química u otra clase de transformación, por ejemplo física.

En su obra “Epistemología” Bachelard (1973, 106) se refiere a las fórmulas químicas desarrolladas como “verdaderas misceláneas de teorías” que determinan una “miscelánea de símbolos”. Para cada símbolo químico en una representación 2D y/o 3D subyacen teorías, de tal modo, que la fórmula desarrollada es un modelo con un aspecto metafórico y un menor o mayor grado de significatividad dependiendo de la red conceptual del sujeto perceptor. El simbolismo químico ha progresado a la luz del desarrollo del pensamiento moderno racionalista y superracionalista. La fórmula estructural adquiere una función dual, por un lado crea un cuadro de información química de la sustancia en contexto y por otro, ofrece posibilidades para dilucidar la esencia del fenómeno químico y desarrollar la inferencia y la predicción. La Figura N° 3 muestra pluralidad de la molécula de

metano CH<sub>4</sub> (Tetrahidruro de carbono), la cual representa la sustancia en fase gaseosa.

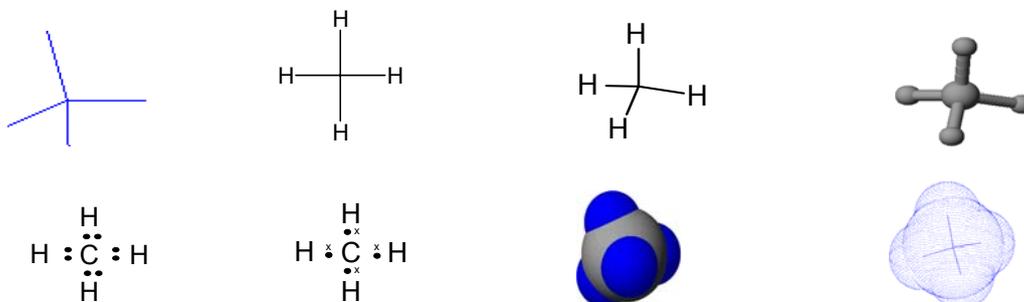


Figura N° 3: Representaciones de la molécula de metano

Un nómeno o fórmula estructural representada 2D y/o 3D, es un objeto conceptual que en primer nivel suministra información relacionada con el número y clase de elementos, la valencia de los elementos, las posibles organizaciones espaciales de los enlaces químicos en una dada combinación química y las posiciones de los grupos funcionales según la complejidad de la fórmula. Ésta sufre transformaciones sucesivas en contexto según la dinámica química de la sustancia. Adquiere además, integrada a la anterior información, múltiples significados de acuerdo a las teorías referenciadas para la interpretación del fenómeno químico y del enlace químico.

En la región racionalista de la representación, la noción de valencia química adquiere un significado dual relevante: De una parte, representación de la leyes de la composición química y de otra la reconstrucción incesante de las fórmulas desarrolladas, expresada en la multiplicidad de las expresiones utilizadas para traducir los hechos de las sustancias simples y compuestas. Una valencia es una especie de principio estructural que organiza una serie de situaciones.

Ya en el siglo XIX se había establecido el debate entre los partidarios de la valencia invariable (F. A. Kekulé 1829-1896) y los defensores de la valencia variable (Ch. A. Wurtz, 1817-1884, E. Frankland 1825-1899). Debate resuelto a la luz de la trayectoria de una reacción, mediante el estudio de los estados

intermedios (una pluralidad de estados), que permitieron comprender de modo más claro las reacciones químicas e implicó un nuevo concepto, el de estabilidad química. El carácter absoluto de la noción de valencia es transgredido y evoluciona a ser un concepto bastante artificial y de expresiones múltiples que ingresa a significados múltiples en relación de equivalencia con la estructura electrónica del nivel externo de energía de los átomos; toma los nombres de electrovalencia, covalencia y valencia de coordinación, valencia, clásica y valencia no clásica. Al trabajar estos conceptos no como absolutos, sino de modo mixto, Bachelard (1976) los considera verdaderas mezclas de teorías que trabajan en una zona media en una incesante dialéctica que determina mixtos de símbolos. La valencia es variable y utilizada con reservas. Según la aplicación, un concepto científico puede ser tomado en un sentido un poco más antiguo o un poco más moderno. El sujeto tiene una historicidad del concepto que le permite alternar utilizaciones elementales, menos elementales o más evolucionadas (Ibid.).

La teoría de las valencias químicas es encarada en la época actual desde el aspecto propiamente químico, o como correlaciones electrónicas bajo el fenómeno químico. Como el electrón en moléculas mononucleares y polinucleares obedece a los principios de la Mecánica Cuántica, esto remite a una doble comprensión desde dos puntos de vista diferentes, lo cual determina aceptar una discontinuidad entre teorías. En Química "...Las representaciones están sometidas a una crítica constante que no puede quedarse con la simplicidad primitiva de los símbolos.." (Ibid., 241).

Finalmente, Bachelard llama la atención a no absolutizar la fórmula desarrollada como forma geométrica, dado el grave riesgo de tener en cuenta sólo resultados y no la dinámica de construcción y reconstrucción de la estructura. Igualmente anota no maximizar el concepto de estructura, o tomar la estructura de las moléculas como resultado definitivo del conocimiento, dado que oculta la evolución de los diferentes matices de la representación de los hechos químicos. De este modo se prohibiría una noción de multiestructura íntima unida a una

sustancia bien caracterizada mediante sus propiedades definidas (Ibid.), multiestructura, racionalidad posible en términos de dinamismo de la sustancia, y por lo tanto, dinamismo de la representación.

### **3.1.3 Progreso de la representación y pluralidad de significados**

Los niveles de racionalidad y superracionalidad enunciados por Bachelard, son reconocidos como la forma de razonar en Química y presentados de un modo afín, por algunos químicos, preocupados por el estudio de la representación en Química y la necesidad de diferenciar niveles conceptuales de la misma, en particular para consideraciones pedagógicas.

Dagognet (1969) en su brillante obra “Cuadros y Lenguajes de la Química” reconoce cómo las dos caras de una moneda los aportes de la Química lavoisieriana, en particular la revolución química semántica y ordenadora y la decadencia de su teoría en la dinámica de la disputa en torno al desarrollo de la teoría lingüística en Química. Admite que en la ruptura que Lavoisier establece con las etiquetas del pasado que transmiten error y desorden, se instaure entre la sustancia y la idea la palabra nueva, una nomenclatura racional que da razón de la composición-combinación química, se establece los precursores de la teoría de la representación lingüística en Química y en el arte de producir nuevas y nuevas sustancias, se crea una sistemática de clasificación u ordenación de las sustancias, presentada en cuadros mediante información lingüística. Se desarrolla la tendencia de la concepción de la sustancia como una red de relaciones química, la sustancia pierde su individualidad.

En el momento de la limitación de Lavoisier para alentar el progreso de la teoría lingüística, al estar atado al asociacionismo sensorial de Condillac, sus alumnos Hassenfratz y Addet, crean los inicios de la teoría escritural y geométrica, la teoría de grafos o de fórmulas desarrolladas, la palabra no es suficiente para pintar la “cosa” y es preciso crear los grafos como una simbólica figurativa, para expresar la naturaleza, las proporciones, las relaciones y las disposiciones de los constituyentes que entran en las sustancias (Ibid.). Los químicos construyen

representaciones lingüísticas y cuadros o tablas para representar sistemáticas de datos químicos y físicos acerca de clases de sustancias y de relaciones entre estas. Lingüística y cuadros constituyen una profunda unidad, cuyo caso más representativo es la tabla periódica.

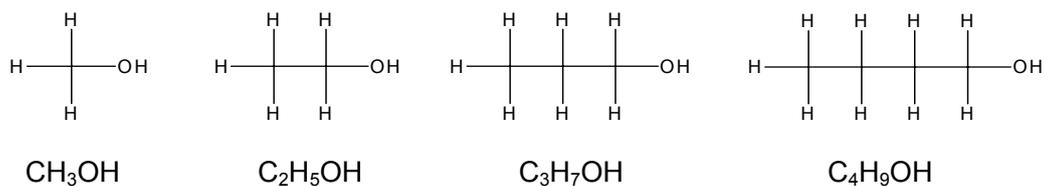
Jerarquías de sustancias, ordenación o clasificación de sustancias, nuevas representaciones lingüísticas: fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales, nombres que representan la composición, ecuaciones químicas y mecanismos de reacción constituyen cuadros y lenguajes de la Química, en un continuo progreso sintáctico y semántico, que en la época actual da lugar a conceptualizar la correspondencia voco-estructural de la representación, sus diferentes configuraciones, y el dinamismo de la sustancia; como expresa Dagognet (Ibid.20), "...el mundo sale del cuadro en lugar de entrar en él, lenguaje y cuadros alcanzan el nivel de clasificación heurística..". Más allá de las extracciones, separaciones y diversas mediciones, la Química se sumerge en la cultura, la filosofía y la reflexión, la inferencia y la deducción. Como afirma Bachelard (1976, 57), "...Un verdadero químico ve, precisamente, *transformaciones* allí donde nuestro pensamiento perezoso ve *extracciones*...".

El dinamismo y funcionalidad de la representación molecular es planteado por Hoffman y Lazlo (1991), en términos del grado ascendente de la complejidad molecular, modelos útiles para unas situaciones y para otras no; lo reconocen como una transformación simbólica de la realidad, de carácter gráfico y lingüístico, histórico, artístico y científico. Un primer nivel polifuncional, referido a la estructura molecular como grafos 2D y 3D, en términos de elementos y valencia como fue anotado en la página anterior. Un segundo, vinculado a la representación como geometría molecular, ángulos y longitudes de enlace son definidos para crear una unidad rígida, cuyos detalles son determinados de modo principal, a la luz de las técnicas de difracción de Rayos-X. Un tercer nivel, centrado en los métodos ab-initio de la Química Cuántica, núcleos (fijos) y electrones en movimiento interactuando, en la idea según la cual la raíz química está en los electrones,

densidades electrónicas de probabilidad y superficies de energía potencial constituyen otra clase de la representación molecular.

En una dirección similar, Schummer (1998), reconoce como núcleo químico de la Química a las sustancias y a las fórmulas estructurales, para diferenciar la estructura conceptual básica de la Química de otras estructuras conceptuales que actúan en los niveles físico-químico y químico-biológico. “Trabajando con sustancias y pensando con fórmulas estructurales” es la idea relevante planteada por este autor para referirse a las fórmulas estructurales o desarrolladas (grafos moleculares), como representaciones químicas apropiadas para realizar la actividad mental inferencial, acerca de las propiedades químicas de las sustancias.

En la dinámica de la definición operatoria de sustancia pura y de las modificaciones químicas, este químico diferencia dos niveles de la representación molecular, concebidos ambos como representaciones con un aspecto metafórico o pictográfico, a los cuales subyacen fuertes sistemas teóricos para interpretar, explicar y predecir sobre los comportamientos químicos de las sustancias en contexto. Un primero, concebido como semiótica química en cuanto fórmulas estructurales, en el cual se identifican elementos y grupos funcionales, y la conectividad entre estos, representaciones formalizadas en 2D y 3D. Esta clase representa sustancias en ciertas relaciones químicas, una con respecto a otras en una red química a la cual subyace un conjunto de reglas como redes de conocimiento químico acerca del grupo de sustancias. De este modo, las fórmulas estructurales son una primera aproximación molecular, dinámica y funcional, que representa de modo sistemático relaciones químicas en una red de clase de sustancias o de clases de sustancias. La Figura N° 4 representa algunas fórmulas estructurales para la clase alcoholes hidrocarburoados.



**Figura N° 4: Fórmulas estructurales de alcoholes hidrocarbonados**

El progreso de la representación molecular en términos de fórmulas estructurales ha crecido a la luz de la lógica de las identidades y diferencias de las partes estructurales de las fórmulas desarrolladas, como representaciones de la identidad y la diferencia química entre dos o más sustancias, apoyada en la topología química y la teoría de grupos. Ha creado conjuntos de reglas para comprender, interpretar y transformar fórmulas estructurales, lo cual ha producido un poderoso instrumento de sistematización y capacidad predictiva (Ibid.). En esta perspectiva la fórmula estructural es denominada grafo topológico y le subyace una teoría según la clase o clases de grupos funcionales en la organización estructural. De este modo, las fórmulas estructurales son la representación adecuada para realizar predicciones acerca de las propiedades químicas, es la manera como hasta el presente se han derivado de modo sistemático las transformaciones químicas con base al conjunto de reglas definidas en términos de la valencia para asignar grupos funcionales y diferenciar su funcionalidad. También, las fórmulas estructurales han tenido un rol muy importante en la orientación de la clasificación empírica de las sustancias y en la corrección y el refinamiento de los diferentes sistemas clasificatorios de naturaleza científica. Clasificar en Química es para este químico una poderosa herramienta conceptual de relaciones químicas, a la cual no se ha dado la importancia pedagógica para desarrollar procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química, a pesar de que la historia de la Química es particularmente rica en este campo científico.

El segundo nivel de la representación molecular anotado por Schummer, se refiere a la molécula identificada por una forma geométrica, denominada “grafos geométrico”, generada en la organización espacial de grupos de átomos enlazados [Más adecuado núcleos y electrones o núcleos y densidades

electrónicas], a la cual se asocia las características de longitud, energía, ángulo y polaridad del enlace así como de polaridad de la molécula. Esta representación es manipulada de modo diferente a la representación como grafo topológico. Mientras esta última es flexible y se manipula en la dinámica de las transformaciones químicas, la geométrica es precisa, aislada y no flexible, proviene de los datos empíricos obtenidos en el análisis de las sustancias químicas desde las diferentes metodologías espectroscópicas, incluyendo la difracción de rayos-x y/o neutrónica y el NMR, y del vínculo de estos datos a los cálculos de la Química Cuántica en la metodología ab-initio.

Desde la idea según la cual, una u otra entidad molecular simple o un conjunto de entidades moleculares no es una teoría, esto es, desde la mera representación pictográfica no es posible ejercer interpretaciones y derivar inferencias, a menos sea explicitada una referencia a una teoría, un signo, ya sea un grafo, un modelo de esferas tangentes, de esferas y conectivas o de conectivas, un conjunto de datos geométricos o una superficie de potencial, debe ser interpretado posicionado en la red conceptual de una teoría, con el fin de derivar información con relación a él (Ibid.). De este modo, el autor considera la existencia de diferentes clases de representación molecular a las cuales corresponden diversas clases de interpretación y de reglas para fines de la explicación y la inferencia de los fenómenos relacionados con las sustancias.

El autor conceptúa la representación geométrica como un resultado permitido por el conjunto de mediciones espectroscópicas que determinan las características geométricas y la conexión de la unidad estructural con los cálculos de la Química Cuántica. Esta clase de representación, es además, argumentada en el sistema conceptual de un conjunto de interacciones núcleos y electrones en la versión semiclásica de la Mecánica Cuántica, cuyas soluciones a la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo, proporcionan información acerca de los estados de energías electrónicas para interpretar e inferir acerca de las propiedades físicas, en particular, las electromagnéticas de las sustancias, los

llamados espectros atómicos y moleculares en los diversos rangos de frecuencias del espectro electromagnético, así como de las características de paramagnetismo y diamagnetismo de las moléculas.

De otro modo, Jensen (1998a, 1998b, 1998c) fundamentado en un estudio histórico y epistemológico de la Química con el propósito de argumentar una estructura lógica de la Química, plantea integrar tres dimensiones: composición y estructura, energía, y tiempo, como aspectos de los fenómenos químicos, y tres niveles conceptuales para el estudio de los fenómenos: Molar, molecular y eléctrico. Intenta dar una estructura lógica a la Química y propone dos postulados para establecer las complejas relaciones entre el dinamismo de las sustancias (Molar) y sus representaciones como fórmulas estructurales y geométricas (Molecular), y las representaciones como interacciones entre núcleos y electrones (Eléctrico):

$$\text{Propiedades molares específicas} = f(\text{Carácter molecular, concentración, temperatura})$$
$$\text{Carácter molecular} = f(\text{Composición y estructura nuclear y eléctrica})$$

El primer postulado se refiere a que toda diferencia medible en una propiedad específica en un contexto definido, debe ser comprendida en una diferencia en varios aspectos de la representación molecular en términos de composición y estructura. El segundo, conecta el carácter molecular de las sustancias como una función de la composición y estructura nuclear y eléctrica.

Al relacionar en un cuadro de doble entrada niveles conceptuales y dimensiones, plantea nueve categorías para clasificar conceptos y modelos de la Química caracterizados en tres niveles: molar, molecular y eléctrico (ver Cuadro N° 2), como un intento de dar forma al discurso de la Química desde sus bases fundamentales y considerarlo como un aspecto pedagógico relevante para la enseñanza de la Química. Su intención es dual. Por un lado clasificar modelos y conceptos de la Química para elevar su comprensión, sus interrelaciones y asunciones, por otro, ayudar a clarificar errores y ambigüedades en la presentación de los conceptos y modelos por parte de profesoras y profesores.

**Cuadro Nº 2: Niveles conceptuales y dimensiones de la Química (Jensen)**

DIMENSIÓN CATEGORÍA	COMPOSICIÓN/ESTRUCTURA	ENERGÍA	TIEMPO
<b>MOLAR</b>	Composición relativa sustancias simples y compuestas; mezclas y soluciones; designación empírica de alomorfos.	Entropía calorimétrica y calores de formación. Energía libre y constantes de equilibrio	Leyes de velocidad experimental. Parámetros de Arrhenius y/o entropías y calores de activación.
<b>MOLECULAR</b>	Fórmulas moleculares y estructurales. Racionalización de alomorfos como variación en composición absoluta (polímeros) o en estructura isómeros	Interpretación Molecular de la entropía, calores de formación y calores de atomización, energía promedio de enlace,... Mecánica molecular	Mecanismos de reacciones moleculares. Visión molecular de entropías de activación y complejo activado.
<b>ELÉCTRICO</b>	Fórmulas electrónicas (Lewis y configuración electrónica). Variaciones en la composición nuclear (Isótopos) y electrónica (Iones).	Cálculos de energía basados en estructura electrónica. Interpretación espectral. Cálculo de calores de atomización...	Mecanismos de reacción iónica y fotoquímica. Efecto isotópico. Cálculos de energías de activación. Índices de reactividad electrónica.

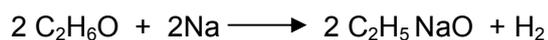
Sustancias y trayectorias dinámicas, multitud de símbolos y resonancias de teorías, moléculas como fórmulas estructurales, como geometrías definidas, como núcleos y electrones, constituyen una jerarquía de conocimiento químico de indudable valor para la enseñanza y el aprendizaje de la Química. Su valor pedagógico esencial radica en distinguir de modo cuidadoso y relacionar tres niveles del discurso químico: molar, molecular y eléctrico y estimular en los docentes su propia comprensión de la Química, la cual trasladaría de modo enriquecido al aula mediante la organización secuencial de la enseñanza y el desarrollo de actividades de consolidación para el aprendizaje significativo de la Química.

#### **3.1.4 Pensamiento topológico y dinamismo molecular**

Turro(1986), Klein (1992), Mihalić y Trinajstić (1992), Randić (1992), Eckroth (1993), Mitchell y Chambron (1995), aluden al pensamiento topológico para sustentar el concepto de flexibilidad de la estructura molecular, definir la diversidad de configuraciones de una fórmula estructural, reafirmar y potenciar los conceptos de isomorfismo y homomorfismo de la representación, contribuir al establecimiento

de sistemas de la nomenclatura química y a la toma de decisiones respecto a la estructura coherente con la información química. La idea de grafo molecular se impone como una representación de moléculas en geometría topológica.

Desde mediados del siglo XIX, cuando se instaura en la Química la teoría estructural, las moléculas se diferencian por la disposición de los elementos en un armazón de enlaces de acuerdo a la valencia, correspondiendo a cada organización un conjunto de características químicas. Por ejemplo: Para la fórmula química de composición  $C_2H_6O$ , al considerar las valencias de los elementos, es posible dos variantes estructurales (Ver Figura N° 5a, 5b). La investigación de las reacciones químicas indica que la estructura molecular corresponde a la citada en primer lugar.



La anterior ecuación química expresa la sustitución de un elemento hidrógeno, enlazado al oxígeno en el grupo funcional OH, por un elemento sodio, expresada en la fórmula estructural de la Figura N° 5c.

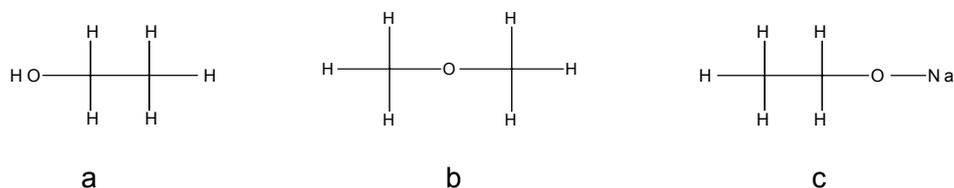


Figura N° 5: Variantes estructurales de  $C_2H_6O$

Turro (1986, 891), plantea la creación por parte de los químicos de un procedimiento general con una estructuración intelectual denominada pensamiento topológico. Éste, ha progresado al desarrollar métodos de mapeo de fórmulas estructurales, con el propósito de establecer una correspondencia entre un modelo, expresado de modo topológico, y un fenómeno u observación. Los químicos, en un compromiso profundo con las ideas topológicas, utilizan grafos para expresar la pluralidad funcional de la representación molecular y transforman grafos moleculares en figuras geométricas, mediante pactos con la fenomenología química y física. Este procedimiento intelectual, implica contradecir y derribar

ideas en la exploración de la identidad o correspondencia, evocar procesos de comprensión en la búsqueda de nuevos grafos y/o del isomorfismo y homomorfismo de la representación. Los fenómenos impregnados con propiedades químicas, admiten ser transformados a formas matemáticas y éstas a su vez, ser mapeadas a formas geométricas topológicas.

La topología química enfatiza metodologías de mapeo flexible de las fórmulas estructurales, como grafos topológicos, con la característica de ser dinámicos y recursivos, proveer una amplia red conceptual para el seguimiento de eventos químicos con importante éxito en la Química Orgánica y de Coordinación, y permitir la categorización y representación de un buen número de sistemas químicos con base en unas reglas mínimas y fácilmente manipulables fundamentadas en la valencia u orden de enlace.

Este autor considera el pensamiento topológico en Química, uno de los elementos importantes en el progreso del conocimiento científico, afirma ser un pensamiento cualitativo que al integrarse al pensamiento cuantitativo constituye conocimiento del objeto o fenómeno. Sugiere que el pensamiento topológico libera la intuición de las restricciones del espacio tridimensional y es capaz de proveer una intuición más general y de mayor riqueza para el examen de los fenómenos microscópicos (Ibid.).

### **3.1.5 La representación lingüística en Química**

Los autores mencionados en este capítulo al plantear la representación en Química, enfatizan la representación como fórmula desarrollada o estructural y no hay suficiente atención a la representación como fórmula de composición, en cuanto relativa y molecular, su relación con la valencia y como este concepto es un puente de progreso de la representación como relación de composición a la relación estructural que incluye la primera. Aunque la fórmula desarrollada y su dinamismo topológico es una cuestión esencial en Química, en el campo pedagógico es crucial una actitud didáctica progresiva de asumir el lenguaje químico como una secuencia de enseñanza y aprendizaje de este sistema

simbólico en la dinámica de la asimilación de conocimiento acerca de la sustancia, su dinámica de clasificación y de transformación.

Jacob (2001), aporta una interesante reflexión epistemológica acerca de cómo el simbolismo químico provee las representaciones lingüísticas para la investigación experimental y lo considera un aspecto filosófico de la Química de la época actual. Según Jacob, operaciones a nivel de lenguaje y operaciones prácticas con sustancias, por ejemplo, la síntesis, se influyen una a otra y de este modo permiten la movilización de los conceptos al manipular sustancias. Este autor configura el sentido y estructura de la representación lingüística en la idea filosófica e histórica ya anotada por Dagognet (1969), Hoffman y Lazlo (1991) y Schummer (1998).

De modo análogo, la consideración pedagógica consiste en que la semiótica química provee la representación lingüística para la comprensión de la sustancia y su dinámica, esto es, operaciones a nivel de lenguaje (por ejemplo, fórmula química, nombre químico, propiedad química y ecuación química) y operaciones prácticas de laboratorio (por ejemplo, metodologías de separación, una reacción o cualquier interacción entre sustancias) se influyen ambas y facilitan la manipulación de los conceptos al manejar sustancias o evocar situaciones, mediante enunciados, acerca de las sustancias. Resolver situaciones químicas es también un problema de resolver operaciones con lenguaje químico; por ejemplo, nombrar, describir y clasificar una sustancia, o dialogar acerca de sus modelos y teorías que gobiernan su comportamiento.

Operaciones con lenguaje químico es una cuestión inherente a un aula de clase de Química y la enseñanza debe implicarlo tanto y mucho más como realizar experiencias prácticas, para facilitar el ejercicio de la razón que dirija el dominio del conocimiento experimental.

Jacob (Ibid.) plantea cuatro niveles de lenguaje químico que exhiben diferentes cualidades lingüísticas y epistemológicas esenciales para la comunicación y el ejercicio del pensamiento químico. El primer nivel contiene

símbolos químicos para las sustancias y constituye un sistema semiótico con sus reglas sintácticas y semánticas para el uso operacional de los símbolos. Este lenguaje permea todos los niveles del lenguaje químico. Un segundo nivel, provee el vocabulario esencial para la comunicación en Química y capacita a los químicos para hablar acerca de las sustancias y sus propiedades en el sentido de una conceptualización molar o del conjunto de conceptos y relaciones operatorias, como es el caso de sustancia, método de separación, solubilidad, 99% de pureza y nitrato de cobre entre otros. Un número muy amplio de conceptos operatorios que constituyen una semántica de gran importancia para la definición adecuada y universalmente aceptada, la cual es una condición para la construcción de conceptos y teorías de mayor grado de abstracción.

El tercer nivel del lenguaje químico contiene una serie de términos para referirse a las sustancias de acuerdo con el mayor grado de abstracción en cuanto leyes, teorías y una amplia variedad de modelos moleculares. El cuarto nivel hace referencia a la discusión epistemológica acerca del origen del simbolismo y las teorías y sus bases empíricas.

De estos cuatro niveles, Jacob considera el primero como el corazón de la Química, y asigna gran relevancia a las fórmulas de composición relativas, moleculares, estructurales y ecuaciones químicas. Al respecto, su estructura se fundamenta en un alfabeto elemental no limitado, hay 118 símbolos para designar elementos; símbolos elementales se combinan para constituir fórmulas químicas de composición y estructurales; y fórmulas químicas y/o símbolos elementales se combinan para formar ecuaciones químicas. Símbolos elementales, fórmulas químicas y ecuaciones químicas siguen un conjunto de reglas formales que constituyen la sintaxis química, gobernada por reglas empíricas que encuentran su forma en una teoría química. Reglas empíricas como la valencia, la afinidad química y los mecanismos de reacción; teorías como la composición definida, coeficientes estequiométricos y los sistemas de clasificación química. La

semántica química del simbolismo provee la descripción de las relaciones existentes entre sustancias y sus representaciones lingüísticas.

Finalmente, en esta perspectiva, la representación lingüística en Química permite identificar, describir y clasificar sustancias, relacionar sustancias y representar sus transformaciones. Constituye una diversidad de significantes con la triple función de identificar, seleccionar y articular información química de una parte, y de otro lado, permite expresar conceptos y relaciones conceptuales y actuar en situación con éstos.

### **3.1.6 A modo de síntesis acerca de la racionalidad de la Química**

En resumen, la representación lingüística en Química que incluye el noúmeno de Bachelard, complejo y funcional, metafórico y racional en la forma de grafo molecular, se constituye en una clase de pensamiento abstracto y cualitativo para indagar la pluralidad funcional de la representación de un modo coherente con el dinamismo químico de la sustancia. La fórmula estructural se define de modo concreto en la transformación a la forma geométrica para responder a datos cuantitativos de alguna propiedad, en particular ópticos y espectroscópicos, progresa a la forma superracional cuando una determinada configuración con cualidades definidas es trascendida a la representación en términos de núcleos y electrones, donde un alto grado de abstracción introducido por la Mecánica Cuántica, amplía los marcos del superracionalismo de las sustancias y una nueva conceptualización en términos de funciones de ondas electrónicas profundiza la búsqueda de las raíces de las cualidades químicas y físicas. Como diría Bachelard, la dialéctica de la unidad de la sustancia estudiada bajo la cualidad química y física, lo químico estudiado bajo la cualidad física y lo físico estudiado bajo la cualidad química.

Dinamismo de la sustancia y pluralidad funcional de la representación (Alzate, Caballero, Moreira)<sup>5</sup> constituyen una perspectiva epistemológica para la enseñanza y el aprendizaje de la Química, diferente a aquella encontrada en la revisión bibliográfica que olvida la fórmula química de composición relativa y molecular, o aquella centrada en enlazar sustancias y corpúsculos, o aquella que aplaza un poco la estructura del corpúsculo y de modo temeroso la introduce cuando se trata del cambio químico. O aquella otra que abandona el alumno de grado universitario a sus propias construcciones en la idea según la cual, por su propia cuenta, asimila el pluralismo tanto de las sustancias y sus comportamientos como de la representación.

Esta perspectiva orienta a adoptar la representación como fórmulas de composición relativa y molecular y la estructural, en función de la dinámica de las sustancias y sus sistemas de clasificación, desde muy temprano en la educación química, tan temprano como el alumno empieza a familiarizarse con las sustancias y sus interacciones, con el fin de ayudar a los alumnos a un aprendizaje significativo mediante la construcción y reconstrucción de esquemas de asimilación, sin abordar la idea mecanicista de corpúsculo, la cual constituye un obstáculo mental, como conceptúa en sus investigaciones Johnson (2000), para abordar en alguna medida la posibilidad del progreso conceptual como dinamismo y discontinuidad del conocimiento en una profunda ligazón con la adopción consciente de la representación lingüística en el desarrollo a través de la negociación con situaciones y con otras personas, profesor y alumnos. Rupturas y filiaciones en el proceso de formación de nuevos esquemas de asimilación, es discontinuidad de la razón y progreso conceptual del alumno, es el largo proceso del aprendizaje significativo.

---

<sup>5</sup> Alzate, M. V., Caballero C., Moreira, M. A. (2006), Multiplicidad Funcional de la Representación Molecular: Implicaciones en la Enseñanza y Aprendizaje de la Química, *Revista Electrónica de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*, año 1, Número 2, 1-26, <http://www.exa.unicen.edu.ar/reiecl/>.

### 3.2 Bachelard y la enseñanza de la Química

A lo largo de su vida, Bachelard elaboró una epistemología fundada en la reflexión profunda acerca de los progresos de la Química y la Física y de los obstáculos epistemológicos a la construcción de la cultura científica. Los hábitos intelectuales inmersos en el conocimiento de modo constante no cuestionado, bloquean el proceso de construcción de nuevo conocimiento y constituyen un obstáculo epistemológico. En esta construcción, ejerció siempre una polémica constante con las teorías filosóficas del conocimiento, principalmente en defensa del materialismo racional y del racionalismo materialista, contra las concepciones ingenuas y empiristas que obstaculizan el progreso del conocimiento científico.

En sus constantes anotaciones a los obstáculos epistemológicos, también hace referencia al obstáculo pedagógico, para referirse al hecho tan rechazado por él, en cuanto que los profesores de ciencias "...no comprendan que no se comprenda..." (Bachelard, 1979, 20).

Otro término que utiliza es el de "nociones-obstáculo" para referirse a las "...nociones que frenan la cultura y contra las que hay que prevenirse." (Bachelard, 1973, 72). Nociones-obstáculo serían aquellas ideas simplistas y reduccionistas fuertemente arraigadas en los sujetos, que obstaculizan la construcción de conceptos científicos, que en otro momento el autor alude como un conjunto de imágenes burdas e ingenuas que son presentadas como una idea simple en el conocimiento común y las cuales considera una monstruosidad epistemológica que ahoga las discusiones filosóficas y confunde todos los aspectos bajo una calificación (Ibid.), como por ejemplo, el término sustancia concebido de modo ingenuo para designar cualquier objeto dado de modo natural o artificial, o el concepto corpúsculo concebido como un cuerpo pequeño. El concepto sustancia no es una noción simple, es compleja y sintetiza el dinamismo de la sustancia en las operaciones químicas.

El término "nociones-obstáculo" es considerado pertinente para referirse a la cultura inicial de aula de clase de ciencias, en particular de Química, al dar cuenta

de los obstáculos acumulados en la vida cotidiana y aún, de obstáculos creados durante el proceso educativo, los cuales es necesario derribar.

Para Bachelard el trabajo educativo consiste esencialmente de una relación dialógica, donde además del intercambio de ideas, lo principal es la deconstrucción, reconstrucción y construcción de ideas. Es el ejercicio permanente del pensamiento para la elaboración de un discurso entre profesor-alumno; no se aprende por el acumulo de información, la información se transforma en conocimiento en la medida que transforma o modifica el espíritu del aprendiz. El aprendizaje científico de la Química requiere un cambio en la cultura y en la racionalidad cotidiana. La pedagogía de la razón debe “aprovechar todas las ocasiones de razonar. Debe buscar la variedad de los razonamientos, o más bien las variaciones de los razonamientos...” (Bachelard, 1993, 119).

Bachelard, como defensor de la discontinuidad de la razón, se opone a establecer una continuidad entre conocimiento común y conocimiento científico. La racionalidad del conocimiento científico no es una continuidad de la racionalidad del conocimiento común, por el contrario, es una ruptura con los principios y métodos del conocimiento cotidiano. El aprendizaje de conocimiento científico exige una nueva razón que se construye en la medida que son superadas las nociones-obstáculo. La enseñanza elemental no debe dar de por vida una noción científica que no se aplica, una noción que es un fósil de la memoria, dado que conduce a desconocer la dialéctica viva del racionalismo (Bachelard, 1976). Es necesario que una noción se aplique de un modo diferente a las aplicaciones anteriores. Por ejemplo, los diferentes aspectos de la noción de sustancia y valencia química deben progresar en su diferenciación y complejidad lejos del estado inicial del realismo ingenuo de sustancia y de la valencia invariante.

El aprendizaje científico debe darse contra el conocimiento anterior, estático e ingenuo y desconocedor de que los conceptos progresan en diferenciación y complejidad. El alumno sólo aprende si hay razones fundadas que lo obliguen a cambiar su racionalidad, abandonando un saber acabado y estático y adquiriendo

un conocimiento abierto y dinámico. De ahí, que el profesor debe comprometerse con una acción intelectual por el encuentro y movilización permanente de la cultura y visualizar los dogmatismos y las nociones-obstáculo para el aprendizaje, a fin de planear la enseñanza para la superación de éstos y el establecimiento de la dinámica del racionalismo.

Se refiere (Bachelard, 1979, 21) a "...que toda cultura científica deba comenzar... por una catarsis intelectual y afectiva..." y "no se trata... de *adquirir* una cultura experimental, sino de cambiar una cultura experimental,...". Dadas las consideraciones respecto al fuerte dominio del sustancialismo en la enseñanza de la Química, no es tarea fácil poner en acción la desmovilización del saber cerrado y estático y promover un conocimiento abierto y dinámico.

Ingresar al conocimiento abierto y dinámico, exige la ayuda del profesor para superar las nociones- obstáculo que vienen del conocimiento común. Es necesario adquirir la conciencia de la rectificación, del eterno recomenzar para una nueva desilusión. Como las nociones-obstáculo están siempre presentes, son intrínsecas al aprendizaje de conceptos y teorías científicas, entonces siempre es necesario exigir el constante trabajo de superarlas.

En esta dirección, plantea una fuerte crítica a la enseñanza de la Química centrada en la enseñanza de hechos y datos aislados que dan gran importancia a la apariencia, implica la memorización y desprecia los procesos de formación de conceptos. Se refiere a la pedagogía de la Química transmitida como un conjunto de normas y clasificaciones sin sentido, en lugar de enseñar grandiosamente a pensar, en un pensar cada vez mejor.

Considera Bachelard, que tal vez en Química más que en ninguna otra ciencia, es necesario primero desaprender muchas cuestiones de conocimiento común. Es necesario superar los experimentos vistosos, los fenómenos mal percibidos, la experiencia mal hecha, el ver para comprender. La Química no es una ciencia para presentar a los sentidos, principalmente a los ojos y las manos, más no a la mente. La Química es racional y por lo tanto se relaciona con las

sustancias por medio de la razón. Debe evitarse la relación empírica de la simple acumulación de datos. El sujeto debe alejarse del objeto para estudiarlo y proceder a extraer lo abstracto de lo concreto. Sólo el esfuerzo por el conocimiento abstracto puede conducir a dominar el conocimiento experimental. Sugiere Bachelard (1976), la necesidad de proponer sin cesar un material teórico para contribuir a crear el compromiso de una teoría que comprometa y piense la experiencia en la búsqueda del abandono del materialismo ingenuo para abordar el materialismo instruido.

Finalmente Bachelard se refiere a la enseñanza de la Química, en cuanto a la utilización de metáforas animistas tan atractivas al espíritu juvenil, con el fin de hacer la ciencia fácil y más realista a los alumnos. La ciencia no es simple y no puede ser simplificada a cualquier costo hasta negarla, no puede darse como elemental un problema que no lo es. Las primeras lecciones tienen derecho a ser incompletas y esquemáticas más no a ser falsas (Ibid.). El profesor debe comunicar sin imposiciones dogmáticas la dinámica del racionalismo. La enseñanza racionalista debe permitir siempre la razón polémica, siempre en constante rectificación, siempre reelaborando el conocimiento. “Las grandes teorías científicas, especialmente las grandes teorías de la estructura química, están bordeadas de un campo de rectificaciones. Comprendiendo la importancia de las rectificaciones teóricas, se está muy lejos de los asombros empíricos” (Ibid., 218-219).

En las ideas bachelardianas subyace el no fácil camino pedagógico de transitar del realismo ingenuo a la racionalidad de la Química, mediante la posición de entrada de una experiencia en ambiente racionalista, el uso en el tiempo de experiencias dosificadas y presentar de modo permanente material teórico, para posibilitar el compromiso con el pensamiento y luchar contra el poder de las primeras imágenes y contra el poder de las nociones obstáculo.

Desde su formación filosófica, su mirada epistemológica de la Química y su actuar como profesor de Química, Bachelard se sitúa muy temprano en la idea de

una enseñanza de la Química para un aprendizaje significativo y en algunos principios que posteriormente Ausubel (1980, 2002) los plantearía como una sistemática en su teoría de aprendizaje significativo: Adquisición significativa de conocimiento, qué sabe el alumno, enseñar de acuerdo con ello y material potencialmente significativo.

### **3.3 Aprendizaje significativo D. Ausubel**

Ausubel (1980, 2002), Moreira (2000<sup>a</sup>) plantean en la teoría de aprendizaje significativo (AS) para la adquisición y retención a largo plazo de grandes cuerpos de conocimiento en situación de aula o en contextos similares, dos factores centrales a saber: Interacción sustancial, no literal y no arbitraria de un material potencialmente significativo, con ideas pertinentes que actúan como anclaje en la estructura de conocimiento del sujeto que aprende, y la actitud mental del aprendiz para la adquisición y retención significativa de nueva información de modo claro, estable y organizado. Ideas ancla y nueva información son modificadas en el proceso de asimilación creándose un producto ideacional nuevo, los nuevos significados. Éstos, adquiridos de modo claro, estable y organizados jerárquicamente constituyen a su vez, la variable más importante que influye en el AS de nuevo contenido del área de estudio, en la resolución de problemas y de nuevas clases de tareas de mayor grado de complejidad.

El conocimiento previo tiene un rol decisivo en el dominio progresivo de un campo de conocimiento, se modifica de modo sucesivo a lo largo del proceso educativo y de la vida, su característica esencial es la de ser dinámico. Dinamismo cognitivo significa que el alumno debe realizar operaciones mentales que suponen decidir qué conceptos o proposiciones ya existentes subsumen las ideas del material de instrucción; algún grado de reconciliación con el conocimiento existente, de modo principal si hay diferencias importantes; debe traducir al marco de referencia personal, las nuevas proposiciones en relación con el vocabulario y la organización de las ideas; y debe ejercer algún grado de reorganización o

reformulación de las ideas para hacer factible la reconciliación en función de su vocabulario y formación intelectual (Ausubel, 2002).

El impacto de la transferencia de la experiencia previa de aprendizaje en el nuevo aprendizaje, es caracterizado por el grado de organización de los conceptos relevantes y pertinentes de un determinado cuerpo de conocimientos que el alumno tiene de la materia de estudio y es enlazable con la nueva tarea de aprendizaje.

Según Ausubel, las cualidades del conocimiento antecedente o experiencia previa en el momento del aprendizaje, es de modo aislado, la consideración principal que influye en el proceso psicológico del AS. Las propiedades de la estructura cognitiva ya existente que tiene un individuo en un campo específico de conocimiento en un momento concreto: disponibilidad, proximidad de pertinencia, claridad, estabilidad, generalidad, inclusividad, cohesividad, discriminabilidad y jerarquía de organización, son variables importantes que determinan la naturaleza del proceso interactivo, la claridad y la permanencia en el tiempo de los nuevos significados adquiridos.

Disponibilidad de ideas subsumidoras relevantes y pertinentes en la estructura cognitiva con un grado adecuado de generalidad, se refiere a la posesión de conceptos y relaciones conceptuales que proporcionan un anclaje óptimo, esto es, los conceptos ancla deben estar en un nivel algo más elevado de generalidad con respecto a la conceptualización y su grado de abstracción implicada en la nueva tarea de aprendizaje. Tal nivel de generalidad también está relacionado con el grado de diferenciación tanto a nivel de contenido y de las experiencias de la materia de estudio, como en la estructura cognitiva del estudiante. De este modo, considera Ausubel (Ibid.) que cuanto menos familiar sea la tarea de aprendizaje, las ideas subsumidoras deberán ser más inclusivas o generales para tener la propiedad de estar próximas a la conceptualización de la nueva situación; en caso contrario, de no haber subsumidores adecuados,

pertinentes y próximos, el estudiante tiende a utilizar los más pertinentes y próximos que estén disponibles.

Si grupos de ideas y relaciones conceptuales de la estructura cognitiva son claros y organizados de modo adecuado, los nuevos significados, producto del aprendizaje, serán claros y diferenciados. Por el contrario, si la estructura cognitiva es inestable, ambigua y desorganizada, tiende a dar como resultado un anclaje débil y/o no su diferenciación de las ideas previas del nuevo material. También puede tender a impedir el aprendizaje y la retención significativa, o constituirse en un impedimento conceptual, en caso de que las ideas anclaje no sean compatibles con el nuevo conocimiento. En estos casos, como en la ausencia de ideas anclaje pertinentes, es necesario diseñar estrategias de aula para su adquisición, como por ejemplo los organizadores previos.

El organizador previo como material introductorio a la presentación de nuevo contenido, tiene el propósito de facilitar la retención significativa y la característica de poseer un nivel un poco más elevado de generalidad que el contenido nuevo de aprendizaje, a fin de que sea enlazable con éste y debe ser, además, enlazable con la estructura cognitiva al tener en cuenta las ideas preexistentes. Debe ser interactuante de dos modos: con las ideas previas y con el nuevo material de aprendizaje potencialmente significativo. Los organizadores previos no son de modo exclusivo texto escrito. Como sugiere Moreira (2000a), dependiendo de la situación de aprendizaje puede ser una discusión, una demostración, un video, una película.

La noción de organizador previo presentada por Ausubel con el fin de introducir subsumidores adecuados y hacerles formar parte de la estructura cognitiva existente mediante la interacción con ésta, creando puentes de anclaje convenientes para el aprendizaje de nuevo material potencialmente significativo, es funcional según la situación de aprendizaje. En un caso, su papel puede ser el de facilitar la adquisición de subsumidores; en otro, ser comparativo a fin de profundizar, de modo explícito, en la discriminación y similitudes entre ideas

anclaje y las nuevas ideas facilitadas por la instrucción. En un tercer caso, un organizador previo puede ser de carácter expositivo, cuya función sería incrementar la estabilidad, claridad y diferenciación de los subsumidores.

De otra parte, Ausubel (Ibid.) reconoce en las investigaciones de Lawton y colaboradores, el enfoque basado en organizadores de proceso como material complementario para la enseñanza expositiva de contenidos a nivel de primaria. El organizador de proceso como complemento a los organizadores de contenido tiene el objetivo de explicar a los alumnos el papel de procesos cognitivos como la clasificación, la cual a su vez implica otras funciones en el procesamiento de la información como la comparación, la diferenciación y la similaridad, y cuyo conocimiento implícito se asume tanto en alumnos de primaria como en jóvenes y adultos y que requiere de ser explicitado para ayudar a los alumnos a hacer conscientes las operaciones de pensamiento que realizan al interactuar con una tarea o problema.

Al clasificar Ausubel el aprendizaje verbal significativo por recepción como representacional, conceptual y proposicional, con respecto a la adquisición significativa de símbolos, conceptos y proposiciones, considera el lenguaje como un facilitador del AS, le asigna un papel esencial y operativo en el funcionamiento del conocimiento, además de la importante función comunicativa. Aprender signos para representar objetos, propiedades y conceptos, para aprender conceptos y proposiciones, requiere de interiorizar el lenguaje como instrumento cognitivo para facilitar de modo sistemático las operaciones mentales para representar y transformar la experiencia.

“...La verbalización hace algo más que vestir verbalmente la comprensión subverbal; hace algo más que adjuntar asidero simbólico a una idea para que se pueda registrar, verificar, clasificar y comunicar con más facilidad. Más bien constituye una parte esencial del mismo proceso de adquirir nuevas ideas abstractas e influye tanto en la naturaleza como en el producto de los procesos cognitivos implicados en la generación de nuevos conceptos y nuevas proposiciones abstractas” (Ibid., 164)

Para Ausubel (Ibid.) el lenguaje además de una función *“etiquetadora”* interviene de modo muy importante en los diferentes aspectos del pensamiento y

de la abstracción. A las abstracciones se asigna nombre y se representan mediante palabras u otros símbolos que intervienen en el proceso de generar nuevos conceptos enraizados en sus antecedentes. De otra parte, el lenguaje interviene en la verbalización de las operaciones de transformación de los productos intuitivos del pensamiento.

Al respecto, Moreira (2004) plantea el lenguaje humano como una tercera condición para el aprendizaje significativo en el aula, además de la disposición del sujeto para aprender de modo significativo y de un material potencialmente significativo. Facilitar el aprendizaje significativo es tomar en consideración el papel primordial del lenguaje y de la mediación del profesor. En aula de Química es vital considerar no sólo el lenguaje natural, sino también el lenguaje químico como mediador primordial del aprendizaje.

En la perspectiva de Ausubel, podríamos afirmar que la estructura cognitiva son múltiples subestructuras afines y disímiles según campos de conocimiento, creadas o por crear en situaciones de aprendizaje en la vida cotidiana y en el proceso educativo, mediante procesos de descubrimiento y por formación y asimilación de conceptos respectivamente. Cualquiera que sea la situación, todo nuevo conocimiento se enlaza con conocimiento antecedente y es misión de la enseñanza proveer materiales potencialmente significativos. En caso de ideas antecedentes ambiguas, inadecuadas o no existentes, los organizadores previos introducen ideas ancla con un grado de generalidad un poco mayor, las cuales se enlazan con ideas previas y con los nuevos contenidos de aprendizaje y su función es modificarse a lo largo de la vida. Organizadores previos y material potencialmente significativo tienen la función de introducir nuevos subsumos, diferenciar e integrar ideas ancla e introducir nuevos contenidos en la perspectiva de la diferenciación progresiva, la integración conceptual y por ende de la organización de la estructura psicológica de conocimiento en relación con la jerarquización de las ideas.

Qué sabe el alumno y cómo lo sabe, material potencialmente significativo, organización secuencial del contenido, diferenciación progresiva, reconciliación integradora y consolidación, son principios de la enseñanza para ayudar a la conformación, no arbitraria y no literal, de la estructura cognitiva del estudiante al manipular de modo deliberado el contenido, los atributos y la experiencia de aprendizaje antecedente, a fin de facilitar el aprendizaje y la retención significativa posteriores así como la transferencia, al proporcionar al alumno de modo principal, tareas y problemas realmente nuevos.

Dada la vigencia de estos principios, los progresos de la ciencia cognitiva y el rápido desarrollo científico y tecnológico, la enseñanza debe prestar suficiente atención al no aprendizaje significativo de cuestiones del pasado. La ausencia de ideas ancla pertinentes, relevantes y discriminables, no es el único factor importante que limita el aprendizaje significativo. Éste es altamente limitado también, cuando se presentan ideas antecedentes erróneas y fuertemente arraigadas en la estructura cognitiva que requieren ser olvidadas y la enseñanza debe evitar la situación de hacerlas mas elaboradas y estables.

Moreira (20005), al considerar el aprendizaje significativo como aprendizaje significativo crítico, en la perspectiva presentada por Postman (1969) de una enseñanza como actividad subversiva, plantea que no es suficiente los principios del aprendizaje significativo de Ausubel, dado que se puede aprender significativamente cosas fuera de foco, en una sociedad caracterizada por el rápido progreso de la ciencia, la tecnología y los valores. La sociedad actual requiere un sujeto pensante y crítico, capaz de hacer frente de forma flexible, creativa y viable, a los vertiginosos y a veces amenazadores cambios de la sociedad y del ambiente. Esto orienta a adoptar una perspectiva epistemológica en la que conceptos como verdad absoluta o inmutable, entidad aislada, estados y cosas fijas, causalidad única, simple y mecánica, la diferencia como dicotomía y el conocimiento como aceptado y no cuestionado no tienen asidero en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la época actual.

