

APRENDER SIGNIFICATIVAMENTE Y CLASIFICAR EN QUÍMICA (To learn meaningfully and to classify in chemistry)

María Victoria Alzate Cano [vicky@matematicas.udea.edu.co]

Universidad de Antioquia, Facultad Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Química
Medellín, Colombia

Resumen

En nuestro medio, la enseñanza de la Química no hace suficiente énfasis en los criterios químicos de clasificación de las sustancias y la posibilidad que ofrecen para un aprendizaje significativo de clases de sustancias acorde con el grupo funcional y la diferenciación entre sustancias puras y mezclas homogéneas, y entre modificaciones químicas y físicas. Ésta situación de enseñanza implica una desvalorización de la importancia que tiene para la comprensión significativa el lenguaje químico. En general este comprende la formulación de las sustancias y la representación formulada de las transformaciones químicas. Estas representaciones formuladas son un mediador entre el mundo de las sustancias químicas y la conceptualización acerca de ellas. El sistema periódico de los elementos químicos como sistema clasificatorio básico de acuerdo a la composición elemental de las sustancias, es una herramienta conceptual para la enseñanza y el aprendizaje significativo de clases de sustancias de acuerdo al grupo funcional común. Esto orienta a desarrollar en el aula sistemas clasificatorios de sustancias, los cuales permiten a los alumnos al interactuar con una diversidad de sustancias químicas, poner en acción sus conocimientos antecedentes y procesos de formación de conceptos y a hacer explícito su conocimiento en la forma de lenguaje natural y la forma como utilizan y significan el lenguaje de las fórmulas químicas relativas y moleculares.

Palabras-claves: Aprendizaje significativo, clasificar en química, sustancia química, fórmulas químicas.

Abstract

In our context, the teaching of chemistry does not make enough emphasis on the chemical criteria of substances classification and the chances that these they for a meaningful learning of several kind of substances based on functional groups and on the differentiation between pure substances and homogeneous mixtures as well as and among other chemical and physical modifications. This teaching situation implies a devaluation of the relevance that meaningful comprehension has on chemical language. In general, the later comprise the formulation of substances and the formulated representation of chemical transformations. These formulated representations are a bridge between the world of substances, their chemical transformations and their conceptualization. The periodic system of chemical elements as a basic classificatory system for substances according to their elemental composition is a conceptual tool for meaningful teaching and learning of substance groups in relation with their common functional groups. This leads to the development of substances classificatory systems, which allow the students to interact with the diversity of substances, to work with previous knowledge and concepts formation processes and to make explicit their knowledge through natural language and the way they use and signify the language of relative and molecular chemical formulas.

Keywords: Meaningful learning, classification in chemistry, chemical substances, chemical formulas.

Introducción

Un formato de tabla periódica es uno de los instrumentos fundamentales y necesarios en un aula de clase de química. Sin embargo, este formato más allá de leer información, pasa desapercibido a los alumnos y aún a un buen número de profesores, como una estructura sistemática de la relación periódica número atómico y valencia, y también de la periodicidad de un conjunto de características, unas relativas a los átomos y otras a las sustancias simples, periodicidad que en algunos casos puede extenderse a clases de sustancias compuestas según ciertos conjuntos de datos característicos de éstas.

La enseñanza deficiente ha perpetuado una concepción mecánica en el tratamiento de las relaciones periódicas, con un énfasis en algunas similitudes, sin recuperar las diferencias estructurales y de las transformaciones químico-físicas. El sistema es presentado a los alumnos como un esquema gráfico de filas y columnas, utilizado con fines de leer información sin significados conceptuales claros, y reduce a un mínimo la capacidad de inferencia y de predicción; la periodicidad se refleja en una serie de reglas para memorizar, lo cual parece implicar que el estudiante realiza un aprendizaje mecánico del sistema periódico.

La química posee metodologías propias para resolver problemas de clasificación de sustancias puras, por ejemplo: destilación, filtración y cromatografía entre otras, instauradas de un modo empírico, las cuales han permitido establecer sistemas de clasificación, por lo menos desde la época de Robert Boyle.

Un sistema clasificatorio muy útil en química es la tabla periódica de las sustancias elementales. Enseñar con base en la estructura de este sistema posibilita desarrollar una didáctica más comprensiva y sistemática de las sustancias y sus relaciones químicas, instaurada en el ancla según la cual todas las clasificaciones químicas y de propiedades físicas pueden evolucionar a formas más abstractas de clases de sustancias diferenciadas y conectadas como redes de modificaciones químicas que involucran un conjunto amplio de conceptos relativos a entidades y fenómenos químicos y físicos los cuales proveen la posibilidad de la inferencia. Los sistemas clasificatorios en química cuentan a su haber con una gran diversidad de fórmulas químicas, las cuales constituyen un lenguaje para traducir de modo figurado la realidad de las sustancias. Enseñar y aprender de modo significativo a través de tareas de clasificación de sustancias implica involucrar el lenguaje químico de las fórmulas químicas y poner en marcha procesos de explicitación del conocimiento antecedente y de formación de conceptos.