Moreira (Ibid.) sugiere siete principios como estrategias facilitadoras del aprendizaje significativo, en cuanto propiciar actividades de aula que se alejen de lo que normalmente se hace y promuevan el aprender a aprender. En la idea de que nos falta a los profesores para facilitar el aprendizaje significativo en el aula considera los siguientes siete principios: Interacción social y cuestionamiento; enseñar/aprender preguntas en lugar de respuestas; no adopción de un libro de texto; uso de documentos, artículos y otros materiales educativos; aprendiz como perceptor/representador; el conocimiento como lenguaje; conciencia semántica; aprendizaje por el error; desaprendizaje; incertidumbre del conocimiento.

De acuerdo con estos principios el aprendiz percibe el mundo y lo representa, es un perceptor/representador de las cosas del mundo real y conceptual, para el propósito de este proyecto, perceptor/representador de algunas clases de sustancias químicas y sus comportamientos, de un conjunto de representaciones lingüísticas, modelos, conceptos y teorías de la Química. La enseñanza trata de la interacción de las percepciones/representaciones de alumnos y profesor, antecedentes y nuevos constructos, con respecto a los materiales educativos: contenidos, problemas y las diversas actividades de aula. Percepción/representación, conciencia semántica y lenguaje constituyen un núcleo conceptual, cognitivo y epistemológico, para el estudio del conocimiento antecedente de alumnos, de la relación y funcionalidad de este conocimiento con la clase de problemas que estos resuelven y la construcción de nuevo conocimiento, lo cual implica aprender/enseñar preguntas, corregir los errores personales, desaprender conceptos y estrategias irrelevantes y la relatividad de los significados.

La estructuración del conocimiento en una perspectiva ausubeliana encuentra una fundamentación y desarrollo en la teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud. Esta teoría no sólo reivindica la investigación de la estructura del conocimiento previo, sino también las filiaciones y rupturas de este conocimiento en la interacción con nuevas clases de problemas. La teoría de

campos conceptuales implica para el profesor otros aspectos nuevos referidos al papel del docente relativo a clasificar situaciones, conceptos y relaciones entre conceptos, su jerarquía y las representaciones útiles para tales problemas, conceptos y relaciones y para las soluciones. En este sentido la teoría de los campos conceptuales aporta una nueva perspectiva al estudio y la investigación del conocimiento previo y a la construcción de nuevo conocimiento en aula de Química en una perspectiva de aprendizaje significativo.

### **3.4 Campos conceptuales G. Vergnaud**

Para la idea ausubeliana, el alumno aprende a partir de sus conocimientos previos, es determinante conocer como están organizados y representados esos conocimientos. En esta dirección, Barais y Vergnaud (1990) proponen analizar el conocimiento antecedente, en la mirada de concebir el desarrollo cognitivo como un sistema dinámico de construcción de esquemas de asimilación, los cuales pueden entrar en conflicto con nueva información y generar procesos de acomodación y de construcción de nuevos esquemas.

El conocimiento previo tiene un rol decisivo en el dominio progresivo de un campo de conocimiento, se modifica de modo sucesivo a lo largo del proceso educativo y de la vida, su característica esencial es la de ser dinámico, de aquí la importancia de la investigación dirigida a la identificación y estructuración de este conocimiento. Ausubel y Vergnaud, reconocen el importante papel clave del conocimiento antecedente y de la experiencia previa para el aprendizaje de nuevo conocimiento y la necesidad de investigar su estructuración.

La teoría de los campos conceptuales de G. Vergnaud plantea que niños, adolescentes y adultos en procesos de aprendizaje poseen modos de pensamiento con los cuales resuelven problemas en Matemáticas, Física y otros campos de conocimiento, como por ejemplo, Química. Asume de modo crítico que estas formas de pensamiento en términos de conocimiento previo sean analizadas como “catálogos de errores” y los sujetos considerados como “deficientes frente a los expertos”. Propone analizar las concepciones de los estudiantes en dos

direcciones centrales: *como tendencias cognitivas y como etapas y ayudas cognitivas*, en la perspectiva de concebir el aprendizaje y el desarrollo cognitivo como un sistema dinámico de construcción de esquemas de asimilación, en el cual concepciones previas pueden entrar en conflicto con otras concepciones nuevas, generar un desequilibrio en la estructura cognitiva y promover procesos de acomodación, para lo cual “es más fructífero concebir el sujeto en los términos de Piaget: un sistema dinámico dotado de mecanismos regulatorios capaz de garantizar su progreso” (Barais y Vergnaud, 1990, 70).

Esta teoría destaca que la adquisición de conocimiento y la construcción de nuevos esquemas para nuevas situaciones, es moldeada por las situaciones previamente dominadas y muchas de las concepciones de los individuos provienen de las primeras situaciones que han sido capaces de dominar y de su experiencia tratando de modificarlas. Los conocimientos de los alumnos son conformados por las situaciones que enfrentan y dominan previamente, en especial por las primeras situaciones susceptibles de dar sentido a los conceptos y a los procedimientos que se les quiere enseñar. El conocimiento previo es determinante en el progresivo dominio de un campo conceptual (Vergnaud, 1990, 1996).

Vergnaud integra los legados de Piaget y Vygotsky y su experiencia profesional en la didáctica de las Matemáticas y crea la teoría de los campos conceptuales para dar una salida al funcionamiento cognitivo del sujeto. La teoría de los campos conceptuales es una teoría psicológica de los conceptos, cuyo propósito es fundamentar los procesos mentales que realizan los alumnos cuando resuelven clases de situaciones. El desarrollo cognitivo depende del progresivo dominio de clases de situaciones cada vez de mayor complejidad y de las conceptualizaciones específicas y necesarias para tratar con ellas. Esta teoría considera que es más beneficioso aproximarse al desarrollo cognitivo tomando como referente un conocimiento específico, el análisis conceptual del dominio de

dicho conocimiento y el análisis epistemológico de este conocimiento (Vergnaud, 1987, 1994).

Como teoría psicológica de la conceptualización de lo real, los campos conceptuales permiten en primer lugar, localizar y estudiar las filiaciones y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista del contenido conceptual; en segundo lugar, analizar la relación entre conceptos en tanto que conocimientos explícitos y los invariantes operatorios implícitos en las conductas del sujeto en situación, y por último, permite explicitar las relaciones entre los significados y los significantes que representan tales invariantes (Vergnaud, 1990).

Esta teoría (1994, 1996, 1998) al afirmar que el núcleo del desarrollo cognitivo es la conceptualización, considera que la enseñanza debe poner la mayor atención a los aspectos conceptuales de los esquemas y al análisis de las situaciones que los alumnos deben enfrentar para desarrollar sus esquemas. Como los invariantes operatorios son la parte esencial del esquema y expresados en términos de lenguaje natural y de otras estructuras semióticas, el profesor o profesora debe dirigir la atención a la clasificación de clases de situaciones y a la adecuada utilización de los medios lingüísticos para ayudar a los estudiantes a reconocer los invariantes operatorios.

De este modo, un campo conceptual permite indagar el conocimiento previo en la búsqueda de las filiaciones y rupturas entre los invariantes operatorios construidos al interactuar con el medio y en la escuela y los invariantes que constituyen conocimiento científico.

“Es fundamental identificar cuáles son los conocimientos previos en que un niño o niña, un joven o una joven, se apoyan para aprender y es más urgente distinguir cuáles son las filiaciones que actúan como precursores y cuáles actúan como obstáculos mentales con el fin de establecer las rupturas necesarias para ello” (Moreira, 2002, 15).

Vergnaud (1994), plantea su teoría como una teoría compleja que implica una perspectiva teórica en dos direcciones integradas. Una primera, orientada al estudio y análisis del desarrollo de clases de situaciones e invariantes operatorios, dominados de modo progresivo para operar con eficiencia en tales situaciones;

una segunda, dirigida a asumir de modo consciente las palabras y símbolos que puedan representar de modo efectivo los conceptos y operaciones de los estudiantes de acuerdo a su nivel cognitivo. Grupos de situaciones y sus respectivos invariantes operatorios constituyen una dialéctica, una fuerte dependencia entre unos y otros, resolver una clase particular de situaciones es disponer del repertorio de conceptos y teoremas-en-acción que le son pertinentes para la solución adecuada; un concepto adquiere sentido en una clase dada de situaciones. Los significantes: palabras, símbolos y diferentes sistemas semióticos, tienen un importante rol en la comunicación, la representación y en el desarrollo y funcionamiento del pensamiento. Invariantes operatorios son manifiestos por medio de determinados símbolos que crecen en grado de abstracción y generalidad, esto invita a estudiar el momento oportuno para la presentación de nuevos contenidos y nuevos significantes más abstractos.

Moreira (2002), destaca dos definiciones presentadas por Vergnaud sobre los campos conceptuales, con el fin de enfatizar de modo principal, que en esta teoría un conjunto de situaciones dan sentido al concepto. Una primera, como un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectados con otros y probablemente entrelazados durante el proceso de adquisición (Vergnaud, 1982). Una segunda, como siendo principalmente un conjunto de situaciones cuyo dominio requiere el dominio de varios conceptos, procedimientos y representaciones de distintas naturalezas (Vergnaud, 1990). Clases de situaciones, dominios de conceptos y relaciones conceptuales para una determinada clase, es decir, conceptos y teoremas-en-acción y grupos de representaciones pertinentes para éstos, implican los conceptos de esquema y el concepto de concepto.

Desde un punto de vista operatorio, esquema es la organización invariante del comportamiento para una clase específica de situaciones (Ibid.). El esquema corresponde al conjunto de conocimientos-en-acción o elementos cognitivos que

determinan que la acción de una persona sea operatoria, esto es, el conjunto de conocimientos que es eficiente para una clase específica de situaciones y poder generar diferentes secuencias de acción, de recolección y control de la información dependiendo de las características de cada situación en particular (Moreira, 2002). Los esquemas corresponden de modo principal al conjunto de conceptos y teoremas-en-acción evocados por una persona para dar sentido a una situación.

Desde un punto de vista teórico (Vergnaud, 1996), el principal interés del concepto de esquema es proporcionar el nexo obligatorio entre la conducta y la representación. Son los invariantes operatorios, los que configuran la articulación esencial, ya que la percepción, la búsqueda y selección de información están fundamentadas totalmente en el sistema de conceptos-en-acción disponibles en el sujeto y en los teoremas-en-acción subyacentes en su comportamiento. Un teorema-en-acto es una proposición considerada como verdadera sobre lo real; un concepto-en-acto es una categoría de pensamiento considerada como pertinente (Ibid.).

El término concepto es definido por Vergnaud (1997) como un triplete de los conjuntos: (S, I, R); donde S representa el conjunto de situaciones que dan sentido al concepto; I, el conjunto de invariantes operacionales usados por el individuo para tratar con las situaciones; R, el conjunto de representaciones simbólicas, lingüísticas, gráficas o gestuales que pueden ser utilizadas para representar situaciones, invariantes y procedimientos, esto es,  $C = (S, I, R)$  en donde C es el concepto, S el referente, I el significado y R el significante del concepto. En esta perspectiva, desde el punto de vista psicológico, un concepto no puede ser reducido a su definición científica y adquiere sentido mediante una diversidad de situaciones, en las que el individuo utiliza un conjunto de invariantes operatorios para actuar y plantear soluciones adecuadas, lo cual implica a la vez, un conjunto de representaciones lingüísticas y semióticas para representar las situaciones, los invariantes operatorios y los procedimientos subyacentes a la solución. La

evolución del contenido de un concepto está en coherencia con el diseño de clases de situaciones, cuya complejidad aumenta de modo progresivo.

Si como se afirmó con anterioridad, la adquisición de conocimiento y la construcción de nuevos esquemas para nuevas situaciones es moldeada por las situaciones previamente dominadas, esto implica a su vez los conceptos y teoremas-en-acción y el conjunto de representaciones previamente dominados para esa clase o clases de situaciones previas.

“El funcionamiento cognoscitivo reposa sobre el amplio repertorio de esquemas disponibles anteriormente formados, en especial, aquellos que están asociados a los tipos de situación que tengan alguna relación con la situación a tratar” (Vergnaud, 1990,140).

La acción cognitiva del sujeto en situación depende del estado de sus conocimientos implícitos o explícitos, esto requiere mucha atención del docente, en particular a las continuidades y rupturas, a los procedimientos y a las representaciones simbólicas y al análisis de los errores y de las contradicciones manifiestas por los alumnos.

Es en la interacción esquema-nueva situación donde es posible descubrir nuevos elementos o nuevos esquemas; por lo tanto, las filiaciones que actúan como precursoras de conceptos científicos y aquellas con las cuales es necesario establecer rupturas, son vistas en términos de la definición de concepto de Vergnaud: referentes, significados y significantes, esto es, la operacionalidad de un concepto debe ser vista a través de una amplia variedad de clases de situaciones y subclases de éstas.

Es en esta perspectiva que Barais y Vergnaud (1990), plantean las concepciones de los estudiantes vistas *como tendencias cognitivas y como etapas y ayudas cognitivas*. En esta mirada, el término concepción es definido como la tendencia que ayuda a describir los “conceptos significado” y los “significantes” activados por los alumnos cuando se aproximan a un dominio de conocimiento. “Conceptos significado” o invariantes operatorios hace referencia a las propiedades y relaciones invariantes de los conceptos evocados por los

estudiantes cuando responden cuestionarios, plantean definiciones, resuelven problemas de una clase y diversas tareas con las cuales interactúan; “significantes” corresponde a las herramientas representacionales utilizadas en situación.

Las concepciones de los alumnos, vistas como tendencias cognitivas, son respuestas sistemáticas de los alumnos que difieren de los contenidos de enseñanza, consideradas en términos de invariantes operatorios implícitos o explícitos, conscientes o inconscientes, y de los significantes manifiestos por los alumnos. La investigación debe procurar analizarlas primero, en cuanto al grado o extensión en que son empleadas por los alumnos. En segundo lugar, analizarlas en términos de las dificultades con ellas o el grado en que actúan como obstáculos conceptuales para generar nuevas concepciones, resolver problemas, comprender nuevos conceptos más abstractos y utilizar nuevos significantes que representan los nuevos invariantes operatorios; al análisis de errores y contradicciones primordiales debe concederse mucha atención. Por último, debe indagar las discontinuidades entre conocimiento previo y nuevo conocimiento cuando resuelven nuevas situaciones o una situación encarada con nuevos invariantes operatorios y nuevos significantes.

Las concepciones de los estudiantes, vistas como etapas y ayudas cognitivas, dado que las concepciones no son compatibles con las enseñadas por el profesor, implica diseñar condiciones y situaciones diferentes que estimulen la activación de los respectivos invariantes operatorios y los significantes antecedentes, los inciten a actuar en situación y promover su progreso conceptual. Motivar a los estudiantes de Química a expresar sus precursores de un concepto y guiarlos mediante etapas sucesivas de discriminación por medio de material de instrucción diverso, en particular orientados a una clase de situación y/o subclases de una clase, es una acción para guiar los alumnos a utilizar el nuevo conocimiento hasta que éste les sea funcional y utilizado para el rápido crecimiento conceptual, para la no utilización consciente de aquellas estructuras

de asimilación no adecuadas y la construcción de nuevos esquemas de asimilación.

En este proceso de desarrollo cognitivo y superación de obstáculos cognitivos, Barais y Vergnaud (1990) llaman la atención acerca del rol de la percepción visual en la construcción directa del conocimiento por los sujetos al interactuar con el ambiente y su gran capacidad discriminativa para algunas características, lo cual podría explicar su alto valor funcional y su dominio y control para la sobrevivencia humana en la vida cotidiana, no siendo así cuando se trata del aprendizaje de modelos conceptuales de un campo de conocimiento, lo cual exige comportamientos indirectos, nuevos significados, nuevos razonamientos y nuevos significantes a los cuales no están habituados los estudiantes. Para los autores esto significa ser un problema de formación de conceptos que implica el conjunto de situaciones que hacen el concepto significativo en una variedad de formas, el conjunto de invariantes operatorios que son progresivamente comprendidos por los alumnos de un modo jerarquizado y el conjunto de los símbolos lingüísticos y no lingüísticos que representan los conceptos y teoremas-en-acción y son utilizados para comunicarse y discutir acerca de ellos y para representar situaciones y procedimientos (Ibid.).

Competencias y concepciones son dos conceptos utilizados por Vergnaud (1987) para orientar el análisis de la solución de problemas y el desarrollo de conceptos en el aprendizaje de las matemáticas. Considera el autor competencias y concepciones como herramientas cognitivas de una totalidad que el asemeja como las dos caras de la misma moneda, las cuales son esenciales para la descripción y análisis de la lenta conquista por los estudiantes de la complejidad del conocimiento.

De acuerdo con la teoría de los campos conceptuales, las competencias pueden ser investigadas a través de la acción de los alumnos en situación y las concepciones rastreadas casi siempre por medio de expresiones simbólicas verbales o de otra clase. Para el análisis de competencias, el concepto de

esquema como la organización invariante de la conducta para un cierto conjunto de situaciones, es fundamental. Las concepciones son analizadas en términos de objetos, propiedades y relaciones, esto es, invariantes operatorios verbalizados de alguna manera mediante significantes en lenguaje natural u otras estructuras semióticas.

La conexión entre esquema y concepciones la plantea Vergnaud (1987,1990) al visualizar el esquema como una totalidad organizada que permite la generación de comportamientos diferentes en función de las cualidades articulares de las situaciones pertenecientes a una clase, dado que considera el esquema constituido de:

*Invariantes operatorios de diferentes niveles* que permiten al individuo reconocer la información acerca de una situación propuesta y de seleccionar los elementos pertinentes de ésta.

*Expectativas y anticipaciones* acerca de la meta a alcanzar, los efectos de su acción y las etapas intermedias necesarias de considerar.

*Reglas de acción* que permiten la continuidad de la acción y son del tipo, si..., entonces... u otras.

*Inferencias* o razonamientos u operaciones de pensamiento que dan lugar a ejercer reglas de acción y anticipaciones desde la información y el conjunto de invariantes operatorios disponibles en los esquemas.

Asigna Vergnaud especial énfasis a los invariantes de los esquemas como constituyentes implícitos y responsables de la eficiencia o ineficiencia de un esquema. Los invariantes son el componente cognitivo esencial de los esquemas, ellos son el enlace para las concepciones y pueden ser expresados mediante

palabras u otras representaciones simbólicas De este modo, considera Vergnaud que la eficiencia de los esquemas puede ser mejorada acorde con las representaciones simbólicas utilizadas de modo simultáneo con los invariantes operatorios. Los esquemas están en el nivel del significado de la representación, mientras las representaciones simbólicas están en el nivel del significante. Significados y significantes pueden estar ligados uno a uno o darse algún grado de divorcio entre ellos (Ibid.). El Cuadro N° 3 representa la síntesis realizada por Vergnaud (Ibid.) acerca de las diferencias y relaciones entre esquemas y conceptos.

“Los esquemas tienen la importante función de generar operaciones intelectuales porque ellos contienen los invariantes operatorios y estos constituyen el núcleo de la representación” (Vergnaud, 1994, 55).

**Cuadro N° 3: Esquemas y conceptos según Vergnaud**

<b>ESQUEMAS</b>		<b>CONCEPTOS</b>
Totalidad dinámica	→	Distintos elementos combinables
Invariantes implícitos (intuitivos)	→	Invariantes explícitos
Nivel del significado principalmente	→	Ambos niveles: significado y significante
Teoremas-en-acción	→	Teoremas

Los teoremas-en-acto tienen la característica de ser componentes conceptuales implícitos, no expresados mediante algún razonamiento o explicación cuando los alumnos resuelven problemas en matemáticas; los conceptos-en-acto son componentes necesarios de los teoremas-en-acto. Los teoremas-en-acto permiten derivaciones como la inferencia, las reglas de acción, metas y expectativas y como enunciados proposicionales son verdaderos o falsos, mientras los conceptos-en-acto son relevantes o irrelevantes.

El concepto de teorema-en-acto es pensado como la vía que permite en el campo de las matemáticas, analizar las intuiciones de los alumnos, es decir, indagar el conocimiento matemático en el nivel de los esquemas y la acción. Teorema-en-acto es un concepto básico para comprender la solución de un problema con fundamento en una representación cuasiconceptual o conceptual de la realidad. (Vergnaud, 1987).

En estas ideas radica la diferenciación establecida por Vergnaud entre los conceptos como instrumentos y los conceptos como objetos de pensamiento. Un concepto es verdadero concepto cuando es explicitado e integrado en teoremas explícitos; los procesos de explicitar conceptos y teoremas ayudan a la identificación de invariantes relevantes e irrelevantes. Es en el espacio de los invariantes operatorios donde debe estudiarse también los símbolos y expresiones lingüísticas que los acompañan, esto es, explicación y simbolización son una trayectoria para crecer en la complejidad del conocimiento (Vergnaud, 1994).

“No solamente es importante que los estudiantes se enfrenten con una variedad de ocasiones para ampliar o restringir el campo de validez y disponibilidad de sus esquemas y el desarrollo de nuevos esquemas, pero también ellos deben ser ayudados por medios externos, como significantes lingüísticos y extralingüísticos, reconocer la estructura invariante de diferentes problemas y entonces la posibilidad de usar los mismos esquemas o unos similares. No solamente es importante que las situaciones sean clasificadas clara y exhaustivamente desde el punto de vista de su estructura conceptual, sino también que los invariantes (conceptos y teoremas) sean trabajados, simbolizados, diagramados o graficados, de tal modo que ellos lleguen a ser elementos de concepciones racionales explícitas y no hacer que permanezcan solamente como elementos implícitos de los esquemas. Esto es probablemente una condición necesaria para la transferencia de conceptos y teoremas a algunos valores numéricos y a algún dominio de experiencia” (Vergnaud, 1994,55).

Ayudar a los alumnos a reconocer una estructura similar en situaciones diferentes y sus limitaciones, a explicitar la estructura y sus invariantes operatorios, propender por hacerlos públicos y debatibles, requiere del lenguaje natural y de diferentes estructuras semióticas.

Se ha afirmado que la teoría de los campos conceptuales al dar preferencia a los conceptos de un campo de estudio aparece como una psicología de los conceptos, instalada en la tríada situaciones, invariantes operatorios y significantes, siendo las situaciones la primera entrada de un campo conceptual y

los invariantes operatorios constituirían la segunda entrada. Se trata de como un concepto adquiere significado a través de una clase de situaciones y estas son componentes de los esquemas puestos en acción por el sujeto. Los esquemas son referidos, unos a como tratar la situación y otros a poner en marcha los símbolos y estructuras semióticas para representar la situación y los invariantes operatorios. Frente a una situación o un simbolismo, el individuo evoca algunos de sus esquemas disponibles y utiliza significantes para operar sobre la situación y el simbolismo. Los esquemas organizan el tratamiento de los significantes para la comprensión y explicitación del conocimiento, dado que los esquemas constituyen invariantes operatorios, inferencias, reglas de acción y expectativas. El lenguaje tiene un importante papel en la teoría de campos conceptuales.

“Los esquemas organizan la conducta del sujeto para una clase de situaciones dadas, pero organizan a la vez su acción y la actividad de representación simbólica, especialmente de lenguaje, que acompaña esta acción” Vergnaud (1990, 161).

Considera Vergnaud (1990) que el lenguaje tiene una triple función más allá de la doble funcionalidad de comunicación y representación. El lenguaje tiene una tercera función de ayuda al pensamiento y a la organización de su acción, ligada a la de comunicación y en particular a la de representación. En esta dirección, la función de representación del lenguaje corresponde en primer lugar a representar información pertinente de la situación expresada en cuanto objetos, propiedades y relaciones, es decir, identificar y designar invariantes operatorios. En segundo término, representación de la acción, referida a las operaciones de razonamiento y de inferencia, en cuanto selección de la información, rechazo o aceptación de consecuencias, selección de las operaciones a realizar y de las metas a alcanzar, reglas de acción que permiten la continuidad de la acción. En tercer lugar, el lenguaje representa las relaciones entre la acción y la situación, hace referencia al compromiso del sujeto con la tarea, los juicios emitidos, sus sentimientos y su grado de aceptabilidad de hipótesis, relaciones y conclusiones. Dado que Vergnaud se sitúa en la psicología del concepto, su análisis se dirige a la función de representación de los elementos de la situación teniendo en cuenta la acción y

sus relaciones; diferentes lenguajes adquieren sentido a través de los esquemas y las situaciones.

Corresponde al profesor clasificar clases de situaciones o problemas, las relaciones subyacentes a las situaciones según datos conocidos y desconocidos, las operaciones de pensamiento necesarias para la solución y las actividades de representación simbólica para la situación, para la acción y para la solución. Clasificar situaciones, relaciones, operaciones de pensamiento y representaciones es una tarea del profesor que requiere la epistemología del campo de estudio y la psicología cognitiva.

Al destacar Vergnaud (1987) y Vergnaud et al (1990), la importancia de relacionar epistemología y psicología cognitiva en la educación matemática y dar relevancia al conjunto de cuestiones epistemológicas que son centrales para el estudio de los procesos de pensamiento de los estudiantes y para la historia de la disciplina y que permiten relacionar las nuevas competencias y concepciones a los problemas que son útiles y significativos, es relevante considerar en la investigación, la naturaleza y función de un nuevo concepto, de un nuevo razonamiento y de una nueva representación. Cuestiones estas esenciales para el análisis cognitivo de las tareas y del comportamiento de los alumnos, en particular para la percepción de cómo diferentes problemas involucran diferentes conceptos y diferentes propiedades del mismo concepto, así como para el análisis de lo novedoso y de las clases de representaciones ejercidas y puestas en acción.

El análisis de la discontinuidad de conceptos, la modificación de las propiedades de un concepto, las relaciones establecidas con otros conceptos, las relaciones del conocimiento con el problema y las diferencias en las formas de razonamiento de los alumnos y la utilización de diversos sistemas representacionales, debe realizarse a la luz de la epistemología del campo de estudio. “La epistemología del concepto es esencial para el análisis cognitivo de la tarea y del comportamiento del estudiante” (Vergnaud, 1987).

La importancia de indagar los precursores previos de los alumnos, en términos de conceptos y teoremas en acto, sus filiaciones y rupturas, errores y contrariedades y los significantes utilizados en la acción, radica en el hecho de clasificar cuál o cuáles modelos conceptuales enseñar de inmediato y cuáles no, o cuáles enlazar como sistemas de conceptos y qué enlazar como sistemas de representaciones. Una etapa de aprendizaje mediante la clasificación de sustancias que implica una variedad de situaciones y el uso significativo y funcional del lenguaje químico en cuanto representación lingüística, requiere en el aula de clase del estudio del dominio progresivo de aspectos de un campo conceptual así como de otros campos conceptuales de la Química y aún de las Matemáticas y la Física.

Investigar concepciones antecedentes, filiaciones y rupturas, errores y contrariedades y significantes al interior de un conjunto de situaciones, en términos de clasificar sustancias, organizado por una red de ideas relacionadas entre ellas, en las cuales procedimientos, representaciones y formulaciones pueden derivarse razonablemente unas de otras, indica que un concepto no adquiere su significado en una clase única de situaciones y la situación no es analizada con la ayuda de un solo concepto. La teoría de los campos conceptuales convoca a darse como objetos de investigación, conjuntos de situaciones y de conceptos relativamente amplios, a clasificar los tipos de relaciones, las clases de problemas, los esquemas de tratamiento, las representaciones en lenguaje natural y simbólicas del campo de la Química y los conceptos que organizan el conjunto de situaciones.

### **3.5 Campos conceptuales en Química**

El alcance del marco teórico de la teoría de los campos conceptuales no está limitado al campo de las matemáticas y en particular a las estructuras aditivas, multiplicativas, proporcionalidad y algebraicas. Vergnaud (1990,1996) considera que cada disciplina contiene varios campos conceptuales y en los dominios de la Física, la , la Biología, la Geografía, la Educación Física, la Música y la Moral, los

alumnos deben desarrollar esquemas específicos y concepciones. Una disciplina es la Química y se plantea en este trabajo una aproximación posible a varios campos conceptuales en esta área de conocimiento, en el sentido de campo conceptual planteado por Vergnaud (1982,1990). Aproximación fundamentada en los aportes de Jensen (1998a, 1998b), respecto a su propuesta de una estructura lógica de la Química y considerada pertinente para la realización de este proyecto en la perspectiva de la teoría de campos conceptuales para un aprendizaje significativo.

Al plantear Jensen (ver Cuadro N° 2, pág. 82) una relación cruzada de tres categorías conceptuales: molar, molecular y eléctrica y tres dimensiones: composición/estructura, energía y tiempo, resultan nueve conjuntos entrelazados de situaciones, contenidos, conceptos, representaciones y operaciones de pensamiento y procedimentales, concebidos a nuestro modo de ver como campos conceptuales en el sentido de Vegnaud. Campos conceptuales en Química constituidos cada uno por una amplia y variada clase de situaciones, operaciones de pensamiento y procedimentales, contenidos, estructuras, conceptos y relaciones, y por una amplia variedad de representaciones lingüísticas y moleculares. Varios de estos campos conceptuales no pueden enseñarse de inmediato, requieren según su grado de complejidad del dominio progresivo de otros. Por ejemplo, el campo conceptual composición/estructura corresponde a conjuntos de situaciones, contenidos y representaciones, en la conceptualización molar, molecular y eléctrica, los cuales se enlazarían durante el aprendizaje y progresarían en una jerarquía hacia lo más abstracto. El campo conceptual composición/estructura con contenido en la conceptualización molar, sería el inicio del largo camino del aprendizaje de la Química y cuya investigación permitirá indagar el momento oportuno para enseñar las conexiones con el campo conceptual composición/estructura en las perspectivas molecular y eléctrica.

En el campo conceptual composición/estructura en una perspectiva molar, entra en juego un amplio repertorio de conjuntos de clases de situaciones para

clases de sustancias y sus comportamientos, cuyo tratamiento implica un conjunto de conceptos denominados <<chemical class concepts>><sup>6,7</sup> de naturaleza cualitativa, descriptiva y clasificatoria, con diferente grado de contenido empírico y abstracto, implicados en eventos fenomenológicos con diferente contenido racional, esto es, la experiencia más refinada y con mayor grado de abstracción para su realización. Algunos de estos conceptos son: sustancia, elemento, sustancia simple y compuesta, composición relativa y absoluta, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea, solución, ácido, base, metal, no metal, halógeno, oxidante, reductor, conductividad, covalente, iónico, polaridad, solubilidad, reacción química, alomorfo, polímero, isómero.

El campo conceptual composición/estructura en una perspectiva molecular, comprende al conjunto de situaciones de clases de moléculas cuyo tratamiento implica la fórmulas químicas moleculares y la estructura química en términos de topología química, geometría molecular y quiralidad, lo cual a su vez incluye un amplio espectro de conceptos cualitativos y clasificatorios, reglas, teorías y representaciones para las moléculas en contexto, fórmulas moleculares y estructurales en dos y tres dimensiones. Varios químicos<sup>8</sup> destacan este campo como una semiótica química, sintáctica y semántica, esencial para nombrar, hablar y discutir acerca de las sustancias, dialogar acerca de leyes, teorías y modelos relacionados con los comportamientos de elementos y compuestos, para la inferencia y para introducir la discusión epistemológica acerca de las bases empíricas y orígenes de las teorías químicas.

El campo conceptual composición/estructura en la perspectiva eléctrica corresponde a un conjunto de situaciones a considerar las moléculas como

---

<sup>6</sup> Jensen, W, (1986, 488), expresa <<class concepts>> para referirse a un grupo amplio de conceptos utilizados en química, de naturaleza cualitativa, descriptiva, clasificatoria y estáticos, que refleja la naturaleza del objeto químico y es considerado como aceptable en la explicación química.

<sup>7</sup> Otros químicos también se refieren a conceptos operatorios u operacionales schummer (1998), o conceptos de la "protoquímica" Janich (1994), Psarros (1995), Hartmann (1996)

<sup>8</sup> Turro (1986), Hoffman, Lazlo (1991), Schummer (1998), Jacob (2001) tienen importantes planteamientos al respecto.

interacciones entre núcleos y electrones y entre electrones para dar razón a las causas profundas de las modificaciones químicas. En este campo, un grupo de teorías electrónicas de diverso grado de racionalidad, dan razón de la composición nuclear y electrónica de las moléculas, de las diversas clases de enlace químico en las moléculas y de los estados energéticos de las moléculas.

Estos posibles campos conceptuales en Química, implican metodologías cualitativas y cuantitativas y los comportamientos de las sustancias además de químicos son físicos y a los modelos moleculares subyacen estructuras geométricas y relaciones físicas electromagnéticas, nucleares y cuánticas, entonces, resolver clases de situaciones en Química, invoca además de esquemas químicos, esquemas de otros campos conceptuales como el de las Matemáticas, la Geometría, la Física y aún de la Biología. Estos esquemas son demandados según la clase de situaciones a enfrentar.

## **CAPITULO 4. MARCO METODOLÓGICO**

Metodología es un término para designar el enfoque de un problema y la búsqueda de soluciones al mismo. Dos enfoques, cuantitativo y cualitativo, tienen raíces y perspectivas teóricas diferentes. La metodología cualitativa, el enfoque de nuestro interés, tiene sus raíces en la fenomenología, corriente filosófica que al no aceptar la realidad como algo externo al sujeto, valoriza el entendimiento de la realidad por los individuos, el estudio de los fenómenos sociales y humanos en su acontecer natural, la metodología inductiva, las relaciones entre hechos y valores, la mirada holística del fenómeno y la no neutralidad del investigador. La fenomenología está ligada a una diversidad de marcos teóricos y escuelas de pensamiento en el campo de las ciencias sociales. Interaccionismo simbólico, etnometodología y etnografía, los cuales constituyen tres matices de investigación fenomenológica.

### **4.1 Enfoque etnográfico**

En el campo de las metodologías cualitativas el enfoque etnográfico, también denominado observación participante, es un método de investigación social de naturaleza humanista, cuyo énfasis está en el proceso y no en el producto o resultado final; le interesa como evoluciona la situación, que le antecede y la caracteriza. Es un método llevado a cabo en lugares cotidianos que reconoce al investigador como parte del mundo social que estudia.

La etnografía describe e interpreta realidades sociales percibidas desde el punto de vista de sus protagonistas. El enfoque etnográfico se apoya en la convicción de que las tradiciones, normas, valores y otros aspectos de la vida de los seres humanos se internalizan poco a poco y generan regularidades que pueden explicar la conducta individual y de grupo de forma adecuada. Considera que un grupo social comparte una estructura de razonamiento, que por lo general es implícita y se manifiesta en diferentes aspectos de su vida que parecen

similares, pero a los cuales subyace una diversidad de significados asignados por los participantes, así como significados compartidos. La estructura, como expresa Merleau-Ponty (1975,1976) no es definida en términos de una realidad exterior, es una estructura definida en cuanto conocimiento, determinada por el análisis descriptivo e interpretativo de los datos, obtenidos estos desde las respuestas en forma hablada o escrita u otras acciones de los sujetos en un determinado contexto. La estructura es un objeto de percepción y como tal es un conjunto percibido en términos de una red de relaciones.

De acuerdo con Erickson (1986), la investigación etnográfica tiene como interés central los significados que las personas atribuyen, en un cierto contexto, a los objetos y eventos en la interacción y en la acción. Corresponde al investigador o investigadora la dilucidación y explicación de los diferentes niveles de especificidad y generalidad de los significados concretos de las personas estudiados en detalle. El investigador participante debe ocuparse, además, del análisis detallado y particularizado de un caso, de la comparación de este caso con otros casos igualmente estudiados con detalle, para alcanzar la generalidad cuando sea posible.

El etnógrafo participa de manera abierta o encubierta de la vida cotidiana de un grupo de personas durante un tiempo relativamente extenso, período en el cual percibe lo que pasa, escucha lo que se dice, pregunta acerca de cuestiones y recoge todo tipo de registros accesibles para poder arrojar luz sobre las teorías que el o ella ha elegido estudiar. La etnografía reconoce la confianza en el “conocimiento y los métodos de sentido común” y los efectos del investigador sobre los fenómenos sociales que estudia.

El enfoque etnográfico es en esencia descripción al detalle e interpretación, desde el punto de vista de los significados del investigador o investigadora, de los significados de los sujetos participantes en interacción y en acción con objetos y/o eventos. La etnografía trata de los significados de los sujetos en sus acciones, en

cuanto la acción es comportamiento e interpretación de significados asignados por quien actúa y en relación con aquello con quien interactúa (Ibid.).

La etnografía se preocupa por los significados variados que las personas tienen para sus acciones y eventos, por la manera propia como las personas se ven a si mismas, sus experiencias y el mundo que les rodea. El investigador o investigadora debe intentar aprehender y representar la visión personal de los participantes. La tarea del etnógrafo consiste en la aproximación progresiva al significado y a la comprensión de los participantes expresada directamente en el lenguaje natural hablado y escrito u otras formas lingüísticas, o indirectamente por medio de acciones, gestos u otros medios, los cuales pueden ser inteligiblemente descritos. Como diría Geertz (1973), es en un contexto concreto donde las diversas formas simbólicas pueden describirse de modo inteligible y según (Spradley, 1979) constituir sistemas de significados que las personas usan para organizar su comportamiento.

Taylor y Bogdan (1987), Hammersley y Atkinson (1994), Martínez (1999), consideran la etnografía como reflexiva y flexible, descriptiva e inductiva. Reflexiva en cuanto reconoce que el investigador es parte del mundo social que investiga, se relaciona con la situación desde el principio, tiene siempre una gran interacción con la situación estudiada, afectando ésta y siendo afectado por ella. Flexible en cuanto que el diseño, estrategias y orientación pueden cambiarse de acuerdo con las necesidades cambiantes requeridas por el proceso de elaboración teórica; hace uso de un plan de trabajo abierto y flexible, en el que los focos de investigación son continuamente revisados y reevaluados, los instrumentos reformulados y los fundamentos teóricos y metodológicos repensados. Descriptiva e inductiva en cuanto el investigador considera la conducta observable y hace uso de una gran cantidad de datos descriptivos: situaciones, personas, ambientes, declaraciones y diálogos entre otros, los cuales son reconstruidos en forma de palabras, transcripciones literales u otras formas simbólicas. Los investigadores

desarrollan conceptos y comprensiones partiendo de pautas de los datos en una perspectiva holística.

La etnografía trabaja con una amplia gama de fuentes de información: entrevistas, documentos, cuadernos de campo, diálogos y cuestionarios entre otros, lo cual le da un carácter multifacético que proporciona la base para la triangulación de diferentes clases de datos que pueden ser sistemáticamente comparados, lo cual constituye una forma de validación y evita que las conclusiones dependan del método y la confianza en un solo tipo de información. Los documentos son utilizados para contextualizar el fenómeno, explicitar sus relaciones más profundas y completar información coleccionada por medio de diferentes fuentes. Las entrevistas tienen el propósito de profundizar las cuestiones y esclarecer problemas observados.

Aunque la etnografía es un enfoque de investigación desarrollado por los antropólogos para estudiar la cultura de un grupo, es también la preocupación de los estudiosos de la educación y en particular del aula de clase, lo cual ha llevado a la adaptación de la etnografía a la educación, a la realización de estudios de tipo etnográfico al hacer uso de técnicas como la observación participante, la entrevista y el análisis de documentos.

Por ejemplo, André (1998) plantea que en el aula de clase el encuentro profesor-alumno-conocimiento constituye una clase de situación sociocultural que vista como un evento etnográfico se trata de analizar y comprender lo que pasa en el cotidiano de la clase, cómo los alumnos dan significado a los contenidos enseñados; una multiplicidad de sentidos forman parte del universo cultural del aula que debe ser estudiado por el investigador o investigadora. A través de la observación participante se procura entender la cultura del aula usando una metodología que implica registros de campo, entrevistas, análisis de documentos, fotografías y grabaciones entre otras; el observador no pretende comprobar teorías ni hacer grandes generalizaciones, lo que busca es describir la situación, comprenderla y revelar sus múltiples significados.

Además, en la idea de Stubbs (1984), un aula de clase es un entorno socio-lingüístico en el cual los alumnos se enfrentan con el lenguaje casi todo el tiempo: La lengua hablada y escrita del profesor, de los alumnos, el lenguaje escrito de libros y manuales y consultas electrónicas entre otras. Enseñanza y aprendizaje comprenden actividades lingüísticas tales como el compromiso con el lenguaje de la disciplina, la exposición, explicación, debate, preguntas, respuestas, escuchar, parafrasear, repetir, resumir y otros gestos que dan significado afirmativo o indicación negativa, las cuales son elementos de la cultura del aula a ser estudiada.

Al reconocer la naturaleza social del aprendizaje en el aula, esto supone, la comunicación profesor-alumna (o) y entre alumnos y la colaboración entre alumnos para encontrar la respuesta a una pregunta o la solución a un problema. Según Lemke (1997), en la clase donde hay una buena participación y una discusión inteligente, el alumno tenderá a aprender más que si se encuentra aislado de los otros y de la oportunidad de dialogar, a la vez que facilita mejorar la habilidad de los alumnos en el uso del lenguaje científico.

Un caso de un grupo social es el aula de clase de Química de segundo nivel universitario, el cual puede ser estudiado etnográficamente, al constituir un ambiente en el que se comparten, intercambian y adquieren significados y las acciones se modifican de modo permanente. De una parte, al describir e interpretar el conocimiento antecedente de los alumnos como tendencias cognitivas en el campo conceptual composición/estructura, en términos de invariantes operatorios integrantes de esquemas de asimilación adquiridos en la vida cotidiana, en la educación secundaria y en el primer nivel universitario. En una segunda instancia, al compartir e interactuar con una serie de materiales y actividades relacionadas con contenido químico, cuyo propósito es la internalización de nuevo conocimiento en cuanto rupturas cognitivas y filiaciones cognitivas como etapas y ayudas cognitivas, mediante la acción del sujeto en situación de aprendizaje significativo, en la perspectiva de la modificación y

acomodación de esquemas de asimilación y la posible construcción de nuevos esquemas de asimilación. Descripción e interpretación por la investigadora como observadora-participante de los invariantes operatorios constituyentes de los esquemas del sujeto en situación.

En la idea según la cual los esquemas de asimilación son vistos como totalidades dinámicas con capacidad de autorregularse, los cuales progresan mediante procesos de acomodación y adaptación y la capacidad humana para la construcción de nuevos esquemas, se busca el significado de las acciones de los sujetos y de los significantes que utilizan en sus comportamientos en clase de Química. Se trata de dar razón de las estructuras dinámicas de asimilación a partir de los eventos percibidos en aula de clase y mediante otros medios, en cuanto corresponden a conjuntos percibidos consistentes en una red de relaciones visualizadas en espacios de vivencias de aprendizaje significativo en el marco de la teoría de campos conceptuales. Análisis descriptivo-interpretativo de esquemas de asimilación de alumnos en términos de: contenido de la disciplina y la epistemología del concepto; análisis conceptual de las acciones de los individuos, de los significados utilizados por los alumnos, sus filiaciones, rupturas y progresos, y de los significantes utilizados por los estudiantes en la acción.

En la teoría de campos conceptuales, un niño, un joven o un adulto, “domina progresivamente” un campo conceptual en la experiencia cotidiana, en la escuela y en la educación superior para el caso del presente trabajo. Para comprender unas primeras etapas de cómo el campo conceptual composición/estructura es dominado de modo parcial en la conceptualización molar y molecular, se requiere conocer qué estructuras y clases de problemas son los más fácilmente comprendidos por los jóvenes estudiantes y cuáles los siguientes en una secuencia de aprendizaje a lo largo del tiempo, cuando interactúan con una colección de materiales químicos, en la idea de afinar esta clase de problemas y las estructuras conceptuales que permite poner-en-acción como un camino viable para la comprensión. Aunque un proyecto no es suficiente para cumplir con esta

clase de meta viable a mediano y largo plazo, si permite iniciar la construcción de un proceso que de lugar a madurar en la investigación didáctica en Química en el campo de la educación superior, en particular, alumnos del Programa de Química cuando inician o han iniciado sus estudios universitarios. Esto da lugar, en la dirección de este trabajo a la identificación, clasificación y análisis de los esquemas de asimilación contruidos por los alumnos en la vida cotidiana, en la educación secundaria y universitaria previa al presente trabajo, lo cual posibilita la estructuración de las clases de situaciones, invariantes operatorios y significantes que propicien contrastar los esquemas de asimilación ya adquiridos y su acomodación y el desarrollo progresivo de nuevos esquemas de asimilación, su acomodación y adaptación.

También debemos identificar qué procedimientos usan de modo natural o espontáneo los jóvenes y cuáles asimilan mejor cuando son enseñados, del mismo modo para las representaciones simbólicas, estructura del lenguaje químico, diagramas y gráficas. Tales estudios deberían esclarecer nuestro punto de vista sobre el tiempo requerido para el proceso de la adquisición del conocimiento y darnos una mejor comprensión del comportamiento de los jóvenes cuando en situación deben operar con los conceptos elemento, sustancia, sustancia simple, sustancia compuesta, identidad química, clases de sustancias, mezcla, mezcla homogénea y mezcla heterogénea, en cuanto enunciados operatorios y teóricos y un conjunto de significantes en términos de lenguaje natural y de lenguaje químico. Lenguaje químico, en primer lugar, en cuanto un vocabulario especializado del lenguaje natural, que capacita a los químicos para hablar acerca de las sustancias. En segundo lugar, en cuanto un conjunto de símbolos elementales combinados para formar otros símbolos, las fórmulas químicas empíricas y moleculares; fórmulas químicas empíricas y moleculares asociadas a otras anotaciones como s, l, g, ac, para representar las fases sólida, líquida, gaseosa u otro contexto específico, por ejemplo medio acuoso, el cual a su vez implica la fase líquida; fórmulas químicas combinadas y relacionadas para expresar ecuaciones químicas. Símbolos elementales y combinación de símbolos

constituyen una estructura semiótica con reglas formales que gobiernan la sintaxis y la semántica química.

#### **4.2 Grupo participante**

Como fue anotado en la introducción, el grupo participante está constituido de veintiocho alumnos de segundo nivel universitario del Programa de Química de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, diez mujeres y dieciocho hombres. Dos subgrupos, uno, aproximadamente 93% con edad entre los dieciocho y veinte años y un segundo, aproximadamente 7% entre veinticinco y veintiocho años. Los miembros del segundo subgrupo poseen un título y experiencia profesional, en el desarrollo de su carrera participaron de cursos básicos de Química General, Orgánica, Analítica e Inorgánica. La universidad es una entidad pública de educación superior, a la cual acceden mayoritariamente jóvenes de los estratos sociales uno, dos y tres. La composición social del grupo corresponde aproximadamente por partes iguales a esta estratificación.

El 93% del grupo posee una experiencia en aprendizaje escolar de Química que se remonta a cursos de dos horas semana (90 minutos), durante diez meses en los grados décimo y onceavo de la educación secundaria y diez horas-semana durante un semestre (160 horas-semestre) en el primer nivel de química en la universidad. Las diez horas están distribuidas en dos cursos denominados “Teórico” y “Práctico”. El teórico, dos sesiones-semana de cien minutos cada una y el práctico, dos sesiones-semana de ciento cincuenta minutos cada una. “Soluciones y Estequiometría” centrado en los temas: soluciones, gases, reacciones químicas y cálculos estequiométricos y “Técnicas de Laboratorio”, dirigido a desarrollar habilidades en el manejo de instrumentos y de algunas técnicas de separación de mezclas, preparación de soluciones y de medición de propiedades como la densidad, las temperaturas de fusión y ebullición y la solubilidad. Estos cursos dictados por profesores diferentes.

La intervención se realiza durante un semestre académico, en el ejercicio de la realización de uno de los cursos de Química de segundo nivel, denominado

“Estructura y Enlace”. La intensidad horaria corresponde a veinte semanas con un total de ciento dieciséis horas, distribuidas en ochenta horas-clase, dos sesiones-semana de cien minutos cada una y dos horas semana de encuentro del grupo y la profesora, en la figura de asesoría, dirigida a dialogar respuestas a preguntas planteadas por los participantes, aclarar conocimientos, solución de dudas y confusiones y a realizar reconstrucción de tareas. El 93% de los alumnos participó de modo regular del total de las sesiones de clase y asesoría.

El grupo de alumnos adopta todo el tiempo, desde el inicio de la intervención hasta el final, una actitud positiva para el aprendizaje significativo y la comprensión de conocimiento químico relativo al contenido del curso. Actitud manifiesta en el comportamiento de los alumnos siempre puntual a clase y a la asesoría; corregir siempre tareas, pruebas cortas y exámenes; en la persistencia de realizar la actividad de aula hasta cumplir la meta a alcanzar, resolver dudas y confusiones; generar mediante la pregunta el dialogo con la profesora y otros alumnos e insistir para la adquisición del significado. Esta actitud favorece el desarrollo de la intervención, la asistencia permanente a la práctica de la asesoría y la acción activa en el aula y fuera del aula.

#### **4.3 Situación de aula**

El desarrollo de este proyecto tiene a su favor, una experiencia antecedente de la investigadora (Alzate, 1995, 1996, 1997, 2001a) en la búsqueda del diseño de actividades de enseñanza que faciliten el aprendizaje de las fórmulas químicas empíricas, moleculares, estructurales y la representación molecular como geometría molecular y como interacción entre núcleos y electrones.