El presente texto da cuenta del aprendizaje significativo de una de las actividades que llamamos “clasificar en química”, realizada con un grupo de alumnos de primer nivel universitario del Programa de Química, U. de A., Medellín, Colombia, en el desarrollo de un proyecto de investigación sobre aprendizaje significativo del sistema periódico de los elementos químicos, orientado en lo metodológico por el paradigma de la investigación cualitativa descriptivo interpretativo. El proyecto ha sido auspiciado por Colciencias y la Universidad de Antioquia.

Formación y asimilación de conceptos

David Ausubel (1991), en su teoría del aprendizaje significativo, desarrollada de modo explícito para el aprendizaje de grandes cuerpos de conocimiento en una disciplina dada, trata del aprendizaje no de conceptos aislados, sino del aprendizaje de estructuras conceptuales o de generalidad, en las cuales los conceptos y las relaciones entre conceptos, subordinados y coordinados, es la reconstrucción y construcción conciente y deliberada de conocimiento, de modo progresivo e intencionado; la adquisición de conceptos es un proceso cognitivo dinámico de formación y asimilación de conceptos.

Afirma Ausubel que la formación de conceptos primarios es el proceso predominante del desarrollo cognitivo en la edad preescolar y posible de darse en cualquier edad según el conocimiento antecedente, el contexto y la experiencia del sujeto. En la formación de conceptos en la edad preescolar, los atributos de criterio del concepto se adquieren a través de la experiencia empírico-concreta, mediante etapas sucesivas inconscientes de formulación y evaluación de hipótesis y de generalización a partir de situaciones específicas.

La formación de conceptos es un proceso cognitivo que provee a los niños, jóvenes y aún a los adultos, de un cierto conjunto adecuado de conceptos diferenciados y con un relativo grado de generalidad, lo cual permite el aprendizaje de nuevos conceptos por procesos de asimilación y de diferenciación progresiva de los conceptos ya adquiridos por formación de conceptos. Ausubel reconoce la experiencia directa, como benéfica para adquirir algunos conceptos en cualquier edad y enfatiza que los seres humanos asimilan significados nuevos y conceptos, al hacer uso de sus capacidades lingüísticas y de los conceptos adquiridos inicialmente.

Ibíd., 106 reconoce la muy importante interacción que ocurre entre muchos conceptos asimilados y sus premisas primarias (subverbales, intuitivas, espontáneas, cotidianas) y considera a éstas como una especie de trampolín para la adquisición de conceptos secundarios. Agrega, además, que los conceptos espontáneos dada su primacía pueden tanto facilitar la asimilación de conceptos, como también interferir en el aprendizaje de atributos de criterio más precisos y globales, esto es, ser un obstáculo para el aprendizaje de conceptos científicos; en el primer caso, los conceptos son relevantes para el aprendizaje significativo, en el segundo, se constituyen en un obstáculo epistemológico y esto requiere desaprender ideas ya adquiridas; como expresa Bachelard (1979, 15), en el acto mismo de conocer surgen entorpecimientos y confusiones, causas de estancamiento y retroceso, llamadas obstáculos epistemológicos.

Una cuestión trascendental de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, es si los alumnos han adquirido en los procesos de formación de conceptos, lo llamado por Ausubel, haber adquirido el aprendizaje significativo más básico, el representacional, que les permita desarrollar procesos de asimilación de conceptos y progresar a aprendizaje significativo conceptual en la forma de subordinado y supraordenado.

Vygotsky (1995, 119) considera la formación de conceptos como un proceso dinámico, no mecánico y no pasivo, dirigido hacia un objeto o evento, mediante una serie de operaciones mentales hasta lograr la meta final, la solución del problema o tarea; anota

que memorizar palabras y conectarlas por si solas no conduce a la formación de conceptos, debe plantearse un problema que tiene solución mediante la formación de conceptos y enfatiza que este proceso está profundamente enraizado en la comunicación y la comprensión cuando el individuo se enfrenta a un problema y tiene como meta alcanzar una solución al mismo.

Como proceso dinámico, la formación de conceptos evoluciona hacia los conceptos globales, hacia establecer el atributo que es común a muchos objetos o eventos y en el proceso diferentes relaciones son establecidas con mayor o menor grado de confusión, con mayor o menor grado de subordinación. Esta evolución es posible durante la instrucción, considerada ésta como el espacio para la introducción deliberada de conceptos científicos y la puesta en marcha de su apropiación. En este suceder progresivo, conceptos espontáneos y no espontáneos se relacionan y se influyen constantemente entre si y las operaciones mentales que les son intrínsecas se modifican de la atención involuntaria y la memoria mecánica a la atención voluntaria y a la memoria lógica para ser utilizadas éstas de modo deliberado. De este modo se potencia la adquisición gradual de la capacidad cognitiva que posibilita las relaciones de ideas abstractas en la estructura cognitiva independiente de apoyos empíricos.