La experiencia docente ha progresado en el ejercicio de enseñar átomos y moléculas como interacciones entre núcleos y electrones y geometría molecular, con resultados desfavorables al aprendizaje significativo de los alumnos y favoreciendo el aprendizaje mecánico, ya que los alumnos no tienen el conocimiento antecedente químico, físico, matemático y geométrico para comprender esta clase de interacciones y establecer los vínculos entre la

representación molecular y las sustancias y su reactividad, además de la necesaria diferenciación y relacionabilidad entre fórmula molecular, fórmula estructural en términos topológicos, fórmula estructural como geometría molecular y moléculas como interacciones entre núcleos y electrones.

Esta situación ha trascendido dado los estudios de doctorado y la realización en el año 2001 de un proyecto de investigación (Alzate, 2001b, 2002) relacionado con el aprendizaje significativo del sistema periódico de los elementos químicos, realizado con alumnos de primer nivel universitario del programa de química, en el cual se halló la identificación de equivalencia por los alumnos para los conceptos de elemento, átomo y sustancia simple, así como para sustancia compuesta, mezcla homogénea y molécula (Alzate, 2004a, 2004b). También se evidenció la no utilización por los alumnos de las fórmulas químicas y una actitud pasiva a la espera de que esta le sea dada por el profesor, o tomarla de un texto como un símbolo que se escribe sin atribuirle significado.

Dicha situación ha estado acompañada por un análisis continuo de las dificultades de los alumnos para el aprendizaje de la Química y en particular para el aprendizaje del lenguaje químico y de la representación molecular, dificultades que se inician al no disponer los alumnos de modo significativo de conocimiento químico acerca de las sustancias y su reactividad química para permitir la comprensión y la utilización consciente de las respectivas representaciones lingüísticas y moleculares y su significación (Alzate, 2005<sup>9</sup>, 2006<sup>10</sup>).

En este contexto progresa el diseño de una clase de situaciones de aula que implica los conceptos y la representación lingüística en química para representar elementos, sustancia simple, sustancia compuesta, mezclas y propiedades, en la

---

<sup>9</sup> Alzate, C. M. V. (2005), Elemento, sustancia simple, átomo: tres términos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos, *Pedagogía y Educación*, Revista Facultad de Educación, U. de A., Vol. XVII, 177-193.

<sup>10</sup> Alzate, C. M. V. (2006), Aprender Significativamente y Lenguaje Químico, *Investigações em Ensino de Ciências*, UFRGS (en trámite).

idea de la construcción por los alumnos de un sistema de conceptos básicos y de representaciones en el campo conceptual composición/estructura a nivel molar y molecular en una primera etapa y su progreso al nivel eléctrico. Esta experiencia ha dado lugar a diseñar y refinar la situación de clasificación de sustancias como un problema que permite poner en acción los esquemas de asimilación antecedentes de los alumnos, el estudio progresivo de la acomodación sus filiaciones y rupturas, y la posible construcción de nuevos esquemas de asimilación, su acomodación y adaptación.

Dada la experiencia de la docente en el conocimiento de los métodos de estudio de los alumnos y su forma de aprender, centrada en el aprendizaje mecánico de algoritmos, memorista y simplista, y en la mira de favorecer unas condiciones mínimas para el aprendizaje significativo, los alumnos interactúan con un organizador previo de proceso, durante las ocho horas de aula siguientes a la primera sesión, el cual presenta de modo abreviado la teoría de aprendizaje significativo de D. Ausubel, en la idea de la teoría de asimilación, condiciones para el aprendizaje significativo, los principios de diferenciación progresiva, reconciliación integradora y consolidación y las clases de aprendizaje significativo. También reciben instrucción acerca de la construcción de mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988; Moreira, 2000a), su importancia para el aprendizaje y la organización jerárquica de los conceptos y las relaciones entre estos. Estas ideas permean el desarrollo de la intervención y con frecuencia se vuelve a ellas para ayudar a los alumnos a tomar conciencia de la diferencia entre aprendizaje mecánico y aprendizaje significativo, de la importancia del lenguaje para el aprendizaje y de los procesos humanos de construcción de conocimiento, en particular la actividad mental dirigida a la meta de clasificar en Química, como también de las dificultades, dedicación y esfuerzo personal para su adquisición y en particular para que los alumnos tomen conciencia de la necesaria y constante actitud humana de rectificar y volver a realizar la tarea, lo cual consignan en su cuaderno de aula, en la mira de la superación del error en lo que Moreira (2000b) llama aprendizaje por el error y considera este como el mecanismo humano por

excelencia para la construcción de conocimiento, que en la perspectiva de la teoría de campos conceptuales significa hacer consciente la realización de las rupturas y filiaciones en sus tendencias cognitivas.

La práctica de la asesoría semanal constituye un espacio para el dialogo entre alumnos y entre estos y la profesora al considerar dudas, confusiones y preguntas planteadas por los alumnos, aclarar instrucciones, metas y rehacer tareas.

#### **4.4 Tendencias cognitivas**

Las concepciones previas de los estudiantes para las nociones sustancia, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, fórmula química y molécula, son estudiadas primero en cuanto partes de una red de ideas que constituyen una totalidad como estructura de asimilación de conocimiento implícito, con la cual los estudiantes asumen y resuelven problemas en química, y en cuanto los significantes utilizados por los alumnos para tales invariantes operatorios. En la perspectiva de Vergnaud, el conocimiento previo, aún muy intuitivo, está estructurado y la tarea del profesor y/o investigador es interpretar dicha estructura con el propósito a corto plazo de profundizar en ella y estudiar el conflicto entre ésta y nuevas concepciones facilitadas por la enseñanza o las filiaciones entre ella y el nuevo conocimiento.

La intervención en el aula consiste de la siguiente secuencia:

a) Una primera indagación de las tendencias cognitivas de los alumnos se fundamenta en una situación inicial como cuestionario abierto (Anexo 1) para los conceptos: sustancia, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, fórmula química y molécula. El propósito es analizar tales conceptos en términos de invariantes operatorios usados por los alumnos, a fin de realizar una primera descripción e interpretación de los posibles invariantes operatorios

constituyentes de esquemas de asimilación de los estudiantes previos a la intervención.

Cada alumno responde de modo individual el cuestionario.

b) Diálogo de aula profesora-alumnos al solicitar a los participantes expresar de modo oral sus definiciones y argumentos a favor de las definiciones declaradas, las cuales son registradas en un sistema de audio.

c) Una segunda actividad consiste en la representación diagramática de los alumnos para la separación de la mezcla {agua, etanol y cloruro de sodio}  $\{H_2O_{(l)}, C_2H_5OH_{(l)}, NaCl_{(s)}\}$ , la cual han realizado como actividad experimental en el curso de laboratorio de química de primer semestre.

d) Diálogo personal e informal con cada alumno dirigido a profundizar con respecto a su declaración escrita, su argumentación expresada de modo oral, su representación para la separación de la mezcla {agua, etanol y cloruro de sodio}  $\{H_2O_{(l)}, C_2H_5OH_{(l)}, NaCl_{(s)}\}$ , en la búsqueda de precisar y ampliar algunos teoremas-en-acto en cuanto enunciados proposicionales de mayor significatividad.

e) Los registros sistematizados y analizados son organizados por la profesora en tres esquemas según la sistemática de la información dada por los alumnos y presentados a éstos para su lectura, sugerir la palabra conector y su acuerdo o variación con la organización de los conceptos.

#### **4.5 Tendencias y ayudas cognitivas: Filiaciones y rupturas**

Tendencias y ayudas cognitivas busca en primer lugar, dar validez a los esquemas de asimilación hallados en la primera etapa; en segundo término,

indagar las filiaciones y rupturas y en tercer lugar, inducir la construcción de nuevos esquemas de asimilación, cuando los alumnos interactúan con una colección de materiales químicos cuyo objetivo consiste en la organización de una clasificación química.

El propósito de la actividad clasificatoria es dar una oportunidad a los alumnos para diferenciar entre materiales cotidianos y sustancias químicas, percibir y representar clases de sustancias en lugar de sustancias aisladas, su identificación por el grupo funcional, establecer diferencias y similitudes químicas; propiciar en los alumnos el conocimiento como una jerarquía de conceptos generales y subordinados, que les es funcional para resolver tareas y para aprender nuevos contenidos de Química.

En la teoría de los campos conceptuales una situación es concebida como un conjunto de objetos, propiedades y relaciones en un contexto específico que implica la interacción del sujeto y sus acciones como comportamiento y procedimientos cognitivos.

”...Nosotros nos limitamos al sentido que habitualmente le da el psicólogo: los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto son función de las situaciones a las que son confrontados...” (Vergnaud, 1990,150).

En la búsqueda de las respuestas de los sujetos en función de la situación, los objetos de ésta es una colección de materiales listada en el Cuadro N° 4. La colección consta de productos manufacturados de amplio uso cotidiano, sustancias simples y compuestas familiares y no familiares a los alumnos, algunas de uso común en la vida ordinaria, otras con alguna familiaridad en los cursos de química de primer nivel y otras desconocidas. Las muestras, productos manufacturados, son dispuestas con el nombre comercial y el rotulo de composición de la empresa productora; las sustancias simples y compuestas son rotuladas con el nombre común cuando lo posee, el nombre químico según las reglas de la nomenclatura sistemática y la fórmula química empírica o molecular; las sustancias en solución acuosa, rotuladas con el nombre común de la solución si lo posee, el nombre sistemático de la sustancia adicionado el término acuoso y

el respectivo símbolo químico. Los Cuadro N° 4, 4a, 4b y 4c, representan la forma de rotular de acuerdo a la clase de material.

**Cuadro N° 4: Colección de materiales**

Arena [ $\text{SiO}_{2(s)}$  (80%),  $\text{MnO}_{2(s)}$ ]; Tiza; Ladrillo molido; Cloruro de sodio sólido  $\text{NaCl}_{(s)}$ ; Dibromo líquido  $\text{Br}_{2(l)}$ ; Alcohol, Etanol acuoso  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(ac)}$ ; Carbón mineral; Azúcar, Sacarosa [ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(s)}$ ]; Aleación, Latón [ $\text{Cu}/\text{Zn}$ ]; Carbono grafito  $\text{C}_{(grafito)}$ ; Hierro sólido  $\text{Fe}_{(s)}$ ; Cerilla (fósforo) [ $\text{P}_{4(s)}$ ,  $\text{KClO}_{3(s)}$ ,  $\text{S}_{8(s)}$ ]; Octaazufre sólido  $\text{S}_{8(s)}$ ; Cobre sólido  $\text{Cu}_{(s)}$ ; Plata sólida  $\text{Ag}_{(s)}$ ; Dióxido de silicio sólido  $\text{SiO}_{2(s)}$ ; Óxido de cobalto sólido  $\text{CoO}_{(s)}$ ; Estaño sólido  $\text{Sn}_{(s)}$ ; Magnesio sólido  $\text{Mg}_{(s)}$ ; Octaselenio sólido  $\text{Se}_{8(s)}$ ; Boro, Dodecaboro sólido  $\text{B}_{12(s)}$ ; Sulfato de calcio sólido, Tetraoxosulfato de calcio  $\text{CaSO}_{4(s)}$ ; Chalcantita, Sulfato de calcio pentahidratado, Tetraoxosulfato de cobre pentahidratado,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ ; Tiosulfato de potasio, Trioxotiosulfato(2-) de potasio,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3_{(s)}$ ; Sulfato de níquel y potasio hexahidratado,  $\text{K}_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ ; Sulfato de calcio pentahidratado acuoso, Tetraoxosulfato de cobre pentahidratado acuoso,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(ac)}$  [ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ ]; Ácido clorhídrico, Cloruro de hidrógeno acuoso,  $\text{HCl}_{(ac)}$ , [ $\text{HCl}_{(g)}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ ]; Aire (seco) [ $\text{N}_{2(g)}$ ,  $\text{O}_{2(g)}$ ,  $\text{Ar}_{(g)}$ ,  $\text{CO}_{2(g)}$ ,  $\text{Ne}_{(g)}$ ,  $\text{He}_{(g)}$ ,  $\text{Kr}_{(g)}$ ,  $\text{Xe}_{(g)}$ ]; Tetraoxosulfato de cobre pentahidratado  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ ; Leche; Mercurio  $\text{Hg}_{(l)}$ ; Cerveza; Acetona, Propanona,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3_{(l)}$

Nombre comercial  
Ficha comercial de composición  
Ficha composición química

Nombre común  
Nombre químico sistemático  
Fórmula química

Nombre químico sistemático  
Fórmula química

**4a**  
**Productos manufacturados**

**4b**  
**Sustancias familiares**

**4c**  
**Sustancias no familiares**

La situación de clasificación, en la perspectiva de establecer el conjunto de las clases y subclases posibles se lleva a cabo en las siguientes etapas:

a) Una primera etapa se centra en la iniciativa personal de subgrupos de alumnos integrados por tres jóvenes, para organizar la colección según su conocimiento antecedente y la oportunidad de diferentes ordenaciones hasta cuando ellos tomen la decisión de finalizada la tarea. Concluir la tarea corresponde a las clasificaciones

realizadas por cada subgrupo, al considerar los alumnos el límite de su conocimiento para llevarla a cabo y no decidir por otras opciones de clasificación.

Cada subgrupo de alumnos dispone de una colección de materiales. Realizan las diferentes ordenaciones en la mesa de trabajo del aula, cada clasificación construida en el dialogo y consensuada en el subgrupo, es representada de modo individual y gráfico en una hoja, mediante un diagrama de Ven y explicitados los argumentos que deciden la clasificación. En caso de no ser un acuerdo en el grupo, se presenta como una de las alternativas de ordenación. Es permitido el dialogo entre alumnos de los diferentes subgrupos. Preguntas, respuestas, dudas y confusiones expresadas de modo oral son registradas en un sistema de audio e integradas al diario de campo de la profesora.

b) En la segunda etapa, los alumnos interactúan con un organizador previo expositivo, con el objetivo de una primera introducción y relación con la estructuración del conocimiento químico, como una sistemática según la estructura lógica de la química propuesta por Jensen (1998) con fines pedagógicos (ver Cuadro N° 2, pág. 82). El texto, además de destacar la estructura general, enfatiza el campo conceptual composición/estructura, conceptos y su estructura de relaciones para sustancias y sus comportamientos, fórmulas empíricas moleculares y estructurales. Diferenciación y relacionabilidad entre sustancias, su dinamismo químico y la representación lingüística como modelos para la comprensión de los objetos y fenómenos de la química.

c) En la tercera etapa, el grupo de alumnos interactúa con material escrito potencialmente significativo, el cual expone contenido relativo al campo conceptual

composición/estructura, con el propósito de profundizar en la conceptualización operatoria y teórica acerca de las sustancias, las representaciones lingüísticas y la identificación y clasificación de un conjunto de funciones químicas.

El material incluye actividades de aula, construcción de mapas conceptuales relativos al nuevo contenido y actividades de consolidación del conocimiento.

**d)** En la cuarta etapa, los alumnos interactúan de nuevo con la colección de materiales a fin de cumplir con la meta de realizar una clasificación química de sustancias. Organizados en subgrupos de tres alumnos, los estudiantes realizan consecutivas ordenaciones con criterios argumentados, interactúan una y otra vez con el material escrito, con la profesora y los alumnos entre sí. De este modo, apoyados en el nuevo conocimiento acerca de las sustancias y de las representaciones lingüísticas como lenguaje natural, nombre sistemático, fórmulas relativas, moleculares y funciones químicas. Cada nueva clasificación es construida en el dialogo y consensuada en el subgrupo, representada de modo individual y gráfico en su cuaderno de aula mediante un diagrama de Ven.

**e)** Tanto durante la interacción con material escrito como con la colección de materiales es necesaria la interacción de los alumnos con actividades experimentales dosificadas en calidad de demostraciones, algunas como nuevas experiencias y otras retomadas como experiencias adquiridas de los alumnos, con el objetivo de ayudar a la significación y diferenciación de conceptos operatorios para sustancia pura, mezcla

homogénea y heterogénea, homogeneidad, combinación química, relación de composición invariante de las sustancias y de composición variable de las mezclas.

Finalmente, los datos son construidos desde los siguientes registros: Mapas conceptuales, diálogos informales profesora-alumno, diagramas de clasificación y cuadernos de aula de los alumnos, soluciones a tareas, grabaciones de diálogos expresados durante la interacción con la colección y diario de campo de la profesora.

## CAPITULO 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1 Tendencias cognitivas

Las concepciones previas de los estudiantes para las nociones sustancia, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea y molécula, son estudiadas como invariantes operatorios de un sistema de ideas que constituyen una totalidad como estructura de asimilación de conocimiento implícito, con la cual los estudiantes asumen y resuelven problemas en Química y en cuanto los significantes utilizados por los alumnos para tales invariantes operatorios. En la perspectiva de Vergnaud, el conocimiento previo, aún muy intuitivo, está estructurado y la tarea del profesor y/o investigador es identificar dicha estructura con el propósito a corto plazo de profundizar en ella y estudiar el conflicto entre ésta y nuevas concepciones facilitadas por la enseñanza o las filiaciones y rupturas entre ella y el nuevo conocimiento.

Ya Vygotsky [1995 (1934),187] planteaba que “En la adquisición de conceptos científicos el *sistema* debe construirse a la vez que su desarrollo” como relaciones de generalidad. Un concepto es expresado a través de otros conceptos, lo cual permite establecer la equivalencia de conceptos, las operaciones intelectuales posibles con uno u otro concepto y como difieren éstas con el objeto o fenómeno y con el significado verbal. Un concepto no es aislado, está sumergido en el trasfondo de las relaciones de generalidad con otros conceptos. Es decir, la organización de los conceptos se constituye en decisiva y es central en nuestro análisis las relaciones específicas entre conceptos globales y subordinados como situación inicial al abordaje de contenidos ya estudiados y nuevos contenidos. Un concepto es viable de ser formulado con ayuda de otros conceptos en un número ilimitado de formas según su grado de relación a nivel de lo concreto y lo abstracto (Ibid., 188).

La información inicial obtenida de modo escrito mediante definiciones dadas por los alumnos a las nociones antes enunciadas, esquemática y elemental, es enriquecida mediante el dialogo de aula profesora-alumnos y por medio del diálogo personal e informal con cada alumno. Elaborados los esquemas que representan las relaciones conceptuales, según el análisis de la investigadora, son presentados a los alumnos para ser confrontados con sus ideas y sugerir su acuerdo o variación; Después de un tiempo entre tres y seis minutos, los alumnos y alumnas expresaron estar de acuerdo y sugieren el término "son" para colocar como conector.

El grupo de 28 alumnos se caracteriza por una estructura de asimilación común a veintiuno participantes; otras cuatro correspondientes cada una a un alumno, las cuales se diferencian en algunos aspectos de la anterior y tienen con respecto a ésta equivalencias comunes. Tres alumnos no expresan sus ideas por los medios solicitados escrito y oral y no participan del dialogo informal.

El análisis de la información obtenida permite identificar unas primeras estructuras de asimilación, que llamamos primitivas, en virtud de ser el conocimiento con el cual los estudiantes inician la larga tarea de confrontar estas primeras tendencias cognitivas con las situaciones a resolver y con el material preparado para favorecer el progreso cognitivo. Estas estructuras se caracterizan por varias equivalencias entre conceptos, fundamentadas en la experiencia perceptiva tanto en la vida cotidiana como en la interacción con materiales y actividades en el laboratorio y en la forma como los alumnos han asimilado el conocimiento adquirido en cursos anteriores.

### **5.1.1 Equivalencias perceptuales entre conceptos**

En nuestra interpretación, una estructura de asimilación dominante correspondiente al 75,00% de los alumnos, reconoce el término "sustancia pura"<sup>11</sup> como sinónimo de sustancia, dado "que es más fácil" para organizar sus ideas.

---

<sup>11</sup> Los términos entre comillas responden a afirmaciones de alumnos.

Desde la noción de “sustancia pura” como un objeto perceptible por los sentidos, principalmente la vista y manipulable a través de diversas operaciones, se establece una primera equivalencia con el término elemento, en cuanto objeto natural dado, esto es, como un ente presente en la naturaleza que “no se encuentra contaminado” y en términos de otros alumnos “no está mezclado” y como tal se equivale con sustancia simple, a fin de diferenciar sustancias simples y compuestas como “sustancias puras”. En esa relación con la percepción inmediata, la estudiante  $E_1$ <sup>12</sup> enuncia las siguientes proposiciones, consideradas por la investigadora como teoremas-en-acto, es decir, proposiciones que la estudiante considera verdaderas acerca de elemento y sustancia simple, el cual concibe como un objeto localizable y no mezclado:

Elemento químico: “es la forma más simple en que encontramos una sustancia pura”  
Sustancia simple: “es una sustancia que no ha sido mezclada (elemento)”

El estudiante  $E_2$  expresa la siguiente proposición que tiene el carácter de ser funcional para argumentar que el elemento químico se encuentra en la naturaleza como un objeto natural dado:

Elemento químico: “Es la sustancia química pura como la encontramos en condiciones normales de temperatura y presión”.

En nuestra interpretación, elemento químico concebido como una sustancia pura localizada a temperatura y presión ambiente que el alumno nombra condiciones normales, como propiedades de contexto, que ha adquirido en el proceso de aprendizaje y no significa de modo claro. Esta proposición argumentativa es coherente con la proposición, teorema-en-acto, que expresa acerca de sustancia pura y da lugar a evidenciar la no diferenciación de condiciones normales, condiciones estándar y condiciones de temperatura y presión en un contexto específico:

Sustancia pura: “Es como las encontramos en la naturaleza en su forma natural”.

---

<sup>12</sup> Nombre de alumna y/o alumno es ficticio.

Nuestra interpretación de las anteriores proposiciones, invariantes operatorios posible contenido de los esquemas de los alumnos, responde a la sustancia química significada con gran firmeza como algo dado y natural. Esta concepción es una indicación de como se relaciona, de modo espontáneo, el esquema de asimilación con la sustancia y el bajo grado de asimilación de la experiencia de aprendizaje en el laboratorio de química, relacionada con la obtención de sustancias mediante la interacción con las mezclas por métodos de separación.  $E_2$  como sus demás compañeros y compañeras, ha realizado experiencias empíricas relacionadas con varias metodologías de obtención de sustancias puras, que parece ser son asimiladas de modo principal como hechos aislados, no vinculados estos con un soporte conceptual para una primera generalización de la conceptualización operatoria de sustancia.

Algunos alumnos asignan de modo decidido cualidades perceptibles al elemento mediante proposiciones funcionales para expresar tales aspectos. La estudiante  $E_3$  declara al respecto:

Sustancia simple: "Es sustancia elemental, está compuesta de una sola sustancia pura en determinada fase".

Interpreto que la estudiante concibe la sustancia simple como la sustancia elemental dada en una fase. Fase es un concepto operatorio que utiliza para designar la sustancia como sólida, líquida o gaseosa, un objeto concreto del mundo material perceptible a los sentidos. Otro estudiante,  $E_4$ , se refiere al elemento con la siguiente proposición a fin de especificar propiedades concretas e introducir una nueva cualidad, la estructura:

Elemento químico: "Es la sustancia más pura que se puede encontrar, posee masa y peso. Debido a su estructura puede asociarse con otras sustancias".

Al elemento se asigna las características de localización, masa y peso de un objeto macroscópico cotidiano, las cuales el alumno enuncia y no diferencia masa y peso más allá de reconocer que un profesor "explicó la diferencia y el no recuerda". Al asignar la característica de estructura notifica que los elementos se asocian, a su modo de ver, "con otras sustancias para formar otras sustancias". El

reconocimiento intuitivo de la cualidad estructural subyace para el concepto-en-acto, asociar, la asociación de las sustancias puras y es también el reconocimiento de la palabra para argumentar y el alumno no organiza un enunciado proposicional explicativo para asociar elementos, cuando es inquirido por su noción de cualidad estructural.

Otro estudiante, explora la ampliación de la idea de elemento y manifiesta que la sustancia simple no se puede descomponer en otras; reafirma un referente material concreto al cual asigna la propiedad de no descomposición como una cualidad inmutable de la sustancia simple e introduce la noción de representación del elemento en la tabla periódica. Enuncia  $E_5$ :

Elemento Químico: "Sustancia simple que no se puede descomponer en otras más simples, tienen una representación en la tabla periódica"

La propiedad de no descomposición asignada por el estudiante a la sustancia simple, adquirida en el proceso de aprendizaje y probablemente de modo principal en la interacción con textos de química<sup>13</sup>; el alumno argumenta la no descomposición apoyado en lo afirmado en algunos de ellos, "eso dice el libro". Mediante el dialogo informal,  $E_5$ , luego de un silencio, argumenta esta cualidad como "no cambia...ah...es mejor... se mezcla y da compuestos". La sustancia simple en equivalencia con elemento, constituye un referente concreto a partir del cual se da la formación de otras sustancias más no su descomposición.

Al referirse  $E_5$  a una representación, alude en dos direcciones. Primero, a un formato de tabla periódica con el cual está familiarizado y tiene impresa en cada casilla una fotografía de una muestra de la respectiva sustancia simple en un contexto específico, por ejemplo: un trozo de hierro, cobre o zinc metálico [ $Fe_n$  o  $Fe_{(s)}$ ,  $Cu_n$  o  $Cu_{(s)}$ ,  $Zn_n$  o  $Zn_{(s)}$ ]<sup>14</sup>, sólido amarillo octazufre [ $(S_8)_n$  o  $S_{8(s)}$ ], un recipiente

---

<sup>13</sup> Textos consultados con frecuencia por los estudiantes:

Chang, R., 2002, *Química*, 7ª edición, Ed McGraw-Hill, México, Pág. 999.

Petrucci, R., 1999, *Química general: principios y aplicaciones modernas*, 7ª edición, Ed Prentice may, Madrid, Pág. 1067.

<sup>14</sup> Los significantes entre corchetes son anotados por la investigadora.

que contiene dióxigeno gaseoso [ $O_{2(g)}$ ]. En segundo lugar, a un símbolo unitario para designar cada muestra: Fe, Cu, Zn, S, O.  $E_5$  asume la muestra de la sustancia simple como el elemento y su representación en lenguaje químico está localizada en el símbolo unitario. Asocia el símbolo unitario expresado en cada casilla como la representación para la imagen dada en la fotografía, la cual a su vez referencia un objeto químico. Imagen y significante unitario se asocian al enunciado “Tabla periódica de los elementos químicos” e infiere al elemento como un objeto concreto con la cualidad de no descomponerse en otro más simple, característica referenciada con base a la definición dada en algún texto y por algún profesor.

La profesora interpreta que en la lógica según la cual elemento y sustancia simple son dos términos para el mismo referente, objetos naturales dados como “sustancia pura”, son también adoptados como punto de partida para la formación de sustancias compuestas y éstas concebidas como equivalentes a mezclas. La asociación de sustancias simples, designada también por los alumnos como sinónimo de los términos “combinación” y “unión”, origina sustancias compuestas, las cuales son significadas como mezclas. En esta dirección,  $E_2$  expresa la siguiente proposición:

Sustancia compuesta: “Es la combinación de dos elementos químicos que le dan formación a una sustancia nueva ej:  $H_2O$ ;  $CO_2$ ...”

El significante  $H_2O$  es significado como unir hidrógeno (H) y oxígeno (O), e hidrógeno (H) y oxígeno (O) referidos como “se mezclan y da agua”. Esta connotación está soportada en el hecho de presenciar en el laboratorio, una demostración cualitativa acerca de la reacción química entre volúmenes definidos, en una relación 2/1, de dihidrógeno gaseoso [ $H_{2(g)}$ ] y dióxigeno gaseoso [ $O_{2(g)}$ ], la cual es presentada a los alumnos como “la reacción entre hidrógeno y oxígeno” y el estudiante expresa con los símbolos unitarios H, O lo que ha sido nombrado por el profesor en palabras. La acción percibida por él, es la de mezclar dos sustancias simples en fase gaseosa, las cuales se encuentran almacenadas inicialmente de modo individual y luego reunidas en uno de los recipiente mediante

una operación de traslado para constituir una mezcla; un fósforo (cerilla) encendido hace contacto con la mezcla, una pequeña explosión y unas gotas de líquido transparente fluyen por las paredes del recipiente, con la ayuda del profesor se asume es agua y no hay conciencia de la transformación de las gotas de agua inicialmente gaseosa y luego líquida, de las relaciones de combinación y de las transformaciones de las sustancias punto de partida, no perceptibles de modo directo, para percibir de modo significativo el resultado final, agua, en contexto específico.

El estudiante percibe la situación con los aspectos que más le llaman la atención y la asimila como una imagen que generaliza para todos los casos de formación de sustancias, “dos elementos se combinan” y conceptúa combinar como la operación de mezclar y la acción del fósforo encendido como una “ayuda para la explosión”. Probablemente el profesor no ha permitido al alumno interactuar lo suficiente con los aspectos cuantitativos y de transformaciones de las sustancias para generar una nueva, lo cual podría orientar al alumno a afirmarse en aquellos aspectos perceptibles de modo inmediato, omitiendo otros que requieren una mayor atención y ayuda conceptual para su percepción.

El alumno no explica el por qué del subíndice en el significante, adopta que esta ahí y debe aprenderse la fórmula así, “así se escribe”. Cuando se le demanda escribir la ecuación química, él intenta recordar... “no me acuerdo”... “está escrita en el manual”, luego de una pausa escribe:  $H + O \rightarrow H_2O$ . No es consciente de la relación de composición en los dos términos de la ecuación y concluye “siempre nos dan las fórmulas y las ecuaciones”.

De otra parte  $E_5$ ,  $E_3$  y  $E_1$  se expresan respecto a la sustancia compuesta:

Sustancia compuesta: “Es la unión de dos o más sustancias simples, comúnmente llamadas compuestos”.

Sustancia compuesta: “Son diferentes sustancias simples que se unen. Están compuestas de varias sustancias puras”.

Sustancia compuesta: “mezcla de dos o más sustancias simples (puras)”

En nuestra interpretación, unión es conceptualizado como reunir o juntar de modo mecánico sustancias simples o elementos, ejemplificada con la conocida sustancia cloruro de sodio: “NaCl es la mezcla de Cl y Na”. El símbolo unitario designa la sustancia simple, ambas mezcladas forman cloruro de sodio. Los tres alumnos relatan experiencias de observación de las reacciones de sodio con agua y de sodio con cloro: “mezclaron un pedacito de sodio y agua y apareció una llama”; “mezclaron Na y Cl en un aparato y dio NaCl”. Se refieren a sodio metálico  $\text{Na}_n$  y dicloro gaseoso  $\text{Cl}_{2(g)}$ , que ellos representan con los símbolos unitarios Na y Cl para referirse a sustancias concretas que se juntan.

En un momento del dialogo informal, se les plantea una sustancia no común, sulfuro de estroncio sólido, solicitan la fórmula y ante el símbolo  $\text{CaS}_{(s)}$ , emerge un viraje imprevisto del significado de mezcla “se unen los símbolos distintos”. Ante la ausencia de imagen de un referente concreto para estroncio y azufre, la unión de símbolos unitarios y diferentes, les permite inferir una sustancia compuesta. Igual comportamiento expresan para varios casos referenciados a sustancias no comunes, por ejemplo, nitrato de cobre sólido  $\text{CuNO}_{3(s)}$ . Los alumnos piensan en términos de la asociación de los símbolos unitarios: Cu, N, O, sin consideración alguna por el subíndice o por la función química nitrato  $\text{NO}_3^-$ . “ahí están de alguna manera”, es el modo de concretizar la sustancia compuesta a partir de los elementos como sustancias simples concretas representadas por símbolos unitarios.

Interpreta la profesora la noción de mezcla como ser una dualidad frente a lo conocido y lo desconocido. Desde la sustancia percibida o conocida para la cual hay una imagen, asociación de sustancias simples concretas para formar sustancias compuestas. Para sustancias compuestas desconocidas, asociación de símbolos unitarios diferentes, lo cual da lugar a situar un referente concreto para el cual no se tiene imagen definida. El significante se hace relevante en relación con la ausencia del objeto, debe significarse en primer lugar y luego suponerse el objeto. Enfrentar símbolos para sustancias desconocidas evoca el término

molécula en algunos alumnos; “ah... eso tiene que ver con la molécula” es el concepto-en-acto para concretizar la fórmula química y el objeto referente.  $E_6$  como la mayoría de los alumnos, percibe frente a esta situación que sustancia y molécula están relacionadas y manifiesta una proposición en la que relaciona sustancia compuesta y átomos o moléculas de elementos:

“Sustancia compuesta es aquella en la que se encuentra diferentes tipos de átomos o moléculas de varios elementos”

En esta lógica la molécula es vinculada a la sustancia como “aquella partícula que conforma la sustancia compuesta y se puede componer de uno o varios átomos” y “átomos son los elementos”. La partícula es considerada como un ente real muy pequeño, “no se puede ver...ahí están”. Átomos y moléculas adquieren la connotación de ser la mínima partícula de sustancia con las propiedades de la sustancia. Los átomos corresponden en unidad de equivalencia como las moléculas de elementos o sustancias simples y las moléculas como partículas de varios átomos equivalentes a la sustancia compuesta. Componerse de un átomo significa que todos los átomos de elemento son de la misma clase y constituirse de varios átomos se relaciona con clases de átomos diferentes para referirse a sustancias compuestas.

Interpreto una nueva equivalencia para el concepto-en-acto “elemento químico”: “elemento es átomo”. Una tríada de palabras en lenguaje natural sustancia simple-elemento-átomo constituye una equivalencia perceptual, la cual es funcional según la demanda de la situación, ya sea ésta de percepción directa o con un grado de abstracción mayor para connotar la partícula más pequeña de dicha sustancia.

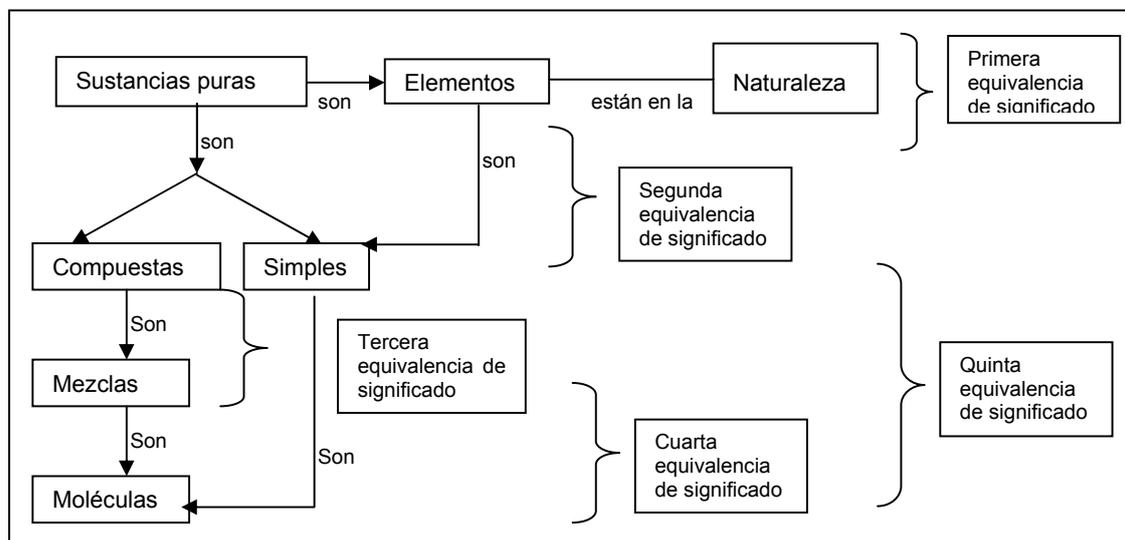
Las sustancias percibidas en términos de partículas, objetos muy pequeños invisibles, son significadas como moléculas y diferenciadas en términos de significantes por el 66% del grupo. El símbolo unitario es el significante para átomo u elemento o sustancia simple y la asociación de símbolos unitarios, omitida la significación del subíndice, es el significante para moléculas o sustancias

compuestas o mezclas. La idea expresada en los siguientes teoremas-en-acto, según la interpretación de la profesora, es común al grupo de alumnos:

- Sustancia simple: "Es aquella que se compone de una sola molécula u átomo del mismo elemento"... "H, O"
- Sustancia compuesta: "Es aquella que está compuesta de varias moléculas u átomos de diferentes elementos"... "H<sub>2</sub>O, NaCl"

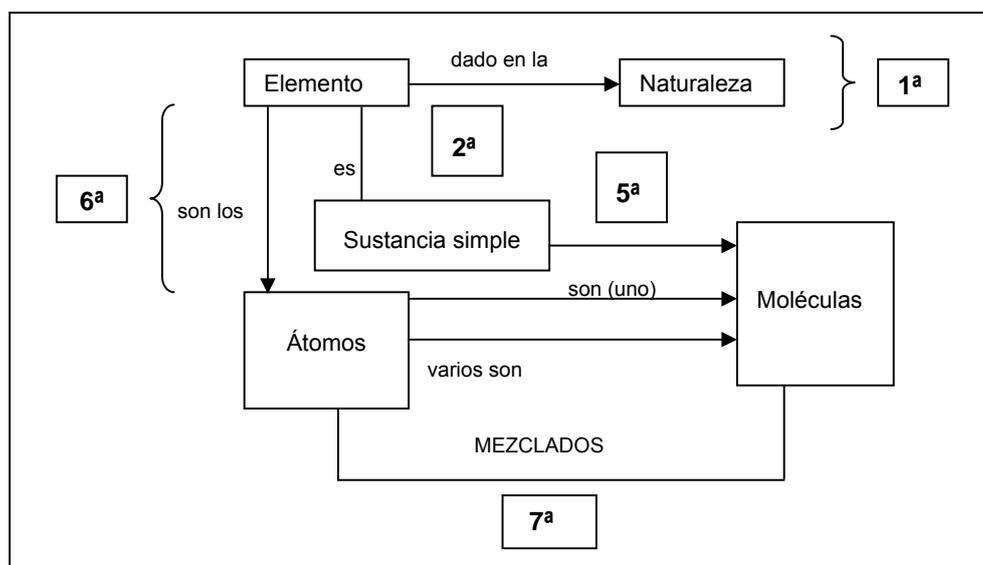
Las equivalencias conceptuales anteriormente descritas e interpretadas por la profesora, son organizadas por ésta en forma de esquemas, los cuales son dialogados por el grupo de alumnos, y en esta acción ponen los conectores, y de este modo son consensuados por los alumnos como mapas conceptuales. Con el propósito de hacer claridad se identifican en cuadros las respectivas equivalencias.

El Mapa Conceptual N° 1, consensuado por el 66% de los participantes, representa cinco equivalencias por ellos establecidas al significar los conceptos sustancia, mezcla, molécula.



**Mapa Conceptual N° 1: Equivalencia conceptual sustancia, mezcla, molécula**

El Mapa Conceptual N° 2, consensuado por el 66% del total de participantes en la actividad, representa equivalencias para los conceptos elemento, sustancia simple, átomo y molécula.



\* Los números en los cuadros relacionan el número de la equivalencia conceptual

**Mapa Conceptual N° 2:**  
**Equivalencia\* conceptual elemento, sustancia simple, átomo, molécula**

$E_7$  más contundente en significar mezcla, introduce una cualidad nueva, la composición definida y constante:

Sustancia compuesta: "Es la mezcla de dos o más compuestos químicos en porciones determinadas y fijas, que da origen sustancias complejas tanto en su composición como el conocimiento de sus propiedades"

Desde la idea similar para el grupo, el elemento "es lo natural no mezclado" (puro), "conocido muy fácilmente por sus propiedades" detalladas como color y masa, la sustancia compuesta la considera sustancia compleja formada por la mezcla de cantidades definidas en volumen o en masa. Sustancia compleja pensada como la mezcla de compuestos químicos cuando explicita su comprensión por medio de un ejemplo: "una porción de mililitros de yoduro de potasio se mezcla con otra de acetato de plomo y forma yoduro de plomo amarillo".

Interpreto que  $E_7$  tiene conciencia de relacionar cantidades definidas y fijas en la formación de una sustancia y asume que las cantidades mezcladas definen de modo directo tales características; más no es consciente de la contradicción establecida entre las cantidades iniciales como volúmenes y la cantidad final expresada en gramos y de cómo estas cantidades son variables y para ellas es posible otras magnitudes diferentes. No percibe la diferenciación entre mezclar cantidades de materiales y obtener una cantidad de un material nuevo, de la relación de composición invariante de una sustancia simple o compuesta establecida de modo indirecto por análisis elemental cualitativo y cuantitativo e independiente de cualquier cantidad de sustancia de la relación variable de composición de una mezcla.

$E_7$  se refiere a una experiencia de laboratorio para la formación de un sólido amarillo de diyoduro de plomo  $PbI_{2(s)}$ , que él enuncia como yoduro de plomo. No diferencia que las materias punto de partida son soluciones acuosas o mezclas homogéneas, tiene la creencia según la cual la solución reacciona como un todo y no un componente de la solución. El aspecto homogéneo, en cuanto percibe una fase líquida para cada una de ellas, lo lleva a considerarlas compuestos químicos; al mezclar compuestos químicos forma una sustancia compleja. Al reflexionar los respectivos nombres que ha enunciado, toma conciencia de su significación “formadas de elementos”, en el dialogo aclara elementos diferentes y argumenta a favor de la sustancia compleja “formada de sustancias compuestas”. En el recuerdo, la imagen de la impresión causada por el color amarillo del sólido, no hubo el desarrollo de la atención a la presencia de otro componente como producto final, de cómo su resultado es una mezcla heterogénea de dos componentes, un sólido amarillo  $PbI_{2(s)}$  y un líquido incoloro que a su vez es una solución acuosa. Además, al utilizar los nombres comunes de las sustancias, no centra la atención en las respectivas fórmulas químicas, ni en el nombre sistemático enunciado como relaciones de composición, ni asimilación de que el sólido amarillo corresponde a una sustancia compuesta. La mezcla final es para el alumno un resultado total, la sustancia compleja.

$E_7$  al significar su conocimiento para sustancia compleja introduce una sexta equivalencia con base en la apariencia homogénea, la sustancia compuesta como mezcla homogénea. Esta idea común al grupo, la expresa  $E_4$  como:

Mezcla homogénea: "Es aquella mezcla donde los elementos se unen para formar un compuesto estable y con propiedades iguales"

$E_1$  de otro modo consigna idea similar:

Mezcla: "combinación de dos o más elementos sea en estados líquido, gaseoso"

Mezcla homogénea: "mezcla en la cual con el paso del tiempo sus propiedades son invariables y si se toman dos muestras ya sea de la parte de arriba y de la parte de abajo de una mezcla homogénea sus características deben ser iguales"

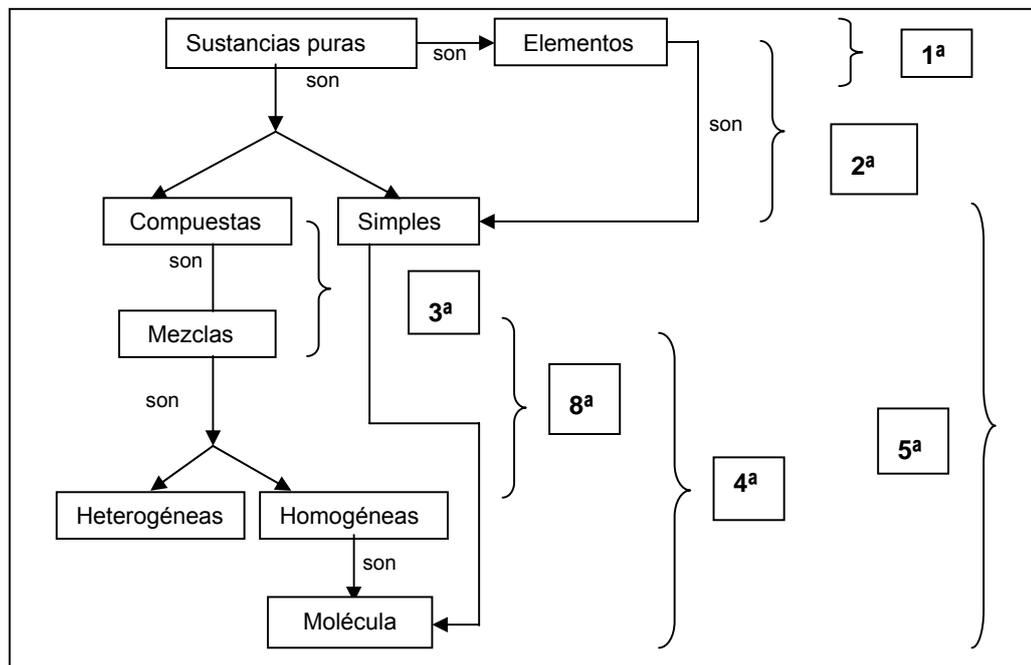
La sustancia compuesta y la mezcla homogénea identificadas como similares con base a la experiencia perceptual sensorial.

El Mapa Conceptual N° 3, consensuado por los participantes, representa seis de las ocho equivalencias por ellos establecidas al significar los conceptos sustancia, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, molécula.

Mezcla homogénea y heterogénea son un fuerte diálogo entre los alumnos para decidir desde la apariencia de la homogeneidad de un estado sólido, líquido o gaseoso, entre sustancia pura y una muestra heterogénea identificada por la percepción, al poderse "notar las fases presentes" y poder "separar los componentes por métodos físicos". En este sentido,  $E_7$  y  $E_8$  afirman respectivamente lo que creemos ser los siguientes teorema-en-acto:

Mezcla heterogénea: "Es aquella mezcla en donde las sustancias forman distintas fases y lo podemos notar"

Mezcla heterogénea: "Es aquella en la que se distinguen sus componentes y además pueden separarse por medios físicos puesto que no tienen una fase definida"



\*Los números en los cuadros relacionan el número de la equivalencia conceptual o de significado

**Mapa Conceptual Nº 3**  
**Equivalencia\* conceptual sustancia, mezcla homogénea, molécula**

Percibir los componentes, las sustancias, y una fase no definida significa para  $E_8$  dos fases, sólido y líquido o dos sólidos perceptibles como diferentes. Interpreto que aislar los componentes de la mezcla heterogénea mediante métodos de separación, es para los alumnos, otro significado para el término mezcla, los componentes de la mezcla heterogénea se pueden separar. A la sustancia en un contexto concreto se puede llegar mediante procedimientos de separación. La obtención de los componentes de una mezcla heterogénea por métodos de separación es asimilada como un hecho y no como una generalización de una metodología operatoria para conquistar la sustancia química.

De modo espontáneo varios participantes plantean dos ejemplos como situaciones de métodos de separación de mezclas. Un caso es la mezcla “agua, etanol, cloruro de sodio” y otro es la mezcla “agua, etanol, arena”, las cuales han estudiado en las actividades experimentales del semestre anterior. Los

participantes asumen las dos situaciones como mezclas y en ningún momento hacen referencia a la naturaleza homogénea o heterogénea de ellas, o a la percepción de una fase o varias fases; es relevante la idea de separar las mezclas.

La profesora solicita representar mediante un esquema uno de los casos; los alumnos dialogan y optan por consenso representar la primera situación, rechazan el que cada uno decida representar cualquiera de los casos. Los esquemas elaborados por los alumnos son bastante similares en lo esencial: Expresados en lenguaje natural, dibujado un instrumento no adecuado para dicho sistema e indicadas algunas características de procedimiento y de las sustancias. La Figura N° 6, representa de modo fiel el diagrama de flujo realizado por la estudiante E<sub>3</sub>.

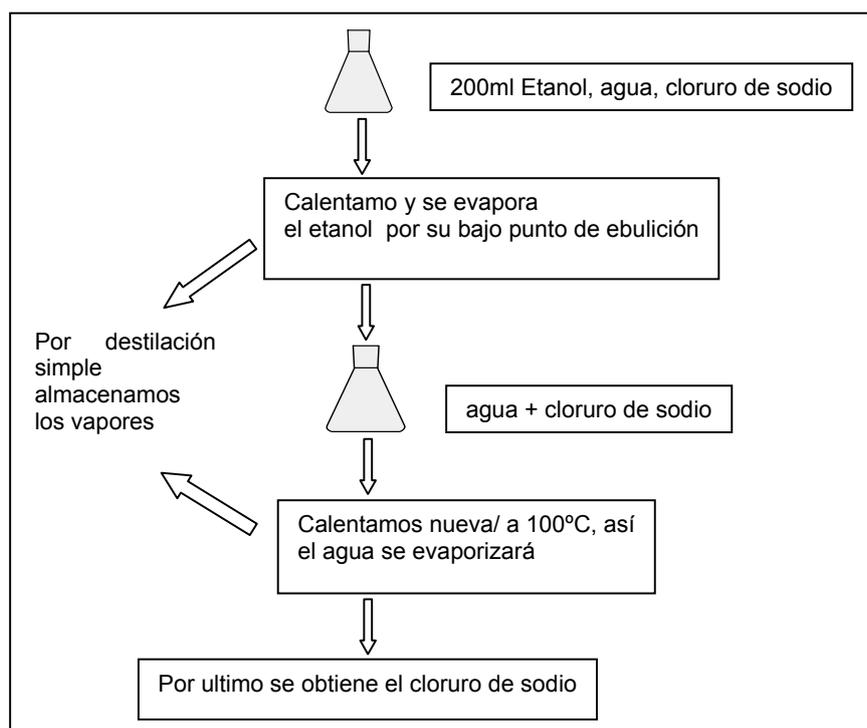
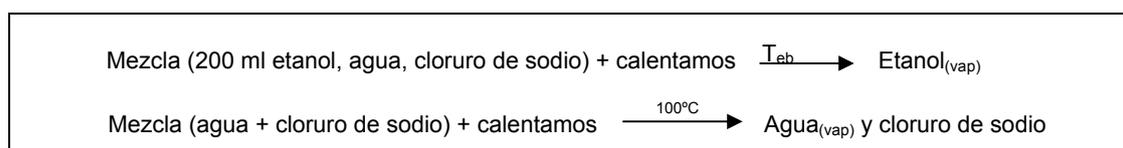


Figura N° 6: Diagrama de flujo, separación mezcla (etanol, agua, cloruro de sodio)

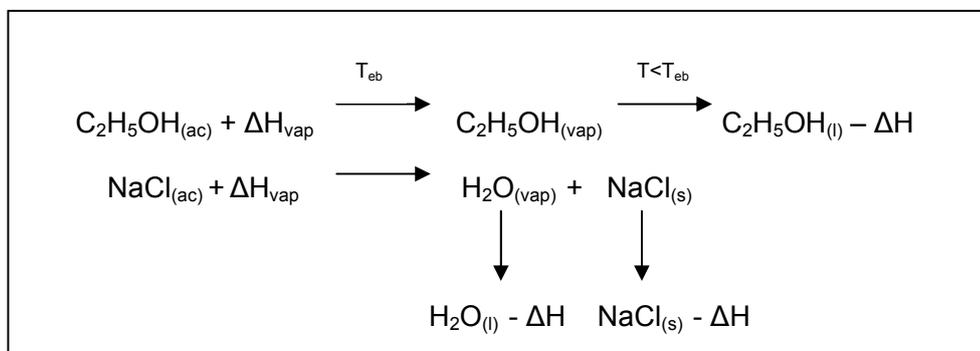
El diagrama de flujo para la separación de la mezcla indica como la alumna reconoce la mezcla constituida por tres sustancias y la meta de separarlas por diferencia en las temperaturas de ebullición de etanol y agua. Dibuja un recipiente de vidrio de los más utilizados en las prácticas, un erlenmeyer, como punto de partida y en el cual se encuentra almacenada la muestra, enunciada en lenguaje natural sin caracterizar la mezcla como homogénea o heterogénea. Define una cantidad en volumen, colocada en el recipiente al iniciar la solución de la situación, no es consciente de lo inadecuado del instrumento al considerar la siguiente operación, una destilación simple la cual ha tenido la oportunidad de experimentar en una ocasión, y como lo conserva hasta el final sin establecer una coherencia con la operación enunciada de almacenar los vapores de dos componentes. En cada etapa identificada reconoce el cambio de la sustancia como evaporar para etanol y agua relacionado con el “punto de ebullición”; “se obtiene el cloruro de sodio” se refiere al residuo en el recipiente después de la evaporación del agua.

En almacenar los vapores como punto final y un residuo terminal, está la idea intuitiva de que en la operación de calentamiento reside la esencia de los cambios anotados. La representación del procedimiento de la alumna en lenguaje natural se expresa a continuación:



Este conocimiento caracterizado por las operaciones y cualidades perceptibles más vistosas y familiares como la magnitud de la temperatura de ebullición del agua enunciada 100°C, deja de lado otras operaciones y cualidades perceptibles menos familiares como por ejemplo las operaciones de enfriamiento, la magnitud de la temperatura de ebullición del etanol y de cómo la lectura en el termómetro para la temperatura de ebullición del agua no es 100°C, no está presente la relación de su variación con la presión atmosférica. Cuando la alumna es preguntada por su conocimiento acerca de las modificaciones representadas en

las siguientes ecuaciones químicas comenta no saberlas, “la profesora no dijo eso...yo solo conozco H<sub>2</sub>O y NaCl”.



Además, interpreto que la ausencia en la actividad de laboratorio de la conceptualización respecto a la relación de composición de cada componente con respecto al total de la mezcla, por ejemplo en porcentaje  $m_i/m_t$  (%), así como la no enseñanza de la respectiva representación química lingüística con el fin de racionalizar el dinamismo de la sustancia y la construcción de una racionalización explícita, induce a fortalecer esquemas de asimilación con énfasis en la percepción de lo más vistoso y familiar al alumno ya adquirido en la vida cotidiana y en el proceso educativo, dejando a la intuición sus confusas e inadecuadas generalizaciones fundamentadas en las imágenes vivas de la experiencia inmediata. El trabajo de laboratorio está centrado de modo cualitativo en los aspectos de procedimientos y descuida la significación de las sustancias, sus transformaciones y representaciones, y el como los procedimientos son parte integral de la transformación.

### 5.1.2 Tendencias cognitivas afines entre alumnos

El 14% de los alumnos, correspondiente a cuatro participantes, expresa cada uno una estructura representada<sup>15</sup> en el Mapa Conceptual N° 4, Mapa Conceptual N° 5, Mapa Conceptual N° 6 y Mapa Conceptual N° 7. Cada mapa conceptual es

<sup>15</sup> Son copia fiel del mapa conceptual producido por el alumno.

autoría de uno de los estudiantes, el cual representa su respectivo grado de comprensión.

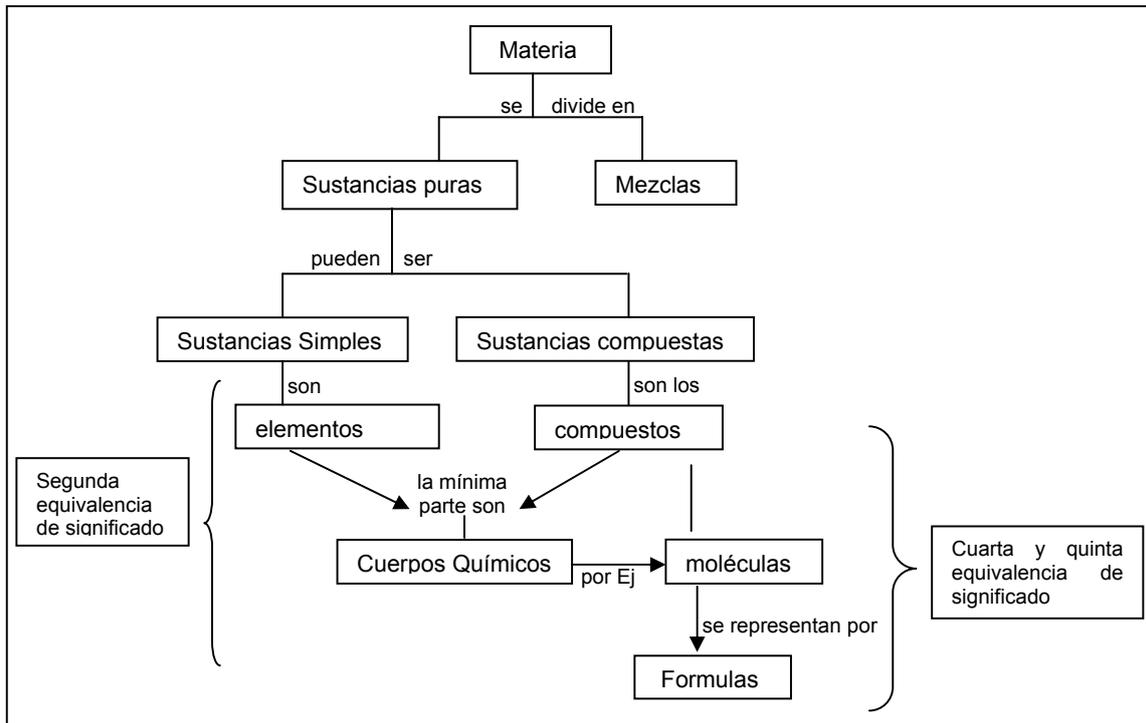
Al comparar el Mapa Conceptual N° 1 (pág. 144) con el Mapa Conceptual N° 4 y Mapa Conceptual N° 5 (pág. 153), de alumnos con experiencia<sup>16</sup> universitaria en el aprendizaje de la Química, es común la equivalencia entre sustancia simple y elemento y la molécula como mínima partícula de un compuesto, la cual denominan cuerpo químico puro. En el Mapa Conceptual N° 4, se percibe la diferencia entre sustancia y mezcla. El Mapa Conceptual N° 4 y Mapa Conceptual N° 5, a diferencia de los demás integrantes del grupo, reconocen las fórmulas químicas como una representación de las moléculas.

Mapa Conceptual N° 6, de un estudiante que ya ha realizado la asignatura anteriormente, presenta la equivalencia entre la sustancia y la molécula, al concebir ésta como la mínima partícula de la sustancia. El alumno se refiere a mezcla como mezcla heterogénea y a cada componente de la mezcla heterogénea lo denomina sustancia compuesta.

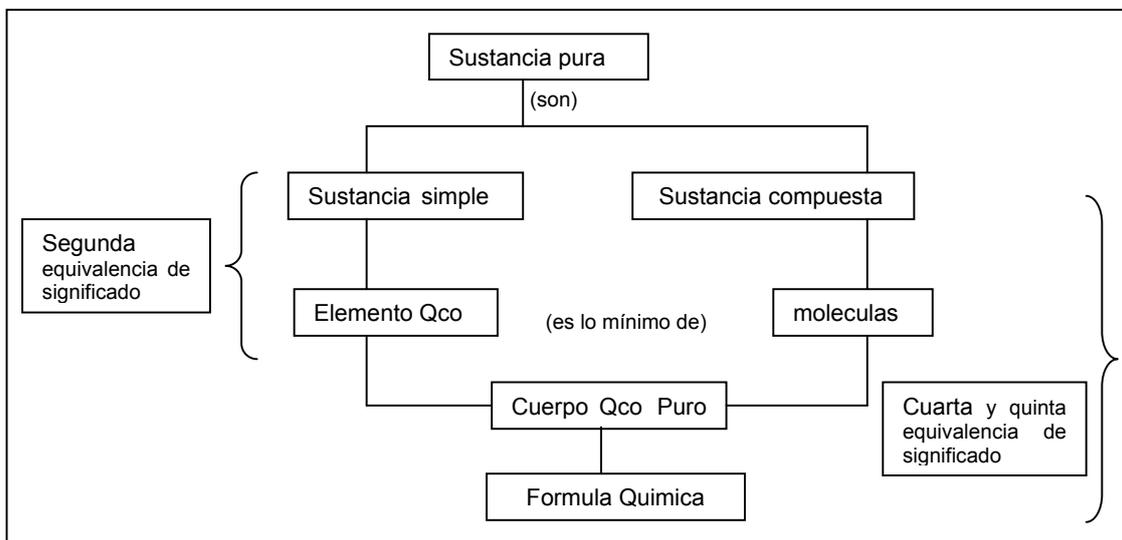
Interpreto que este estudiante connota a la sustancia compuesta como la sustancia pura no contaminada y en estas condiciones nombrada sustancia simple, para referirse a la “sustancia obtenida en el laboratorio” a partir de una mezcla mediante un procedimiento, mezcla que el alumno considera heterogénea. El carácter homogéneo de la apariencia de un material, “sustancias no se diferencian”, lo dirige a denominarla sustancia compuesta, por ejemplo, “madera de una puerta o de un escritorio”, “ácido clorhídrico”; la apariencia de la homogeneidad lo induce a inferir una sustancia compuesta que al ser muy pura la denomina simple. Parece ser el estudiante concibe que la sustancia compuesta son las moléculas para referirse a lo “más pequeño de la sustancia”, molécula que a la vez significa mediante la proposición “formada por elementos”.

---

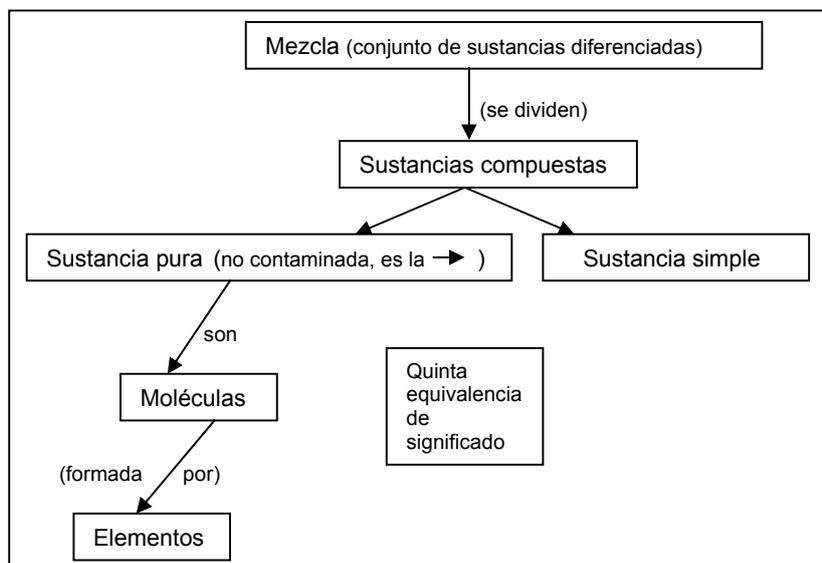
<sup>16</sup> Estos alumnos han realizado estudios universitarios y cursado una secuencia de cuatro cursos básicos de química.



Mapa Conceptual Nº 4: Equivalencia conceptual sustancia- elemento-molécula

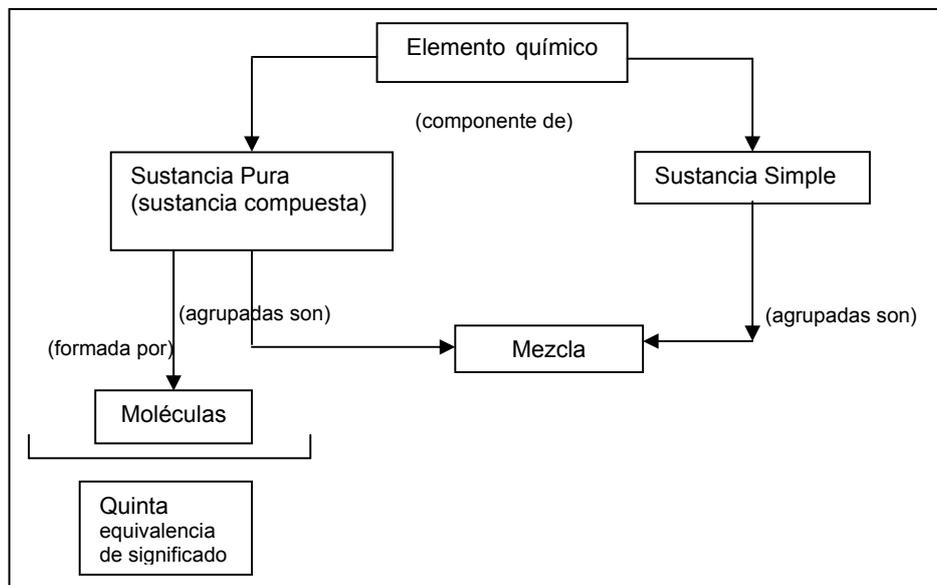


Mapa Conceptual Nº 5: Equivalencia conceptual sustancia- elemento-molécula



**Mapa Conceptual N° 6: Equivalencia conceptual sustancia-molécula**

El Mapa Conceptual N° 7, corresponde a la representación de una alumna que realiza por primera vez el curso. Interpreto en éste, relaciones adecuadas con el conocimiento químico, en cuanto la estudiante considera el "...elemento como componente de las sustancias simples y de la sustancia pura compuesta..." y esta proposición la diferencia del enunciado "sustancias simples y compuestas agrupadas son mezclas". La estudiante diferencia elemento de sustancia simple y sustancia compuesta de mezcla. Persiste la equivalencia conceptual de la molécula formando a las sustancias como "la mínima partícula de sustancia con las propiedades".



**Mapa Conceptual N° 7: Equivalencia conceptual sustancia-molécula**

Puedo interpretar en el comportamiento de estos alumnos al ser comparado con la conducta de grupo mayoritario, un indicio relativo a que mayor experiencia química permite diferenciar los conceptos de sustancia y mezcla, y en algunos pocos casos reconocer a las fórmulas químicas de composición como una situación representacional enlazada a la experiencia química; más la experiencia parece no es suficiente para profundizar en la comprensión de esta clase de significantes químicos; para diferenciar elemento, átomo y sustancia simple; así como sustancia y molécula, persiste la idea de la molécula como mínima partícula de sustancia.

Dado que los estudiantes tienen una permanente referencia al profesor de un curso anterior para dar crédito a sus afirmaciones, en particular anotan aquellas situaciones vinculadas de modo directo al trabajo de laboratorio y no expresan referentes fundamentados en los llamados cursos teóricos, podría considerarse el hecho de estar influidos en su experiencia de aprendizaje por una débil conceptualización, lo cual incidiría en no construir de modo progresivo esquemas

de asimilación con un contenido adecuado de conocimiento químico y de significantes pertinentes para las situaciones a la cuales son enfrentados.

### 5.1.3 Cuarteto del concepto-en-acto mezcla

En este momento de la indagación de algunas tendencias cognitivas del grupo de estudiantes, interpreto que los alumnos conciben el concepto-en-acto mezcla como un cuarteto de concepciones con orígenes, desarrollo y funcionamiento diferentes. Una primera concepción es la mezcla de elementos (sustancias simples) para formar sustancias compuestas. Una segunda, es la asociación de símbolos unitarios, sin considerar la relación cualitativa y cuantitativa, para designar un nuevo símbolo compuesto el cual representa una sustancia compuesta desconocida. En tercer término, la noción de mezcla hace referencia a varias sustancias asociadas, las cuales pueden aislarse por procedimientos de separación. Por último, la noción del concepto-en-acto mezcla, alude a mezclar átomos de una clase o de varias clases para generar moléculas, átomos y moléculas concebidos como pequeñas partículas materiales.

Las dos primeras concepciones pueden ser interpretadas como teoremas-en-acto contruidos y desarrollados en la vida cotidiana y funcionales en la medida que son la vía para resolver situaciones de formación de nuevas sustancias, conocidas y desconocidas respectivamente. Un teorema-en-acto expresado de modo directo por la estudiante  $E_1$ :

Sustancia compuesta: "mezcla de dos o más sustancias simples (puras)"

Otro altamente intuitivo, en términos de la asociación de símbolos químicos unitarios diferentes, los cuales constituyen un símbolo compuesto, que permite a los estudiantes como referente inicial inferir la sustancia compuesta desconocida, símbolos unitarios asociados a la sustancia simple (elemento) para la proposición:

"...ahí están de alguna manera..."

El persistir de estas concepciones de modo dominante en un segundo nivel universitario, parece radicar en el ser reforzadas en la escuela y aún en los inicios

de la educación superior, al estar muy débil en la enseñanza y el aprendizaje de la Química un fuerte énfasis acerca de la diferenciación progresiva entre mezcla y combinación química y su grado de relación a nivel operatorio; la representación lingüística como composición y estructura para sustancias y reactividad química, representación que implica el concepto de enlace químico y su inserción en algunas teorías de enlace.

Esta clase de experiencia se reafirma cuando los átomos son concebidos como objetos-partícula que se unen para formar moléculas, unión mecánica asociada al concepto de mezcla y construida, parece ser, durante la instrucción, dando origen a la cuarta concepción manifiesta en la siguiente proposición enunciada por  $E_6$ :

“Sustancia compuesta es aquella en la que se encuentra diferentes tipos de átomos o moléculas de varios elementos”

De modo altamente intuitivo, la molécula como objeto-partícula y como consecuencia de ser la partícula más pequeña de sustancia con las propiedades de la sustancia, se asume también como mezcla de átomos, concebidos estos a su vez como los elementos o sustancias simples.

La tercera concepción adquirida y desarrollada mediante la instrucción y funcional para situaciones conocidas, esto es, concebir la separación de los componentes de una mezcla, solo en el caso de las situaciones de mezclas con las cuales han interactuado en el trabajo de laboratorio. Esta concepción está asociada en buena medida a significar mezcla heterogénea:

Mezcla heterogénea: “Es aquella en la que se distinguen sus componentes y además pueden separarse por medios físicos puesto que no tienen una fase definida”

De este modo, no es claro diferenciar de modo consciente mezcla homogénea y sustancia pura, pues la percepción sensorial del aspecto homogéneo no da lugar a diferenciarlas, salvo casos de sustancias que les sean muy familiares, las cuales mezcladas perciben la totalidad de modo homogéneo, como es el caso de etanol-agua-cloruro de sodio. El lado izquierdo del Mapa

Conceptual N° 3 y el diagrama de flujo de la Figura N° 6, dan fundamento a nuestra interpretación.

Mezclar, es una noción operatoria con profundas raíces en la vida cotidiana, subsumida en otros términos como reunir, agrupar, incorporar, agregar, unir, revolver, combinar o juntar cosas del mundo o símbolos durante el aprendizaje cotidiano de la lecto-escritura y de los números. Objetos del mundo, símbolos del lenguaje natural y números, se asocian de modos diversos en una serie de construcciones, unas de sentido inmediato, otras que han requerido en la escuela un mayor nivel de abstracción para su construcción, organización y uso sistemático lejos del azar o el descubrimiento no dirigido. En particular, la gramática contribuye a la asociación de símbolos con sentido y a crear estructuras en una lógica gramatical y de contexto. También, en el aula de clase de aritmética, se practica una amplia formación para facilitar la asimilación de los números, sus operaciones y la generalización hacia el álgebra.

Sin embargo, las fórmulas de la Química son practicadas en la enseñanza como entes simbólicos para ser dictados por el profesor, o copiados del tablero o de un texto, siempre dadas al alumno. Al no adoptarse los significantes químicos como una estructura de signos, estructura lingüística química, contenido de enseñanza para un aprendizaje significativo, queda ésta abandonada a la asociación mecánica en una forma simplista, de tal modo que a lo largo del tiempo se aprende por repetición algunas fórmulas químicas para sustancias binarias y ternarias. De este modo, es más cómodo persistir en el lenguaje común para referirse a las sustancias e identificarlas con las propiedades ostensibles.

Dichas asociaciones son funcionales y en las primeras etapas de la niñez y la juventud, tienen un rol central en el comportamiento y en la construcción de un modo de concebir las sustancias, como lo dado de modo inmediato de apariencia homogénea y propiedades sensibles, principalmente aquellas perceptibles por la vista. En este ambiente, modificar las sustancias es mezclarlas y esta operación, es una cotidianidad de las personas al interactuar con diversos materiales en la

preparación de alimentos y bebidas alcohólicas, en las recomendaciones para ingerir medicamentos y para tratar materiales de construcción entre otros. Estas experiencias, manipuladas todo el tiempo en lenguaje natural, en muchas situaciones de la cotidianidad requieren de cantidades específicas, en términos de masa y/o volumen del material, las cuales según la demanda de la precisión, son determinadas mediante un instrumento, balanza-cuchara-recipiente de un volumen específico, o tomadas al azar en alguna aproximación burda, en la creencia de “no pasa nada” o “eso da así”.

En la interacción con conocimiento químico en la escuela y con los textos, el término combinar en Química surge conectado al de mezcla, parece ser, ambos se usan indistintamente y poco se hace para diferenciar estas dos nociones y trascender el mundo de lo cotidiano a un nivel de abstracción de la diferenciación progresiva de significados a nivel de lo cotidiano y en el campo de la Química, y de la relevancia de la estructura semiótica del lenguaje químico y su utilización para representar y modelar situaciones con sustancias.

Combinar en la concepción de interacción química requiere en muchas situaciones de la operación de mezclar las sustancias o de mezclas de sustancias en una cierta situación de concentración, temperatura y presión, contexto en el cual es posible trayectorias químicas operacionales según trayectorias químicas de transformaciones de las sustancias implicadas en el proceso. De este modo, en el plano de la representación, se inscribe de modo relevante, la diversidad de transformaciones de la(s) sustancia(s), diversidad que no es posible percibir en la inmediatez de las propiedades sensibles y del lenguaje natural. Es alcanzable, en la medida como las sustancias son identificadas con propiedades no primarias y representadas en virtud de las relaciones para la comprensión de la esencia química y sus transformaciones, esto es, la comprensión de las relaciones invariantes en una trayectoria y cuando dichas relaciones se modifican en el transcurso de la trayectoria.

En los ejemplos referenciados por los alumnos, se infiere un aprendizaje basado en la construcción de la idea, según la cual, mezclar es sinónimo de combinar y formar sustancias nuevas, en cuanto lo nuevo posee características primarias diferentes a las sustancias punto de partida, en términos de color, masa, volumen y algo en algunas ocasiones como una explosión o fuego. Las sustancias punto de partida, que de modo operativo son mezcladas y de inmediato es percibido lo nuevo, una sustancia diferenciada en lo fundamental por las características vistas, lleva a los alumnos a la creencia de combinar es mezclar, la cual es reforzada al no introducir al alumno, por una parte, en la caracterización de las sustancias con base a propiedades no inmediatas, tales como la solubilidad, la acidez, la basicidad, el comportamiento metálico y no metálico, las temperaturas de fusión y de ebullición, que exigen un esfuerzo de medición y/o trabajadas desde su formulación conceptual mediante tablas de datos diferenciados u otros medios didácticos.

Las cualidades secundarias antes enunciadas, son trabajadas en el laboratorio, de modo individual, a través de prácticas específicas y no integradas en el tiempo para constituir totalidades de identificación y caracterización de una sustancia. Una revisión del manual de laboratorio indica un exagerado énfasis en procedimientos considerados en términos de instrumentos, ausencia de trayectorias de transformación de las sustancias y una expresión en lenguaje natural. De este modo, se refuerza las nociones ya adquiridas por los alumnos en términos de lenguaje natural, así como una idea instrumentalista de las sustancias, la cual es además simplista y reduccionista. No se posibilita la comprensión de la representación como fórmula química de composición relativa y molecular, es decir, de la noción de composición invariante de una sustancia cualquiera sea la cantidad de sustancia y su diferenciación de la noción de la composición variable de una mezcla en contexto. Tampoco considera la enseñanza la clasificación química de la sustancia en una clase según la función química y la apertura a la modelación de las representaciones de las sustancias a través de la dinámica de sus transformaciones, lo cual es posible en la medida que

haya comprensión del significado(s) del(os) significante(s) químico(s) y su transformación en una determinada situación química.

Respecto al lenguaje químico, el alumno no ha sido iniciado en un camino introductorio y progresivo en el pensamiento de las trayectorias químicas y la modelación a través de la manipulación y transformación de fórmulas químicas relativas, moleculares y estructurales, a fin de percibir la interacción química y diferenciar mezcla y combinación química, así como transformación de la sustancia en las trayectorias de separación de mezclas. El simbolismo químico adoptado como una cuestión de escribir letras, asociadas de modo mecánico, sin consideración por la relación cualitativa y cuantitativa invariante y aprendidos, unos pocos casos, en el transcurso del tiempo por repetición mecánica.

Los invariantes operatorios considerados en este apartado serían constituyentes de esquemas perceptuales de los alumnos y construidos primero, en relación con la experiencia cotidiana; en segundo lugar con la experiencia de aprendizaje en la escuela y en tercer lugar, en relación con la experiencia en el laboratorio de Química a nivel universitario, que refuerza la experiencia cotidiana de mezclar, una idea instrumentalista y sustancialista acerca de las sustancias y sus transformaciones y descuida la enseñanza para un aprendizaje significativo del lenguaje químico. Parece ser, el curso teórico poco contribuye al desarrollo de la conceptualización, dado que los alumnos en ningún momento lo han adoptado como referente para aludir al conocimiento aprendido, siempre su correlación es el trabajo de laboratorio. Es ahí, en la operación concreta del laboratorio, donde posiblemente los alumnos refuerzan palabras ya adquiridas en el lenguaje natural y asimilan de modo progresivo nuevas palabras, las cuales utilizan cuando se trata de argumentar mediante enunciados proposicionales, tales como: masa, descomponer, cambiar, asociar, propiedades, fase, estado, condiciones normales, métodos de separación, temperatura de ebullición, destilación.

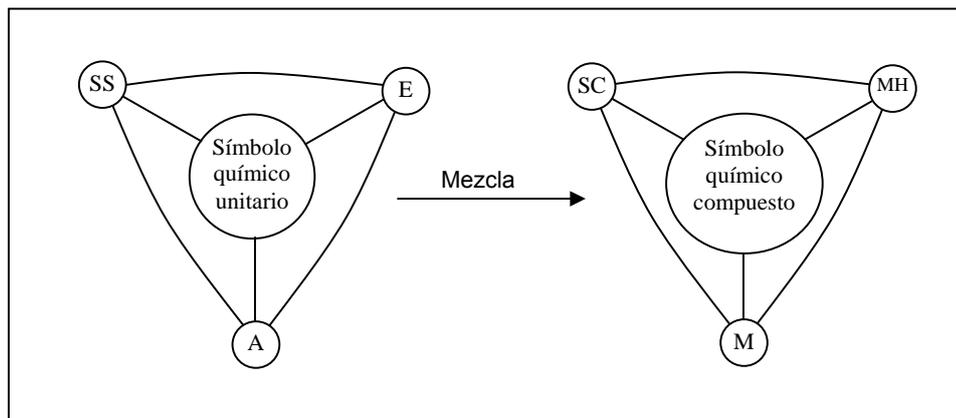
De este modo, el trabajo experimental permite a los alumnos la adquisición y refuerzo de estos significantes, mediante su interacción con las operaciones

concretas de laboratorio, tales como: organizar los instrumentos para realizar una operación; medir en una balanza una cantidad en gramos, ya sea masa de una sustancia o de una mezcla, o de un recipiente (cápsula, beaker, vidrio de reloj entre otros); medir un determinado volumen de un líquido; percibir cambios de color y de formación de precipitados; percibir cambios de fase o de estado por calentamiento: líquido a vapor y sólido a líquido.

Desde nuestro punto de vista, los alumnos adquieren y refuerzan significantes, más no significados explícitos para dichos términos. Interpreto la palabra aprendida de modo significativo como representación de una acción concreta; la palabra significa ya sea el objeto, la operación o una transformación del objeto o de la operación. Aprender el símbolo como una cuestión de percepción, el cual es para el estudiante la correspondiente imagen de la memoria que permanece, la cual es evocada en situación de dar respuesta a alguna cuestión química, como en el presente caso, dar respuesta a un cuestionario y profundizar en las respectivas afirmaciones.

#### **5.1.4 Dos tríadas de conceptos-en acto: sustancia simple-elemento-átomo y sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula**

En nuestra interpretación se considera la configuración de dos tendencias cognitivas como dos tríadas, de las cuales son integrantes los conceptos-en-acto: sustancia simple-elemento-átomo y sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula. Cada tríada estructurada en el campo de lo perceptual cotidiano y la experiencia de trabajo en el laboratorio. Las tríadas se relacionan entre si por el concepto-en-acto, mezcla. La Figura N° 7 representa las tríadas y su relación.



SS: sustancia simple E: elemento A: Átomo SC: Sustancia compuesta

MH: Mezcla homogénea M: Molécula

**Figura Nº 7: Tríadas SS-E-A, SC-MH-M**

La tríada, sustancia simple-elemento-átomo, asimilada como una concepción de equivalencia simple, intuitiva y reduccionista acerca de lo elemental como lo simple y dado de modo natural. La segunda tríada, sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula, asimilada como concepción de equivalencia simple, intuitiva y reduccionista para la sustancia compuesta, dada una transformación de la primera tríada mediante el concepto-en-acto, mezcla, en su triple función de operabilidad con las sustancias simples, con la asociación de símbolos químicos unitarios y la asociación de átomos.

Estas tríadas serían componentes de posibles esquemas de asimilación evocados, tal vez simultáneamente, e interconectados cuando se trata de dar solución a situaciones de formación de sustancias compuestas.

Los invariantes operatorios integrantes de estos probables esquemas de asimilación son no pertinentes, constituyéndose en obstáculos mentales para el aprendizaje significativo de conceptos químicos, en particular, en el campo conceptual composición/estructura, en una mirada ya sea molar y/o molecular. Los invariantes operatorios integrantes de estos esquemas, considerados en términos de la epistemología de Bachelard, se corresponderían con lo llamado por este filósofo nociones obstáculo, como ideas simplistas y reduccionistas, imágenes

burdas e ingenuas que obstaculizan el aprendizaje significativo de conocimiento químico, y para el caso, no sólo el aprendizaje de conceptos y teoremas, sino también la consideración acerca del simplismo y el reduccionismo del lenguaje químico, lo cual se constituye también en un obstáculo mental.

La no pertinencia de los esquemas ya citados, permite visualizar posibles acomodaciones y/o rupturas de estos durante el proceso de la intervención en la acción de los participantes en situación. Por lo tanto, la situación de aula requiere del diseño de situaciones que pongan en movimiento tales esquemas y acciones operatorias sucesivas que conduzcan a una solución adecuada de la situación, en un proceso de ruptura con los invariantes operatorios de dichos esquemas, tal vez mediante la acomodación de los esquemas y/o la construcción de nuevos esquemas de asimilación, y la atención a la filiación en cuanto se mantienen los significantes en lenguaje natural y como símbolos químicos unitarios, en la intención constante y consciente de su resignificación, dada la ruptura con los invariantes operatorios primarios y la construcción de nuevos significados para estos, es decir, la utilización y significación de los símbolos pertinentes para la clase de situación.

#### **5.1.5 Conclusiones tendencias cognitivas**

En situación de dar repuesta, en primera instancia, a un cuestionario abierto para los conceptos sustancia, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, fórmula química y molécula; y en segundo término, profundizar en el significado de las declaraciones escritas por los alumnos mediante dialogo de aula, profesora-alumnos, y dialogo personal e informal con cada alumno, interpreto en este contexto como conocimiento previo de los alumnos, estructurado como tendencias cognitivas, de modo principal, dos esquemas de asimilación perceptual, organizados en torno a las equivalencias de los conceptos-en-acto: sustancia simple-elemento-átomo y sustancia-compuesta-mezcla homogénea-molécula.

Estos dos esquemas se interconectan por el concepto-en-acto, mezcla. Este concepto-en-acto de naturaleza operatoria y construido a lo largo de la experiencia cotidiana y educativa, se expresa como un cuarteto de significados para referirse a cuatro concepciones diferenciadas y afines: Mezcla de elementos para formar sustancia compuesta; asociación de símbolos químicos unitarios para designar símbolos químicos compuestos omitiendo la relación cuantitativa invariante; mezcla de átomos de varias clases para generar moléculas; grupo de sustancias familiares a los alumnos, que puede ser tratado mediante métodos de separación, con el fin de obtener cada una de las sustancias componentes de la mezcla.

Este último significado, adquirido mediante la experiencia de laboratorio, sería constituyente de un tercer esquema de asimilación, débilmente emparentado con los anteriores y a él estarían integrados el concepto-en-acto mezcla y conceptos-en-acto relativos a propiedades: fase, temperatura de fusión, temperatura de ebullición, masa, solubilidad, destilación, condiciones estándar. Este esquema moviliza significantes en lenguaje natural.

Los significantes, integrantes de los esquemas de asimilación anotados, son manifiestos de modo principal en lenguaje natural y en lenguaje químico unitario y compuesto de un modo simplista y reduccionista, en particular para los dos primeros esquemas enunciados, y de este modo, poco ayudan a la percepción conceptual de las sustancias y sus comportamientos en contextos específicos.

Las tríadas sustancia simple-elemento-átomo y sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula, y el cuarteto mezcla, constituyen concepciones intuitivas perceptuales de carácter reduccionista, altamente dominantes e indicativo de la ausencia de una conceptualización adecuada; tendencias cognitivas que se constituyen en obstáculos mentales para el aprendizaje de conceptos científicos en química.

En esta perspectiva de aprendizaje, ausencia de invariante operatorios adecuados y significantes muy simples para el campo conceptual composición/estructura, tanto en una mirada molar como molecular, lleva a los

alumnos a persistir en sus confusiones y errores, formas de ser obstáculos mentales para el aprendizaje significativo de conocimiento químico.

El comportamiento del 14% de los alumnos con experiencia universitaria en el aprendizaje de la Química, nos indica que diferencian de modo adecuado los conceptos sustancia y mezcla, pero persiste la equivalencia sustancia simple-elemento-átomo y sustancia compuesta-molécula y la molécula como mínima partícula material con las propiedades del todo. También permanece la dificultad para reconocer las fórmulas químicas de composición como eventos conceptuales ligados con la fenomenología química para la comprensión de las sustancias y sus comportamientos químicos.

La anterior situación puede ser una evidencia que contribuye a reafirmar lo ya localizado en la literatura respecto a las serias dificultades para el aprendizaje del lenguaje químico como lo destaca Yarroch, 1985, y para modificar el pensamiento del nivel fenomenológico al nivel conceptual como lo anotan Benzi y otros 1982,1987.

## **5.2 Tendencias cognitivas etapas y ayudas cognitivas**

Una situación, colección de materiales, cuya meta es alcanzar una solución adecuada en términos de una clasificación química cuando los participantes interactúan con ella, es el eje central de la intervención en el aula. Se trata de indagar evidencias para algunos invariantes operatorios que parecen ser constituyentes de los posibles esquemas de asimilación descritos e interpretados en la sección anterior y de investigar el progresivo dominio de dicha situación, desde poner en movimiento los que parecen ser posibles esquemas perceptuales y otros probables esquemas de asimilación del repertorio de los alumnos, así como de localizar las rupturas y filiaciones y qué conflictos se crean entre el conocimiento previo y la nueva información, a fin de percibir procesos de acomodación y de posible construcción de nuevos esquemas de asimilación en el proceso de alcanzar la meta.

### 5.2.1 Tendencias cognitivas en situación

Los alumnos en situación de ordenar sustancias y cuya meta es realizar una clasificación química, manipulan el grupo de materiales de la colección y toman decisiones según sus conocimientos. Surgen varios ordenamientos centrados en características perceptuales directas con diferente grado de generalización, las cuales agrupamos en tres subgrupos de alumnos: A, B, C. El subgrupo A, aproximadamente el 72% de los alumnos, desarrolla de modo inductivo una variedad de ordenamientos, según diversos atributos sensibles que evolucionan a conceptos de mayor generalidad, como cualidades esenciales que subordinan las demás características, perceptibles ellas en términos de signos superficiales de cada muestra. El subgrupo B, aproximadamente el 21% de los estudiantes, parece obviar varios de los ordenamientos del subgrupo A y adoptar como punto de partida lo que consiste en la llegada del subgrupo A. El subgrupo C, aproximadamente el 7% de los participantes, con un comportamiento similar al subgrupo B, se diferencia de éste en cuanto parece asumir una categoría general diferente.

El subgrupo A, parece plantear un conjunto de invariantes operatorios implícitos y de significantes en el lenguaje natural, expresados en términos de características del campo perceptivo inmediato en la siguiente jerarquía como conceptos-en-acto organizadores de pseudoclases: "Color"<sup>17</sup>, "alambres", "polvos", "granos", "piedras", "líquidos", "dureza", "blandura", "olor", "sabor", "forma", "no hay nada". Las cualidades primarias de la forma, olor, sabor, dureza y blandura son abandonadas rápidamente dado que no todas las muestras presentan forma definida y para las que la poseen, los alumnos probablemente no tienen los esquemas de asimilación del campo conceptual de la geometría, que les permitan identificar algunas características como la forma de las caras para referirse por ejemplo, a cuadrado o rectángulo y menos aún para identificar poliedros regulares

---

<sup>17</sup> En adelante las palabras entre comillas son afirmaciones de alumnos

y paralelepípedos. En cuanto al olor y sabor, son cautelosos a posibles aromas y gustos desagradables e irritantes y la mayoría de las muestras son inodoras e insaboras. Respecto a dureza y blandura no todas las sustancias pueden manipularse con las manos.

Serían, estos conceptos-en-acto, sustentados en una diversidad de referentes imaginarios ambiguos que no posibilitan establecer grados de diferencia, no dan lugar a acuerdos para precisar, de modo intuitivo, un determinado color, sabor, olor, dureza o blandura y no trascienden más allá de la imagen de tener o no tener olor y/o sabor, ser blando o duro, tener color azul, negro, o blanco para un material que como totalidad es percibido de color blanco, percepción también atribuida para lo no coloreado o transparente, ser transparente es ser blanco. Entre tanto, lo que sería el concepto-en-acto “líquidos” hace parte del listado de características, sin constituirse en un concepto-en-acto relacionable con otros, al no identificar de inmediato un concepto opuesto o su ausencia como en las propiedades anteriores.

La visión altamente dominante, pone en acción la jerarquía: “color”, “alambres”, “polvos”, “granos”, “piedras”, “líquidos” y “forma”; el tacto, en segundo lugar, acciona “dureza” y “blandura”; en tercer término la percepción de “sabor” y por último la percepción “no hay nada”. El grado alto o bajo de ambigüedad conceptual intuitiva, en relación con la propiedad, define su instauración en una menor o mayor brevedad de tiempo, como concepto-en-acto para la decisión.

El comportamiento de los alumnos está inscrito en la dicotomía de la diferencia de las cualidades inmediatas más vistosas ya sea en relación con la vista, el tacto, el sabor y el olfato. Son puestos en acción probables esquemas de asimilación para coloreado o no; para alambres, polvos, granos, piedras y líquidos; para duro y blando; para forma o no forma; para sabor o insaboro; para olor o inodoro. La información plasmada en los rótulos de las muestras de materiales parece ser no ha sido considerada en algún momento y de modo espontáneo el comportamiento es dado como una sucesión de soluciones donde las impresiones

sensoriales más inmediatas son puestas-en-acción y caracterizadas por su ambigüedad e inestabilidad. La visión aunque dominante para ciertas cualidades ya anotadas, no lo es en este caso, para la percepción de los fórmulas químicas y nombres químicos; parece ser lo percibido de inmediato está muy relacionado con su experiencia cotidiana, con la familiaridad con la propiedad.

El conjunto de experiencias sensoriales, según la interpretación de la profesora, configura seis esquemas de asimilación para las cualidades superficiales antes enunciadas, intuitivas, interesantes y funcionales al grupo de alumnos y los significantes que les acompañan están situados en el campo de la representación expresada en palabras del lenguaje natural en el contexto de la cotidianidad de la vida. Estos esquemas de asimilación, sugieren un arduo trabajo de la profesora y de los estudiantes, para que estos dispongan de alternativas posibles de asimilar, hacer viable la adopción de nuevas percepciones para la colección y a no utilizar las inadecuadas.

El inicio de la transición del objeto percibido estático y centrado en los signos superficiales más inmediatos, implica propiciar el progreso conceptual rompiendo con el sentido guiado por la percepción inmediata y natural. Comienza en el momento de volver a la conciencia de la meta. La intuición de una categoría general para dar respuesta a la meta persiste y parece ser ésta contribuye a redireccionar la selección de posibles conceptos-en-acto para la ordenación. Se reitera que lo que se clasifica como concepto-en-acto y teorema-en-acto, son interpretaciones de la profesora investigadora, sobre categorías de pensamiento y proposiciones tenidas como verdaderas por los alumnos, que integrarían los esquemas de asimilación con los cuales enfrentan la situación problema.

Dada la ambigüedad e inestabilidad de las cualidades concretas e insistir la docente en la meta de una clasificación química, el subgrupo A parece orientarse a decidir por otros posibles conceptos-en-acto más estables y de mayor globalidad que permitan ordenar la colección. En el dialogo, “alambres”, “polvos”, “granos” y “piedras” son inferidos como pertenecientes a una clase y categorizados como

“sólidos”. Este concepto-en-acto se relaciona con el concepto-en-acto, “líquidos”, ya optado para algunas muestras y con el concepto-en-acto “gaseoso”, decidido para el aire como una inferencia a partir de la identificación de sólidos y líquidos, ya que este material les había sido indiferente hasta el momento, al ser una muestra incolora e invisible, y el rotulo del frasco con el nombre común “aire” no había sido de su atención, consideraban “no había nada” o “un frasco vacío”, no percepción sensorial inmediata tiene el significado de ausencia.

Cuando este orden conceptual emerge y organizados los respectivos subconjuntos de sustancias, al representar dicho ordenamiento parece surgir el teorema-en-acto, “ah!” “estados de la materia son: sólidos, líquidos, gaseosos”. Materia es cualquier objeto percibido de modo concreto e identificado por la apariencia de su estado sólido, líquido o gaseoso. En la acción de ordenar los materiales, formar subgrupos de estos y luego la acción de representar el ordenamiento mediante un cuadro, es en el ejercicio de la representación cuando se relacionan los tres conceptos-en-acto y se plantea el respectivo teorema-en-acto. Acomodación de un conjunto de características inmediatas para configurar la decisión del ordenamiento expresada en lenguaje natural.

En nuestra interpretación, el subgrupo A realiza una primera ruptura del sentido simple inmediato al agrupar sustancias de diverso aspecto en la categoría “sólidos”. Al centrar este concepto-en-acto, diferencia los materiales por los atributos “sólidos”, “líquidos” y “gaseosos” y adopta el teorema-en-acto “estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos”. Estos nuevos invariantes operatorios permiten superar el primer nivel de las cualidades concretas y a la vez ambiguas, éstas son sustituidas por conceptos-en-acto de naturaleza ostensible, menor grado de ambigüedad y mayor generalidad, el significado del ordenamiento se centra en dicha categorización y no se corresponde con una clasificación química, al no generar clases y subclases de sustancias químicas fundamentadas en cualidades químicas.

Este proceder es, a nuestro modo de ver, continuidad y discontinuidad. Continuidad en cuanto que la percepción está centrada en algunas cualidades inmediatas a la visión, que aunque perceptibles de modo directo dos de ellas: sólidos y líquidos, requieren para el grupo de alumnos un mayor grado de atención lógica, al adoptar “sólidos” como una inferencia que engloba “alambres”, “granos”, “polvos” y “piedras”, y “gaseoso” para concebir un material, para el cual no se tiene ninguna percepción inmediata. Ruptura, en cuanto que lo perceptivo inmediato presenta diferentes grados de generalización, evoca nuevos conceptos y el teorema-en-acto, “estados de la materia son: sólidos, líquidos, gaseosos”, proposición de mayor generalidad dada la inestabilidad de los conceptos-en-acto precedentes y la toma de conciencia de la meta a alcanzar.

Los subgrupos B (21%) y C (7%) inician el ordenamiento de la colección, creando subgrupos de materiales como pseudoclases, orientados con los conceptos-en-acto “sólidos”, “líquidos”, “gaseosos”. En la acción de representar la clasificación mediante un cuadro, surgen respectivamente los teoremas-en-acto, “estados de la materia son: sólidos, líquidos, gaseosos” y “sustancias son: sólidos, líquidos gaseosos”. Estos grupos no trasiegan la etapa primitiva de lo concreto inmediato y ambiguo, inician con los conceptos-en-acto sólidos, líquidos y gaseosos y parece ser no ha habido la atención a la información química en el rótulo de la muestra del material.

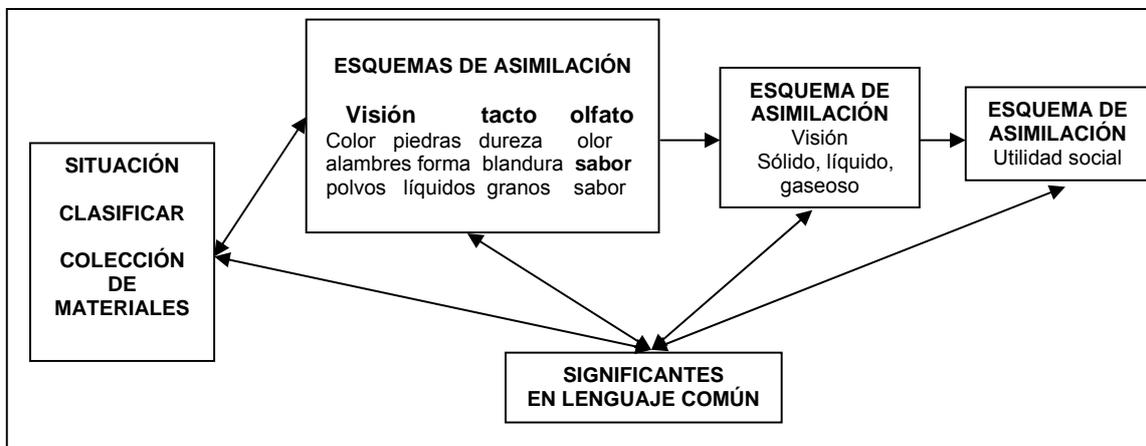
Dos ideas generales, materia y sustancias, diferencian los subgrupos B y C, en cuanto materia se refiere a cualquier objeto perceptible de modo directo e identificado por su estado. Sustancia se refiere al objeto percibido de igual modo, concreto e identificado por su estado y con el cual se opera en el laboratorio, “con las sustancias trabajamos en el laboratorio”, “con las sustancias hacemos experimentos”. Un matiz empírico diferencia materia y sustancia, la materia el objeto inmodificable, la sustancia el objeto modificable. Ambas materias, objeto y sustancia, son nociones que marcan la diferencia, la primera con un sentido vago de estatismo y la segunda trasluce la intuición de la transformación. Para los

subgrupos A y B objeto o materia inmutable y para el C materia transformable. Es importante prestar atención inmediata a esta diferencia y orientar a la ruptura con la primera noción y la filiación a la segunda y su profundización.