La adquisición de conceptos como proceso de asimilación, es la característica predominante del desarrollo cognitivo de niños en edad escolar, jóvenes y adultos; consiste en el progreso cognitivo consciente por medio de la interacción de nueva información con conceptos relevantes preexistentes en la estructura cognitiva; los atributos de criterio del concepto son dados al individuo por medio de otros conceptos. En el proceso de asimilación son modificados los conocimientos antecedentes y los nuevos conocimientos, éstos son asimilados por conceptos y/o proposiciones ya establecidas en la estructura cognitiva y se genera un complejo ideacional, el verdadero producto del proceso de interacción que caracteriza al aprendizaje significativo, el cual sufre modificaciones a lo largo del tiempo mediante nuevos aprendizajes o por pérdida de la capacidad de reproducción de las ideas subordinadas.

El producto interaccional posee una dualidad, por un lado, la retención de los nuevos significados es facilitada por los conceptos más generales, bien establecidos y diferenciados en la estructura cognitiva y por otro, implica una asimilación obliteradora, esto es, un mecanismo de olvido subyacente de la nueva información modificada; el producto interaccional se reduce a las ideas antecedentes modificadas y la nueva información modificada no es disponible como entidad individual. Moreira (2000, 26) anota que el principal problema en la adquisición del contenido de una disciplina académica es contrarrestar el inevitable proceso de asimilación obliteradora que caracteriza a todo el aprendizaje significativo. Esto es, el aprendizaje significativo es un proceso continuo y gradual que implica la definición verbal de un concepto científico y su tratamiento sistemático en diferentes contextos y en diversas posibilidades de relaciones de subordinación u otras, con otros conceptos similares o diferentes, con el fin de que la nueva información modificada sea diferenciada de conceptos antecedentes e integrada con otros conceptos relevantes de la estructura cognitiva.

Vygotsky (1995, 187) plantea que en el proceso de adquisición de conceptos científicos se construye el sistema conceptual a la vez que éste se desarrolla; los conceptos

no existen aislados, presuponen un sistema y la cuestión se centra en qué clase de organización da al sistema cada individuo. Como cada concepto es una relación de generalización, la relación entre conceptos es una “relación de generalidad” y de este modo la clave al enfrentar el sujeto una tarea, un problema o una pregunta, es sí el alumno moviliza su estructura cognitiva de modo vertical de un significado a otro y establece relaciones de subordinación adecuadas, las cuales en términos de Ausubel pueden orientar al investigador a percibir el grado de aprendizaje significativo subordinado de los alumnos, ya sea derivativo o correlativo, de acuerdo a los conceptos que éste moviliza y a las relaciones establecidas entre éstos cuando resuelven grupos de tareas similares y nuevas.

De este modo la acción del profesor es posibilitar una didáctica adecuada para ayudar a los estudiantes a orientar y clarificar las metas a alcanzar, proveer modelos para actuar en la búsqueda de soluciones de problemas y a seleccionar la información relevante para razonar con ésta y plantear de modo conciente procedimientos en la solución de tareas y a hacer explícitos los conceptos y relaciones conceptuales utilizadas. De estas ideas se infiere para la acción del profesor en el aula, la selección de tareas y problemas en un orden particular, con el fin de proporcionar oportunidades a los alumnos para desarrollar sus conceptos potenciales, en mejores palabras, sus sistemas conceptuales potenciales con el fin de trascender de procesos de formación de conceptos a procesos de asimilación de conceptos.

Lenguaje y representación en química.

Entre las suposiciones básicas de la psicología cognitiva está la relacionada con la forma en que los seres humanos actúan en relación con el mundo como perceptores/representadores, esto es, las personas no captan el mundo directamente, lo perciben y lo representan internamente; las nuevas percepciones son afectadas por las percepciones del pasado y el individuo decide como representar en su mente el evento, fenómeno o cuerpo estudiado, de tal modo que la representación le sea funcional.

Moreira (2000,7), plantea que al considerar al alumno como receptor/representador en lugar de receptor, la facilidad del aprendizaje significativo está relacionada con la noción según la cual <<no vemos las cosas como ellas son, sino como nosotros somos>>; profesor y alumnos son perceptores/representadores y la comunicación entre los dos es posible cuando la meta es percibir de modo similar los materiales educativos.