Los conceptos y teoremas-en-acto que guían la ordenación de modo progresivo en diferentes momentos, son provisionales en relación con la meta y tienen el carácter de ser respectivamente relevantes y válidos en el conocimiento común. En esta perspectiva, nuevos conceptos-en-acto surgen al instar de nuevo a los subgrupos A, B, C a lograr una clasificación química. Emergen conceptos-en-acto asociados al uso social de los materiales: “Alimentos”, “medicamentos”, “industriales”, “bebidas” y “desconocido” o “no conozco”. Éste ordenamiento evidencia la persistencia en características relacionadas con la experiencia perceptiva directa, en este caso la experiencia social cotidiana con la manipulación y utilización de tales materiales y los alumnos no manifiestan un comportamiento basado en el conocimiento químico adquirido en el proceso educativo. Fórmulas químicas y nombres químicos no constituyen fuente de percepción para optar por otras decisiones y la manifestación de nuevos esquemas de asimilación; es en el momento de expresar la representación de la clasificación, mediante un cuadro, cuando los alumnos utilizan los símbolos químicos.

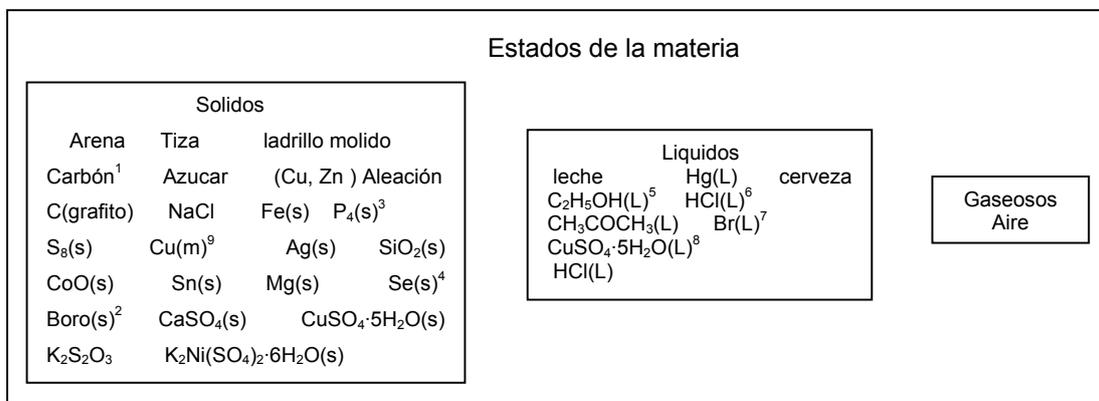
El Cuadro N° 5, representa la secuencia de actos perceptivos del subgrupo A, y el Cuadro N° 6, la clasificación de este subgrupo en términos de conceptos-en-acto y teorema-en-acto para las pseudoclases “estados de la materia”. El Cuadro N° 6, es también la representación del ordenamiento realizado por el subgrupo B, y el Cuadro N° 7, representa la clasificación realizada por el subgrupo C. Cada cuadro aunque individual, es representativo del subgrupo de alumnos. Los alumnos trabajan de modo colaborativo, cada uno de ellos realiza en su cuaderno la representación de la clasificación consensuada en el subgrupo. Se ha seleccionado un cuadro de un alumno para el presente documento, el cual representa los diferentes detalles considerados por los subgrupos en la acción de ordenar la colección.

Cuadro Nº 5: Representación conceptos-en-acto subgrupo A



Cuadro Nº 6<sup>18</sup>: Representación clasificación pseudoclasas “estados de la materia”

subgrupos A y B



<sup>1</sup>La muestra corresponde a carbón mineral <sup>2</sup>La muestra corresponde a B<sub>12</sub>

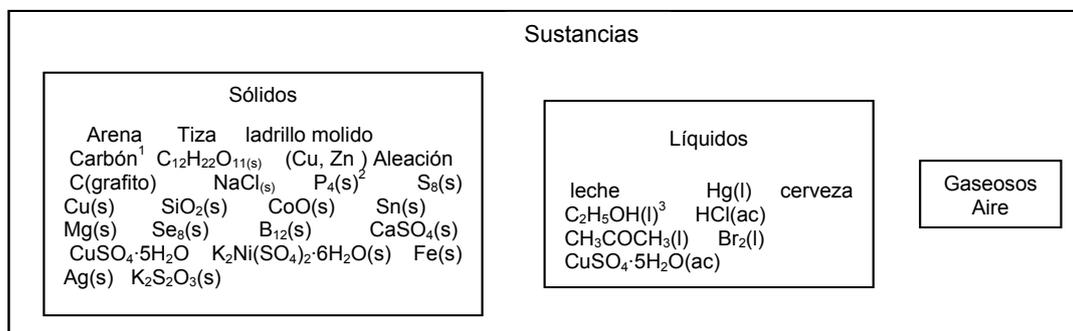
<sup>3</sup>La muestra corresponde a una cerilla cuyo nombre común es fósforo

<sup>4</sup>La muestra corresponde a Se<sub>8</sub>(s) <sup>5</sup>La muestra corresponde a C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(ac)</sub> <sup>6</sup>La muestra corresponde a HCl<sub>(ac)</sub>

<sup>7</sup>La muestra corresponde a Br<sub>2</sub>(l) <sup>8</sup>La muestra corresponde a CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O<sub>(ac)</sub> <sup>9</sup>La muestra corresponde a Cu<sub>(s)</sub>

<sup>18</sup>Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

**Cuadro N° 7<sup>19</sup>: Representación clasificación pseudoclases “sustancias” subgrupo C**



<sup>1</sup>La muestra corresponde a carbón mineral    <sup>2</sup>La muestra corresponde a una cerilla cuyo nombre común es fósforo  
<sup>3</sup>La muestra corresponde a  $C_2H_5OH(ac)$

Es importante centrar la atención en el Cuadro N° 6 y el Cuadro N° 7. En estos, los subgrupos A, B, C representan las sustancias en términos de fórmulas químicas para la mayoría de los componentes de la colección, aunque su conceptualización no ha sido considerada en momento alguno para ordenar la colección. Realizar la acción de la representación del ordenamiento realizado sobre la mesa, pone en acción la decisión de la representación de los componentes de la colección en términos de fórmulas químicas presentadas en los rótulos de las muestras.

La atención al Cuadro N° 6, permite percibir como los alumnos utilizan en la mayoría de los casos fórmulas químicas para designar los componentes y no el nombre común. Utilizan éste para las muestras más familiares, excepto para la cerilla que usan el símbolo  $P_4$  y el término Boro para dodecaboro (sustancia no familiar) en lugar de  $B_{12}$ . Carbón mineral lo designan carbón y modifican otros símbolos con respecto a los presentados en el rótulo: fase acuosa (ac) es cambiado por líquido (L) en los símbolos  $C_2H_5OH$ , HCl y  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  y omiten el subíndice de la fórmula molecular  $Se_8$ .

Estos últimos detalles lingüísticos son también comunes al subgrupo B y parciales en el subgrupo C. Éste último subgrupo realiza modificaciones para

<sup>19</sup>Es copia fiel del cuadro producido por una alumna, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

$C_2H_5OH_{(ac)}$ , cuyo subíndice (ac) sustituye por (l) (líquido), carbón mineral lo designa carbón, la cerilla es representada  $P_{4(s)}$  y conserva el nombre común para las muestras de la vida cotidiana excepto para azúcar, la cual representa con la fórmula molecular  $C_{12}H_{22}O_{11(s)}$ . Las modificaciones lingüísticas no son meros errores de los alumnos, por el contrario, subyacen en el trasfondo de la solución de la situación al representarla en términos de significantes químicos, en la acción de representación afloran de modo intuitivo significados para estos significantes. El Cuadro N° 8, representa una sistemática de la modificación de los significantes de los subgrupos A, B, C.

**Cuadro N° 8: Modificación significantes subgrupos A, B, C**

SUBGRUPOS A Y B		SUBGRUPO C	
$C_2H_5OH_{(ac)}$	$C_2H_5OH_{(L)}$	$C_2H_5OH_{(ac)}$	$C_2H_5OH_{(l)}$
HCl(ac)	HCl(l)	Cerilla	$P_4$
$CuSO_4 \cdot 5H_2O_{(ac)}$		Azúcar	$C_{12}H_{22}O_{11(s)}$
$CuSO_4 \cdot 5H_2O_{(L)}$		Carbón mineral	Carbón
$Br_2(l)$	Br(l)		
$Se_8$	Se		
$B_{12}$	Boro		
Cerilla	$P_4$		
$Cu_{(s)}$	$Cu_m$		
Carbón mineral	Carbón		

En nuestra interpretación, los significantes fórmulas químicas moleculares, se aceptan como símbolos para nombrar a las sustancias y de modo parcial algunos son ajustados a la percepción sensorial y la experiencia de familiaridad con el material, como es el caso de la modificación (ac) por (L) o (l), o la eliminación del subíndice para  $Se_8$  y  $B_{12}$  (subgrupos A y B). De modo intuitivo se asume el símbolo elemental Se, en analogía con la escritura por ejemplo para Cu y Sn, o se adopta el nombre común boro, o es la representación adecuada porque “así debe ser la fórmula química”, es la manifestación de varios alumnos para expresar de

modo intuitivo el significante, al no considerar el significado químico de los subíndices. Otros símbolos se conservan dada una experiencia química con las sustancias, por ejemplo  $S_8$  y  $P_4$ . Experiencia cotidiana y experiencia química con ausencia de significados químicos adecuados, parece ser determinan la decisión por la modificación del significante.

Lo perceptible inmediato tiene límites en términos de lenguaje natural, no estimula que emerjan otros invariantes operatorios. Insistir la profesora en una clasificación química da lugar a un rodeo sin cambio de perspectiva, provee una sobrecarga repetitiva de las cualidades perceptibles de modo directo ya anotadas.

En nuestra interpretación, los estudiantes se relacionan con las sustancias de modo principal en dos direcciones no disyuntivas. Una primera implica percibir de modo predominante algunas características perceptuales en el campo de la visión; una segunda, está relacionada con la toma de decisiones con respecto a algunos de ellos según el uso en un dado contexto, ya sea por experiencias de ensayo y error y/o fundamentadas en unas indicaciones mínimas para manipularlo y utilizarlo, asimiladas en la experiencia cotidiana a través del habla oral o escrita. En el mundo cotidiano los sujetos construyen esquemas de asimilación para las “sustancias” que manipulan y establecen relaciones de semejanza con propiedades perceptibles vistosas y su beneficio social, representadas en lenguaje común como el medio para nombrar, identificar y evocar sustancias. Estos esquemas persisten de modo dominante y no incorporan invariantes operatorios relativos a conceptos tratados en los cursos del primer nivel de Química como sustancia, compuesto, elemento y mezcla entre otros. Sin embargo, escribir fórmulas relativas y moleculares al representar la solución invoca tanto la experiencia cotidiana como la experiencia química adquirida.

En esta relación de los sujetos con unas clases de objetos del mundo se asume a estos como “materia” y cualquiera tiene la connotación de sustancia o sustancia química. Las sustancias listadas, así como un trozo de vidrio o madera, una piedra, el agua de mares y ríos, una aleación como el bronce, un jugo de

fruta, un clavo de hierro, una muestra de alcohol etílico o de azufre, son nombrados y referenciados con el término “materia”. En el espacio de la explicitación, materia y sustancia son sinónimos, “cualquier cosa es materia, es lo mismo que sustancia”, un objeto al cual se asignan unas características percibidas en la relación directa con él. En esta relación no hay atención consciente a si el objeto corresponde a una sustancia pura y a qué clase de sustancias, o a un conjunto de sustancias en el cual se presentan interacciones químicas, como por ejemplo las soluciones acuosas o si algunos componentes de la colección corresponden a mezclas heterogéneas. Sólo en el momento de interactuar de modo consciente con el lenguaje químico para efecto de representar la solución de la clasificación química, se evoca de modo muy tímido, ajustar el significante a la experiencia tanto cotidiana como química, lo cual se traduce en la modificación de algunos subíndices a los cuales atribuyen significados intuitivos, lo cual parece ser, además de la familiaridad de la muestra, la poca o ausente familiaridad con la fórmula química en el caso de los subgrupos A, B, así como el dominio del símbolo unitario; mientras para el subgrupo C, parece ser tiene importancia, además, el respeto por la forma como está escrita “así debe ser”, aún le sea no familiar el símbolo y/o el material.

Aún las diferencias entre los subgrupos, los alumnos de los tres subgrupos no son conscientes de la percepción de otras cualidades que demandan la atención de los significantes como lenguaje químico, el cual a su vez implica un nuevo conjunto de invariantes operatorios de mayor grado de generalidad y abstracción. Las creencias según las cuales las “fórmulas químicas son difíciles”, “no son para aprender”, la práctica rutinaria “siempre dadas por el profesor” o “están en el libro” y “son letras”, constituyen un fuerte obstáculo mental para extender su primer conocimiento perceptual inmediato e intuitivo a conceptos de mayor nivel de abstracción. Esta minimización del lenguaje químico desconoce el rol del lenguaje en el desarrollo y funcionamiento del pensamiento, poco ayuda al progreso de la conceptualización y exige la intervención permanente de la docente para facilitar el progreso cognitivo de los alumnos.

### 5.2.2 Etapas y ayudas cognitivas.

La mediación de la profesora hacia la meta de una clasificación química orienta los alumnos a asumir un primer compromiso consciente con las fórmulas químicas relativas y moleculares. Interactuar con esta clase de lenguaje químico, es para los alumnos el inicio de una serie de rupturas cognitivas al poner en acción nuevos invariantes operatorios. La utilización de estos significantes invoca una secuencia de conceptos implícitos de naturaleza cualitativa, descriptiva y clasificatoria, experimentados por los alumnos en los cursos de química precedentes. En primer lugar, en los subgrupos A, B y C emergen los concepto-en-acto “elemento”, “compuesto” y “mezclas”, subordinados en los dos primeros subgrupos al teorema-en-acto “estados de la materia son: sólidos, líquidos, gaseosos”, y para el C subordinados al teorema en-acto “sustancias son: sólidos, líquidos, gaseosos”. En segundo lugar, manipular estos conceptos-en-acto, trae consigo poner en acción un aspecto visible, pero no vistoso, antes no considerado por los alumnos, los conceptos-en-acto homogeneidad y heterogeneidad, a fin de decidir si la muestra es una sustancia pura o una mezcla, y en tercer lugar, no toda la información expresada de modo escrito en los rótulos de las muestras es considerada relevante por los alumnos.

En el momento de manipular la colección y centrar la atención en las fórmulas químicas relativas y moleculares, es establecida una importante relación entre las sustancias mismas y los símbolos químicos para representarlas. En la interfase entre manipular sustancias y manipular símbolos emergen los conceptos-en-acto: “elemento”, “compuesto”, “mezcla”, los cuales a su vez sitúan en la acción la percepción del aspecto homogéneo o heterogéneo de la muestra. Se interpreta lo que parece ser una acomodación de la estructura de asimilación para configurar tres decisiones clasificatorias: “elemento”, “compuesto” y “mezclas”, integradas por lenguaje común, aspecto aparente homogéneo o heterogéneo y significar símbolos químicos. Nuevos significantes y nuevos conceptos y teoremas-en-acto son considerados en diferente grado de relevancia según que la muestra sea muy

familiar en la vida cotidiana, más o menos familiar en cuanto sustancias conocidas en su experiencia química o no conocidas por los alumnos.

### **5.2.3 Progreso cognitivo en cuanto emergen subclases: elemento, compuesto, mezcla**

Las fórmulas relativas y moleculares son percibidas en una primera instancia de modo limitado y reduccionista y su modo de utilización muy ligado al grado de familiaridad del material. Mayor experiencia cotidiana o alta familiaridad con el material, se relaciona con una menor atención al simbolismo químico y aún a palabras del lenguaje natural, así sean comunes y especifiquen algún rasgo característico del material, el cual no es tan familiar como otros. El progreso de la percepción de cada una de las fórmulas químicas, como una entidad conceptual que suministra información acerca de la sustancia, ocurre en la interacción permanente y progresiva con el material potencialmente significativo preparado para la intervención y con la colección de materiales, en la medida de hacer consciente el significado del símbolo químico y de los demás aspectos simbólicos presentados en los rótulos de las muestras y de cómo esta nueva información provee un aprendizaje superior acerca de las sustancias que no requiere de una relación directa ostensible con la sustancia o con una mezcla de sustancias.

Conceptos y teoremas en-acto integrantes del repertorio de esquemas de asimilación de los alumnos y adquiridos a lo largo de sus vidas y del proceso educativo, parecen emerger en un primer momento de esta segunda etapa de clasificación química. Significantes y decisiones de alumnos son explicitadas según las secuencias de ordenamiento realizadas por los tres subgrupos. Varios esquemas de asimilación serían puestos en acción y recombinados para la solución de la ordenación, los cuales se describen e interpretan a continuación.

En la interacción con la situación colección de materiales e insistir la profesora en la meta de una ordenación química, la acción de clasificar implica que la situación sea ordenada en subclases, al evocar de modo explícito los conceptos-en-acto: “elemento”, “compuesto” y “mezclas”, los cuales se relacionan

con el concepto-en-acto “apariencia homogénea” altamente intuitivo y se configuran, parece ser, comportamientos según el grado de familiaridad con el material. Cada subclase, se constituye en una nueva situación que resuelven los alumnos al poner en acción varios esquemas de asimilación, que a nuestro modo de ver, están emparentados, y nos orientan a percibir lo que parece ser el comportamiento invariante de los alumnos.

*Clasificación de elementos:* Apariencia homogénea y nombre común constituido de una palabra y/o un símbolo químico elemental, se integran y dan sentido al concepto en-acto, elemento. El elemento significado como una sustancia percibida de modo directo, manipulable y con una experiencia cotidiana de adquisición del símbolo elemental en la constante utilización de la información proveniente de un formato de tabla periódica al interactuar con ésta. Las siguientes tres clases de decisiones, configuran tres esquemas de asimilación asociados, los cuales parece ser expresarían el comportamiento de los alumnos para optar por la clasificación de la subclase “elemento”:

a) Sustancias muy familiares en el transcurso de la vida cotidiana: nombre común y aspecto homogéneo, se obvia información adicional respecto a diferenciar si el material corresponde a una sustancia o a una mezcla, o ha no tener en la cuenta algunos términos como por ejemplo, mineral para carbón mineral, no diferenciar las palabras carbón y carbono, adoptar el término fósforo y no cerilla y simbolizar  $P_4$ , dado que el uso tradicional en nuestro ambiente es la palabra fósforo y representa con el símbolo aprendido en el aula y también suministrado en la información.

b) Sustancias familiarizadas en el tiempo de aprendizaje de contenidos de química: símbolo químico elemental de una clase y el aspecto homogéneo  $\{S_8, C_{\text{grafito}}, Cu, Ag, Fe, Sn, Mg, Hg\}$ .

c) Sustancias no familiares: símbolo químico elemental sin reconocer el subíndice denotativo de cantidad y el aspecto homogéneo, B por  $B_{12}$ , Se por  $Se_8$ ,

Br por Br<sub>2</sub>. Esta conducta es común a los subgrupos A, B; el subgrupo C acepta B<sub>12</sub>, Se<sub>8</sub>, Br<sub>2</sub>.

*Clasificación de compuestos:* Apariencia homogénea, nombre común constituido de una o dos palabras y/o un símbolo químico, el símbolo compuesto constituido de dos o más símbolos elementales, se integran para dar sentido al concepto en-acto, compuesto. Las siguientes tres clases de decisiones, parece ser, configuran tres esquemas de asimilación emparentados, los cuales determinarían el comportamiento de los alumnos para optar por la clasificación del material en la subclase “compuesto”:

a) Sustancias muy familiares en el transcurso de la vida cotidiana: nombre común y aspecto homogéneo, se obvia información suministrada por las fórmulas moleculares y otros aspectos de éstas, como es el caso para leche, azúcar, alcohol antiséptico C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(ac)</sub> modificado por C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(l)</sub>.

b) Sustancias familiarizadas durante el período de tiempo de aprendizaje de la química: dos o más clases de símbolos elementales asociados y aspecto homogéneo, como es el caso para SiO<sub>2</sub>, CaO, CaSO<sub>4</sub>, NaCl.

c) Soluciones acuosas más o menos familiares: modificación del subíndice acuoso por líquido, dos o más clases de símbolos elementales asociados y el aspecto homogéneo, como es el caso para HCl<sub>(ac)</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(ac)</sub> y CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O<sub>(ac)</sub> modificados por HCl<sub>(l)</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(l)</sub> y CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub> respectivamente. Esta decisión válida para subgrupos A y B, es parcial para el subgrupo C.

*Clasificación de mezclas:* Apariencia homogénea o heterogénea, nombre común, experiencia con la palabra mezcla asignada a algunos materiales y asociación de símbolos dan sentido al concepto-en-acto mezcla y a su clasificación en homogénea y heterogénea. Las siguientes tres clases de decisiones, parece ser, configuran tres esquemas de asimilación asociados, los cuales orientarían el comportamiento de los alumnos para optar por la clasificación de la subclase “Mezclas”:

a) Mezclas muy familiares definidas homogéneas según nombre común, aspecto homogéneo y conocimiento afirmativo cotidiano y de aula respecto a tales materiales como mezclas, se obvia información adicional respecto a fórmulas químicas, como es el caso para tiza, aleación, cerveza, aire.

b) Sustancias hidratadas no conocidas, clasificadas como mezclas homogéneas y no como compuestos, dada su apariencia homogénea y que la fórmula química expresa agua "H<sub>2</sub>O" y conciben que "el agua esta ahí adentro con la otra sustancia" representada en la asociación de los otros símbolos químicos, nH<sub>2</sub>O percibido formando una mezcla con CuSO<sub>4</sub> y K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>) y no como combinación química.

c) Mezclas muy familiares definidas heterogéneas según nombre común y aspecto heterogéneo, se obvia información adicional respecto a fórmulas químicas.

El Cuadro N° 9, representa el ordenamiento de los subgrupos A y B, y el Cuadro N° 10, el ordenamiento del subgrupo C, según decisiones adoptadas para los conceptos-en-acto "elemento", "compuesto", "mezclas", y apariencia homogénea y heterogénea, subordinados a los conceptos-en-acto "sólidos", "líquidos" "gaseosos".

En nuestra interpretación, en estas decisiones se configura el concepto-en-acto de homogeneidad aparente como determinante para clasificar elementos y compuestos, sin diferenciar dicha categoría para sustancias puras y mezclas homogéneas. Para el caso de los nombrados "elementos" por los alumnos, la apariencia homogénea se impone al significar el simbolismo, como es manifiesto en el carbón mineral y en la cerilla. Además, se expresa como el elemento químico es connotado y posicionado en equivalencia con sustancia simple en una cierta fase, conceptualizado como la sustancia simple percibida de modo directo. Dos

elementos de equivalencia de la tríada sustancia simple-elemento-átomo, conforman la solución de la situación.

**Cuadro Nº 9<sup>20</sup>: Representación clasificación “Estados de la materia” subgrupos A y B**

Estados de la materia					
Sólidos					
<u>Elem.</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>			
Boro(s) <sup>2</sup>	SiO <sub>2</sub> (s)	<u>homog</u>			
C(grafito)	CoO(s)	Tiza			
Cu(m) <sup>9</sup>	CaSO <sub>4</sub> (s)	(Cu, Zn) Aleación			
Ag(s)	NaCl	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)			
Fe(s)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> Ni(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O(s)			
Sn(s)	Azúcar				
Carbon <sup>1</sup>					
Mg(s)		<u>Hetero</u>			
S <sub>8</sub> (s)		Arena			
P <sub>4</sub> (s) <sup>3</sup>		ladrillo Molido			
Se(s) <sup>4</sup>					
			Líquidos		
			<u>Elemento</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>
			Hg(L) <sub>7</sub>	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(L) <sup>8</sup>	<u>homog</u>
			Br(L) <sup>7</sup>	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (L) <sub>2</sub>	Cerveza
				C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(L) <sup>5</sup>	
				Leche	hetero.
				HCl(L) <sup>6</sup>	
			Gaseosos		
			<u>Elem</u>	<u>Comp.</u>	<u>Mezclas</u>
					<u>Homog</u>
					Aire
					<u>hetero.</u>

<sup>1</sup>La muestra corresponde a carbón mineral    <sup>2</sup>La muestra corresponde a B<sub>12</sub>

<sup>3</sup>La muestra corresponde a una cerilla cuyo nombre común es fósforo

<sup>4</sup>La muestra corresponde a Se<sub>8</sub>(s)    <sup>5</sup>La muestra corresponde a C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(ac)</sub>    <sup>6</sup>La muestra corresponde a HCl<sub>(ac)</sub>

<sup>7</sup>La muestra corresponde a Br<sub>2</sub>(l)    <sup>8</sup>La muestra corresponde a CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O<sub>(ac)</sub>    <sup>9</sup>La muestra corresponde a Cu<sub>(s)</sub>

**Cuadro Nº 10<sup>21</sup>: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C**

Sustancias					
Sólidos					
<u>Elem.</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>			
Se <sub>8</sub> (s)	SiO <sub>2</sub> (s)	<u>homog</u>			
C(grafito)	CoO(s)	Tiza			
Cu(s)	CaSO <sub>4</sub> (s)	(Cu, Zn) Aleación			
Ag(s)	NaCl	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)			
Fe(s)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> Ni(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O(s)			
S <sub>8</sub> (s)	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s)				
Carbon <sup>1</sup>					
Mg(s)		<u>Hetero</u>			
P <sub>4</sub> (s) <sup>2</sup>		Arena			
B <sub>12</sub> (s)		ladrillo Molido			
Sn(s)					
			Líquidos		
			<u>Elemento</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>
			Br <sub>2</sub> (l)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(ac)	<u>homog</u>
			Hg(l)	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (l)	
			Cerveza		
				C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	
				HCl (ac)	
				Leche	hetero.
			Gaseosos		
			<u>Elem</u>	<u>Comp.</u>	<u>Mezclas</u>
					<u>Homog</u>
					Aire
					<u>hetero.</u>

<sup>1</sup>La muestra corresponde a carbón mineral    <sup>2</sup>La muestra corresponde a una cerilla cuyo nombre común es fósforo

<sup>3</sup>La muestra corresponde a C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH<sub>(ac)</sub>

<sup>20</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

<sup>21</sup> Es copia fiel del cuadro producido por una alumna, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

El simbolismo químico pensado como asociación mecánica de símbolos elementales, es adoptado para referirse a compuestos y excluye distinguir cuando representa una mezcla homogénea, cuestión manifiesta al conservar en su conducta la modificación del subíndice acuoso (ac) por líquido (L) (ver Cuadro N° 9), para decidir clasificar soluciones acuosas como compuestos y de este modo, un alto dominio de la apariencia homogénea configura las decisiones. Un líquido de apariencia homogénea decide en esta etapa el concepto-en-acto “compuesto”. La percepción de una fase líquida había decidido con anterioridad clasificar los respectivos materiales como “líquidos” y es combinada con la connotación de “homogéneo” a fin de decidir el concepto en-acto “compuesto”.

La diferencia de comportamiento de los subgrupos A y B con el C, radica en que éste último persiste, con respecto a la ordenación anterior, en el subíndice (ac) para algunos materiales y determina clasificarlos como “compuestos” en cuanto líquidos de apariencia homogénea; (ac) no le sugiere otro significado, “eso es así”, caso contrario para  $C_2H_5OH_{(ac)}$  modificado a  $C_2H_5OH_{(l)}$  “porque alcohol es un líquido” muy familiar a ellos. Esta ausente el significado de (ac) para solución acuosa y es determinante la apariencia de homogeneidad para la clasificación como compuesto.

Los signos químicos como meros símbolos asociados no posibilitan la comprensión para inferir desde ellos si las muestras corresponden a compuestos o mezclas homogéneas. Esta idea sobre las fórmulas químicas adopta de modo inadecuado el concepto-en-acto de mezcla para las sustancias hidratadas, dado que en ellas se expresa la asociación de los símbolos  $CuSO_4$  y  $K_2Ni(SO_4)$  con  $nH_2O$ . Esta asociación, al hacer caso omiso del significado del punto que enlaza los anteriores símbolos y el número de veces (n) la unidad  $H_2O$ , reafirma el no conocimiento significativo de las fórmulas químicas en cuanto representación de la identidad química. El significante se concibe para definir la sustancia hidratada como mezcla homogénea y adoptado con un nivel de mayor jerarquía que la

percepción de la cualidad de homogeneidad, la cual surge como complementaria para reafirmar el concepto–en-acto mezcla homogénea.

En nuestra interpretación, la tendencia del comportamiento está en la dirección de la familiaridad de la muestra, ésta decide mayor relevancia para el aspecto homogéneo o para el significativo químico. Nuevos significantes, fórmulas químicas relativas y moleculares, nuevas percepciones invocadas por éstas, apariencia homogénea y heterogénea, parece ser configuran esquemas de asimilación disponibles en el repertorio de los alumnos para sustancias más o menos familiares y no familiares. Para las muy familiares, las estructuras de asimilación intuitivas y no adecuadas, ya adquiridas a lo largo de sus vidas y tal vez en el aprendizaje de la química, son algoritmos no adecuados que actúan de modo inmediato en la toma de decisiones, como son los casos de clasificar la leche como compuesto, la cerilla y el carbón mineral como elemento, sin diferenciar elemento, sustancia simple y mezcla, o como en el caso adecuado de clasificar el aire como mezcla homogénea.

Los esquemas de asimilación utilizados por los alumnos, en particular los referidos a la clasificación de: sustancias simples como elementos; algunas soluciones acuosas y otras mezclas como compuestos, y de compuestos como mezclas, corresponden a equivalencias inadecuadas y o conceptos-en-acto no pertinentes, y de este modo no se aproximan al conocimiento químico. Esto requiere que sus concepciones sean desequilibradas y provocar nuevos procesos de acomodación en sus estructuras cognitivas mediante el empleo de organizadores expositivos y teórico-prácticos, cuya finalidad es proveer de nuevos significados sus conceptos intuitivos, nuevas relaciones conceptuales, nuevas experiencias químicas dirigidas y dosificadas con el propósito de aumentar la discriminabilidad de las ideas de los alumnos, rectificar observaciones inmediatas y dirigir la acción de centrar la atención en la información adicional rotulada, crear desequilibrio y facilitar la acomodación y construcción de nuevos esquemas de asimilación.

La intervención se dirige en un primer momento a diferenciar y profundizar el significado para los conceptos elemento, sustancia simple y compuesta y mezcla, en particular, a tratar las sustancias como descritas por un conjunto de propiedades no cotidianas ni familiares, cuya determinación requiere procedimientos específicos estandarizados, con algunos de los cuales han interactuado los alumnos en el primer nivel de química: temperaturas de fusión y ebullición y la solubilidad, así como con algunas metodologías de separación de las sustancias componentes de una mezcla. Conjuntos de propiedades de las sustancias, reproducibles en contexto, permiten compararlas y diferenciarlas y es en éste contexto que el significado de homogeneidad de los alumnos requiere claridad y precisión y la intervención debe cuestionar y resignificar tal concepto, así como permitir la conceptualización de las propiedades mencionadas y diferenciar éstas de aquellas perceptibles de modo directo en la vida cotidiana.

En una segunda instancia, la mediación está dirigida a elevar el nivel de comprensión de las sustancias simples y compuestas, sus significaciones según contextos diversos para significar su pluralidad y diferenciarlas al constituir mezclas homogéneas; pluralidad dialectizada en el conjunto de propiedades estandarizadas y de significantes para representar la multiplicidad de una sustancia y asimilar la composición química de la sustancia en términos de combinación química de elementos, como identidad química, como propiedad química invariante en una amplia variedad de situaciones y variable en las reacciones químicas, además de diferenciar la composición invariante de una sustancia de la composición variante de una mezcla.

A nuestro modo de ver, esto conlleva una sistemática de clasificación general más allá de un conjunto de propiedades que implica el ordenamiento como sustancia básica o elemento químico, simple y compuesta, lo cual está relacionado de modo dialéctico con la representación en términos de fórmulas relativas y moleculares. Esto propicia, en tercer lugar, exponer el rol representacional del simbolismo químico y su significatividad en términos de

composición y grupos funcionales, como conocimiento sistemático diferenciador de clases y subclases de sustancias que subordina grupos de propiedades químicas y físicas. En una jerarquía química, las sustancias son determinadas por sus propiedades y definidas por sus fórmulas moleculares, las cuales no son meras representaciones convencionales, son representaciones desarrolladas de forma sistemática en una profunda alianza con la experiencia pensada y refinada de modo racional. De este modo, las fórmulas químicas tanto relativas como moleculares y estructurales, representan sistematización de eventos fenomenológicos y orientan conceptualizar el comportamiento de las sustancias en contexto para limitarlo o posibilitarlo.

#### **5.2.4 Ruptura con el conocimiento común y nuevas filiaciones**

El aspecto homogéneo como experiencia directa debe ser cuestionado en un doble sentido. En primer lugar, dar la oportunidad de percibir la naturaleza heterogénea oculta tras la apariencia homogénea tan evidente a los alumnos. De otra parte, la apariencia homogénea no es criterio decisivo para definir una sustancia como pura, tiene un valor dudoso por fuera de los métodos de separación establecidos por la química. La instrucción propicia conceptualizar que la homogeneidad es obtenida de modo indirecto y artificial y que los esquemas de asimilación de los alumnos progresen de la vana generalización de aspectos inmediatos a la diferenciación de las sustancias de acuerdo al conocimiento químico. La intervención facilita a los alumnos interactuar con:

- a)** Un organizador expositivo centrado en los conceptos de sustancia química, propiedades químicas y físicas, mezcla, mezcla homogénea, heterogénea y coloide como un caso de ésta última y con la construcción de mapas conceptuales a modo de explicitar conceptos y relaciones conceptuales.
- b)** Procedimientos de separación de las sustancias componentes de una mezcla, vistas de muestras en un microscopio óptico y preparación artificial de una mezcla heterogénea como una mezcla de apariencia homogénea.

c) La lectura con atención lógica de las fórmulas químicas y la información adicional en los rótulos de recipientes de almacenamiento de sustancias y mezclas, con el propósito de diferenciar la composición de la muestra en términos de elementos o de sustancias simples y/o compuestas y guiar la reorientación de la clasificación química.

La interacción con materiales potencialmente significativos y la disposición del grupo por aprender de modo significativo, da lugar al compromiso con la ruptura de las concepciones inadecuadas precedentes, para lo cual tiene un rol determinante la adquisición de conciencia semántica por los alumnos acerca de las diferencias entre sus ideas intuitivas e irrelevantes y los nuevos significados y distinguir entre significantes como fórmulas químicas y como palabras de lenguaje natural.

Luego de la intervención con una duración de cinco semanas (10 sesiones clase y cinco sesiones asesoría), y en la dinámica de consolidación del nuevo conocimiento, el grupo procede de nuevo a interactuar con la colección. Los alumnos mediante sucesivos reordenamientos de las sustancias según el grado de comprensión de la nueva información y la diferenciación progresiva de sus ideas, reelaboran y estructuran nuevas clasificaciones. Estos nuevos ordenamientos conservan el teorema-en-acto “estados de la materia son sólidos, líquidos y gaseosos” y “sustancias son sólidos, líquidos y gaseosos”, y las subclases en términos de los conceptos-en-acto “elemento”, “compuesto” y “mezclas”. Progresan en la diferenciación entre compuesto como sustancia pura y mezcla homogénea o solución acuosa y entre mezclas homogéneas y heterogéneas de apariencia homogénea. La diferenciación es progresiva en cuanto que cada sustancia de la clase compuestos y cada mezcla son conceptuadas:

- En primer lugar, con la resignificación de las más comunes y avanzar a las no familiares

- En segundo término, progresa con las respectivas correcciones a los significantes modificados en los ordenamientos anteriores.
- Por último, en el cambio de posición de clase de varios componentes de la colección.

Las etapas anteriores son momentos progresivos con tiempos diferentes y en proceso de continua reelaboración, al significar de nuevo las categorías “compuesto” y “mezclas” y los componentes de la colección adscritos a ellas. Parece ser los esquemas de asimilación de los alumnos se acomodan al desaprendizaje del conocimiento común y al aprendizaje de nuevos significados, en una dinámica de corrección de sus concepciones previas inadecuadas y de afirmación de las nuevas concepciones. Los esquemas se liberan de los conceptos-en-acto irrelevantes y de los teoremas-en-acto errados. Es un proceso de ruptura de la equivalencia compuesto-mezcla homogénea y la diferenciación e integración de estos conceptos químicos, el inicio de la ruptura con la asociación mecánica y simplista de símbolos elementales para formar símbolos compuestos y de la diferenciación de percepción en contexto de una mezcla heterogénea de apariencia homogénea.

Durante dos sesiones de clase y luego de tres intentos de reelaboraciones, en un determinado momento, un nuevo ordenamiento es satisfactorio para los alumnos. En esta nueva clasificación representan invariantes operatorios diferenciados unos, no utilizados otros y asimilados nuevos conceptos en un sistema conceptual acerca de compuestos y mezclas, homogeneidad y heterogeneidad, mezcla homogénea y solución acuosa, mezcla heterogénea y coloide como una clase de mezcla heterogénea. Los compuestos diferenciados de las mezclas por un conjunto de propiedades,  $T_{fus}$ ,  $T_{eb}$  y solubilidad, invariantes y reproducibles en un dado contexto; y las mezclas tratadas por métodos de separación para lograr compuestos. El compuesto no es dado de modo natural, surge como resultado de una metodología química en relación con una mezcla. Mezcla homogénea y compuesto como sustancia homogénea se diferencian en

cuanto que esta última no produce resultado positivo cuando es tratada con una metodología de separación.

Las clasificaciones representadas en el Cuadro N° 11 y Cuadro N° 12, corresponden a las rupturas con respecto a los ordenamientos presentados en el Cuadro N° 9 y en el Cuadro N° 10. Dichos cuadros constatan el cambio de los respectivos significantes a sus formas adecuadas en los subíndices y la reubicación de clase de varios compuestos y mezclas, así como la permanencia de la filiación al teorema-en-acto “Estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos” para los subgrupos A y B “, y “Sustancias son sólidos, líquidos y gaseosos” para el subgrupo C. La filiación de equivalencia elemento-sustancia simple permanece invariante en este nuevo ordenamiento.

**Cuadro N° 11<sup>22</sup>: Representación clasificación “Estados de la materia” subgrupos A y B**

Estados de la materia						
Sólidos			Líquidos			Gaseosos
<u>Elemento</u>	<u>compuestos</u>	<u>Mezclas</u>	<u>Elemento</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>	<u>Elementos</u> <u>comp.</u>
Boro(s) <sup>2</sup>	SiO <sub>2</sub> (s)	<u>homog</u>	Hg(L) <sub>7</sub>	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (L)	<u>homog</u>	<u>Mezclas</u>
C(grafito)	CoO(s)	(Cu, Zn) Aleación	Br(L) <sub>7</sub>	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(ac)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(ac)	<u>Homog</u>
Cu(m) <sup>9</sup>	CaSO <sub>4</sub> (s)			HCl(ac)	<u>hetero</u>	Aire
Ag(s)	NaCl	Heter		Cerveza	Leche	
Fe(s)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Arena				
Sn(s)	Azucar	ladrillo molido				
Mg(s)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)	Carbon				
S <sub>8</sub> (s)	K <sub>2</sub> Ni(SO <sub>4</sub> )·6H <sub>2</sub> O(s)	Cerilla				
Se(s) <sup>4</sup>		tiza				

<sup>2</sup>La muestra corresponde a B<sub>12</sub>   <sup>4</sup>La muestra corresponde a Se<sub>8(s)</sub>   <sup>7</sup>La muestra corresponde a Br<sub>2(l)</sub>

<sup>9</sup>La muestra corresponde a cobre metálico Cu<sub>(s)</sub>

<sup>22</sup>Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

**Cuadro Nº 12<sup>23</sup>: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C**

Sustancias					
Solidos				Liquidos	
<u>Elem.</u>	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>	Elemento	<u>comp.</u>	<u>Mezclas</u>
Se <sub>8(s)</sub>	SiO <sub>2(s)</sub>	<u>homog</u>	Br <sub>2</sub> (l)	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (l)	<u>homog</u>
C(grafito)	CoO(s)		Hg(l)		HCl(ac)
Cu(s)	CaSO <sub>4</sub> (s)	(Cu, Zn) Aleación			C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(ac)
Ag(s)	NaCl				CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(ac)
Fe(s)	K <sub>2</sub> Ni(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O(s)				
S <sub>8</sub> (s)	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (s)	Hetero			
Mg(s)	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)	cerilla			
Sn(s)		arena			
B <sub>12</sub> (s)		ladrillo molido			
		carbon			
		tiza			
					hetero
					Leche
					cerveza
			Gaseosos		
			Elem	<u>Comp.</u>	<u>Mezclas</u>
					Homog
					Aire
					hetero.

En nuestra interpretación, este nuevo ordenamiento es progreso en cuanto que implica a los alumnos un compromiso con mayor grado de racionalidad acerca de la fenomenología química y a la diferenciación con la experiencia de sentido común. Además, diferenciar sustancias y mezclas, es también un problema de resignificar las fórmulas químicas, cuestión a la cual en este momento los alumnos no prestan la suficiente atención a los símbolos elementales y a las relaciones cuantitativas entre estos. La atención de los subgrupos A, B, C se centra en los significantes que son coherentes con (s) sólidos, (l) líquidos y (ac) acuoso y con los nuevos significados para compuesto y mezclas. Se sitúan en relación con lo fenomenológico en un mayor grado de racionalidad y en la ruptura con la equivalencia compuesto-mezcla y el inicio de la ruptura con la asociación mecánica de símbolos.

### 5.2.5 Ruptura con el simplismo del lenguaje químico y nuevas filiaciones

Progresar a una clasificación de mayor generalidad que subordine al conjunto de propiedades característico de una sustancia en contexto, establecer

<sup>23</sup>Es copia fiel del cuadro producido por una alumna, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

subclases desde la diferenciación entre elemento, sustancia simple y compuesta, requiere centrar la atención de modo muy importante en las fórmulas químicas relativas y moleculares durante una intervención de tres semanas. En esta dirección, los alumnos interactúan con un segundo organizador expositivo para potenciar la significatividad de las fórmulas moleculares y ayudarles a trascender de los símbolos elementales y sus simples asociaciones, cuya función es nombrar la sustancia en el esquema de la tipología común, a la dualidad del significado cualitativo y cuantitativo en términos de la relación de combinación química de elementos, su especificidad cualitativa y cuantitativa invariante, en cuanto propiedad esencial “oculta” que enlaza las propiedades.

Es necesario mediar para guiar los alumnos a la construcción de una nueva estructura cognitiva de asimilación para la situación de clasificación en términos de la significatividad de los significantes, fórmulas relativas y moleculares, con la triple funcionalidad de nombrar inscrito en una tipología química, describir y clasificar sustancias. Esto a la vez implica una distinción clara y significativa entre elemento, sustancia simple y compuesto, más allá de la primera percepción ingenua, objetos perceptibles de modo directo y manipulables, y también más allá de la segunda percepción con un grado de mayor racionalidad al considerar un conjunto de propiedades operatorias estandarizadas, que permite la diferenciación operatoria de las sustancias y las mezclas y la descripción de las primeras en términos de un conjunto de propiedades reproducibles en contexto.

Los significantes, fórmulas químicas de composición empíricas o relativas y moleculares, introducen la diferenciación e integración de los invariantes operatorios en la perspectiva de un nuevo significado en una línea racional próxima al conocimiento químico moderno: sustancia básica o elemento químico, sustancia simple y compuesta como clases generales de sustancias, la sustancia básica como constituyente de las simples y compuestas, plantear subclases al introducir un conjunto de grupos funcionales para definir clases de sustancias compuestas. Estos nuevos invariantes operatorios crean una ruptura con los

conceptos y teoremas-en-acto respecto a elemento y compuesto, ya planteados y representados en las clasificaciones anteriores.

Los alumnos experimentan en situación una doble ruptura: el simplismo de las fórmulas químicas como simples asociaciones de símbolos y el cuestionamiento de los primeros conceptos-en-acto, en particular, los referidos a elemento químico y compuesto.

La profesora actúa para orientar los alumnos a la no utilización consciente de la primera noción del concepto-en-acto elemento químico y a asimilar una nueva conceptualización al respecto, así como un nuevo significado para sustancia simple diferenciado de elemento químico y a adoptar nuevos teoremas que expresen las relaciones entre elemento, sustancia simple y sustancia compuesta.

Adoptar el concepto de elemento químico en cierta forma intuitivo y de modo abstracto, como aquello que constituye a sustancias simples y compuestas en una relación cuantitativa definida e invariante para significar los aspectos cualitativo y cuantitativo de la identidad química de una sustancia, implica no usar la noción del objeto perceptible y manipulable, relacionar conjuntos de propiedades operatorias con las sustancias simples en contexto y asimilar conceptos operatorios y teóricos para la noción de sustancia. Requiere de una parte, considerar la sustancia como resultado de métodos de separación y caracterizada por un conjunto de propiedades determinadas de modo artificial, lo cual implica, a su vez, la multiplicidad y dinamismo de la sustancia para aceptarla como una diversidad en contexto cuya composición definida es invariante, así como, de la no utilización parcial de la percepción de los signos superficiales del objeto estático.

Se trata de asimilar la noción de sustancia de una manera que no dependa de modo directo de los signos superficiales, esto es, ser consciente de no decidir con estos; ni solo con el conjunto de las propiedades estandarizadas, pero si con una conciencia semántica del conjunto de propiedades. Se trata de orientar la adquisición de la esencia oculta, es decir, la relación de combinación definida de

elementos, como un abstracto que subordina a las propiedades y significa a la sustancia en ausencia de ella como objeto empírico, expresada en el significante fórmula relativa y/o molecular. Se trata de un primer nivel de asimilación de la pluralidad y funcionalidad de la sustancia para conceptualizar la relación de composición definida como una relación invariante de elementos para cada sustancia, diferenciada de la relación variante de cantidades de las sustancias constituyentes de una mezcla, relación esta denominada concentración.

Se requiere de seis sesiones de clases y tres de asesoría, el análisis de varios casos y la asistencia permanente de la profesora para conceptualizar en primer lugar, una sustancia bastante familiar a los alumnos, el agua, con los significantes  $H_2O$ ,  $H_2O_{(g)}$ ,  $H_2O_{(l)}$ ,  $H_2O_{(s)}$ ,  $H_2O_{(ac)}$ ;  $O$ ,  $O_2$ ,  $O_{2(g)}$ ,  $O_{2(l)}$ ,  $O_{2(s)}$ ;  $H$ ,  $H_2$ ,  $H_{2(g)}$ ,  $H_{2(l)}$ ,  $H_{2(s)}$ ; y en segundo término, una variedad de situaciones como por ejemplo,  $HCl$ ,  $HCl_{(g)}$ ,  $HCl_{(l)}$ ,  $HCl_{(s)}$ ,  $HCl_{(ac)}$ ;  $Cl$ ,  $Cl_2$ ,  $Cl_{2(g)}$ ,  $Cl_{2(l)}$ ,  $Cl_{2(s)}$ ;  $NaCl$ ,  $NaCl_{(s)}$ ,  $NaCl_{(l)}$ ,  $NaCl_{(g)}$ ,  $NaCl_{(ac)}$ ,  $NaCl_{(alc)}$ ;  $Na$ ,  $Na_{(s)}$  o  $Na_n$ ,  $Na_{(l)}$ ,  $Na_{(g)}$ ;  $Cu$ ,  $Cu_{(s)}$  o  $Cu_n$ ,  $Cu_{(g)}$ ,  $Cu_{(l)}$ . La comprensión de estas situaciones para los subgrupos A y B, da lugar a una nueva comprensión de la situación de clasificación de sustancias en términos del siguiente comportamiento u orden procedimental:

- La diferenciación de los conceptos-en-acto elemento y sustancia simple, permite explicitar la resignificación de los significantes Boro(s), Se(s), Br(l) y organizar la categoría sustancias simples.
- Adoptar la no utilización consciente del teorema-en-acto “estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos”, admitir “sustancias” como categoría general y de los conceptos-en-acto, “sólidos”, “líquidos”, “gaseosos” como conceptos subordinados a clases de sustancias.
- Asimilar de modo integral nuevos invariantes operatorios: sustancias como el concepto de mayor generalidad; sustancias simples (diferenciado del concepto de elemento), sustancias compuestas y mezclas como los conceptos subordinados.

En nuestra interpretación, parece ser en situación se configura una nueva estructura de asimilación de los subgrupos A y B, representada en el Cuadro N° 13. El subgrupo C, diferencia e integra al concepto-en-acto “sustancias” ya planteado como el de mayor generalidad, los conceptos-en-acto “sustancias simples”, “sustancias compuestas” y “mezclas” como los conceptos subordinados. En este momento se torna coincidente los conceptos-en-acto que guían los ordenamientos de los subgrupos A, B y C y se diferencian en la presentación de algunos significantes. El Cuadro N° 14 representa la clasificación del subgrupo C.

**Cuadro N° 13<sup>24</sup>: Representación clasificación “sustancias” subgrupos A y B**

SUSTANCIAS		
<p style="text-align: center;">SIMPLES</p> <p>Cu(s)      Br<sub>2</sub>(l)            B<sub>12</sub>(s)    Mg(s)            S<sub>8</sub>(s)      Hg(l)            Ag(s)      Sn(s)            C(grafito) Se<sub>8</sub>(s)            Fe(s)</p>	<p style="text-align: center;">COMPUESTAS</p> <p>SiO<sub>2</sub>(s)    CaSO<sub>4</sub>(s)    NaCl(s)    Azucar            CoO(s)    K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s)    K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)·6H<sub>2</sub>O(s)            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(s)                      CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>(l)</p>	<p style="text-align: center;">MEZCLAS</p> <p>Homog                      hetero.            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(ac)      Cerveza            Aire                        Leche            {Cu, Zn}                      Carbon            C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(ac)                      Arena            HCl(ac)                        Cerilla               Ladrillo Molido               Tiza</p>

**Cuadro N° 14<sup>25</sup>: Representación clasificación “sustancias” subgrupo C**

SUSTANCIAS		
<p style="text-align: center;">SIMPLES</p> <p>Se<sub>8</sub>(s)            C(grafito)    B<sub>12</sub>(s)            Cu(s)        Br<sub>2</sub>(l)            Ag(s)        Hg(l)            Fe(s)        Sn(s)            S<sub>8</sub>(s)            Mg(s)</p>	<p style="text-align: center;">COMPUESTAS</p> <p>SiO<sub>2</sub>(s)    CaSO<sub>4</sub>(s)    C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>(s)    NaCl(s)            CoO(s)    K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s)    K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)·6H<sub>2</sub>O(s)            CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>(l)                                      CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(s)</p>	<p style="text-align: center;">MEZCLAS</p> <p>Homog                      hetero.            HCl(ac)                        Leche            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(ac)                      Cerveza            C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(ac)                      Carbon            Aire                        Cerilla            {Cu, Zn}                        Arena               Tiza               Ladrillo Molido</p>

En nuestra interpretación, el nuevo ordenamiento químico progresa en cuanto es una nueva estructura de asimilación que implica rupturas con invariantes operatorios establecidos en las clasificaciones precedentes “estados

<sup>24</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

<sup>25</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos”; continua la filiación de compuestos y mezclas ya no subordinados a sólidos, líquidos, y gaseosos, por el contrario, subordinados a sustancias simples, compuestas y mezclas, y reconocidos en los subíndices de las fórmulas químicas. Una mayor atención significativa al símbolo se evidencia al reconocer los alumnos de los subgrupos A y B el subíndice (m) y reemplazarlo por (s); y los tres subgrupos reconocer el símbolo {Cu, Zn} para la mezcla metálica y no utilizar la palabra aleación. Diferenciación e integración de nuevos invariantes operatorios enlazados al significado de elemento químico y de las fórmulas químicas de composición guía el ordenamiento, el cual se conforma como un sistema de sustancias químicas.

#### **5.2.6 Nuevas filiaciones**

La nueva clasificación química es la acción de los alumnos correspondiente a una nueva estructura de asimilación, comportamiento que implica el paso a un segundo plano de la percepción de la colección de materiales vía propiedades fenomenológicas, más familiares y menos familiares a un segundo plano, y avanzar a centrar la atención en los significados de los significantes, fórmulas químicas de composición. Éstas adquieren un rol relevante en la solución de la situación.

De este modo, adquirido un primer significado de las fórmulas relativas y moleculares como representación de la relación cuantitativa invariante de combinación química de elementos que subordina grupos de propiedades y diferenciadas clases de sustancias como simples y compuestas y éstas de las mezclas, asimilar el significado de un conjunto de grupos funcionales como significantes que representan subclases de sustancias compuestas, se constituye en una acción diferenciadora de subclases de una clase del sistema.

Significar los grupos funcionales es un constante ir y venir de interacción con el texto, entre alumnos y con la profesora durante cuatro sesiones de clase y dos de asesoría. La identificación y apropiación del símbolo para un grupo funcional es comprender que éste representa una combinación de elementos; el grupo

funcional constituye un conjunto de relaciones químicas y es también enlazarlo a otro símbolo para representar la relación de combinación entre un elemento y el respectivo grupo funcional, o entre un conjunto de elementos combinados y el grupo funcional.

Dado que en el devenir de este interactuar, las representaciones lingüísticas corresponden a formas iónicas, por ejemplo,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$  u otras son de la forma CO ( $>\text{C}=\text{O}$ ), COC ( $>\text{C}-\text{O}-\text{C}<$ ),  $\text{H}_2\text{O}$ , emergen conceptos-en-acto altamente intuitivos, adquiridos en el proceso de aprendizaje de contenidos de estequiometría en el curso teórico de primer semestre, en particular balanceo de ecuaciones químicas: “número de oxidación negativo”, “número de oxidación positivo y el teorema-en-acto “positivo se une con negativo”. Este que parece ser un esquema de asimilación emparentado con la situación de organizar funciones químicas para la clasificación química, orienta el comportamiento de los alumnos y los conceptos y teoremas-en-acto son útiles en el caso particular de enlazar el grupo funcional con un símbolo elemental familiar, dado que les permite evocar “sodio es  $\text{Na}^+$ ”, “calcio es  $\text{Ca}^{2+}$ ” y enlazarlo con un grupo funcional un determinado número de veces, dado que la relación que parece ser establecen es en términos de “positivo negativo...neutro”. Estas consideraciones ayudan a concebir la fórmula química relativa y molecular como un ente abstracto que tiene una lógica no sólo como relación cualitativa y cuantitativa de elementos, sino también una lógica en términos de las reglas de números de oxidación por ellos conocidas. También contribuye a la asignación de mayor relevancia al aprendizaje de la fórmula química. Esta cuestión es manifiesta en los continuos procedimientos de los alumnos de un ordenamiento a otro hasta llegar a una clasificación final satisfactoria para ellos en términos de coherencia de los invariantes operatorios y del simbolismo químico, como diferenciación y reconciliación integradora de las nociones y los significantes para elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, clases de sustancias y mezcla.

Una lógica de los significantes “sustituye” los componentes de la colección y sus propiedades de primera y segunda instancia. La colección cada vez menos necesaria de manipular de modo empírico, es asimilada de modo progresivo por las relaciones funcionales de los significantes, por la noción de que cada sustancia tiene una esencia oculta perceptible por medio de los significantes que enlazan conjuntos de propiedades. El nuevo uso significativo del símbolo, su utilización como medio de adquisición de conceptos, provoca la acomodación de la nueva estructura de asimilación.

La lógica de las fórmulas químicas guía la ordenación química, para el caso las funciones químicas y las respectivas subclases emergen subordinadas a las sustancias compuestas. Los significantes proveen los invariantes operatorios que orientan la nueva ordenación diferenciada de las antecedentes, en cuanto se asimilan como conceptos-en-acto: “óxidos” ( $O^{2-}$ ), “sulfato no hidratado” ( $SO_4^{2-}$ ) ( $S_2O_3^{2-}$ ), “sulfato hidratado” ( $SO_4 \cdot nH_2O$ ), “cloruros” ( $Cl^-$ ), “cetonas” (CO). El teorema-en-acto para la situación se refiere a la proposición que afirma las subclases en el ordenamiento “sustancias compuestas son sulfato hidratado, óxidos, sulfato no hidratado, cloruros, cetonas”.

Al ordenar estas subclases, los subgrupos A y B conservan el término “Azúcar”, al no ubicarlo en las subclases. El subgrupo C quien con anterioridad ha escrito la fórmula molecular, su actitud es interrogante, de búsqueda mental pensando en voz alta “¿en cuál poner azúcar?”, de súbito un alumno exclama “carbohidratos” y otros “ah sí”. El término “carbohidratos” es evocado e inferido como una subclase, adquiere sentido en el sistema de clasificación para diferenciar subclases de sustancias compuestas y entra a integrar el teorema-en-acto “sustancias compuestas son sulfato hidratado, óxidos, sulfato no hidratado, carbohidratos, cloruros, cetonas”.

El Cuadro N° 15, representa la nueva clasificación química realizada por los subgrupos A y B y el Cuadro N° 16, la correspondiente al subgrupo C.

**Cuadro Nº 15<sup>26</sup>: Representación clasificación química sustancias subgrupos A y B**

SUSTANCIAS		
<p style="text-align: center;"><u>SIMPLES</u></p> <p>Cu(s)      Br<sub>2</sub>(l)            B<sub>12</sub>(s)    Mg(s)            S<sub>8</sub>(s)      Hg(l)            Ag(s)      Sn(s)            C(grafito) Se<sub>8</sub>(s)            Fe(s)</p>	<p style="text-align: center;"><u>COMPUESTAS</u></p> <p>Oxidos      Sulfato      Cloruros      carbohidratos                             No hidratado</p> <p>SiO<sub>2</sub>(s)    CaSO<sub>4</sub>(s)    NaCl(s)      Azucar            CoO(s)     K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s)</p> <p style="text-align: center;">Sulfato hidratado                    Cetonas            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(s)                    CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>(l)            K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)·6H<sub>2</sub>O(s)</p>	<p style="text-align: center;"><u>MEZCLAS</u></p> <p>Homog                    hetero.            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(ac)      Cerveza            Aire                      Leche            {Cu, Zn}                    Carbon            C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(ac)                Arena            HCl(ac)                      Cerilla                                              Ladrillo Molido                                              Tiza</p>

**Cuadro Nº 16<sup>27</sup>: Representación clasificación química sustancias subgrupo C**

SUSTANCIAS		
<p style="text-align: center;"><u>SIMPLES</u></p> <p>Se<sub>8</sub>(s)            C(grafito)    B<sub>12</sub>(s)            Cu(s)          Br<sub>2</sub>(l)            Ag(s)          Hg(l)            Fe(s)          Sn(s)            S<sub>8</sub>(s)            Mg(s)</p>	<p style="text-align: center;"><u>COMPUESTAS</u></p> <p>Oxido      Sulfato hidratado      Carbohidratos</p> <p>SiO<sub>2</sub>(s)    K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)·6H<sub>2</sub>O(s)    C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>(s)            CoO(s)     CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(s)</p> <p style="text-align: center;">Sulfato No hidratado                    Cloruros            K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (s)                                NaCl(s)            CaSO<sub>4</sub>(s)</p> <p style="text-align: center;">    Cetonas                CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>(l)</p>	<p style="text-align: center;"><u>MEZCLAS</u></p> <p>Homog                    hetero.            HCl(ac)                    Leche            CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(ac)      Cerveza            C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(ac)                Carbon            Aire                      Cerilla            {Cu, Zn}                    Arena                                              Tiza                                              Ladrillo Molido</p>

La clasificación de sustancias compuestas en subclases, desencadena la idea de subclases para las sustancias simples, expresada en voz alta “¿y...las sustancias simples... qué?” Esta perspectiva orienta la atención de los alumnos a volver al texto respecto a la clasificación de sustancias simples y a la consideración lógica del formato del sistema periódico de los elementos químicos, en cuanto permite asimilar las subclases metales, metaloides y no metales e identificar los respectivos significantes para estas subclases. Asimilar como

<sup>26</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

<sup>27</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

conceptos-en-acto “metales”, “metaloides” y “no metales” dirige los alumnos a ir a la colección de materiales del aula y percibir de modo concreto muestras de las tres subclases de sustancias simples, e ir luego a la colección motivo de clasificación. Este ir es una percepción dirigida no sólo a los signos superficiales de cada sustancia y a diferenciar estos en cuanto cuales poseen brillo metálico y cuales no, y al aspecto como sólidos (bloques, varillas, polvos, cristales, alambres), sino también y de modo principal a ligar estas cualidades con el significante y diferenciar la escritura del significante para cada sustancia de dichas subclases.

La atención a cuando el significante es de la forma  $X_n$  o  $X_{(s)}$ ,  $X_{(l)}$ ;  $X_{Y(n)}$  o  $X_{Y(s)}$ ,  $X_{Y(l)}$ , donde  $y$  es 2, 4, u 8, es un animado dialogo entre los alumnos para diferenciar metales, metaloides y no metales, dado que la escritura del simbolismo no constituye una forma única. Además de diferenciar (s), (l), (g), es necesario conciencia de la diferencia de los subíndices “n” y “y”. Los participantes vuelven a la situación de clasificación a diferenciar los significantes, esta vez con mayor significado respecto a los procedimientos representados en el Cuadro N° 13 y el Cuadro N° 14. Ya no se trata sólo de la correspondencia de los símbolos con el concepto-en-acto “sustancias simples”, sino también de la correlación de éstos a las subclases de sustancias simples. La reorganización de la clase sustancias simples es representada en el Cuadro N° 17 y es representativa del grupo total de estudiantes.

En este final los subgrupos A y B introducen la fórmula química correspondiente al azúcar.

**Cuadro Nº 17<sup>28</sup>: Representación clasificación química sustancias subgrupos A, B, C**

SUSTANCIAS			
<p><b>SIMPLES</b></p> <p>Metales    No metales</p> <p>Cu(s)      B<sub>12</sub>(s)</p> <p>Ag(s)      C(grafito)</p> <p>Fe(s)      S<sub>8</sub>(s)</p> <p>Sn(s)      Se<sub>8</sub>(s)</p> <p>Mg(s)      Br<sub>2</sub>(l)</p> <p>Hg(l)</p>		<p><b>COMPUESTAS</b></p> <p>Oxidos      Sulfato      Cloruros      carbohidratos</p> <p>                  No hidratado</p> <p>SiO<sub>2</sub>(s)    CaSO<sub>4</sub>(s)    NaCl(s)      Azucar</p> <p>CoO(s)     K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(s)                              C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub></p> <p>                  Sulfato hidratado                              Cetonas</p> <p>                  CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(s)                              CH<sub>3</sub>COCH<sub>3(l)</sub></p> <p>                  K<sub>2</sub>Ni(SO<sub>4</sub>)·6H<sub>2</sub>O(s)</p>	
<p><b>MEZCLAS</b></p> <p>Homog                              hetero.</p> <p>CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O(ac)                              Cerveza</p> <p>Aire    Leche</p> <p>{Cu, Zn}    Carbon</p> <p>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH(ac)    Arena</p> <p>HCl(ac)    Cerilla</p> <p>    Ladrillo Molido</p> <p>    Tiza</p>			

En nuestra interpretación, asimilar los conceptos-en-acto respecto a subclases de sustancias compuestas y sustancias simples, es de modo progresivo, profundizar en la conceptualización del significado de los significantes, vinculado ésto en algunas ocasiones a la necesidad de reafirmar cada sustancia mediante la percepción y manipulación para aceptar su representación simbólica. Ir a la colección del aula es significativo en cuanto reafirma la existencia de la diversidad de sustancias simples y la variedad de éstas. Relacionarse con ellas, es una afirmación a la aceptación de nuevas filiaciones, lo cual supera de modo parcial la concepción de los símbolos como entes simbólicos para aprender de memoria y la actitud de espera a ser presentado por algún medio. El símbolo químico correlacionado con la existencia de un número (40) importante y representativo de las sustancias simples en el contexto del ambiente, tiene el rol de la afirmación de la aceptación del símbolo para las sustancias con las cuales interactúan y también para aquellas con las cuales se está en ausencia del objeto, es decir, facilita el aprendizaje a corto plazo y posterior de las fórmulas químicas en ausencia de las sustancias. La pregunta afirmativa y la afirmación planteada de modo oral respectivamente por los estudiantes E<sub>9</sub> y E<sub>10</sub>, es el modo como los

<sup>28</sup> Es copia fiel del cuadro producido por un alumno, similar al de los demás integrantes del grupo.

alumnos perciben la fórmula química como un símbolo químico diferente a la sustancia y relacionado con ella.

“profe... ¿entonces... para toda sustancia hay una fórmula aunque uno no la vea?”

“yo que creía que la fórmula estaba allá metida... y no es así...”

Finalmente, la relevancia del simbolismo químico asimilado por los estudiantes, es evidenciada cuando al poner en limpio sobre el papel la clasificación final adoptada, asumen para algunas mezclas su representación simbólica, en particular para aquellas cuyo número de componentes es menor como el caso del aire y algunas soluciones acuosas. Es también el momento en el cual hay una atención lógica al simbolismo del rótulo de la cerilla, a la conciencia de la cerilla no ser ni el elemento fósforo (P), ni la sustancia simple tetrafósforo (P<sub>4</sub>). La cerilla conceptualizada como una mezcla de dos sustancias compuestas y la estudiante E<sub>3</sub> de modo fuerte afirma:

“yo creía que una cerilla era el fósforo... entonces, P, P<sub>4</sub> y cerilla son diferentes”

El Cuadro N° 18, representa el punto final del sistema concebido por los alumnos.

**Cuadro N° 18<sup>29</sup>: Representación clasificación química sustancias subgrupos A, B, C**

SUSTANCIAS							
SIMPLES		COMPUESTAS			MEZCLAS		
Metales	No metales	Oxidos	Sulfato No hidratado	Cloruros	carbohidratos	Homog	hetero.
Cu(s)	B <sub>12</sub> (s)	SiO <sub>2</sub> (s)	CaSO <sub>4</sub> (s)	NaCl(s)	Azucar	{CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s), H <sub>2</sub> O(l)}	Cerveza
Ag(s)	C(grafito)	CoO(s)	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)			{N <sub>2</sub> (g), O <sub>2</sub> (g), CO <sub>2</sub> (g)...}	Leche
Fe(s)	S <sub>8</sub> (s)		Sulfato hidratado		Cetonas	{Cu, Zn}	Carbon
Sn(s)	Se <sub>8</sub> (s)		CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O(s)		CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (l)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(ac)	Arena
Mg(s)	Br <sub>2</sub> (l)		K <sub>2</sub> Ni(SO <sub>4</sub> )·6H <sub>2</sub> O(s)			HCl(ac)	{P <sub>4</sub> S <sub>3</sub> (s), KClO <sub>3</sub> (s)}
Hg(l)							Ladrillo molido
							Tiza

### 5.2.7 Conclusiones tendencias cognitivas–etapas y ayudas cognitiva

<sup>29</sup> Es copia fiel del cuadro producido por el alumno, similar al de los demás integrantes del subgrupo.

Reiterando que lo clasificado como concepto-en-acto y teorema-en-acto son interpretaciones de la profesora investigadora sobre categorías de pensamiento y proposiciones tenidas como verdaderas por los estudiantes, las cuales integrarían los posibles esquemas de asimilación con los cuales los estudiantes enfrentan la situación-problema. Consideramos las interpretaciones como posibles respuestas a las tendencias cognitivas, rupturas y filiaciones manifiestas en el comportamiento de los alumnos cuando interactúan con una colección de materiales, en la búsqueda de una clasificación química en el campo conceptual composición /estructura, de modo parcial en los niveles conceptuales molar y molecular de la Química.

Para el 71% de los alumnos, subgrupo A, interpretamos en primer lugar, una tendencia cognitiva como una secuencia de esquemas de asimilación perceptuales, emparentados y no pertinentes, constituido cada uno por conceptos-en-acto relativos a propiedades primarias en el campo de la visión, el tacto, el olfato y el sabor. Cualidades más vistosas en el campo de la visión, principalmente aquellas de inmediato no descartables fácilmente, es decir, más estables y menos confusas, con respecto al tacto, el olfato y el sabor, para establecer grados de diferenciación, como es el caso del aspecto físico para los conceptos-en-acto: “alambres”, “granos”, “polvos”, “piedras y “líquidos”, que se constituyen en el núcleo conceptual a partir del cual se da el progreso cognitivo cuando los alumnos realizan la inferencia al concepto-en-acto “sólidos”, el cual es conectado al concepto-en-acto “líquidos”, y esta integración evoca mediante inferencia, para el “no hay nada”, el concepto-en-acto “gaseosos”. Esta trilogía, en situación de representar la clasificación realizada, son posibles invariantes operatorios para el teorema-en-acto “Estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos”.

El 21% de los alumnos, subgrupo B, y el 7% subgrupo C, parece ser omiten la etapa de poner en acción varios esquemas de asimilación perceptuales e inician su comportamiento de ordenar la colección de materiales con los concepto-en-acto, “sólidos”, “líquidos”, “gaseosos”. Estos dos subgrupos se diferencian

respectivamente, en que el B se afilia al teorema-en-acto “Estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos” y el C al teorema-en-acto “sustancias son sólidos, líquidos, gaseosos”, diferencia que parece tener sus raíces en la concepción del material como objeto estático, “materia”, o como un objeto transformable mediante la acción experimental, la “sustancia”.

Los invariantes operatorios antes enunciados, expresados en lenguaje natural, y posible contenido de esquemas de asimilación contruidos en la relación perceptual con los materiales de la vida cotidiana, y parece ser, reforzados a lo largo del proceso educativo, son altamente estables para el 100% de los estudiantes. En el momento de representar la clasificación, esta situación pone en acción los significantes, fórmulas químicas relativas y moleculares. De estos significantes, algunos de modo muy tímido, son modificados en razón de la familiaridad, poca o no familiaridad con el material. Mediar la profesora para acentuar el énfasis en la meta de una clasificación química, dinamiza invariantes operatorios relacionados con el uso social de los materiales. Reinsistir la investigadora en la meta, da lugar a un rodeo sin cambio de perspectiva y orienta a decidir por el esquema más estable, conformado por la colección de materiales, los conceptos-en-acto: sólidos, líquidos y gaseosos y los teoremas-en-acto “Estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos” para los subgrupos A y B, y “sustancias son sólidos, líquidos, gaseosos” para el subgrupo C, y los significantes, unos pocos como lenguaje natural y la mayoría como fórmulas químicas, modificadas algunas para el caso de los subgrupos A y B, según la familiaridad con el material y para el subgrupo C, en menor grado el número de modificaciones.

Lo perceptible inmediato tiene límites en términos de lenguaje natural, no estimula que emerjan invariantes operatorios disponibles en el repertorio de esquemas de los alumnos, por el contrario, provee una sobrecarga de las cualidades perceptibles ya anotadas. La dinámica de los esquemas de asimilación perceptuales se desenvuelve en el campo de las características contextualizadas

para la diversidad de materiales con los cuales interactúan los alumnos a lo largo de su vida cotidiana y de los significantes químicos como fórmulas químicas de composición, adoptados a su grado de relacionabilidad con la concepción del material.

La mediación de la profesora para incitar a los alumnos a una ordenación química, convoca a un mayor compromiso con el significante químico. En este contexto emergen del repertorio de los alumnos los conceptos-en-acto “elemento”, “compuesto”, “mezclas”, homogeneidad y heterogeneidad, los tres primeros explicitados con la palabra y los dos últimos altamente intuitivos como recurso argumentativo para decidir la clasificación. De este modo se configuran tres clases de comportamientos relativos a: sustancias muy familiares; sustancias familiarizadas en el tiempo de aprendizaje de la química y sustancias no familiares.

La puesta en acción de estos tres esquemas evidencia las equivalencias ya enunciadas en el numeral 5.1: sustancia simple-elemento; sustancia compuesta-mezcla homogénea y asociación mecánica de símbolos elementales. También se evidencia dos concepciones acerca de sustancia. Una, el objeto estático inmodificable y otra, el objeto que puede transformarse en el laboratorio. Esta última concepción acompañada con una mayor atención y “respeto” al símbolo químico, en cuanto no omitir, en la escritura, una serie de características como los subíndices.

Evidenciar en situación concepciones realistas-ingenuas cuya estructura fue analizada en el numeral 5.1, las cuales a su vez constituyen obstáculos mentales para el aprendizaje de conceptos químicos en el campo conceptual composición/estructura, pone en marcha la intervención fundamentada en materiales potencialmente significativos, a fin de indagar rupturas y filiaciones y la posible construcción de un nuevo esquema de asimilación.

Esta necesaria ruptura con el realismo ingenuo y de alejarse de la familiaridad del mundo cotidiano, es coincidente con algunos resultados de los

estudios llevados a cabo por Caamaño (1982), Wobbe y Verdonk(1987), Williamson y Abraham (1995) Solomonidou y Stavidrou (2000) y Johnson (2000, 2002), en el sentido de reconocer las equivalencias sustancia simple-elemento y combinación química-mezcla, y la recomendación de diseñar experiencias para ayudar a los alumnos a la comprensión de los conceptos operatorios acerca de sustancia y de reacción química, y la descripción de la sustancia por un conjunto de propiedades operatorias de segundo orden, para las cuales también se requiere de la adquisición significativa de los respectivos conceptos. Pero, esto sólo no es suficiente, llaman la atención los autores y recomiendan la conexión con el modelo molecular en términos de corpúsculo y algunos de modo muy tímido recomiendan la necesaria introducción de las fórmulas químicas moleculares y estructurales [Wobbe y Verdonk (1987), Johnson (2002)] y otros llaman a la necesaria introducción de los sistemas representacionales en la enseñanza de la Química desde muy temprano [Pozo y otros (1990), Harrison y Treagust (2000)].

En este trabajo se evidencia la necesaria intervención en el aula para promover la asimilación de conceptos operatorios para sustancias y sus comportamientos y de metodologías de separación para superar el realismo ingenuo y asimilar y diferenciar significados químicos para los conceptos sustancia, elemento o sustancia básica, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea. También se evidencia la simultaneidad, en la acción didáctica, de lo que en la teoría de campos conceptuales se asume como la tríada de los conjuntos: situaciones, invariantes operatorios y significantes. Los significantes químicos introducidos como hechos de aprendizaje significativo, parecen ser captados de un modo significativo por los alumnos y lograr esto de modo parcial, en el tránsito de superar los obstáculos mentales que conciben la fórmula química como algo que debe ser dado y la concepción simplista de adoptar los símbolos elementales para representar los elementos como equivalentes a sustancia simple, y la asociación mecánica de estos para referirse a las sustancias compuestas como equivalentes a mezclas. Asimilación del significante químico, como lingüística química, es en este trabajo,

la primera conexión con sustancias y sus comportamientos, en lugar de la molécula como corpúsculo.

Probablemente, el necesario aprendizaje significativo en situación de los significantes fórmulas químicas relativas y moleculares, sería el primer paso para acceder a lo que Johnson (2002) llama el necesario aprendizaje de las estructuras moleculares diferenciadas para comprender el cambio químico, que para el caso sería el progreso cognitivo del concepto cambio químico y de la representación lingüística como fórmulas estructurales, y de este modo, se reafirmaría la idea de Johnson (pág. 33-34 ) de la nula contribución del modelo corpuscular a la noción de cambio químico. Identidad química como relación cualitativa y cuantitativa invariantes y como estructura, sería una concepción opcional para orientar la enseñanza y el aprendizaje significativo de la química.

Aunque tal vez de un modo un poco simple, se percibe en este estudio para el lenguaje químico la triple función asignada por Vergnaud: Adoptar de modo simplista el símbolo químico para leer o suministrar información, es comunicación; representar la situación y la solución, es función de representación; y poner en acción invariantes operatorios, es función de apoyo al pensamiento.

Estamos de acuerdo con lo planteado por Schmidt (1992, 2000), respecto a que los alumnos presentan serias dificultades y un variado número de confusiones para comprender fórmulas químicas relativas y moleculares y para el reconocimiento de grupos funcionales, pero parece ser que la solución a este problema no es sólo de lenguaje, como lo indica la teoría de campos conceptuales y como consideran Wobbe y Verdonk(1987), a los estudiantes debe dárseles tanto como sea posible para que logren asimilar los conceptos. La solución parece ser es de modo esencial la adquisición progresiva y diferenciada del significado para los conceptos sustancia, elemento o sustancia básica, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea, combinación química y conceptos relativos a propiedades como solubilidad, temperatura de fusión y de ebullición, multiplicidad de la sustancia en contexto, y de los significados de los

significantes fórmulas químicas relativas y moleculares, en la interacción con una situación como la colección de materiales y materiales educativos, lo cual permite construir significados cada vez más ricos, y que exige a los alumnos centrarse en los significados de objetos, de transformaciones, de relaciones y de significantes.

Representar la clasificación de materiales, mediante un cuadro, es de algún modo modelar la situación y la solución, y es en esta clase de situación cuando los invariantes operatorios y los significantes adquieren relevancia. Parece ser, que para los alumnos significar las fórmulas químicas, es en el espacio de representar la situación y la solución, de generar conceptos-en-acto y teoremas-en-acto y de utilizar el significante para comunicar información. Pero se requiere de un esfuerzo consciente para lograrlo y la acción mediadora de la profesora. En el proceso de esta acción consciente, se inscribe la ruptura con el simplismo del lenguaje químico y la construcción de nuevas filiaciones adecuadas y relevantes. Es la manera como parece ser, emergen del repertorio de esquemas disponibles en los alumnos, los conceptos-en-acto "elemento", "compuesto" y "mezclas" subordinados al aspecto físico, la puesta en acción de los conceptos altamente intuitivos homogeneidad y heterogeneidad, y de las sucesivas acciones para realizar rupturas con las equivalencias perceptuales inmediatas y filiaciones con los nuevos significados para dichos invariantes operatorios.

Intentar no utilizar de modo consciente las primeras nociones afincadas en el realismo ingenuo, es de otro modo, desear aprender de modo significativo nuevos conceptos, es proceder en dirección a asimilar, diferenciar e integrar nuevos invariantes operatorios durante la intervención, y la disposición para asimilar el significado adecuado del significante, como una funcionalidad para el aprendizaje significativo en el proceso de solución adecuada para la situación de clasificación química de los materiales.

Ruptura con las equivalencias perceptuales acerca de sustancia compuesta-mezcla homogénea, sustancia simple-elemento, y la asociación mecánica de símbolos, así como las filiaciones con los nuevos significados para los conceptos-

en-acto: sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea, elemento, sustancia simple, y con los significantes químicos adoptados de modo significativo, propician una serie de etapas de acomodación hacia la solución final en cuanto asimilar primero los nuevos significados para los conceptos-en-acto: compuesto y mezcla, realizar la ruptura con la equivalencia de estos conceptos y la acomodación de los respectivos significantes químicos. En segundo lugar, asimilar los nuevos significados para los conceptos-en-acto elemento y sustancia simple, realizar la ruptura con la equivalencia de estos conceptos y la acomodación de los respectivos significantes químicos. Esta ordenación no utiliza el teorema-en-acto “Estados de la materia son sólidos, líquidos, gaseosos”, adopta el concepto-en-acto “sustancias” como de mayor generalidad y “sustancias simples”, “compuestos”, “mezclas”, “mezcla homogénea” y “mezcla heterogénea” como subclases. En tercer lugar, trascender a clases y subclases de sustancias químicas en términos de funciones químicas, lo cual como parece ser la construcción de un nuevo esquema de asimilación.

La filiación a nuevos significados para elemento, sustancia simple y compuesta y mezcla homogénea y heterogénea, pasa por interactuar con situaciones cuyo contenido corresponde a: metodologías de separación de los componentes de una mezcla, el significado operatorio del concepto sustancia química y la multiplicidad de la sustancia en contexto, superar la apariencia del aspecto homogéneo de un material, el reconocimiento de propiedades secundarias de las sustancias como la solubilidad, la temperatura de fusión y de ebullición, la diferenciación entre mezcla y combinación química, y de la identidad química en términos cualitativos y cuantitativos relación definida e invariante de la combinación química de elementos, o significado de sustancia con mayor grado de abstracción.

En el proceso cognitivo de progresividad como diferenciación, asimilación y consolidación de nuevos significados para los invariantes operatorios y para los significantes fórmulas químicas relativas y moleculares y en particular para las

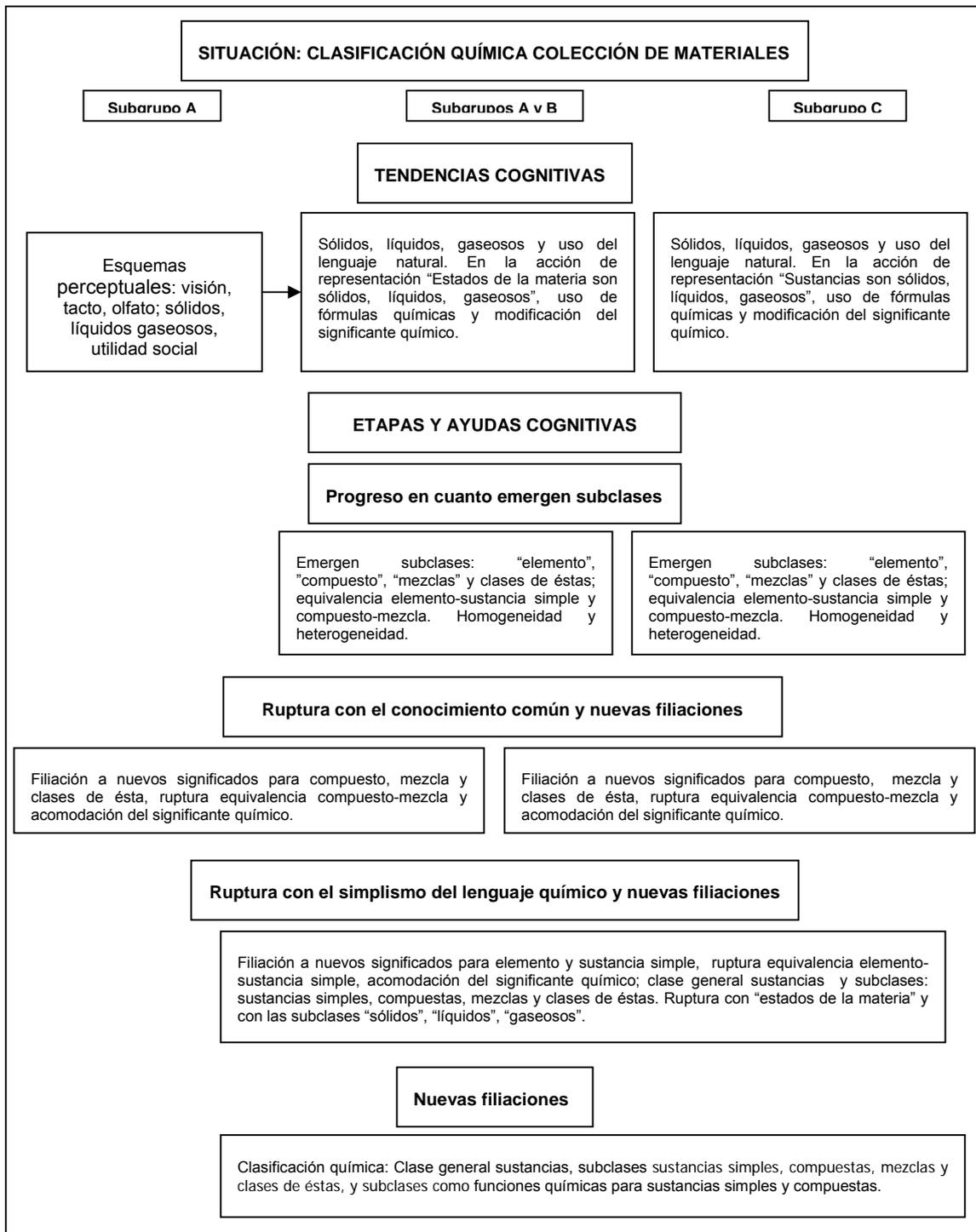
funciones químicas, los subgrupo A, B y C no utilizan los dos primeros la idea “estados de la materia” y asimilan como el subgrupo C, un nuevo esquema constituido de nuevos significados para los conceptos sustancia, clases y subclases de sustancias. El aspecto físico pasa a un segundo plano, así como la relación directa con el material motivo de clasificar y el significante adquiere papel relevante.

En la medida del grado de avance del progreso conceptual de los alumnos en situación y la mediación de la profesora y del lenguaje químico, el estudiante cada vez se aleja más de lo empírico inmediato, confuso y poco claro y se aproxima mediante procesos de acomodación al dominio de nuevos significados para los invariantes operatorios sustancia, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla homogénea y heterogénea: en primer lugar, la no utilización consciente, tal vez de modo parcial, de las primeras concepciones inadecuadas; en segundo término, a la acomodación de algunos esquemas de su repertorio y asimilación de un nuevo esquema, y en tercer lugar, a lo llamado por Vergnaud, el tránsito de invariantes operatorios implícitos a invariantes operatorios explícitos.

En esta dirección, la colección de materiales intenta ser los objetos de una situación que relaciona sustancias familiares, poco familiares y no familiares para los alumnos y propiedades conocidas y desconocidas. La colección de materiales en la meta de una clasificación química, permite explicitar propiedades y relaciones en el mundo de lo cotidiano; rebasar el marco de las situaciones comunes y habituales de la vida; vincula con nuevas sustancias, y permite poner en acción invariantes operatorios y significantes e interactuar con material potencialmente significativo, para establecer rupturas con el conocimiento antecedente inadecuado, realizar acomodación de esquemas de asimilación mediante rupturas y nuevas filiaciones y la construcción de un nuevo esquema para el aprendizaje significativo de conceptos químicos en el campo conceptual composición/estructura, que en el presente trabajo ha sido abordado de modo parcial en el nivel de la conceptualización molar y molecular. El Cuadro N° 19

presenta a modo de síntesis un esquema de las conclusiones respecto a tendencias cognitivas, etapas y ayudas cognitivas.

**Cuadro N° 19: Síntesis conclusiones tendencias cognitivas, etapas y ayudas cognitivas**



## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES**

Si bien la teoría de los campos conceptuales ha sido utilizada de modo principal en la educación matemática, sin embargo, Vergnaud (1990, 1996) la reconoce como un referencial teórico para la investigación educativa en todos los campos del conocimiento, y Moreira (2002) como una teoría con un gran potencial para describir, analizar e interpretar lo que pasa en un aula de aprendizaje de matemáticas y de ciencias. En esta investigación de aprendizaje de conceptos químicos, intentamos con este referente teórico y el de la teoría de aprendizaje significativo de Ausubel (2002, Moreira 2000, 2005) abordar, en una primera instancia, el problema del aprendizaje del campo conceptual composición/estructura, de modo parcial en el nivel de la conceptualización molar y de la molecular como representación lingüística. Conceptuación considerada en la perspectiva de la epistemología de Bachelard (1973,1976, 1979, 1993) y los aportes de Jensen (1998), Schummer (1998) y Jacob (2001).

Indagamos el conocimiento previo de un grupo de estudiantes de segundo nivel universitario, estructurado según Barais y Vergnaud (1990), como concepciones y tendencias cognitivas y el progreso cognitivo como etapas y ayudas cognitivas, en cuanto rupturas con el conocimiento previo y filiaciones con el nuevo conocimiento, en la consideración según la cual, la adquisición de conocimiento es moldeada por las situaciones previamente dominadas y son las situaciones las que dan sentido al concepto, en tanto que el progresivo dominio de un concepto se logra al enfrentar una amplia variedad de situaciones y considerar al sujeto como un sistema dinámico de construcción de esquemas de asimilación, los cuales pueden entrar en conflicto y generar procesos de acomodación y de construcción de nuevos esquemas de asimilación.

En el desarrollo de este proyecto, ha resultado fructífero utilizar estos referentes teóricos para la descripción e interpretación por la profesora

investigadora, de algunos invariantes operatorios contenido de posibles esquemas de asimilación de un grupo de alumnos cuando estos interactúan en primer lugar, en la acción de responder un cuestionario y ampliar las respuestas mediante dialogo de aula y dialogo informal con la profesora, y las relaciones explicitadas por medio de esquemas propuestos por ésta desde el análisis de los registros, los alumnos explicitan los conectores y son consensuados por el 66% de los alumnos como mapas conceptuales. En segundo lugar, las concepciones de los estudiantes son evidenciadas y corroboradas en la interacción de posibles esquemas de asimilación antecedentes-colección de materiales, en el intento de lograr la solución en términos de una clasificación química.

Fructífero, tanto para la organización de la enseñanza como para describir, analizar e interpretar los posibles invariantes operatorios y significantes contenido de esquemas de asimilación, sus rupturas y filiaciones para la adquisición en una primera aproximación del sistema de conceptos: sustancia química, elemento, sustancia simple, sustancia compuesta, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea y del conjunto de significantes químicos, fórmulas relativas y moleculares, útiles para realizar las rupturas y las filiaciones que aproximan al contenido científico de este sistema conceptual. Rupturas en cuanto hacer consciente lo inadecuado de las equivalencias perceptuales sustancia simple-elemento y sustancia compuesta-mezcla homogénea y su diferencia con mezcla heterogénea de apariencia homogénea y filiaciones como nuevos significados de estos conceptos y la integración con el conjunto de significados de los significantes químicos con los cuales los alumnos actúan para las decisiones acerca de sustancias, clases y subclases de sustancias. Rupturas y filiaciones siempre en la instrucción e interacción con material potencialmente significativo y la mediación de la profesora y del lenguaje químico.

El conocimiento previo, interpretado como lo que parece ser primeros invariantes operatorios y significantes contenido de posibles esquemas de asimilación realistas e ingenuos, percibidos como un conjunto de características

en el nivel de la percepción sensorial inmediata con amplio dominio de la visión, contextualizados durante la experiencia de la vida cotidiana y algunos de ellos fortalecidos durante la enseñanza y el aprendizaje de la química, como el color, la formación de un precipitado y la operación de mezclar, los cuales se constituyen en obstáculo mental. Estos posibles esquemas de asimilación implican de modo muy importante la utilización del lenguaje natural y éste tiene límites para provocar la puesta en acción de invariantes operatorios del campo de la química, altamente intuitivos y provocados por la emergencia del significante químico como símbolo unitario y como asociación mecánica de símbolos elementales; concepción del significante, a su vez, obstáculo mental para el progreso cognitivo.

La interpretación del conocimiento antecedente estructurado como la trilogía de los conceptos-en acto: sustancia simple-elemento-átomo, unificados en el significante como símbolo químico elemental y del cuarteto del concepto-en-acto mezcla: sustancia compuesta-mezcla homogénea-molécula y la asociación mecánica de símbolos unitarios. Trilogía y cuarteto enlazados por el concepto-en-acto mezcla. Este primer estudio es decisivo para el diseño de la intervención y lo que esta implica, de modo particular la selección de la clase de situación, una colección de materiales, la cual a su vez, es un conjunto de situaciones que permite poner en acción el sistema de conceptos de interés de esta investigación.

La interacción concepciones previas-colección de materiales, permite evidencias para reafirmar nuestro primer estudio descriptivo e interpretativo acerca de las posibles concepciones antecedentes del grupo de estudiantes y promover las rupturas con los invariantes operatorios y significantes contenido de posibles esquemas de asimilación precedentes y el seguimiento de las filiaciones al nuevo conocimiento y la construcción posible de un nuevo esquema de asimilación conformado por invariantes operatorios próximos al conocimiento químico para sustancias, clases y subclases de sustancias. En esta dinámica, es fundamental el reconocimiento de los significantes activados en lenguaje natural y en lenguaje químico, y la resignificación de estos que promueva el progreso cognitivo, con el

fin de superar la concepción simplista, y a la vez obstáculo mental, de adoptar el lenguaje químico como dado por el profesor y/o copiado de un texto.

Los alumnos se enlazan con las sustancias, vía propiedades fenomenológicas familiares en el contexto del mundo al cual pertenecen, cotidiano y educativo, y mediante rodeos y descartes adoptan una solución en la cual los componentes se inscriben en una pseudoclase definida por el teorema-en-acto “estados de la materia son sólidos, líquidos y gaseosos”, que forma parte del escenario de percepción de las sustancias, necesario para el vínculo con la esencia oculta de la sustancia, pero no constituye su esencia. Probablemente el esquema de asimilación se enlaza con la esencia oculta vía las propiedades superficiales, pero este enlace requiere de una teoría que debe ser adquirida mediante procesos de la enseñanza y el aprendizaje, para el caso la intervención en el aula, la mediación de la profesora y del lenguaje químico.

Parece ser esta pseudoclase se constituye en la filiación que mediante el proceso de rupturas y acomodación del que parece ser el esquema de asimilación precedente, da lugar a la construcción de nuevas clases y subclases de sustancias y el paso a un segundo plano de las pseudoclases sólidos, líquidos y gaseos. Adaptación de esquemas de asimilación, ajustes y reajustes continuos, y adquisición de uno nuevo cuando los significantes químicos, fórmulas químicas relativas y moleculares, son adoptados de modo significativo para diferenciar sustancia y mezcla homogénea, sustancia simple y elemento, mezcla y combinación química. Adaptación de esquemas de asimilación en la interacción con material potencialmente significativo que implica los conceptos químicos operatorios acerca de sustancia, mezcla, metodologías de separación, solubilidad, homogeneidad, heterogeneidad, temperaturas de ebullición y fusión, combinación química y la diferenciación de la relación cuantitativa como variante e invariante. Procesos de adaptación que parece ser conducen a la adquisición de un nuevo esquema de asimilación: sustancias, clases y subclases en términos de funciones

químicas, cuando nuevos significados y significantes próximos al conocimiento químico son adoptados.

Este posible progreso del conocimiento puede ser lo que en una mirada epistemológica, de acuerdo con Bachelard, corresponde a la necesaria reconsideración de los procesos de la enseñanza y el aprendizaje de la química, que rompa con el mundo de las percepciones inmediatas e inicie el trabajo de la comparación racional que oriente el recorrido del aprendizaje significativo de aproximación al conocimiento científico del conjunto de conceptos: elemento, sustancia simple, átomo, sustancia compuesta, mezcla, combinación química, molécula y de los significantes químicos, que en la definición de concepto de Vergnaud,  $C=(S, I, R)$ , consideramos como una trilogía propia que “detenga” las impresiones sensibles y permita situarlas en ambiente racional.

Ha contribuido de modo muy importante al desarrollo de esta investigación, la actitud de los alumnos, siempre dispuestos al trabajo en grupo e individual, a realizar las tareas y evaluaciones, a reelaborarlas y reconstruir el conocimiento, así como su disposición a reconocer el error y a hacer consciente la no utilización de aquellos invariantes operatorios que no les eran relevantes para el progreso cognitivo, la actitud de conciencia semántica para adoptar los significantes químicos que permiten la comprensión de conceptos químicos operatorios y teóricos implicados en la solución adecuada de la situación colección de materiales.

Se evidencia, una vez más, el principio ausubeliano del requerimiento del compromiso del alumno para el aprendizaje significativo y el necesario acompañamiento de materiales potencialmente significativos que doten al alumno de las herramientas conceptuales y de procedimientos pertinentes para movilizar los invariantes operatorios y los significantes cuando interactúan con una situación, su ruptura, acomodación y nuevas filiaciones que dirijan la construcción de posibles nuevos esquemas de asimilación.

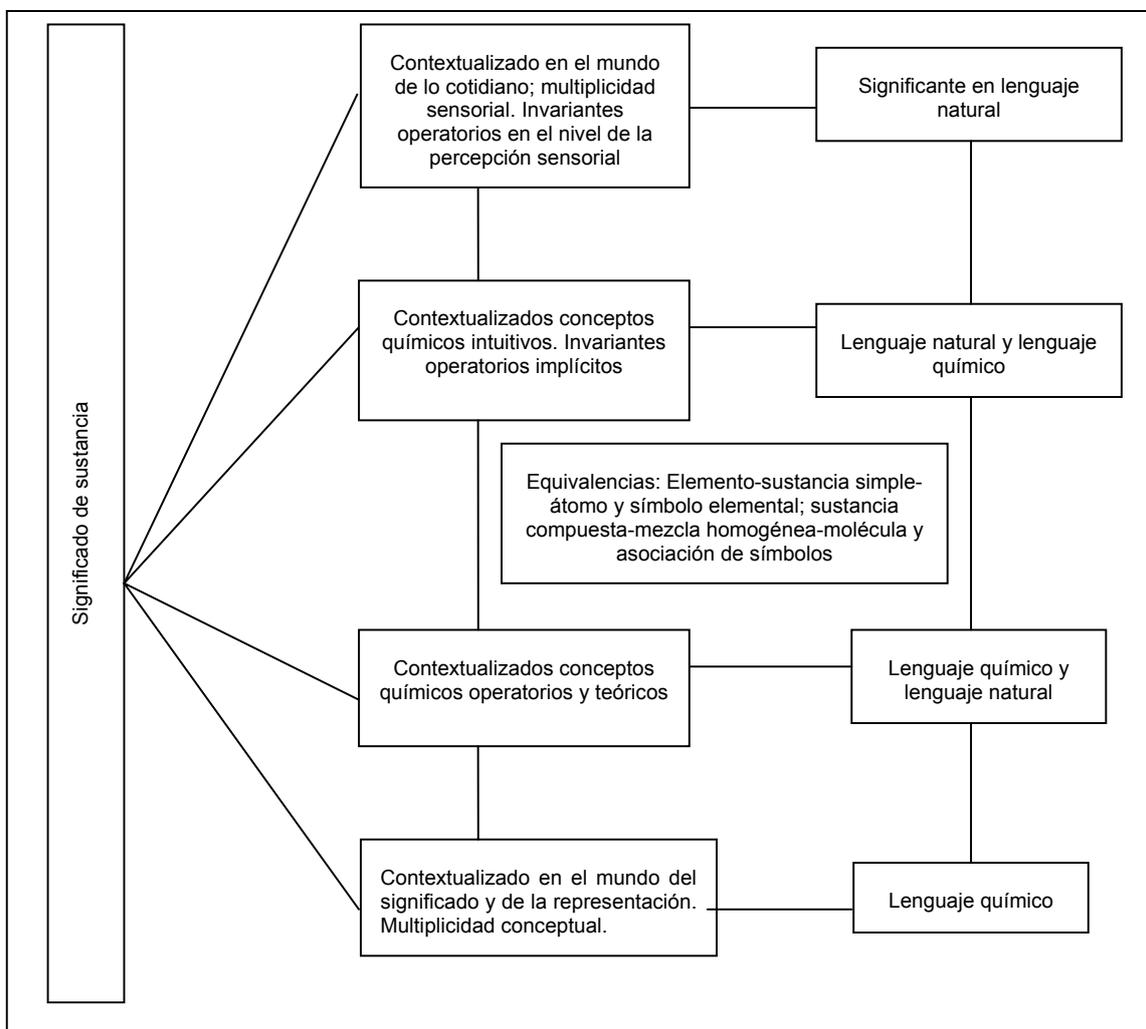
En síntesis esta investigación aporta:

- La interacción con una colección de materiales para alcanzar la meta de una clasificación química, en la perspectiva de indagar el aprendizaje significativo de sustancias, clases y subclases químicas, y no de sustancias individuales, ni de hechos aislados ni de clasificaciones sin sentido. En la perspectiva de campos conceptuales, se permite una estructura que vincula la situación, invariantes operatorios y significantes en lenguaje natural y en lenguaje químico, estructura que progresa a formas psicológicas superiores dada la mediación de la profesora y la interacción social en el aula, mediante procesos de acomodación y adaptación que permiten la reconstrucción y la transición a probables estructuras superiores, procesos en los cuales se hace fundamental poner en acción invariantes operatorios próximos al conocimiento químico y la utilización consciente de fórmulas químicas relativas y moleculares.