Al percibir el mundo, el lenguaje está implicado en cualesquiera tentativa de percibir objetos y fenómenos y en los procesos de comprensión del contenido de la materia de estudio de una dada disciplina. <<Una “disciplina” es una manera de ver el mundo, un modo de conocer y todo lo que es conocido en esa “disciplina” es inseparable de los “símbolos” (típicamente palabras) en que es codificado el conocimiento producido por ella>> (Ibíd., 8). Enseñar química implica enseñar un lenguaje, un modo de ver el mundo de las sustancias, sus transformaciones químicas y físicas y sus modelos conceptuales. Aprender la química es aprender su lenguaje y nuevas posibilidades de percibir el mundo de las sustancias, esto es, aprender los conocimientos químicos de

modo significativo, aprender su lenguaje, sus símbolos, sus procedimientos, sus instrumentos y esto es posible por medio de la interacción social en el aula mediante el intercambio y la clarificación de significados, y en este proceso el lenguaje es un mediador inseparable. El desarrollo de conceptos científicos se centra en la semántica, un concepto científico se relaciona con su objeto sólo de un modo mediado, a través de conceptos establecidos previamente, lo cual provoca el desarrollo cognitivo de conceptos espontáneos y el desarrollo semántico del habla (Vygotsky, 1995, 187).

El lenguaje contribuye a la formación y asimilación de conceptos, palabras y diferentes símbolos facilitan los procesos de transformación que intervienen en el pensamiento, perfecciona los significados y aumenta la capacidad para la transferencia de éstos y la adquisición de vastos repertorios de conceptos, y a hacerlos más claros y precisos. Expresar el conocimiento químico de modo proposicional o en otras formas representacionales, es un proceso de refinamiento de conceptos, mediante el cual las ideas se hacen más claras, precisas y explícitas, adquieren el poder de ser utilizadas para la conceptualización.

La representación en química cuenta a su haber con una gran diversidad de fórmulas químicas de composición, relativas y moleculares, y fórmulas estructurales; las ecuaciones químicas y sistemas de mecanismos de reacción y de síntesis, éstas a su vez, involucran las fórmulas de composición y estructurales. Las fórmulas químicas constituyen un lenguaje para traducir de modo figurado la realidad de las sustancias, su naturaleza, sus constituyentes, su organización y sus secretas relaciones cualitativas, cuantitativas y estructurales; proporcionan, además, respuestas a exigencias como facilitar las analogías con los vecinos de una clase o entre clases de sustancias y las similitudes entre los numerosos derivados de una clase. Las fórmulas químicas en las ecuaciones químicas nos permiten representar la metamorfosis de las sustancias y el principio de todo es combinación.

Las fórmulas químicas dan información acerca de la *identidad química* de las sustancias, lo cual implica el principio de la composición definida y la organización estructural. La relación de identidad, composición y estructura, definida para una sustancia es característica de ella y diferente de la de otras sustancias. Es importante tener en cuenta que la identidad estructural se levanta más allá de la identidad por composición, relativa o absoluta, como en el caso particular de los polímeros y los isómeros.

Las fórmulas químicas poseen una perspectiva más allá de la identidad química de una sustancia, proveen la información necesaria para sistematizar grupos de sustancias y establecer relaciones químicas entre ellas. Las fórmulas químicas permiten crear clases de sustancias, las cuales tienen en común un grupo funcional y se diferencian en el esqueleto ligado a la función química. Como afirma Schummer (1998, 19) todo grupo funcional representa una clase de sustancias, por lo tanto, todo sistema suficientemente desarrollado de grupos funcionales, mapea de un modo bastante exacto una red de clases de sustancias.

Una función química tiene una funcionalidad, como por ejemplo, la reactividad con ciertas clases de sustancias diferentes para formar sustancias de otras clases de sustancias, como es el caso de las propiedades ácido base de los óxidos en solución acuosa. También las fórmulas químicas dan lugar a originar, ampliar y perfeccionar la

representación de grandes sistemas clasificatorios de sustancias. Las clasificaciones empíricas de las sustancias químicas han evolucionado de formas rudimentarias, a formas cada vez más desarrolladas, guiadas siempre por un sistema de fórmulas químicas. Los símbolos del lenguaje químico tienen un gran poder de sistematización y difícilmente podemos distinguir las sustancias químicas sin referirnos a las fórmulas químicas y en particular a las fórmulas estructurales.

Para efectos del presente artículo es de nuestro interés las fórmulas químicas de composición centradas en la identificación del grupo funcional y la diferencia en el esqueleto; para una determinada clase de sustancias el grupo funcional no se modifica y pueden escribirse fórmulas químicas de composición con igual grupo funcional y diferente esqueleto. La similaridad química entre dos o más sustancias es analizada en términos de identidades y diferencias en partes de composición de dos o más fórmulas correspondientes, o en partes estructurales de dos o más fórmulas estructurales correspondientes si la meta es analizar con base en fórmulas estructurales; un ejemplo son los hidróxidos del grupo 1 del sistema periódico:



A las anteriores fórmulas químicas corresponde una organización estructural cúbica compacta de aniones y los cationes ocupan los huecos octaedrales, éstas se diferencian por las dimensiones de la unidad molecular celda unitaria.