La colección de materiales es punto de partida en el mundo de lo cotidiano y punto de llegada como un volver de otro modo a la clasificación química de las sustancias en el mundo de los significados químicos y de la representación lingüística en Química. En el sistema de clasificación química con sentido adquieren vida: a) los invariantes operatorios como concepciones previas relativas a sustancias y el conjunto de conceptos y de relaciones conceptuales que el sistema implica, b) la superación de los obstáculos mentales mediante la adquisición de nuevos significados y c) la utilización racional de los símbolos químicos. Es en la situación clasificación química de una colección de materiales donde los invariantes operatorios y los significantes cobran vida y se manifiestan de modo implícito o explícito.

- La indagación de lo que parece ser una posible tendencia de una secuencia de comportamientos del grupo de alumnos para el concepto sustancia química al interactuar con la colección de materiales, otros materiales educativos, el lenguaje químico y la interacción social con la profesora y entre alumnos. Secuencia explicitada en el Cuadro N° 20.

**Cuadro Nº 20: Secuencia comportamientos grupo de alumnos para concepto sustancia**



- La decisión de adoptar el lenguaje químico, fórmulas químicas relativas y moleculares, como un hecho de aprendizaje significativo que contribuye a la reestructuración y estructuración de clasificaciones de orden superior, de modo muy importante a superar los obstáculos mentales en cuanto concepción acerca de los símbolos químicos como dados o para ser copiados y de los símbolos compuestos como asociación de símbolos elementales; así como al progreso cognitivo para la comprensión del significado de identidad química de una sustancia y su diferencia con el significado de mezcla. La fórmula química relativa

y molecular significada actúa como un intermediario para el tránsito de la sustancia desde la percepción sensible a la comprensión de la esencia de sustancia química.

- El progresivo dominio, diferenciación progresiva y reconciliación integradora de conceptos operatorios y teóricos acerca de sustancia y clasificación química de sustancias, mezcla y combinación química, metodologías de separación y de propiedades primarias y secundarias, permite a los alumnos la no utilización consciente de las equivalencias conceptuales elemento-sustancia simple y mezcla homogénea-sustancia compuesta y su progreso a niveles de mayor grado de racionalidad, en un proceso de integración diferenciada con el lenguaje químico, lo cual puede permitir el encuentro con las relaciones lógicas para lo desconocido y de este modo posibilitar la ampliación y superación de los límites de la percepción sensorial acerca de las sustancias.

- La adopción de la epistemología de Bachelard permite orientar la organización del sistema de conceptos químicos propios de este proyecto; la búsqueda de los invariantes operatorios, en particular de aquellos altamente implícitos; a detectar las nociones que se constituyen en obstáculos mentales y a significar la relevancia de la representación lingüística en química, construida en la dialéctica de la comprensión de conceptos químicos al resolver situaciones químicas.

- Finalmente la Figura N° 8 corresponde a un diagrama “Ve” como síntesis final de la tesis.

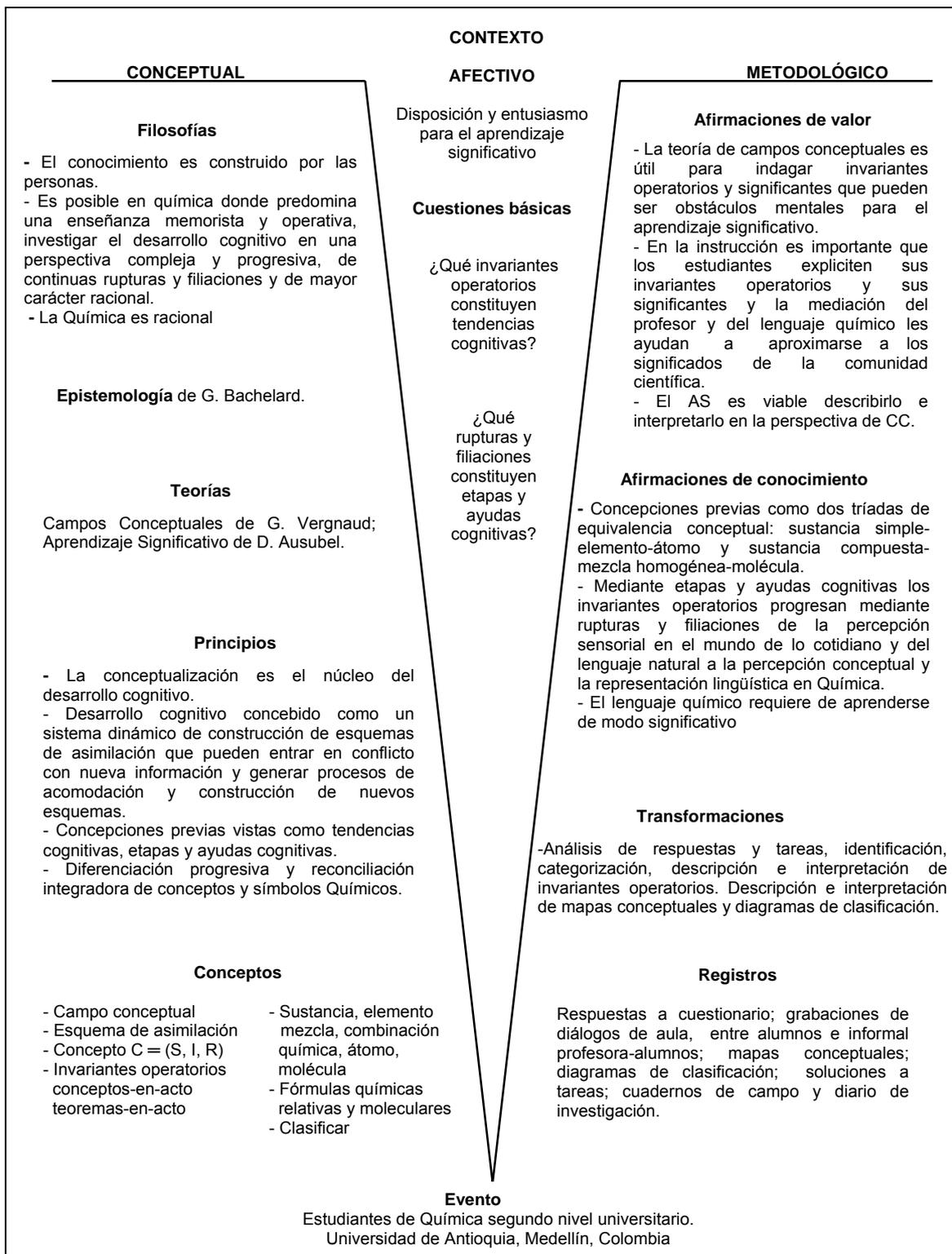


Figura Nº 8: Representación síntesis final a modo de Ve

## CAPITULO 7. IMPLICACIONES

Si como parece ser por el desarrollo de este estudio, la enseñanza y el aprendizaje de la química están muy comprometidos con el mundo cotidiano de los materiales y una buena parte de las actividades realizadas en el proceso refuerzan intuiciones adecuadas o inadecuadas, de modo particular en el campo de las propiedades perceptibles de modo directo con poca atención al desarrollo de la conceptualización, como implicaciones para la enseñanza de la química, no sólo para la educación secundaria sino también para la educación de nivel superior y en particular para estudiantes de los primeros niveles universitarios, vale la pena insistir en que en la teoría de campos conceptuales subyace como un elemento principal el papel mediador del profesor. Papel consistente en ayudar a los alumnos a desarrollar su repertorio de esquemas, lo cual promueve la habilidad para enfrentar las situaciones en una perspectiva más compleja e interactuar con nuevas situaciones de mayor complejidad.

Promover el desarrollo del repertorio de esquemas de los estudiantes y la adquisición de nuevos esquemas de asimilación, implica a su vez el importante papel de movilizar la acción de percepción y de representación y configurar los límites del lenguaje natural para la solución de situaciones químicas y facilitar la asimilación de la representación lingüística en la progresividad, continuidad y ruptura de concepciones previas, como perspectiva para encarar la enseñanza y el aprendizaje de ciertos campos conceptuales de conocimiento químico que concebidos en una perspectiva de complejidad, filiaciones y rupturas la asimilación de la representación estructural.

Dado que es necesario diseñar situaciones en grado creciente de complejidad, la clasificación de éstas debe ser considerada también en una perspectiva epistemológica que guíe la contradicción con las situaciones habituales de la vida, permita ubicar éstas en un ambiente racional que rompa con el compromiso de los signos superficiales y que facilite la acomodación de

esquemas de asimilación y la construcción de nuevos esquemas de asimilación. Perspectiva epistemológica que implicaría para la clasificación de situaciones: a) El conjunto de situaciones cotidianas y no cotidianas que permiten indagar las concepciones previas, sus filiaciones y rupturas; b) Conjuntos de clases de situaciones que tendrían el rol de transición entre lo cotidiano y lo nuevo y c) otros conjuntos de clases de situaciones nuevas que movilicen el nuevo conocimiento en ayuda de la interacción esquemas-situación, de la percepción y de la representación.

En la dialéctica esquema-situación y significado-significante, el conocimiento previo y los principios de la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora, la organización secuencial y la consolidación, principios ausubelianos para la organización de la enseñanza de grandes cuerpos de conocimiento, pueden ser manipulados para facilitar el aprendizaje significativo.

## CAPITULO 8. RECOMENDACIONES

Planteamos como recomendaciones las siguientes cuestiones:

a) Los resultados de este estudio justifican la idea de que la enseñanza de la Química se ocupe por iniciar con una aproximación al concepto de sustancia química, no dejarlo como obvio, ni relegado a la identificación con cualesquier objeto material. Como un concepto complejo, el concepto de sustancia implica un conjunto de conceptos y su manipulación en ambientes específicos, los cuales pueden ser: sustancia, mezcla, composición invariante, composición variante, homogeneidad, heterogeneidad, propiedades como las temperaturas de fusión y ebullición, solubilidad, cambio químico, metodologías de separación, fase y multiplicidad de la sustancia en contexto. A cada concepto le es propio un conjunto de propiedades cuya pertinencia es variable según las situaciones a tratar.

b) Como un concepto se desarrolla a lo largo del tiempo y su operacionalidad ser probada a través de una diversidad de situaciones, su aprendizaje no es cuestión de una o varias clases. Aún a nivel universitario, el concepto de sustancia es un concepto que debe ser considerado en una perspectiva de progresividad del conocimiento de clases de sustancias. La enseñanza debe involucrar al alumno en la interacción con clases de situaciones diseñadas para la ocasión y que impliquen clases de sustancias y clases de transformaciones y su tratamiento experimental no vacío de conceptos y teoremas, sino por el contrario, el tratamiento de problemas prácticos y teóricos, en dirección a poner en acción invariantes operatorios y la diversidad de representaciones y desarrollar procesos de acomodación y asimilación de los esquemas puestos en acción por el sujeto en esas situaciones.

c) Según los resultados de este estudio, la representación lingüística en química no puede seguir siendo considerada como un conjunto de símbolos siempre dados por el profesor o copiados de algún referente. Es necesario que la

enseñanza cree condiciones para ayudar a los alumnos a conectar operacionalmente y de modo conceptuado las entidades empíricas (clases de sustancias y sus transformaciones) y las entidades del nivel molecular, clases de sustancias en contexto y sus representaciones, nuevas clases de sustancias en contexto y nuevas moléculas.

d) Una diferenciación entre la representación lingüística como fórmulas relativas, moleculares y estructurales, la representación como geometría molecular y la representación como interacción entre núcleos y densidades electrónicas, tiene como base el progresivo dominio de clases de representaciones, su pertinencia según contextos diversos y su entrelazamiento según clases de situaciones. De modo particular, la representación lingüística es la entrada después del lenguaje natural a las clases de sustancias y sus comportamientos, primero a modo de composición relativa y absoluta y luego a modo de estructura. La enseñanza de la química debería considerar que la interacción con situaciones y la resolución de problemas, requieren de hacer explícitos un conjunto de invariantes operatorios, para lo cual es necesario prestar mucha atención a las palabras y a los diversos símbolos como indispensables para la conceptualización, y debería asumir la enseñanza el dinamismo de la sustancia en coherencia con el dinamismo de la representación.

e) Con base en las ideas expuestas con anterioridad, la educación en Química requiere de los profesores una mejor comprensión de las relaciones entre situaciones químicas, conceptos, teoremas, lenguaje químico y otras clases de representaciones simbólicas en química. Una mejor comprensión de estas relaciones es clarificar las relaciones en el conocimiento químico y las relaciones de este conocimiento con la solución de situaciones y problemas; clarificar estas relaciones es una cuestión concerniente a la historia y la epistemología de la Química.

Un conjunto de aspectos epistemológicos de la química pueden ser bastante útiles para clarificar la naturaleza de los conceptos y de las representaciones, sus

propiedades relevantes y sus interrelaciones, así como las clases de razonamiento en química. Clarificaciones que ayudan a identificar y comprender los obstáculos conceptuales de los alumnos, sus tendencias cognitivas y a la clasificación y organización de situaciones, conceptos y significantes útiles para organizar etapas y ayudas cognitivas que faciliten rupturas y filiaciones y el progreso conceptual de los estudiantes.

De modo muy importante, la epistemología de la química puede ayudar a los docentes a clarificar concepciones ingenuas de los estudiantes, a comprender en que medida son obstáculos conceptuales para el aprendizaje, a dar relevancia al valor heurístico de la diversidad de la representación en química y sus diferencias y a enlazar la noción de composición invariante y estructura múltiple de una sustancia caracterizada por un conjunto de propiedades bien definidas.

## CAPITULO 9. BIBLIOGRAFIA

Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., and Marek, E. A. (1992), Understandings and Misunderstandings of Eighth Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 2, 105 – 120.

Abraham, M. R., Williamson, V. M., and Westbrook, S. L. (1994), A Cross-Age Study of the Understanding Five Chemistry Concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 2, 147 – 165.

Alzate, C. M. V. (1995), De la Música a la Química: de la combinación de notas a la combinación de elementos y formación de compuestos, Seminario Internacional Calidad de la Enseñanza de las Ciencias Naturales, Universidad del Atlántico, Barranquilla (Colombia).

Alzate, C. M. V. (1996a), Estrategias de Intervención para la Enseñanza de la Química-2, III Simposio sobre Enseñanza de las Ciencias para el Nivel Básico y Medio, Escuela Pedagógica Experimental y Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá (Colombia).

Alzate, C. M. V. (1996b), La Enseñanza de la Química una Experiencia, Encuentro Regional de Profesores Universitarios de Química General, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Alzate, C. M. V. (1997), Colección de Materiales un Principio para la Enseñanza de la Química, II Taller Internacional de Pedagogía de la Química, Universidad de Matanzas, Cuba.

Alzate, C. M. V., Restrepo C, Moreno F. (2001a), Fórmulas Estructurales: Un Aprendizaje Significativo en Química, *Memorias XII Congreso Colombiano de Química*.

Alzate, C. M. V. (2001b), Sistema Periódico en Química: Qué y cómo enseñar para facilitar un aprendizaje significativo en alumnos de primer nivel universitario, *Cuadernos Pedagógicos*, Facultad de Educación, U. de A., págs. 63-76.

Alzate, C. M. V. (2002), Aprendizaje Significativo del Sistema Periódico en Química, Encuentro Regional de Ciencia y Tecnología, Región Antioquia, Colciencias, págs. 255-257.

Alzate, C. M. V. (2004a) Sistema Periódico de los Elementos Químicos, Progreso Conceptual y Didáctica, *TEA, tecne, episteme y didaxis*, Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, N° 15, 48-62.

Alzate, C. M. V. (2004b), Sustancia simple, Elemento, Átomo, Tres conceptos Conflictivos, Encuentro Regional de Ciencia y Tecnología, Región Antioquia, Colciencias (En trámite publicación de memorias).

Alzate, C. M. V. (2005), Elemento, sustancia simple, átomo: tres términos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativo de conceptos químicos, *Pedagogía y Educación*, Revista Facultad de Educación, U. de A., Vol. XVII, 177-193.

Alzate, M. V., Caballero C., Moreira, M. A. (2006), Multiplicidad Funcional de la Representación Molecular: Implicaciones en la Enseñanza y Aprendizaje de la Química, *Revista Electrónica de Investigación en Enseñanza de las Ciencias*, Año 1, Número 2, 1-26, <http://www.exa.unicen.edu.ar/reiec/>.

Alzate, C. M. V. (2006), Aprender Significativamente y Lenguaje Químico, *Investigações em Ensino de Ciências*, UFRGS (en trámite).

André, M. E. D. A. (1998), *Etnografía de Práctica Escolar*, Papirus Editora, 2ª edição, São Paulo, págs. 94.

Atkinson, I., Cate, J. M., Marek, I., and Renner, J. W. (1986), *Investigations in Natural Sciences: Physical Science*, Norman, OK: the University of Oklahoma Printing Services.

Atkinson, I., Cate, J. M., Marek, I., and Renner, J. W. (1997), *Investigations in Natural Sciences: Physical Science (Revised)*, Norman, OK: the University of Oklahoma Printing Services.

Ausubel, D. P. (1963), *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, New York, Grune & Stratton.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., and Henesian, H. (1978), *Educational Psychology: A Cognitive View*, 2<sup>nd</sup> edition, New York, Holt, Rinehart and Winston.

Ausubel, D. P. (1980), *Psicología Educativa – Un punto de vista cognoscitivo*, Editorial Trillas, 2<sup>a</sup> reimpresión, México, págs 1230.

Ausubel, D. P. (2002), *Adquisición y Retención del Conocimiento Una perspectiva cognitiva*, Paidós, Barcelona, págs.325

Bachelard, G. (1973 (1971), *Epistemología*, Editorial Anagrama, Barcelona, págs. 254 (Textos escogidos por Dominique Lecourt, traducción del francés Elena Rosa).

Bachelard, G. (1976), *Conocimiento común y Conocimiento Científico*, en *El Materialismo Racional*, Ediciones Paidós, Buenos Aires, págs. 172.

Bachelard, G. (1976), *Materialismo Racional*, Ediciones Paidós, 1<sup>a</sup> edición, Buenos Aires, págs. 346 (Traducción del francés Elsa Repeto de Laguzzi y Norma Martínez C.).

Bachelard, G. [1979 (1948)], *La formación del Espíritu Científico*, Siglo Veintiuno Editores, S.A., 8<sup>a</sup> edición., México, págs. 302 (Traducción del francés José Babini).

Bachelard, G. [1993 (1940)], *La Filosofía del No*, Amorrortu editores, Tercera reimpresión, Buenos Aires, págs. 121 (Traducción del Francés Noemí Fiorito de Labrune).

Baker, S., and Talley, L. (1972), The Relationship of Visualization Skills to Achievement in Freshman Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 49, 11, 775-776.

Barais, A. W. and Vergnaud, G. (1990), Students' Conceptions in Physics and Mathematics: Biases and Helps in Caverni, J. P., Fabra, J. M., and Gonzalez, M. (Eds.9, 1990, *Cognitive Biases*, Elsevier Science Publishers, B. V.(North Holland), Page 69-84.

Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silverstein, J. (1987), Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63, 1, 64 - 66.

Bowen, Craig (1990), Representational Systems used By Graduate Students While Problem Solving In Organic Synthesis, *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 4, 351 – 370.

Buglass, A. (1980), Molecular Models in Organic Stereochemistry, *Education in Chemistry*, 17, 1, 15-16.

Caamaño, A., Mayos, C., Maestre, G., y Ventura, T. (1983), Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato, Comunicación presentada en las Primeras Jornadas de Investigación Didáctica de Física y la Química, *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 2, 198-200.

Cavallo, A. M. L., McNeely, F. C. and Marek, E. A. (2003), Eliciting Students' Understandings of Chemical Reactions Using Two Forms of Essay Questions During a Learning Cycle, *International Journal of Science Education*, 25, 5, 583–603.

Cubillos, A. G., Póveda, G. F., Villaveces, J. L. (1989), *Hacia una Historia Epistemológica de la Química*, Academia colombiana de Ciencias Exactas y Naturales, Colección Enrique Pérez Arbelaez, N° 3, Bogotá.

Dagognet, F. [2002 (1969)], *Tableaux et Langages de la Chimie, Esai sur la Représentation*, Éditions Champ Vallon, Paris, Pages 211.

Drivers, Squires, Rushworth and Wood-Robinson (1994), *Making Sense of Secondary Science, Research into children's ideas*, London: Routledge.

Eliot, J., Hauptman, A. (1981), Different Dimensions of Spatial Ability, *Studies in Science Education*, 8, 45-66.

Erickson, F. (1986), Qualitative Methods in Research on Teaching, In: Wittrock, M. C. Eds., *Handbook of Research on Teaching*, 3<sup>a</sup> ed., New York, Macmillan Publishing Co.

Fensham, P. (1994), *Beginning to Teach Chemistry*, In P. Fensham, R. Gunstone, & R. Write Eds., *The Content of Science*, London: Falmer Press, Pages 14-28.

Ferk, V., Blejec, A., and Griol, A. (2003), Students' Understanding of Molecular Structure Representations, *International Journal Science Education*, 25, 10, 1227–1245.

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

Geertz, C. (1973), *Thick description, en The Interpretation of Cultures*, New York: Basic Books.

Gentner, D., and Stevens, A. L. (1983), *Mental Models*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Haidar, A. H., Abraham, M. R. (1991), A comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the particulate Nature of Matter, *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 10, 919–938.

Hammond, G., Nyholm, R. (1971), The Structure of Chemistry, Report of Panel I, *Journal of Chemical Education*, 48, 1, 6 – 13.

Harrison, A. G., Treagust, D. F. (1996), Secondary Students' Mental Models of Atoms and molecules: Implications for Teaching Chemistry, *Science Education*, 80, 509-534.

Harrison, A. G., Treagust, D. F. (2000), Learning about Atoms, molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry, *Science Education*, 84, 3, 353-381.

Hesse, J., Anderson, C. W. (1992), Students' Conceptions of Chemical Change, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 3, 277–299.

Hoffmann, R. Lazlo P. (1991), Representation in Chemistry, *Angewandte Chemie*, 30, 1, 1–16.

Ingham, A. M., Gilbert, J. K. (1991), The Use of Analogue Models by students of Chemistry at Higher Education Level, *International Journal Science Education*, 13, 2, 193–202.

Jacob, C. (2001), Analysis and Synthesis, Interdependent Operations in Chemical Language and Practice *HYLE - International for Philosophy of Chemistry*, 7, 1, 31-50.

Jensen, W. B. (1998a), Logic, History, and the Chemistry Textbook I, Does Chemistry have a Logical Structure?, *Journal of Chemical Education*, 75, 6, 679 – 685.

Jensen, W. B. (1998b), Logic, History, and the Chemistry Textbook II, Can We Unmuddle The Chemistry Textbook?, *Journal of Chemical Education*, 75, 7, 817 – 828.

Jensen, W. B. (1998c), Logic, History, and the Chemistry Textbook III, One Chemical Revolution or Three? *Journal of Chemical Education*, 75, 8, 961 – 969.

Johnson Laird, P.N. (1983), *Mental Models*, Cambridge, MA, Harvard University Press, pages 513.

Johnson, P., (1998a), Progression in Children Understands of a “basic” Particle Theory: a Longitudinal Study, *International Journal Science Education*, 20, 4, 393–412.

Johnson, P. (1998b), Children's Understanding of Change of State Involving the Gas State, Part 1: Boiling Water and the Particle Theory, *International Journal Science Education*, 20, 5, 567– 583.

Johnson, P. (1998c), Children's Understanding of Change of State Involving the Gas State, Part 2: Evaporation and Condensation Below Boiling Point , *International Journal Science Education*, 20, 6, 695– 709.

Johnson, P. (2000). Children's Understanding of substances, Part 1: Recognizing Chemical Change, *International Journal Science Education*, 22, 7, 719–737.

Johnson, P. (2002). Children's Understanding of substances, Part 2: Explaining Chemical Change, *International Journal Science Education*, 24, 10, 1037 – 1054.

Johnson, P. M. (1996), *What is a Substance?* *Education in Chemistry*, 33, 41 – 42

Kildahl, N., Ladislav, H., and Bodner, G. (1986), Crystal Model Kits for Use in the General laboratory, *Journal of Chemical Education*, 63, 1, 62 - 63.

Krnel, D., Watson, R., & Glažar, S. A. (1998), Survey of Research related to the Development of the concept of 'matter', *International Journal of Science Education*, 20, 3, 257 –289.

Lemke, L. J. (1997), *Aprender a Hablar Ciencia*, Ediciones piados Ibérica, S. A., 1ª edición, Barcelona, págs. 272 (Traducción del inglés Ana García y otros).

Martínez, M. (1999), *La Investigación Cualitativa Etnográfica en Educación*, Editorial Trillas, , S. A., 3ª edición, 1ª reimpresión, págs. 175.

Martín, H., Atkinson, P. (1994), *Etnografía Métodos de Investigación*, Ediciones Paidós Ibérica, S. A., 1ª edición, Barcelona, págs. 297 (Traducción del inglés Mikel Aramburu Otazu).

Merleau-Ponty, M. [1975 (1945)], *Fenomenología de la Percepción*, Península, Barcelona, (Traducción del francés J. Cabanes).

Merleau-Ponty, M. [1976 (1942)], *La Estructura del Comportamiento*, Hacchette, Buenos Aires (Traducción del francés E. Alonso).

Moreira, M. A. (2000a), *Aprendizaje Significativo: Teoría y Práctica*, Aprendizaje Visor, Madrid, págs. 100.

Moreira, M. A. (2002), A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 1, **Site:** <http://www.if.ufrg.br/public/ensino/revista.htm>.

Moreira, M. A. (2004), *Lenguaje y Aprendizaje Significativo en Aprendizaje Significativo: Interacción personal, Progresividad y Lenguaje*, Universidad de Burgos, Burgos, págs. 86.

Moreira, M. A. (2005), *Aprendizaje Significativo Crítico*, Instituto de Física da UFRGS, Porto alegre.

Morelis, J. (1981), *Schwierigkeiten beim Schreiben und interpretieren von Reaktionsgleichungen*, Paper presented at the Annual Meeting of the German Association for Mathematics and Science Education Köln, Germany.

Nakhleh, M. B. (1992), Why some students don't learn chemistry? Chemical Misconceptions, *Journal of Chemical Education*, 69, 3, 191–196.

Nicholson, J., and Seddon, B. (1977), The Influence of Secondary Depth Cues on the Understanding by Nigerian Schoolboys of Spatial Relationships in Pictures, *British Journal of Psychology*, 68, 327-333.

Novak, J. D. y Gowin D. B. (1988), *Aprendiendo a Aprender*, Ediciones Martínez Roca, S. A., Barcelona, págs. 228.

Paivio, A. (1986), *Mental Representations: A Dual Coding Approach*, New York: Oxford University Press.

Paneth, F. A. (1962), The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element (I), *The British Journal for the Philosophy of Science*, Volume XIII, No. 49, 1-14.

Paneth, F. A. (1962), The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element (II), *The British Journal for the Philosophy of Science*, Volume XIII, No. 49, 144-160.

Piaget, J., Inhelder, B. (1969), *The Psychology of the Child*, Routledge and Kegan Paul, London.

Piaget, J., Inhelder, B. (1974), *The Child's Construction of Quantities; Conservation and Atomism*, Routledge and Kegan Paul, London.

Pozo, J. I., Gómez, M. A., Limón, M., Sanz, M. (1991), *Procesos Cognitivos en la comprensión de la Ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la química*, C.I.D.E., Colección Investigación, N° 65, Madrid, págs. 350.

Rozzelle, A., and Rosenfeld, S. (1985), Stereoscopic Projection in Organic Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 62, 12, 1084–1085.

Schmidt, Hans-Fürgen (1992), Conceptual Difficulties with Isomerism, *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 9, 995–1003.

Schmidt, Hans-Fürgen (2000), In the Maze of chemical Nomenclature – How Students Name Oxo Salts, *International Journal of Science Education*, 22, 3, 253 – 264.

Schummer, J. (1998), The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach, *HYLE - International for Philosophy of Chemistry*, 4, 2, 129-162.

Seddon, G., Adeola, A., El Farra, A., and Oyediji, S. (1984), The Responsiveness of students to Pictorial Depth Cues and the Understanding of Diagrams of the three Dimensional Structures, *British Educational Research Journal*, 10, 1, 49-62.

Solomonidou, C., Stavridou, H. (2000), From Inert Object to Chemical Substance: Students' Initial Conceptions and conceptual Development during an Introductory Experimental Chemistry Sequence, *Science Education*, 84,3, 382 – 400.

Spradley, J. P. (1979), *The Ethnographic Interview*, New York: Holt, Rinehart & Winston.

Stavridou, H., Solomonidou, C. (1989), Physical Phenomena Chemical Phenomena: do pupils make the distinction?, *International Journal of Science Education*, 11, 1, 83 –92.

Stavridou, H., Solomonidou, C. (1998), Conceptual Reorganization and the constructions of the Chemical Reaction Concept, *International Journal Science Education*, 20, 2, 205 –221.

Stubbs, M. (1984), *Lenguaje y Escuela*, Editorial Cincel, S. A., 2ª edición, Bogotá, págs. 149.

Taylor, S. J., Bogdan, R. (1987), *Introducción a los Métodos Cualitativos de Investigación*, Ediciones Paidós Ibérica, S. A., Barcelona, págs. 343 (Traducción del inglés Jorge Piatigorsky).

Tolman, C., Parshall, G. (1999), Fifty Years Trends in the Chemical Industry: What Do They Mean for Chemical Education?, *Journal of Chemical Education*, 76, 2, 178 – 187.

Trumbo, J. (1999), Visual Literacy and Science Communication, *Science Communication*, 20, 409-425.

Trumbo, J. (2000), Seeing Science – Research Opportunities in the Visual Communication of Science, *Science Communication*, 21, 379-391.

Vergnaud, G. (1987), Problem Solving and Concepts Development in the Learning of Mathematics, E.A.R.L.I., Second Meeting, Tübingen, September 1987.

Vergnaud, G. (1990), La Théorie des Campo Conceptuels, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10, 23, 133-170.

Vergnaud, G., et al (1990), Epistemology and Psychology of Mathematics Education, in Nesher, P. Kilpatrick, J.(Eds), 1990, *Mathematics and Cognition: A Research Synthesis by the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Cambridge University Press.

Vergnaud, G. (1994), Multiplicative Conceptual Field: What and Why?, In Guershon, H., and Confrey, J. (1994) (Eds), *The Development of Multiplicative Reasoning in the Learning of Mathematics*, Albany, N.Y., State University of New York Press, Pages 41-59.

Vergnaud, G. (1996), Education the Best Portion of Piagte's Heritage, *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), 112-118

Vergnaud, G. (1997), The Nature of Mathematical Concepts. In, Nunes, T.& Bryant, P. (Eds), 1997, *Learning and Teaching Mathematics, an International Perspective Psychology*, Hove East (Sussex) Press Ltd., 150 pp.

Vergnaud, G. (1998), A comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education, *Journal of Mathematical Behavior*, 17, 2, 167-181.

Vogelezang, M. (1987), Development of the Concept "Chemical Substance"-Some Thoughts and Arguments, *International Journal Science Education*, 9, 5, 519-528.

Vosnaidou, S. (1994), Capturing And Modeling the process of Conceptual Change, *Learning and Instruction*, 4, 45, 69.

Vygotsky, L. [1995 (1934)], Pensamiento y Lenguaje, Ediciones Piados, Barcelona, págs. 237 (Traducción del inglés Pedro Tosaus Abadía).

Williamson, V. M., Abraham, M. R. (1995), The Effects of computer Animation on the Particulate Mental Models of College Chemistry Students, *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 5, 521-534.

Wobbe de Vos and Verdonk Adri H. (1987a), A New Road to Reactions, Part 4: The Substance and Its Molecules, *Journal of Chemical Education*, 64, 8, 692–694.

Wobbe de Vos and Verdonk Adri H. (1987b), A New Road to Reactions, Part 5: The Elements and Its Atoms, *Journal of Chemical Education*, 64, 8, 1010–1013.

Yarroch, W. L. (1985), Student Understanding of Chemical Equation Balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 449 – 459.

## CAPITULO 10. ANEXOS

### 10.1 Anexo 1: Cuestionario

El siguiente cuestionario explicita las palabras concepto de interés para iniciar la indagación acerca del conocimiento previo de los alumnos.

Escribe tu significado para las siguientes palabras concepto:

- a) Sustancia
- b) Sustancia simple
- c) Sustancia compuesta
- d) Elemento químico
- e) Mezcla
- f) Mezcla homogénea
- g) Mezcla heterogénea
- h) Fórmula química
- i) Molécula

## **10.2 Anexo 2: Material potencialmente significativo**

En el siguiente texto se presenta de modo abreviado algunos temas de Interés, como material de apoyo para los estudiantes, en calidad de material potencialmente significativo de tipo expositivo, con la finalidad de presentar un conjunto de conceptos, sus relaciones y diferencias.

### **Composición/estructura–conceptualización molar**

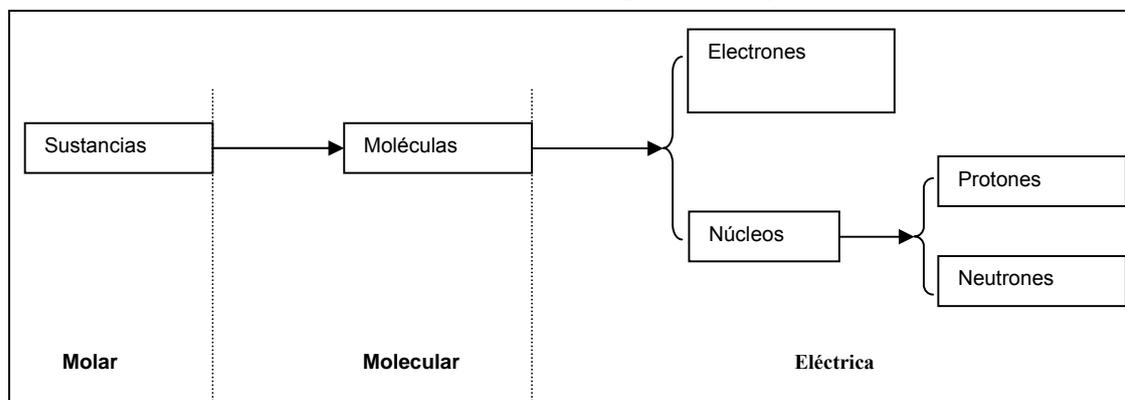
#### **Introducción**

La Química constituye varios campos conceptuales integrados por un amplio conjunto de conceptos, teorías, lenguaje químico, una amplia diversidad de modelos moleculares, y una sistemática de clasificaciones, métodos y normalizaciones para las sustancias y sus transformaciones químicas y físicas. Campos conceptuales utilizados por los químicos, profesores y profesionales afines a la Química y por los estudiantes para interactuar con las sustancias y sus comportamientos, interpretar, explicar, inferir y predecir situaciones químicas. Teorías, lenguajes y métodos son construidos por grupos de humanos en procesos de investigación científica. Las situaciones químicas son las sustancias y sus interacciones químicas y físicas, perceptibles de modo indirecto mediante procedimientos de diferente grado de complejidad y de racionalidad, o inferidas según la situación química y el grado de conocimiento químico.

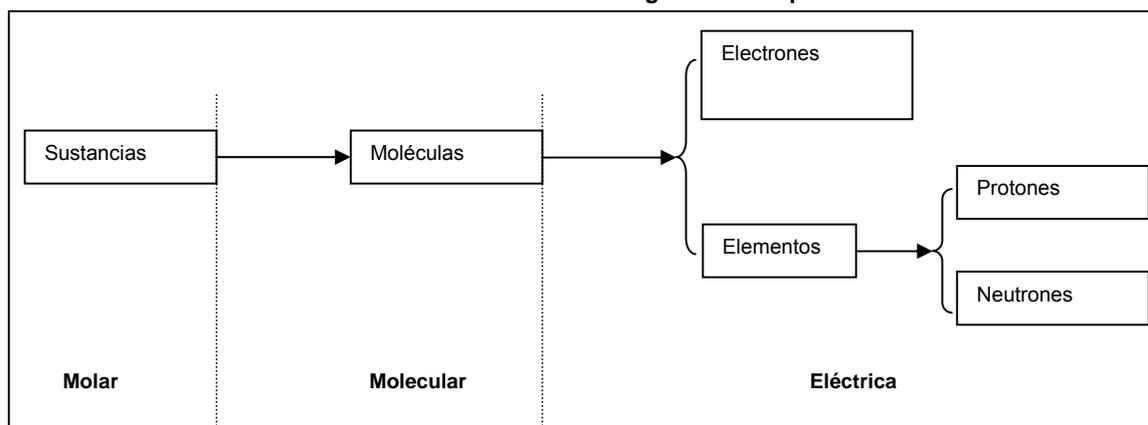
Los campos conceptuales son adecuados para abordar aprendizajes sobre sustancias químicas y sus comportamientos. Cuando una persona se relaciona con las sustancias y sus comportamientos en contexto, las percibe con las ideas y experiencia personal y social que tiene de ellas. Los significados ya adquiridos se relacionan con los nuevos conocimientos presentados en el aula de clase, en los textos y en la vida, son reelaborados unos, desaprendidos otros y construidos nuevos conceptos y nuevas relaciones conceptuales.

William B. Jensen<sup>30</sup>, organiza una estructura conceptual de la Química, que él denomina “Estructura Lógica de la Química”, como un sistema cruzado de tres categorías conceptuales: molar, molecular y eléctrica; y tres dimensiones relacionadas con composición y estructura, energía (termoquímica y termodinámica), e interacciones químicas en el tiempo (Cinética química). La relación categoría-dimensión, constituye a nuestro modo de ver un campo conceptual para abordar el estudio y la investigación acerca de las sustancias y sus transformaciones. En esta perspectiva, el autor relaciona las tres categorías conceptuales como se relaciona en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1: Relaciones categorías conceptuales**



**Tabla 2: Relaciones categorías conceptuales**



<sup>30</sup> Jensen, W., 1998, Logic, History, and the Chemistry textbook I, Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75, 6, 679-685.

A continuación se presenta, de modo breve, una descripción del campo conceptual composición/estructura-conceptualización molar y molecular de modo parcial, como un paso inicial para abordar las sustancias, sus comportamientos y la complejidad del conocimiento químico.

### **Conceptualización molar.**

La categoría molar se entiende como una serie de conceptos interrelacionados de modo teórico y experimental referidos a las sustancias y sus comportamientos.

**El concepto sustancia es planteado en la perspectiva de tres sentidos diferentes y afines, interrelacionados de modo dialéctico.** Un primer sentido hace referencia a una categoría para designar el conjunto de materiales homogéneos denominados sustancias puras (sustancias) y caracterizadas por un conjunto de propiedades químicas y físicas, manifestadas cuando interactúan con otras sustancias y/o con energía en un ambiente específico identificado por la presión, la temperatura y la concentración o grado de pureza de la sustancia. Por ejemplo, la sustancia agua, representada por el símbolo  $H_2O$  hace referencia a la sustancia en su diversidad contextual y su caracterización por un conjunto de propiedades manifestadas en un ambiente particular: agua gaseosa  $H_2O_{(g)}$ , agua líquida  $H_2O_{(l)}$ , agua sólida  $H_2O_{(s)}$ . Las sustancias y sus cualidades químicas y físicas son reconocidas mediante diversos métodos de naturaleza experimental. En la tabla 3, se exponen algunas propiedades de la sustancia agua.

Un segundo sentido, hace referencia a que las sustancias **no se obtienen de modo natural**, deben lograrse mediante procedimientos artificiales de separación (también llamados métodos de purificación o metodologías de separación) de las sustancias componentes de una mezcla. Desde este punto de vista, un segundo sentido para el concepto sustancia es una **definición operatoria de sustancia**, para referirse al material obtenido con alto grado de pureza (material homogéneo) a partir de una mezcla, mediante procedimientos de separación y purificación, llevados a cabo en contextos específicos según las propiedades de las sustancia

reproducibles en contextos similares. Por ejemplo, obtener agua líquida  $H_2O_{(l)}$  por destilación a partir de una mezcla homogénea de cloruro de sodio acuoso  $NaCl_{(ac)}$ , implica el conocimiento de las magnitudes de las temperaturas de fusión (a 1 atm  $0^{\circ}C$ ) y ebullición (a 1 atm  $100^{\circ}C$ ) para el agua, para el cloruro de sodio y la solubilidad de esta sustancia en agua en un rango de temperatura, valores reproducibles de modo experimental en el contexto de una atmósfera de presión, para ambientes de presión diferente dichos valores son diferentes, como el caso de la ciudad de Medellín (640 mmHg,  $T_{eb}$ :  $96^{\circ}C$ ).

**Tabla 3: Propiedades de la sustancia agua,  $H_2O$**

Calor específico ( $J/g^{\circ}C$ )	Fase	Densidad g/mL	$T_{f_{1at}}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{eb_{1at}}$ ( $^{\circ}C$ )	Polaridad $\mu$ (D)	Composición % masa	Por electrólisis
( $-3^{\circ}C$ ) 2.092 $J/g^{\circ}C$	Sólida	0,9998 7	0			88,88 oxígeno 11,12 hidrógeno	
( $14.5^{\circ}C$ ) 4.184 $J/g^{\circ}C$	Líquida	1,00000 ( $4^{\circ}C$ ) 0,99707 ( $25^{\circ}C$ )		100	1,75	88,88 oxígeno 11,12 hidrógeno	$2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 2H_{2(g)}$ g)medio ácido
( $100^{\circ}C$ ) 1.841 $J/g^{\circ}C$	Gaseosa	0.958 $100^{\circ}C$ )				88,88 oxígeno 11,12 hidrógeno	

Las sustancias químicas (sustancias), llamadas de modo común sustancias puras, no se encuentran en la naturaleza, deben lograrse mediante metodologías artificiales de separación de una mezcla (también llamados métodos de purificación). Esto implica lograr una sustancia mediante una metodología experimental u operatoria, la cual es definida según las características de la mezcla y las propiedades de la sustancia a obtener. De este modo, las sustancias se obtienen por medio de metodologías experimentales que requieren planificación, de acuerdo al conocimiento acerca de las sustancias y de los

instrumentos adecuados, para llevar a cabo una secuencia de métodos de separación que implican de modo esencial transformaciones de las sustancias. De este modo, una sustancia puede también definirse de un modo operatorio.

Un tercer sentido, se refiere a la sustancia como composición cualitativa y cuantitativa invariante, lo cual permite la **clasificación de las sustancias como básicas, simples y compuestas**. La sustancia básica, nombrada elemento químico, es el constituyente de las sustancias simples y compuestas, los elementos químicos combinados generan sustancias simples y compuestas.

Se denomina **sustancia simple** a aquella constituida por la combinación de una clase de elemento químico, y **sustancia compuesta**, a la formada por la combinación de dos o más clases de elemento químico en una relación cualitativa y cuantitativa constante. Una sustancia simple constituida 100% por una clase de elemento y una sustancia compuesta constituida por porcentajes (% masa) definidos de cada elemento. Por ejemplo: El elemento oxígeno (monoxígeno) representado con el símbolo O, existe en dos formas como sustancia simple: dióxígeno y trioxígeno, representadas con los símbolos O<sub>2</sub> (100% O) y O<sub>3</sub> (100% O) respectivamente. En la forma de sustancia compuesta, el elemento oxígeno se combina con el elemento hidrógeno para formar la sustancia agua, óxido de hidrogeno, representada con la fórmula química H<sub>2</sub>O, dos veces el elemento hidrógeno (11,12% masa) y una vez el elemento oxígeno (88,88% masa). El elemento cloro (monocloro) representado con el símbolo Cl, existe como sustancia simple en la forma dicloro representada con el símbolo Cl<sub>2</sub> (100% cloro) y el elemento sodio (monosodio) representado con el símbolo Na, existe como sustancia simple en la forma sodio metálico representada con el símbolo Na<sub>n</sub> (100% Na). En la forma de sustancia compuesta, el elemento cloro se combina con el elemento sodio para formar la sustancia cloruro de sodio representada con la fórmula química NaCl, una vez el elemento sodio (29,31% masa) y una vez el elemento cloro (70,69% masa).

**Sustancia y mezcla** son dos conceptos fundamentales, relacionados en cuanto que el término sustancia se refiere a una entidad química de alta pureza obtenida por métodos de separación a partir de una mezcla. El concepto mezcla designa una reunión, o agrupación o conjunto de sustancias en un ambiente específico de temperatura, presión y concentración, cada una en fase definida, las cuales al interactuar pueden ser solubles, o parcialmente solubles o insolubles. **La relación de solubilidad** entre dos sustancias, **soluto y solvente**, es definida como **máxima cantidad de soluto (en gramos) disuelto en 100,0 g de solvente en un contexto particular.**

**Sustancias simples y compuestas constituidas como combinación de elementos químicos; mezclas constituidas por reunión de sustancias simples y/o compuestas en cantidades definidas cada una, y la clase de mezcla clasificada según la relación de solubilidad entre los componentes, como homogénea (solución) o heterogénea.** Cloruro de sodio sólido  $\text{NaCl}_{(s)}$  y agua líquida  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$  se reúnen en cantidades definidas para formar una mezcla denominada cloruro de sodio acuoso  $\text{NaCl}_{(ac)}$   $\{\text{H}_2\text{O}_{(l)}, \text{NaCl}_{(s)}\}$ . Otros casos de mezclas son: el aire, una mezcla en fase gaseosa, constituida de modo principal por el grupo de las siguientes sustancias simples  $\{\text{N}_{2(g)}, \text{O}_{2(g)}, \text{H}_2(g), \dots\}$ .

A modo de síntesis, **el concepto sustancia es una categoría para referirse al conjunto de la sustancia manifiesta en una fase según contextos específicos, definida por una relación cualitativa y cuantitativa constante de los elementos que la constituyen, caracterizada por un conjunto de propiedades químicas y físicas que le son inherentes en un ambiente específico identificado por la presión, la temperatura y la concentración, y un material homogéneo logrado a partir de una mezcla mediante metodologías de separación y purificación.**

Es necesario diferenciar cuando el término “material homogéneo” designa a una sustancia y cuando designa una mezcla homogénea, también nombrada solución. *Sustancia y mezcla* son dos conceptos relacionados en cuanto que el término sustancia se refiere a una entidad química con identidad como relación invariante de elementos, obtenida por métodos de separación a partir de una

mezcla en un contexto particular, una sustancia implica un esfuerzo operatorio de purificación, lo cual da lugar a designarla como sustancia pura o de alta pureza. El concepto *mezcla* designa una reunión o agrupación de sustancias en un ambiente específico, cada una en una fase definida, las cuales pueden ser entre si solubles o parcialmente solubles, o insolubles, para el primer caso mezcla homogénea (material homogéneo) y para los demás mezcla heterogénea.

**Sustancias puras constituidas por combinación de elementos químicos en proporciones definidas, mezclas constituidas por un conjunto de sustancias simples y/o compuestas en cantidades definidas, cantidad de cada sustancia puede ser variable y constituir para cada una mezcla con relación diferente de composición; las sustancias químicas poseen identidad química, la composición, la cual es un invariante cualesquiera sea el contexto; las mezclas poseen composición la cual es variable en contexto.** La identidad química de una sustancia se modifica en una interacción química o reacción química: sustancias reactivas se transforman en sustancias producto; reactivos y productos se diferencian por el conjunto de propiedades que caracteriza a cada una y por su identidad química. La composición de una mezcla homogénea en contexto, es variable, y el conjunto de propiedades que la caracteriza varía cuando se modifica la cantidad de un componente. Las magnitudes de las propiedades de una mezcla homogénea en contexto son constantes si la concentración de la mezcla es constante; si varía la concentración se modifican los valores de las propiedades.

Cloruro de sodio, NaCl, como sustancia tiene una identidad química cualesquiera sea el contexto y la cantidad de sustancia: constituida de una vez el elemento sodio (29,31% en masa) y una vez el elemento cloro (70,69% en masa), es decir, una relación Na/Cl:1/1. Al formar una mezcla, cloruro de sodio sólido  $\text{NaCl}_{(s)}$  y agua líquida  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$  interactúan mediante disolución  $\{\text{NaCl}_{(s)}, \text{H}_2\text{O}_{(l)}\}$  según la solubilidad del soluto en el solvente, para formar una mezcla denominada cloruro de sodio acuoso  $\text{NaCl}_{(ac)}$ . La solubilidad de NaCl en  $\text{H}_2\text{O}$  a  $20^\circ\text{C}$ ,  $33,5\text{g}_{\text{NaCl}}/100,0\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}$ , es un referente para decidir si la mezcla es homogénea diluida, u homogénea saturada o mezcla heterogénea, lo cual depende de si la

cantidad de soluto disuelto es menor, igual o mayor que lo indicado por la relación de solubilidad.