Las fórmulas químicas definidas como símbolos del lenguaje químico, no son símbolos aislados, son sistemas de símbolos los cuales constituyen un lenguaje sistemático cuya racionalización permite la inferencia y la predicción. *Ibíd.*(21), afirma que las fórmulas químicas, en particular las estructurales, como cualesquier lenguaje requieren precisión semántica y sintáctica y destaca los esfuerzos de los químicos durante las dos últimas décadas por desarrollar una estrategia racional de lenguaje sistemático de las fórmulas estructurales. Hoffman y Lazlo (1991, 10) también consideran las fórmulas químicas como un intento de representar lo real por medio de la manipulación de símbolos, de igual forma como el lenguaje natural faculta a los humanos para hablar acerca del mundo.

Estas ideas son una base para repensar la enseñanza y el aprendizaje de la química, hoy cuando son listadas dieciocho millones de fórmulas químicas que identifican sustancias y se constituyen en una oportunidad para la enseñanza y el aprendizaje de clases de sustancias conectadas entre si e interconectadas con otras clases de sustancias para constituir redes de sustancias en contextos específicos, con vínculos químicos de modo principal y físicos en segunda instancia, en lugar de sustancias individuales y aisladas de ambientes particulares. Clasificación química y lenguaje químico constituyen una dualidad de la unidad construida por la química a lo largo de más de doscientos años de progreso y poco tenida en cuenta en los procesos de enseñanza y aprendizaje. La revolución química semántica y ordenadora iniciada por A. Lavoisier y sus desarrollos posteriores han construido un lenguaje racional, mediador entre las sustancias químicas y las ideas acerca de ellas, el desorden fue expulsado y se propusieron nuevos códigos, los cuales a su vez han evolucionado hasta el presente para facilitar el aprendizaje y la comunicación (Dagognet, 1969, 2).

Clasificar en Química

Clasificar y describir sustancias químicas es una poderosa metodología, que ha contribuido a crear grandes sistemas de clasificación científica en química, entre ellos, el sistema periódico de los elementos químicos y las diversas clasificaciones de sustancias en clases como aldehídos, cetonas, óxidos, silicatos y sulfatos entre otras.

La actividad clasificatoria, en este proyecto, ha sido considerada como una vía posible de aprendizaje significativo de clases de sustancias, de los vínculos de éstas con sus cualidades químicas y físicas y de los conceptos implicados en la acción. Clasificar implica, desde el seno mismo de la información disponible acerca de los objetos, seleccionar el criterio de ordenación y poner en marcha los conocimientos antecedentes, las actividades mentales de la atención voluntaria, el comparar y establecer diferencias y semejanzas, correlacionar cualidades, y principalmente, abre la posibilidad de avanzar de las cualidades perceptibles a las imperceptibles de modo directo cuando se dispone de la información suficiente y avanzar posiblemente hacia la inferencia.

Cuando se estudia una amplia variedad de materiales y las sustancias químicas se descubre una gran riqueza y diversidad de datos, los cuales hacen posible su clasificación según diferentes categorías; la información no debe abandonarse al azar y dejarla como conocimiento disperso, es fundamental en el trabajo didáctico, orientar para organizar este conocimiento e integrarlo en sistemas que permitan una percepción globalizada de grupos de sustancias como clases y la construcción de descripciones sistemáticas acerca de ellas. La información seleccionada debe referirse a un problema definido y organizarse de modo claro y sistemático en función de las metas a alcanzar.

Las sustancias pueden ser organizadas de acuerdo a criterios químicos y físicos, u otros según contextos específicos, y para cada una de estas categorías está implicada una serie de conceptos diferenciados y afines. Fijar un criterio de organización química requiere un conocimiento de las cualidades más importantes de las sustancias relacionadas con su composición, las cuales están más allá de las apariencias y emparentadas con conocimientos y criterios teóricos para organizar los datos, los cuales a su vez surgen de la organización de la información disponible.

Un avance muy importante en las clasificaciones científicas es la clasificación de los elementos químicos creada por D. Mendeléiev a mediados del siglo XIX, cuando la química tenía un conocimiento amplio sobre las sustancias simples, la combinación química y la naturaleza de diversas modificaciones químicas como la formación de óxidos, hidruros, sulfuros y haluros entre otras, y acerca de las operaciones químicas de descomposición para obtener las sustancias simples. El conocimiento de cualidades importantes como las valencias, la combinación química, la masa atómica y de otras cualidades como las temperaturas de fusión y de ebullición y el volumen molar, permitieron a Mendeléiev trazar una metodología global para ordenar los elementos químicos en grupos y series de acuerdo a las valencias y a las masas atómicas¹. Estas dos

¹ En 1913, Henry Moseley estableció el número atómico como la característica ordenadora en relación con la valencia química.

categorías fueron los criterios fundamentales y globales de Mendeléiev para su clasificación periódica y de acuerdo a la lógica aristotélica en un grupo no podían estar elementos de propiedades disímiles; con gran astucia organizó los elementos y dejó los espacios en blanco para lo que él consideraba debería ser.

La clasificación de los elementos químicos no es la única clasificación en química. En la ciencia química existen varias y diferentes organizaciones de las sustancias de acuerdo a la identidad química común a grupos de sustancias, por ejemplo: óxido, cetona, sulfato, nitrato y éter entre otras. De acuerdo con Schummer (1998, 13) las clasificaciones químicas dan lugar a:

- Suministrar un sistema de conceptos que permite a todos los químicos hablar acerca de las sustancias químicas sin ambigüedades y sutilmente diferenciados.
- Abrir nuestros ojos a la diversidad de los fenómenos químicos y de este manera impide actuar a ciegas, de modo unilateral y a hacer sobresimplificaciones.
- Hacer inferencias y predicciones. Si una sustancia química es identificada como ser de una clase o de cierta clase, seremos capaces de predecir propiedades que le pertenecen al ser de tal clase.
- Si la clasificación es sistemática, puede asumirse la existencia de sustancias químicas para las cuales hay un espacio obvio en la clasificación (esto es propio de la clasificación química), para estos espacios construimos un conjunto de indicaciones o de características ejemplares de tales sustancias.

Estas características, posible de ser orientadas en una perspectiva didáctica, nos permiten considerar que clasificar en química es una acción viable para el aprendizaje significativo de conjuntos de conceptos relacionados y para introducir a los alumnos en la interacción con una variedad de clases de sustancias mediante procesos de diferenciación progresiva, integración y consolidación.

El propósito de la actividad clasificatoria es dar una oportunidad a los alumnos de: 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; diferenciar y relacionar los conceptos de sustancia, elemento, mezcla, mezcla homogénea y heterogénea; propiciar en los alumnos el conocimiento como una jerarquía de conceptos generales y subordinados, que les es funcional para resolver tareas y para aprender nuevo conocimiento. Además, permite a la investigadora indagar el conocimiento antecedente de los alumnos y estudiar el progreso del aprendizaje de éstos, desde procesos de formación de conceptos y su evolución a aprendizaje significativo representacional y subordinado, y en algunos casos supraordenado.

Metodología

El presente estudio se inscribe en una perspectiva etnográfica de aula, descriptiva-interpretativa, la investigadora tiene el rol de observador-participante e indaga la interacción de los alumnos con colecciones de materiales, sus respuestas como organización de grupos de sustancias, los criterios que definen las clasificaciones y el

lenguaje utilizado por los alumnos durante la interacción y en la soluciones organizacionales de las colecciones. Los datos son obtenidos desde los registros de los alumnos en sus cuadernos de aula, sus argumentos escritos, grabaciones del intercambio de significados en el aula, las diferentes ordenaciones de los alumnos y del conjunto de esquemas que elaboran con el propósito de representar las clasificaciones realizadas.

El desarrollo de la intervención tuvo el apoyo de dos profesores para la producción de materiales de aula, texto escrito y otros recursos para el trabajo experimental, con la finalidad de ser potencialmente significativos. Como material adicional, los alumnos contaron con el apoyo de otros textos de química de uso común en los cursos de química general y de documentos relativos a descripciones de clases de sustancias, en particular de minerales.

El desarrollo de la intervención se realiza con un grupo de veinte alumnos, nueve mujeres y once hombres, con edades entre los diecisiete y veintiuno años, matriculados en el primer nivel universitario del Programa de Química, U. de A., Medellín, Colombia. La experiencia en química de los participantes se remonta a cursos de dos horas semana (90 minutos), durante los grados décimo y undécimo de la educación secundaria. Al momento de la matrícula, el 60% de los alumnos tiene un año sin participar en actividades académicas regulares y el 40% dos años.

Los alumnos participan de clase de Química, once horas-semana durante dieciocho semanas-semester. Las once horas en el programa oficial están distribuidas en dos cursos denominados “Teórico” y “Práctico”, cuatro y seis horas-semana respectivamente. “Soluciones y Estequiometría” centrado en cálculos estequiométricos y “Técnicas de Laboratorio” dirigido a desarrollar habilidades en el manejo de instrumentos, preparación de soluciones acuosas, manejo de algunas técnicas de separación de mezclas y de medición de algunas propiedades como densidad, solubilidad, temperatura de fusión y de ebullición. Estos cursos generalmente dictados por profesores diferentes, para el presente estudio los alumnos participantes constituyen un grupo para los dos cursos, asumidos estos por la investigadora, en el intento de superar la división entre cursos teóricos y prácticos. De este modo los cursos fueron adoptados como el curso de química de primer semestre.