Las sustancias químicas y sus cualidades químicas y físicas se manifiestan por diversos métodos de naturaleza experimental, esto es, cuando las sustancias son controladas por los químicos en contextos artificiales, previo diseño de un proceso de medición. Estos métodos son puestos en acción por los químicos en un contexto determinado y fundamentados o guiados por su conocimiento químico. Las propiedades o comportamientos de las sustancias no tienen existencia por sí mismos, sólo son posibles en la medida que una sustancia interactúa con otra u otras en un contexto definido, o con otros agentes como la radiación electromagnética, o con un campo eléctrico o magnético. **Las propiedades de las sustancias y de las mezclas homogéneas son comportamientos químicos y físicos manifestados en contextos específicos y reproducibles en ambientes similares.**

Schummer<sup>31</sup> clasifica las propiedades de las sustancias en químicas y físicas. Las propiedades químicas las categoriza como químicas, ecológicas y bioquímicas. Las propiedades físicas las clasifica como mecánicas, termodinámicas y electromagnéticas.

Es importante enfatizar que las propiedades de las sustancias no son atribuidas a las mismas como entes individuales, sino como sustancias y mezclas en un contexto determinado. Una sustancia se presenta en fase líquida, por ejemplo el agua líquida  $H_2O_{(l)}$ , en un contexto para el cual definimos los valores de rangos de presión y temperatura con sus respectivas unidades. En Colombia, el agua del acueducto y de otras fuentes, es líquida, en un espectro amplio de presión y temperatura: la presión atmosférica adquiere valores entre los 500 y 760

---

<sup>31</sup> Schummer, J., 1998, *The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach*, HYLE - International for Philosophy of Chemistry, 4, 2, 129-162.

milímetros de mercurio (mm Hg), mientras la temperatura oscila en el territorio nacional entre 1°C y 38°C; a temperaturas y presiones más bajas, por ejemplo, en la cima de las altas cumbres, el agua en su superficie se encuentra en fase sólida, y en otro contexto de la atmósfera, el agua se encuentra en fase vapor, las nubes. Una sustancia, como es el caso del cianuro de sodio sólido  $\text{NaCN}_{(s)}$ , no es tóxica en si misma a la temperatura y presión del ambiente, es tóxica en un organismo biológico con el cual hace contacto al disolverse en las células. Una sustancia o una mezcla para la cual afirmamos ser de color azul, no es azul en si misma, es de color azul en cuanto que interacciona con la luz visible del ambiente. El cloruro de sodio es soluble en agua líquida a la temperatura y presión del ambiente, pero en estas mismas condiciones no es soluble en gasolina. Es en un contexto determinado donde son diferenciadas y reproducibles las propiedades de las sustancias.

Otros conceptos del nivel molar son: masa y volumen; composición invariante expresada como una relación de masa o en porcentaje de los elementos constituyentes de las sustancias; la densidad; propiedades como el color, olor, sabor y dureza; la solubilidad en un solvente; las temperaturas de fusión, ebullición y sublimación; la procedencia; la reactividad química con el agua o con el oxígeno, o con otra sustancia; propiedades magnéticas, luminosas o espectroscópicas, conductividad eléctrica y térmica; ser o no ser contaminante en un ambiente determinado o causar riesgos a organismos vegetales, animales y humanos.

**¡Atención lógica!** Representa mediante un mapa conceptual las relaciones entre las siguientes palabras concepto: sustancia, solubilidad, fase, metodologías de separación, sustancia simple, sustancia compuesta, elemento, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, composición variable, composición invariante, propiedades químicas, propiedades físicas.

**¡Atención lógica!** Plantea de modo argumentado dos situaciones en medio acuoso para las cuales estableces la diferencia entre sustancia, mezcla y elemento químico.

## Composición/estructura-conceptualización molecular.

La categoría molecular hace referencia a un lenguaje químico inventado por los químicos para representar y modelar las sustancias en términos de fórmulas químicas de composición y estructurales. Las fórmulas químicas son representaciones para las sustancias en contexto y formuladas desde la valencia.

El lenguaje químico o sistema semiótico de la Química, es un sistema de símbolos para representar a las sustancias en términos de composición, de estructura y de comportamientos químicos. Símbolos elementales (por ejemplo H, O, S, Cl, C) representan sustancia básica, símbolos elementales se combinan para constituir símbolos compuestos ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $S_8$ ,  $H_2O$ ,  $HCl$ ,  $SO_3$ ) y representar sustancias simples y compuestas; símbolos compuestos se relacionan y constituyen ecuaciones químicas para representar transformaciones químicas de las sustancias. Símbolos compuestos se denominan fórmula química.

Un símbolo denominado *fórmula química* adquiere en principio dos denotaciones: *fórmula química de composición* y *fórmula estructural*. La *fórmula química de composición* denota características cualitativas y cuantitativas. De un modo cualitativo, los símbolos elementales representan la clase de elementos químicos combinados y de un modo cuantitativo, los subíndices representan la relación de composición de la combinación química, es decir, el número de veces de cada elemento en la combinación química; esta relación es relativa o empírica y absoluta o molecular, lo cual corresponde a denominar respectivamente fórmula química relativa y fórmula química molecular.

Como representación estructural, una *fórmula química estructural* es la organización espacial en una dimensión (1D), dos dimensiones (2D) y/o en tres dimensiones (3D) de los elementos combinados; elementos combinados son representados en calidad de elementos enlazados mediante una conectiva o segmento de recta denominada *enlace químico*.

La fórmula estructural flexible y multifuncional se transforma en una estructura rígida denominada geometría molecular. La geometría molecular es específica para contextos definidos e implica identificar las características de la organización de los enlaces químicos en el espacio, a saber: Longitud de enlace, energía de enlace y ángulo de enlace; estas cualidades son modificadas en calidad de representaciones al ser modificadas las sustancias en contexto. Esto significa que una sustancia posee múltiples representaciones estructurales y la decisión de la validez de una u otra representación está relacionada con el comportamiento de la sustancia en contexto.

Representar una sustancia mediante fórmulas químicas implica el concepto de *valencia*. Este concepto, expresado mediante una magnitud identificada según posición del elemento en la tabla periódica, tiene el significado de propiedad química o poder de combinación, o capacidad de un elemento para combinarse con otro u otros elementos. Esta capacidad es de naturaleza cuantitativa y tiene significado dual; por un lado, permite representar la relación de composición de la combinación química, y por otro, da lugar a expresar el número de enlaces de un elemento con otro al combinarse, y facilita de este modo, la representación en términos de fórmula estructural. De acuerdo a la valencia, las fórmulas químicas son de composición y estructurales. La tabla 4 muestra los símbolos elementales y compuestos y la tabla 5 presenta varios casos de fórmulas químicas de composición y fórmulas estructurales de acuerdo a la valencia y nombra la geometría de la molécula discreta.

**¡Atención lógica!** Representa mediante un mapa conceptual las relaciones entre las siguientes palabras concepto: Fórmula química, valencia, sustancia, elemento, fórmula de composición, fórmula estructural, composición relativa, composición molecular

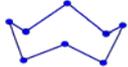
**¡Atención lógica!** Construye una tabla de datos para diez elementos químicos, la fórmula relativa y/o molecular para la combinación de los elementos como sustancia simple y sustancia compuesta.

**¡Atención lógica!** Elabora una tabla para la sustancia cloruro de hidrógeno en la cual identifiques la identidad química en términos de los elementos que la constituyen expresados en número de veces de cada elemento, número de veces la mol de cada elemento y en porcentaje por masa de cada elemento. Además incluye dos datos de propiedades que diferencien la sustancia en las situaciones enunciadas.

**Tabla 4: Fórmulas moleculares: Elemento, sustancia simple, sustancia compuesta**

Elemento	Sustancia simple	Sustancia compuesta
O Monoxígeno	O <sub>2</sub> dióxígeno O <sub>3</sub> trióxígeno	H <sub>2</sub> O óxido de dihidrógeno (agua) CaO óxido de calcio
N Mononitrógeno	N <sub>2</sub> Dinitrógeno	NH <sub>3</sub> trihidruo de nitrógeno (amoníaco) NO monóxido de nitrógeno
Na Monosodio	Na <sub>n</sub> sodio metálico	NaCl cloruro de sodio Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> sulfato de disodio Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> Fosfato de trisodio
Cl Monocloro	Cl <sub>2</sub> Dicloro	Cl <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pentaóxido de dicloro HCl Cloruro de hidrógeno
H Monohidrógeno	H <sub>2</sub> Dihidrógeno	H <sub>2</sub> O óxido de dihidrógeno (agua) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sulfato de dihidrógeno

**Tabla 5: Fórmulas químicas de composición y estructurales**

Sustancia	Elemento (valencia)	Fórmula de composición	Fórmula estructural	Geometría
Dihidrógeno	H (1)	H <sub>2</sub>	H-H	Lineal
Dioxígeno	O (2)	O <sub>2</sub>	O=O	Lineal
Dinitrógeno	N (3)	N <sub>2</sub>	N≡N	Lineal
Dicloro	Cl (1)	Cl <sub>2</sub>	Cl-Cl	Lineal
Bióxido de Carbono	C(4) O (2)	CO <sub>2</sub>	O=C=O	Lineal
Cloruro de hidrógeno	H(1) Cl(1)	HCl	H-Cl	Lineal
Octazufre	S (2)	S <sub>8</sub>		Octágono

Dos vertientes centrales parece nuclear el saber químico:

**Una primera vertiente es la investigación experimental sistemática**, fundamentada en dos aspectos: uno, la clarificación cada vez más profunda de las propiedades químicas de las sustancias. Un segundo aspecto es el referido a la formación de poderosos sistemas de clasificación, los cuales dan lugar a la caracterización de conjuntos de sustancias en clases y subclases y a las relaciones químicas entre ellas.

**Una segunda vertiente es la fundamentación teórica** altamente sistematizada, con gran capacidad explicativa y predictiva: *la teoría de las fórmulas estructurales*.

### **Investigación experimental sistemática**

Los materiales que nos son familiares en la vida cotidiana tales como madera, textiles, ladrillos, plásticos, cerámicas, vidrios, cemento, tallos y hojas de plantas y árboles, anillos de oro y plata, papel, alimentos, salsas, son considerados como mezclas, algunos *mezclas heterogéneas* otros *mezclas homogéneas*, aún, lo denominado aire y agua de ríos, lagos y mares son mezclas.

Las mezclas son el punto de partida para lograr las sustancias mediante *procedimientos de separación* como la destilación, la filtración y la cristalización entre otros. *El criterio operacional para afirmar que una sustancia es pura, es en primer lugar, su obtención mediante procedimientos de separación, y en segundo lugar, la reproducibilidad de sus propiedades en contextos similares.* Las sustancias puras son *materiales homogéneos* y como tales su cualidad principal es la reproducibilidad de sus propiedades, una sustancia pura en una fase definida ya sea sólida, líquida o gaseosa, significa homogeneidad de la sustancia en un rango de presión y temperatura; homogeneidad de la sustancia es invariabilidad de las propiedades en el tiempo, esto es, las magnitudes de las propiedades no varían o son invariantes en el tiempo en un contexto específico. Toda sustancia pura en una fase definida es un sistema homogéneo.

**¡Atención lógica!** Plantea dos situaciones de obtención de una sustancia a partir de una mezcla e identifica mediante un esquema la metodología de separación y representa mediante ecuaciones químicas las transformaciones de las sustancias.

Las sustancias manifiestas en contextos específicos en una fase definida: sólida, líquida o gaseosa, son los objetos químicos motivo de estudio de la Química. Las sustancias poseen comportamientos químicos y físicos en ambientes particulares, es decir, las propiedades no existen por si mismas. Una sustancia posee ciertos comportamientos en contextos específicos y tales comportamientos son propiedades en cuanto son reproducibles en contextos similares. Una sustancia como el cianuro de sodio  $\text{NaCN}$  no es tóxica en si misma a la presión y temperatura ambiente,  $\text{NaCN}_{(s)}$  es tóxico en un organismo biológico con el cual interactúa cuando es ingerido con los alimentos o como solución acuosa  $\text{NaCN}_{(ac)}$ . El cloruro de sodio  $\text{NaCl}_{(s)}$  es soluble en agua líquida  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$  y forma una solución acuosa  $\text{NaCl}_{(ac)}$  a la temperatura y presión ambiente, pero en estas mismas condiciones no es soluble en gasolina  $\{\text{C}_8\text{H}_{18(l)}, \text{C}_9\text{H}_{20(l)}, \dots\}$  y forma una mezcla heterogénea  $[\text{NaCl}_{(s)}, \text{C}_8\text{H}_{18(l)}]$ ; transformar el  $\text{NaCl}_{(s)}$  a  $\text{NaCl}_{(l)}$  significa organizar un montaje experimental adecuado para alcanzar la transición de fase en la temperatura de fusión y mantener una temperatura mayor para  $\text{NaCl}_{(l)}$ ; descomponer el  $\text{NaCl}_{(s)}$  en sodio metálico  $\text{Na}_n$  y dicloro gaseoso  $\text{Cl}_{2(g)}$  significa un procedimiento experimental de electrólisis de  $\text{NaCl}_{(l)}$ .

**¡Atención lógica!** Escribe ecuaciones químicas para representar las modificaciones anteriormente enunciadas y clasifícalas como propiedades químicas y/o físicas o químico-físicas.

La investigación experimental sistemática en Química muestra que de cualquier material pueden obtenerse sustancias, las cuales son materiales homogéneos y sus propiedades reproducibles en contextos similares. Lograr las sustancias no es un proceso natural, son procesos artificiales llevados a cabo en los laboratorios mediante procesos diseñados con anticipación y los cuales requieren de un nivel alto de conocimiento químico y aún de otros campos del conocimiento científico.

Además, la investigación experimental sistemática en Química ha contribuido por medio de las numerosas modificaciones químicas de las sustancias como la oxidación-reducción, la eliminación, la sustitución y la descomposición entre otras, a la creación de poderosos sistemas de clasificación de las sustancias de acuerdo a su comportamiento químico y a clasificarlas en sustancias simples y compuestas y a clasificar las sustancias compuestas por los grupos funcionales y a las simples en metales, metaloides y no metales.

### **Clasificar en química**

De los comportamientos de las sustancias las propiedades químicas son las esenciales para considerar las clasificaciones de las sustancias y formar poderosas redes de conexiones químicas entre ellas. Establecer conexiones químicas implica la clasificación de las sustancias por su similitud química. Las especies químicas básicas en términos de sustancias simples y compuestas no son entes aislados, son clases de sustancias clasificadas por la similitud química.

Similitud química tiene el significado según el cual un grupo de sustancias pertenecientes a una clase tienen *comportamiento químico similar* frente a otro grupo de sustancias de otra clase o de clases diferentes.

Las sustancias son clasificadas como simples y compuestas en términos de la clase de elementos combinados, ya sea de una clase o de dos o más clases. Las sustancias simples son clasificadas en metálicas, metaloides y no metálicas. Ejemplos de sustancias metálicas son sodio sólido  $\{\text{Na}_{(s)}\}$ , potasio sólido  $\{\text{K}_{(s)}\}$ , hierro sólido  $\{\text{Fe}_{(s)}\}$ , calcio sólido  $\{\text{Ca}_{(s)}\}$ ; de sustancias no metálicas son octazufre sólido  $\{\text{S}_{8(s)}\}$ , tetrafósforo sólido  $\{\text{P}_{4(s)}\}$ , carbono diamante  $\{\text{C}_{(s)} \text{ o } \text{C}_{\text{diam}}\}$ , carbono grafito  $\{\text{C}_{(s)} \text{ o } \text{C}_{\text{graf}}\}$ , dióxígeno gaseoso  $\{\text{O}_{2(g)}\}$ , dinitrógeno gaseoso  $\{\text{N}_{2(g)}\}$ , dicloro gaseoso  $\{\text{Cl}_{2(g)}\}$ , dihidrógeno gaseoso  $\{\text{H}_{2(g)}\}$ ; son metaloides galio sólido  $\{\text{Ga}_{(s)}\}$ .

Las sustancias compuestas son clasificadas en términos de *funciones químicas*. Una función química es representada por un grupo de elementos

químicos combinados, que ocurre en una serie de compuestos. Una función química, también nombrada grupo funcional, permite identificar una clase de sustancias que presentan similitud en su comportamiento químico y en algunas propiedades físicas. Reconocer una función química es identificar sustancias para ser clasificadas como una clase particular de sustancias o como una familia de sustancias, a la cual corresponde un grupo de propiedades químicas y físicas que permiten diferenciarla de otra familia de sustancias.

Un grupo funcional se expresa mediante un símbolo que representa uno, dos o más elementos combinados en proporciones definidas. Por ejemplo: anión cloruro  $\text{Cl}^-$ ; anión fosfato  $\text{PO}_4^{3-}$ ; anión sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$ ; catión amonio  $\text{NH}_4^+$ ; anión carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$ .

La similitud química se representa en las fórmulas químicas con un símbolo o con un grupo de dos o más símbolos identificador de ella, denominado *función química o grupo funcional*. Para cada caso, una función química representa un grupo de sustancias de una clase, las cuales tienen una afinidad química en cuanto la función química que las define como similares.

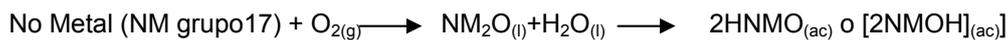
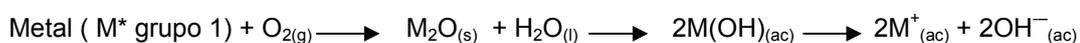
Similitud química no significa identidad de las sustancias pertenecientes a una clase, significa semejanzas y diferencias, semejanza en la reactividad y diferente grado de reactividad química frente a otra clase de sustancias. Las sustancias con similitud química tienen en común algunas características relevantes y tendencias de comportamiento químico. *Reconocer un grupo funcional en una fórmula química es identificar una cierta funcionalidad con respecto a la reactividad química con otra clase de sustancias*. La tabla 6 identifica algunas funciones químicas con sus respectivas fórmulas y nombres.

**¡Atención lógica!** De la colección de materiales del aula de clase organizar tres clasificaciones de sustancias simples y representarlas por medio de diagramas de Ven. **B)** Organizar tres clasificaciones de sustancias compuestas y representarlas por medio de diagramas de Ven.

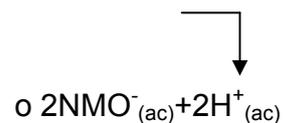
Tabla 6: Funciones químicas

FUNCIÓN	SÍMBOLO	FÓRMULA MOLECULAR	NOMBRE
CARBONATO	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{CaCO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Li}_2\text{CO}_3$	
HALUROS	CLORURO $\text{Cl}^-$ BROMURO $\text{Br}^-$ FLUORURO $\text{F}^-$ YODURO $\text{I}^-$	$\text{NaCl}$ $\text{CaCl}_2$ $\text{MgCl}_2$ $\text{BaCl}_2$ $\text{SbCl}_3$ $\text{PCl}_5$ $\text{HBr}$ $\text{KBr}$ $\text{PBr}_3$ $\text{OF}_2$ $\text{LiF}$ $\text{SF}_6$ $\text{HI}$ $\text{RbI}$	
HIDRÓXIDO	$\text{OH}^-$	$\text{NaOH}$ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{CsOH}$ $\{\text{CO}(\text{OH})_2 \text{ o } \text{H}_2\text{CO}_3\}$ $\{\text{NO}_2(\text{OH}) \text{ o } \text{HNO}_3\}$ $\{\text{PO}(\text{OH})_3 \text{ o } \text{H}_3\text{PO}_4\}$ $\{\text{SO}_2(\text{OH})_2 \text{ o } \text{H}_2\text{SO}_4\}$	
ÓXIDOS	ÓXIDO $\text{O}^{2-}$ PERÓXIDO $\text{O}_2^{2-}$ SUPERÓXIDO $\text{O}_2^-$	$\text{CO}_2$ $\text{SO}_3$ $\text{Cl}_2\text{O}_7$ $\text{P}_4\text{O}_6$ $\text{MnO}_2$ $\text{Na}_2\text{O}$ $\text{K}_2\text{O}_2$ $\text{Na}_2\text{O}_2$	

De la tabla 6 se destaca la función óxido  $\text{O}^{2-}$ , característica de un grupo de sustancias producto de la combinación química de los metales, metaloides y no metales con el elemento oxígeno para generar diferentes clases de óxidos binarios y diferentes clases de reacciones químicas cuando estos interactúan con el agua líquida  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ . A continuación se detalla para algunos grupos del sistema periódico de los elementos químicos la representación mediante ecuaciones químicas de las reacciones anteriormente enunciadas:



\*M: Metal



**¡Atención lógica!** a) Escribe para cada uno de los elementos de los grupos 1 y 17 las respectivas ecuaciones químicas para representar la combinación química con el oxígeno y la disolución del óxido en agua líquida según el referencial anterior. b) Plantea los óxidos para los elementos de los grupos 15 y 16 y representa mediante ecuaciones químicas la combinación química de los elementos y la disolución de los óxidos en agua líquida.

**¡Atención lógica!** Definir óxidos ácidos, óxidos básicos y óxidos anfóteros; escribir para cada caso dos situaciones representadas mediante ecuaciones químicas.

**¡Atención lógica!** Escribe fórmulas químicas de composición para otros óxidos según clasificación Tabla 7.

Tabla 7: Clasificación química de óxidos grupos 1, 2 y 13 a 17

División metal/no metal						
Li <sub>2</sub> O	BeO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	--	OF <sub>2</sub>
Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
K <sub>2</sub> O	CaO	Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GeO <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SeO <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	Br <sub>2</sub> O
Rb <sub>2</sub> O	SrO	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>	Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TeO <sub>3</sub>	I <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Cs <sub>2</sub> O	BaO	Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO <sub>2</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	Óxidos Básicos		Óxidos anfotéricos		Óxidos ácidos	

## Comportamiento químico y la mezcla

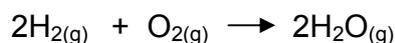
Es fundamental diferenciar comportamiento químico y el concepto de mezcla. Nuestra idea central gira alrededor de cambiar o no la identidad química de las sustancias. En la tabla 8 se anotan cuatro criterios operacionales del comportamiento químico, planteados por el químico L. E. Strong<sup>32</sup>, los cuales orientan la diferencia entre cambios químicos y cambios físicos y no son operativos para estos últimos.

<sup>32</sup> Strong, L. E., , 1970, Differentiating physical and chemical changes, *Journal of Chemical education*, 47,10,689-690.

**Tabla 8: Criterios operacionales de comportamiento químico**

<b>Criterio</b>	<b>Comportamiento Químico</b>
<b>Identidad</b>	En un cambio químico, hay cambio de identidad de los reactivos y la identidad de los productos es determinada por la identidad de los reactivos
<b>Mezclar</b>	En un cambio químico es en primer lugar esencial mezclar los reaccionantes cuando está implicado más de un reactivo.
<b>Discontinuidad</b>	En un cambio químico existe discontinuidad entre las propiedades de los reaccionantes y de los productos, es decir, propiedades de reaccionantes y productos son diferentes.
<b>Invarianza</b>	En un cambio químico las propiedades de los productos son invariantes con respecto a cambios en la temperatura, la presión y la composición inicial de las sustancias reaccionantes.

Para el caso de la obtención del agua gaseosa, es necesario en primer lugar mezclar dioxígeno y dihidrógeno gaseosos y luego realizar la operación de someter la mezcla a una chispa eléctrica, estas sustancias cambian de identidad química cuando se combinan y surge una nueva sustancia química, el agua gaseosa. Las sustancias reactivas dihidrógeno y dioxígeno gaseosos tienen cada una sus propiedades que la identifican como tal y estas características son diferentes de las cualidades de la sustancia agua gaseosa; al ocurrir la reacción química, hay cambio de identidad química de cada uno de los reactivos y discontinuidad de las propiedades de reactivos y productos.



**¡Atención lógica!** Dialogar en grupo diferencias y relaciones entre mezcla y combinación química y plantear tres situaciones.

**¡Atención lógica!** Representar mediante ecuaciones químicas las modificaciones químicas enunciadas por el profesor y establecer las relaciones y diferencias entre mezcla y combinación química.

### **Introducción al concepto de sustancia básica o elemento químico.**

El trabajo experimental en química es la vía que permite la obtención de las sustancias simples a partir de las sustancias compuestas, por medio de métodos

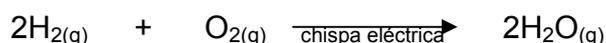
químicos de descomposición, los cuales implican un cambio de identidad de las sustancias. Un caso, es la electrólisis del agua líquida, sustancia pura compuesta, para obtener las sustancias puras simples dihidrógeno y dióxígeno gaseosos.

Las sustancias simples están definidas por un conjunto de propiedades químicas y físicas y son obtenidas desde las sustancias compuestas mediante transformaciones químicas.

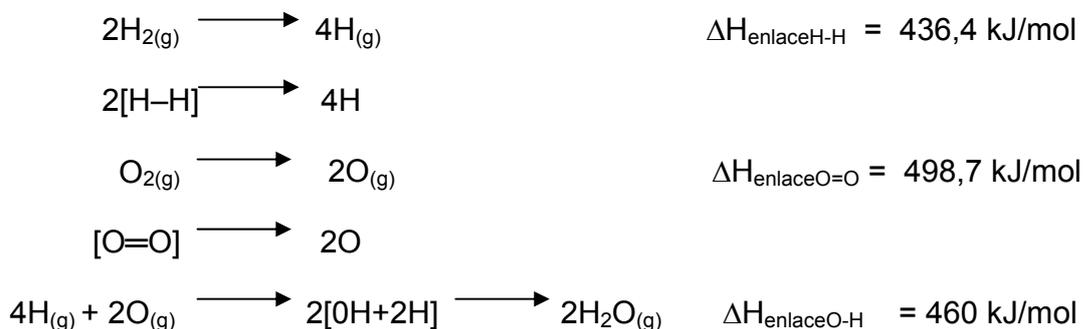
La sustancia dióxígeno,  $O_2$ , existe en la atmósfera terrestre como sustancia pura simple en fase gaseosa y está constituida por dos veces el elemento oxígeno. La sustancia compuesta agua,  $H_2O$ , es la forma combinada de dos veces el elemento hidrógeno y una vez el elemento oxígeno. El oxígeno del agua no es de la misma forma que el oxígeno de la atmósfera terrestre. El oxígeno del agua está combinado con dos veces el elemento hidrógeno para formar una nueva sustancia, los elementos oxígeno e hidrógeno se combinan en una relación 1:2 para formar la sustancia agua. El oxígeno de la atmósfera terrestre es el elemento oxígeno combinado a si mismo, para formar la sustancia dióxígeno,  $O_2$ . El oxígeno del agua y el oxígeno terrestre, tienen algo en común que los identifica como oxígeno, el elemento oxígeno, es decir, el agua, está formada por una vez el elemento oxígeno combinado con dos veces el elemento hidrógeno, el agua **NO** está constituida por la sustancia  $O_2$  y la sustancia  $H_2$ , aunque se parte de ellas para formar a la sustancia agua. Las sustancias simples **NO** están en los compuestos, en los compuestos están los elementos. Entonces, **¿qué es aquello que constituye a las sustancias simples y a las sustancias compuestas? Los elementos químicos. Los elementos químicos son los constituyentes químicos unitarios o básicos de las sustancias simples y de las sustancias compuestas.**

Fritz Paneth<sup>33</sup>, radioquímico y filósofo alemán de la primera mitad del siglo XX, llama al elemento químico “**la sustancia básica**” para diferenciarlo de sustancia simple y considerarlo como aquello que constituye a las sustancias simples y compuestas.

La ecuación química para representar la producción de agua gaseosa a partir de las sustancias simples dioxígeno y dihidrógeno gaseosos es la siguiente:



Para producir agua gaseosa se requiere mezclar las sustancias simples  $\text{H}_2$  y  $\text{O}_2$  en fase gaseosa y someter la mezcla a una chispa eléctrica, en el proceso de la reacción química, un posible mecanismo para interpretar la reacción química es considerar el rompimiento de la unidad molecular  $\text{H}_2$  y de la unidad molecular  $\text{O}_2$ , en los elementos H y O respectivamente, los elementos en esta forma se combinan y forman la unidad  $\text{H}_2\text{O}$ :



El concepto de elemento químico ha evolucionado en los más de doscientos años de la química moderna. Fue el químico Robert Boyle (1627-1691), quien a finales del siglo XVII, en su obra “El Químico Escéptico”, definió al elemento químico como el producto final del análisis químico. De acuerdo al desarrollo científico de la época, el análisis químico llegaba a las sustancias

---

<sup>33</sup> Paneth, F. A. (1962), The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element (I), *The British Journal for the Philosophy of Science*, Volume XIII, No. 49, 1-14.

simples como producto final. El progreso de la ciencia y la tecnología de los últimos doscientos años, ha permitido desarrollos más avanzados del análisis químico y de los modelos químicos, hasta alcanzar hoy en día como producto final, las formas isotópicas de los elementos o de los núcleos atómicos.

Investigaciones realizadas en el período 1896-1924 evidenciaron la composición de las moléculas por núcleos y electrones. Además, Los trabajos relacionados con espectros atómicos de rayos-x de las sustancias simples, llevados a cabo entre 1913 y 1915 por el físico inglés Henry Moseley (1887-1915), permitieron la creación del número *atómico* ( $Z$ ), *número de protones en el núcleo*, como la *característica nuclear esencial para dar significado al elemento químico*. Esta conceptualización corresponde a la categoría eléctrica del conocimiento químico.

El elemento oxígeno (O) de número atómico 8 ( $Z=8$ ), es la entidad fundamental constituyente de la sustancia simple dioxígeno ( $O_2$ ), el elemento hidrógeno (H) de número atómico 1 ( $Z=1$ ) es la entidad fundamental constituyente de la sustancia simple dihidrógeno ( $H_2$ ). El elemento oxígeno ( $Z = 8$ ) combinado con el elemento hidrógeno ( $Z=1$ ) son las entidades fundamentales combinadas para constituir la sustancia compuesta agua  $H_2O$ . Debe ser claro que para producir agua de modo operatorio, puede procederse desde las sustancias simples dihidrógeno gaseoso,  $H_{2(g)}$  y dioxígeno gaseoso,  $O_{2(g)}$ .

Los elementos hidrógeno y oxígeno pueden combinarse con otros elementos para formar sustancias compuestas. Por ejemplo, el elemento H se combina con el elemento carbono para formar metano  $CH_4$ ; con el elemento cloro para formar cloruro de hidrógeno HCl; con el elemento sodio para formar hidruro de sodio NaH; con el elemento azufre para formar sulfuro de dihidrógeno  $H_2S$ . Estas sustancias compuestas son diferentes entre sí, poseen comportamientos químicos y físicos diferentes, tienen en común al elemento hidrógeno entre uno de sus constituyentes, es decir, al núcleo atómico identificado con un protón  $Z = 1$ .

El elemento no es equivalente a la sustancia simple, dado que la sustancia simple no está en la sustancia compuesta. La sustancia simple octazufre,  $S_8$ , no está en la sustancia compuesta sulfuro de hidrógeno,  $H_2S$ , tampoco está presente en la sustancia compuesta sulfato de calcio,  $CaSO_4$ , en las tres sustancias está presente el elemento azufre, S, combinado consigo mismo en la sustancia simple, combinado con dos veces el elemento hidrógeno en el segundo ejemplo, y combinado con cuatro veces el elemento oxígeno en el anión sulfato.

El elemento no es equivalente al átomo o molécula mononuclear; el elemento azufre está presente en el sulfuro de hidrógeno gaseoso,  $H_2S_{(g)}$ , en el octazufre sólido,  $S_{8(s)}$ , en el octazufre gaseoso,  $S_{8(g)}$ , en el sulfato de calcio,  $CaSO_{4(s)}$ , en el diazufre gaseoso,  $S_{2(g)}$ , en la sustancia atomizada en fase gaseosa,  $S_{(g)}$ , en la especie ionizadas:  $S^{1+}_{(g)}$ ,  $S^{6+}_{(g)}$ ,  $S^{16+}_{(g)}$ , en el anión  $S^{2-}_{(g)}$ . Las especies anteriores tienen en común el elemento azufre, el núcleo con número atómico 16; sus estructuras electrónicas corresponden todas a ambientes electrónicos diferentes, las interacciones núcleo-electrones son diferentes en todos los casos y tienen energías diferentes. Ni octazufre sólido ni gaseoso, ni moléculas mononucleares de azufre en fase gaseosa corresponden al elemento azufre.

**¡Atención lógica!** **A)** Identificar el elemento constituyente común en las siguientes fórmulas químicas de composición representativas de las sustancias. **B)** ¿Cuál es el número atómico del elemento común?; ¿Cuál es el número atómico de los demás elementos? ¿Cuál es el nombre de cada elemento? **C)** Organizar una tabla de datos con la información obtenida desde las respuestas a las preguntas anteriores.

NaCl     $SO_2Cl_2$      $CCl_4$      $FeCl_3$      $CH_3Cl$      $[Cr(NH_3)Cl_2]OH$      $HClO_4$      $Cl_2O_7$      $PCl_5$      $BaCl_2$   
 $CuCl_2$      $BCl_3$      $MnCl_2$      $[Ru(NH_3)_5(H_2O)]Cl_2$      $Cl_2$      $C_6H_5Cl$

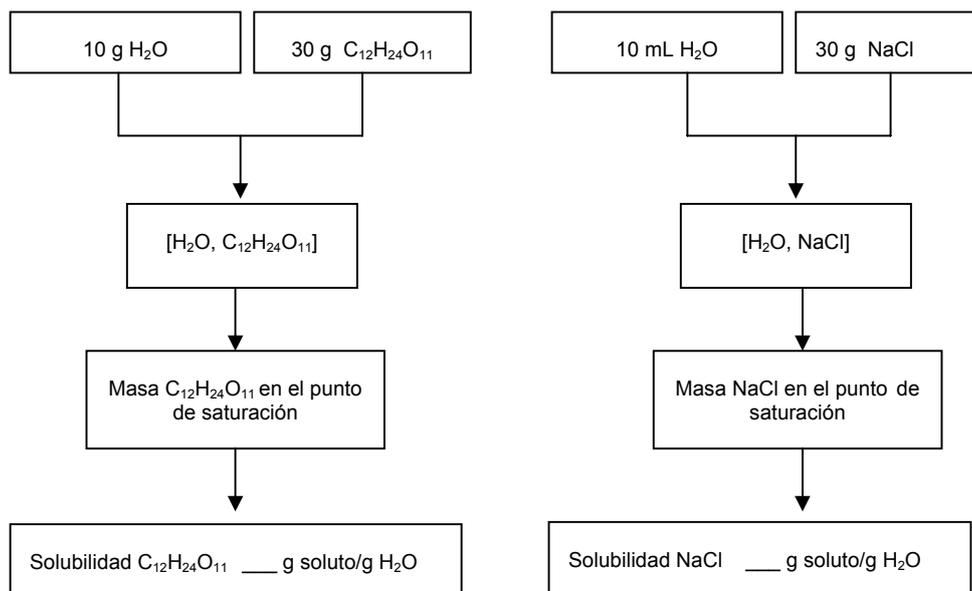
**¡Atención lógica!** Construir un mapa conceptual con las palabras concepto: Elemento, sustancia, sustancia simple, sustancia compuesta, fase, mezcla, mezcla homogénea, mezcla heterogénea, propiedades químicas, propiedades físicas, solubilidad, fórmula química, función química.

### Anexo 3: Actividades

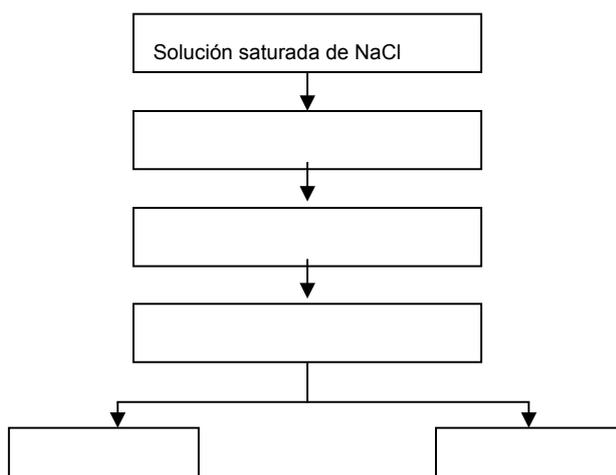
El siguiente texto presenta algunas de un conjunto de situaciones propuestas a los estudiantes para ser realizadas en grupo, con el objetivo de poner en acción el campo conceptual composición/estructura.

**Actividad 1.** **A)** Clasificar de modo argumentado si la leche es una sustancia o una mezcla homogénea o una mezcla heterogénea. **B)** Dialogar en grupo las diversas repuestas. **C)** Si tu decisión es una mezcla homogénea, verificala determinando la densidad de la leche mediante el siguiente procedimiento: medir la densidad en balones volumétricos de diferente volumen. **D)** Si tu decisión es una mezcla heterogénea adicionar a una cantidad de leche gotas de una mezcla de carácter ácido, por ejemplo jugo de limón (mezcla que contiene al ácido cítrico) y observar. **E)** De acuerdo con los resultados de los numerales anteriores cual es el resultado para clasificar la leche según la pregunta inicial. **F)** Realizar una lectura de la información planteada en el empaque y comparar ésta con la decisión anterior: **a)** Identificar los componentes de la mezcla y sus cantidades. **b)** Construir una tabla de datos con la información **c)** Determinar la cantidad en gramos del componente agua líquida en un litro de leche y en  $\frac{1}{4}$  de litro. **d)** Determinar la cantidad en porcentaje del componente agua líquida en un litro de leche y en  $\frac{1}{4}$  de litro.

**Actividad 2.** **A)** Entre las sustancias sacarosa [ $C_{12}H_{24}O_{11(s)}$ ] y cloruro de sodio [ $NaCl_{(s)}$ ], cuál presenta mayor solubilidad en agua líquida. **B)** Dialogar en grupo las diversas repuestas. **C)** Si tu decisión es para NaCl desarrolla el siguiente procedimiento: medir 10 mililitros de agua y 30 g de NaCl, luego de realizada esta medición adicionar NaCl en pequeñas cantidades de modo lento y con agitación continua al  $H_2O_{(l)}$  hasta lograr el punto de saturación. **D)** Si tu decisión es para  $C_{12}H_{24}O_{11}$ , desarrolla el siguiente procedimiento: medir 10 mililitros de agua y 30 g de  $C_{12}H_{24}O_{11}$ , luego de realizada esta medición, adicionar  $C_{12}H_{24}O_{11}$  en pequeñas cantidades de modo lento y con agitación continua al  $H_2O_{(l)}$  hasta lograr el punto de saturación. **E)** De acuerdo con los resultados de los numerales anteriores decide cuál sustancia es la de mayor solubilidad. **F)** ¿Cuál es la diferencia entre solubilidad y velocidad de solubilidad? De acuerdo al párrafo anterior, completa los siguientes cuadros con palabras conectivas y conviértelos en mapas conceptuales.



**Actividad 3.** **A)** Según el resultado de la actividad anterior, si se tiene una solución saturada de NaCl, será posible precipitar el NaCl por medio de la adición lenta y continua de sacarosa? **B)** Dialogar en grupo las diversas repuestas. **C)** Para verificar tu decisión desarrollar el siguiente procedimiento: preparar una solución saturada de NaCl y adicionar  $C_{12}H_{24}O_{11}$  en pequeñas cantidades de modo lento y con agitación continua hasta lograr precipitado. **D)** Para reconocer la sustancia precipitada, adicionar una pequeña cantidad de cristales a una solución de nitrato de plata  $AgNO_3$ . ¿Qué puedes concluir si hay formación de un precipitado? ¿Qué puedes concluir si no hay formación de un precipitado? **E)** De acuerdo a los procedimientos anteriores, completa el siguiente esquema a modo de un mapa conceptual.



Las mezclas con las cuales interactuamos en la vida diaria no son conglomerados de sustancias reunidas en forma aleatoria. Son materiales con composición definida de cada uno de las sustancias que la integran y con una identificación clara de sus componentes. Las mezclas producto de procesos industriales son manipuladas, para su obtención, de forma intencionada según las características definidas para el producto. La clase de sustancias en una mezcla, la cantidad de cada sustancia en la mezcla y la cantidad de mezcla están decididas de acuerdo al proceso de producción.

La composición de las mezclas es variable y la variación de las cantidades de mezcla y de cada uno de sus componentes, es regida por los intereses particulares que en un determinado contexto social deciden los criterios de formación y composición.

Las mezclas de procedencia natural como las arcillas y demás mezclas de minerales; el agua marina y el agua de lagos y ríos; los frutos; el petróleo, el carbón y el gas natural entre otras, se han formado en cantidades gigantescas en el proceso de evolución del sistema solar y en particular de nuestro planeta. Estos recursos naturales en la producción moderna tienen la misión de ser la materia prima de numerosos procesos

industriales y de grandes proyectos de investigación científica y tecnológica. El proceso de explotación de los recursos naturales se fundamenta en la obtención de varias toneladas del material con fines industriales y comerciales.

A niveles más particulares, pequeñas muestras de recursos naturales son motivo de colecciones personales y en los museos.

La pequeña industria, el trabajo doméstico, droguerías, panaderías, talleres de soldadura, pinturas y otros renglones de la economía, preparan mezclas y trabajan con ellas en su actividad cotidiana.

Con fines de enseñanza y aprendizaje se preparan mezclas, relativamente simples, para ser estudiadas por los alumnos y constituir uno de los elementos importantes a tener en cuenta en el proceso de reconstrucción y construcción de nuevos conocimientos químicos, desarrollados por los alumnos acerca de las mezclas y las sustancias puras.

**Actividad 4.** De la colección de materiales del aula de clase seleccionar dos materiales y completar la tabla 9 para cada uno y clasificar el producto como mezcla homogénea o heterogénea, o como sustancia.

**Tabla 9: Clasificación mezclas comerciales**

	<b>Producto comercial (1)</b>	<b>Producto comercial (2)</b>
<b>Nombre</b>		
<b>Clasificación química</b>		
<b>Número de componentes</b>		
<b>Nombre y fórmula química de los componentes</b>		
<b>Cantidad total en g por presentación</b>		
<b>Cantidad en g de cada componente</b>		
<b>Cantidad en % de cada componente</b>		

**Actividad 5** . Mezclas heterogéneas: Coloides. Realizar: **A)** Una lectura comprensiva del texto detallado a continuación. **B)** Un mapa conceptual. **C)** Una clasificación de la colección de mezclas disponible en el aula.

## Coloides

En anteriores sesiones se ha trabajado con la clasificación de las mezclas en dos grandes grupos: homogéneas y heterogéneas. Las mezclas homogéneas son aquellas constituidas como una fase ya sea gaseosa, líquida o sólida y toman el nombre de solución, por ejemplo, una muestra de aire no contaminado [  $N_{2(g)}$ ,  $O_{2(g)}$ ,  $CO_{2(g)}...$  ], una solución diluida de cloruro de sodio [ $NaCl_{(ac)}$ ], una solución diluida de hidróxido de potasio [ $KOH_{(ac)}$ ], una aleación oro-cobre [Au, Cu], una aleación cobre-zinc [Cu, Zn].

Las mezclas heterogéneas son aquellas constituidas como dos o más fases. Una clase de mezclas heterogéneas son las llamadas coloides. *Un coloide es una dispersión de una sustancia o varias sustancias, la fase dispersa, en un medio llamado dispersor, este medio es una sustancia en una fase definida.*

Los coloides aunque a simple vista su apariencia es homogénea, la percepción de ellos con atención y/o por medio de instrumentos permiten la identificación de los componentes en su respectiva fase ya sea gaseosa, líquida o sólida.

La tabla 10 identifica clases de coloides y la correspondiente fase dispersa y medio dispersor, así como algunos ejemplos de cada caso.

**Tabla 10: Clasificación mezclas heterogéneas, coloides**

CLASE DE COLOIDE	FASE DISPERSA	MEDIO DISPERSOR	EJEMPLOS
Aerosol	Líquido	Gas	Bruma, niebla
Aerosol	Sólido	Gas	Humo
Espuma	Gas	Líquido	Crema batida
Emulsión	Líquido	Líquido	Mayonesa
Sol (suspensión)	Sólido	Líquido	Leche de magnesia
Espuma	Gas	Sólido	Espumas plásticas
Gel	Líquido	Sólido	Gelatina, mantequilla
Sol sólido (Suspensión sólido)	Sólido	Sólido	Algunas aleaciones (acero), piedras preciosas, vidrio con metales dispersos

**Actividad 6. Preparación de emulsiones:** **A)** Tomar cantidades representativas de agua y aceite, mezclar y agitar. **B)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo. **C)** Tomar cantidades representativas de aceite y de una solución jabonosa, mezclar y agitar. **D)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo. **E)** adicionar  $\text{NaCl}_{(s)}$  o  $\text{HCl}_{(ac)}$ , de modo lento y con agitación continua, al producto del ítem **C**. **D)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo.

**Actividad 7: Preparación de espumas:** **A)** Tomar una cantidad representativa de  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$  en un frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes? **B)** Tomar una cantidad representativa de solución jabonosa en un frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes. **C)** Tomar una cantidad representativa de solución jabonosa hasta rebosar el frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes? **D)** Argumenta la percepción en cada caso, así como las diferencias.

**Actividad 8: Obtención de una sustancia a partir de un material comercial y caracterización mediante un conjunto de propiedades.** Obtener mediante metodologías de separación la sustancia Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado sólido  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ , en la forma de un monocristal, a partir de un material comercial de esta sustancia. Identificar las operaciones de separación de los componentes de la mezcla inicial y las transformaciones de las sustancias en las diferentes etapas.

**Actividad 5** . Mezclas heterogéneas: Coloides. Realizar: **A)** Una lectura comprensiva del texto detallado a continuación. **B)** Un mapa conceptual. **C)** Una clasificación de la colección de mezclas disponible en el aula.

## Coloides

En anteriores sesiones se ha trabajado con la clasificación de las mezclas en dos grandes grupos: homogéneas y heterogéneas. Las mezclas homogéneas son aquellas constituidas como una fase ya sea gaseosa, líquida o sólida y toman el nombre de solución, por ejemplo, una muestra de aire no contaminado [  $N_{2(g)}$ ,  $O_{2(g)}$ ,  $CO_{2(g)}...$  ], una solución diluida de cloruro de sodio [ $NaCl_{(ac)}$ ], una solución diluida de hidróxido de potasio [ $KOH_{(ac)}$ ], una aleación oro-cobre [Au, Cu], una aleación cobre-zinc [Cu, Zn].

Las mezclas heterogéneas son aquellas constituidas como dos o más fases. Una clase de mezclas heterogéneas son las llamadas coloides. *Un coloide es una dispersión de una sustancia o varias sustancias, la fase dispersa, en un medio llamado dispersor, este medio es una sustancia en una fase definida.*

Los coloides aunque a simple vista su apariencia es homogénea, la percepción de ellos con atención y/o por medio de instrumentos permiten la identificación de los componentes en su respectiva fase ya sea gaseosa, líquida o sólida.

La tabla 10 identifica clases de coloides y la correspondiente fase dispersa y medio dispersor, así como algunos ejemplos de cada caso.

**Tabla 10: Clasificación mezclas heterogéneas, coloides**

CLASE DE COLOIDE	FASE DISPERSA	MEDIO DISPERSOR	EJEMPLOS
Aerosol	Líquido	Gas	Bruma, niebla
Aerosol	Sólido	Gas	Humo
Espuma	Gas	Líquido	Crema batida
Emulsión	Líquido	Líquido	Mayonesa
Sol (suspensión)	Sólido	Líquido	Leche de magnesia
Espuma	Gas	Sólido	Espumas plásticas
Gel	Líquido	Sólido	Gelatina, mantequilla
Sol sólido (Suspensión sólido)	Sólido	Sólido	Algunas aleaciones (acero), piedras preciosas, vidrio con metales dispersos

**Actividad 6. Preparación de emulsiones:** **A)** Tomar cantidades representativas de agua y aceite, mezclar y agitar. **B)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo. **C)** Tomar cantidades representativas de aceite y de una solución jabonosa, mezclar y agitar. **D)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo. **E)** adicionar  $\text{NaCl}_{(s)}$  o  $\text{HCl}_{(ac)}$ , de modo lento y con agitación continua, al producto del ítem **C**. **D)** Clasificar de modo argumentado el producto y dialogar respuestas en grupo.

**Actividad 7: Preparación de espumas:** **A)** Tomar una cantidad representativa de  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$  en un frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes? **B)** Tomar una cantidad representativa de solución jabonosa en un frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes. **C)** Tomar una cantidad representativa de solución jabonosa hasta rebosar el frasco con tapa y agitar. ¿Qué percibes? **D)** Argumenta la percepción en cada caso, así como las diferencias.

**Actividad 8: Obtención de una sustancia a partir de un material comercial y caracterización mediante un conjunto de propiedades.** Obtener mediante metodologías de separación la sustancia Sulfato de Cobre (II) Pentahidratado sólido  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$ , en la forma de un monocristal, a partir de un material comercial de esta sustancia. Identificar las operaciones de separación de los componentes de la mezcla inicial y las transformaciones de las sustancias en las diferentes etapas.