Dados los antecedentes de los alumnos, inicialmente interactuaron con un organizador previo relacionado con la significación y diferenciación entre aprendizaje mecánico y aprendizaje significativo. Los alumnos participaron de once horas-semana durante dieciocho semanas-semester. Las once horas en el programa oficial están distribuidas en dos cursos denominados “Teórico” y “Práctico”, cuatro y seis horas-semana respectivamente. “Soluciones y Estequiometría” centrado en cálculos estequiométricos y “Técnicas de Laboratorio” dirigido a desarrollar habilidades en el manejo de instrumentos y de algunas técnicas de separación de mezclas y de medición de densidad, temperatura de fusión y de ebullición. Estos cursos generalmente dictados por profesores diferentes, para el presente estudio los alumnos participantes constituyen un grupo para los dos cursos, asumidos estos por la investigadora, en el intento de superar la división entre cursos teóricos y prácticos. De este modo los cursos fueron adoptados como el curso de química de primer semestre.

La intención inicial del curso era comenzar con contenidos relativos a las relaciones de periodicidad según la clasificación periódica de los elementos químicos, en la suposición de que los alumnos poseían un conocimiento relativamente adecuado acerca de los conceptos sustancia, mezcla, elemento químico y propiedades de las sustancias. Al no darse esta condición, hubo la necesidad de trabajar aproximadamente el 50% del tiempo con una secuencia de actividades apoyadas en un organizador previo para poner en acción tales conceptos, su diferenciación e integración y su utilización para alcanzar las soluciones a las tareas planteadas, entre ellas la actividad de clasificar sustancias.

La actividad de clasificar se fundamenta en la organización en el aula de química de tres clases de colecciones de sustancias, con las cuales interactúan los estudiantes. Una primera es integrada con productos manufacturados cotidianos, rotulados en lenguaje natural según empaque comercial y la respectiva información química respecto a la composición de la mezcla; esta colección ha contado con el aporte de los alumnos para su conformación y constituida por los siguientes productos dados en lenguaje natural: {agua mineral, mayonesa, leche, ácido muriático, agua industrial, aleación Cu/Zn, clavo de acero, gaseosa, pastillas dolex, vinagre, alcohol antiséptico, sal de cocina, pastillas de vitamina C, solución de cloruro de sodio, solución de hidróxido de sodio, tiner, galleta dulce, jarabe broncodilatador, gomina, crema desodorante, gasolina, carbón mineral, aire,...}.

Una segunda colección se constituye de sustancias simples metálicas y no metálicas y de sustancias compuestas familiares y no familiares a los alumnos, identificadas con la fórmula química y el respectivo nombre químico: { Na_n , B_{20n} , $\text{S}_{8(s)}$, Fe_n , $\text{CuSO}_{4(s)}$, $\text{NaCl}_{(s)}$, $\text{CaCO}_{3(s)}$, $\text{O}_{2(g)}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, Cu_n , $\text{Se}_{8(s)}$, Cd_n , $\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$, $\text{I}_{2(s)}$, $\text{Br}_{2(l)}$, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{KCl}_{(s)}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaOH}_{(s)}$, ...}

La tercera colección consiste de un amplio grupo de sustancias comúnmente nombradas minerales: {carbonatos (CO_3^{2-}), sulfatos (SO_4^{2-}), fosfatos (PO_4^{3-}), silicatos (SiO_4^{2-}), óxidos (O^{2-}), haluros (F^- , Cl^- , Br^- , I^-), sulfuros (S^{2-}), oro (Au), plata (Ag), carbono grafito (C_n), carbono diamante (C_n), cobre (Cu_n), octazufre S_{8n} , variedad de cuarzos (SiO_2) $_n$ }

Para todos los casos las muestras de los materiales son almacenadas en pequeños frascos, rotuladas con el nombre común, la fórmula química y el respectivo nombre químico.

La interacción de los alumnos con las dos primeras colecciones se realiza en grupos de tres estudiantes, todo el tiempo con la mediación de la profesora en cuanto intercambio, aclaración, redefinición y toma de conciencia de significados inadecuados manifiestos por los alumnos y la insistencia permanente de adoptar de modo significativo no sólo el nombre común, sino también la fórmula química y el nombre químico; los grupos proponen varias alternativas de ordenaciones consensuadas hasta lograr una clasificación química. La interacción con la colección de minerales es realizada en grupos similares a los anteriores y cada alumno reporta de modo individual, por escrito, la representación de la ordenación realizada y de modo argumentado los criterios para sus decisiones, lo cual implica realizar descripciones de las sustancias.

Actividades de consolidación se realizan en una segunda parte al asignar a los alumnos varias funciones químicas y dos grupos y dos períodos del sistema periódico. Ellos deben escribir las respectivas fórmulas químicas y sus nombres de modo coherente con la organización periódica de los elementos, organizar tablas de datos con varias cualidades químicas y físicas, comparar y establecer semejanzas y diferencias.

Resultados

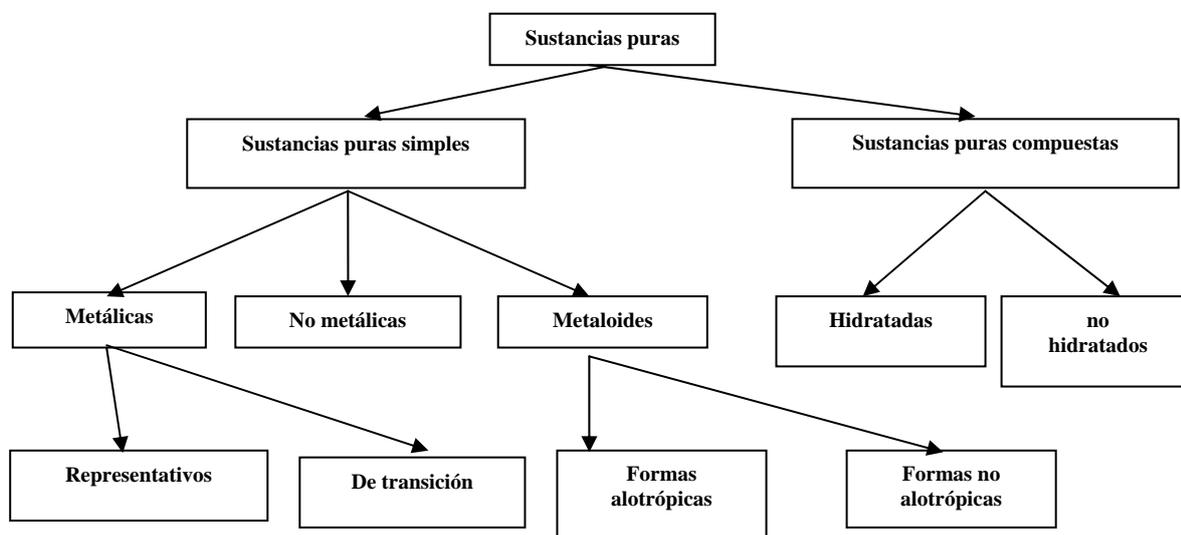
Clasificación de productos manufacturados.

Desde lo cotidiano, los alumnos interactúan con los productos manufacturados, realizan diversas clasificaciones de los materiales al establecer diferentes criterios que progresan desde su lenguaje espontáneo, de lo más inmediato en su experiencia cotidiana a características de mayor nivel de abstracción. Con la exploración de los materiales, surgen los primeros criterios de clasificación en los cuales prima la percepción directa como un nivel inicial de clasificación: “polvo”, “dureza”, “crema”, “granos”, “forma”, “líquido”. Avanzan a clasificar según el uso del producto, para lo cual es necesario leer etiquetas y progresan hacia una clasificación más abstracta, cuando centran la atención en la lectura de los componentes del producto y de la información disponible relacionada con la composición de la mezcla, lo cual pone en acción los conceptos de mezcla, mezcla homogénea y heterogénea según la apariencia del material. Con la misma colección de materiales determinan diferentes niveles de clasificación hasta lograr una clasificación operatoria según semejanzas imperceptibles entre los objetos de la colección, cuando centran la atención en los nombres químicos, la composición de las mezclas, las respectivas fórmulas químicas para los constituyentes y establecen conexiones hasta dilucidar que algunos componentes son comunes a varios productos manufacturados y ser clasificados como mezclas acuosas, mezclas no acuosas, y aleaciones. Este proceder ha permitido un dialogo entre alumnos y profesora-alumnos para significar y diferenciar sustancia y mezcla que orienta la clasificación final antes anotada. Parece ser que el poco dominio conceptual de las fórmulas químicas y su poca familiaridad con las funciones químicas orienta a los alumnos a decidir criterios por aquellas cualidades que les son más familiares, como el caso del agua como componente de varias mezclas, y parece también que queda a la apariencia y la intuición los conceptos de homogeneidad y heterogeneidad para diferenciar las mezclas.

Clasificación de sustancias químicas

En la clasificación de la colección de sustancias químicas, los alumnos de modo similar al caso anterior, avanzan en los diferentes niveles clasificatorios desde la percepción directa y progresan a establecer semejanzas de propiedades cada vez más inclusivas. A diferencia de la clasificación anterior, el paso por las etapas de lo concreto se realiza en un tiempo menor y la generalización que permite significar las fases surge “rápidamente” durante el dialogo entre los estudiantes. De “coloreados”, “incolores”, “blandos”, “duros”, “no hay nada” (para referirse a los gases incolores), “bloques”, “granos” y “polvos”, avanzan a los criterios de ordenación en términos de “sólido”, “líquidos” y “gases”, y a una clasificación más abstracta al centrar la atención en las fórmulas químicas. Significar éstas permite alcanzar las inclusiones de clases de la

colección, y particionar ésta cada vez más, hasta obtener un conjunto de clases disjuntas, que no reconoce para las sustancias compuestas su diversidad y las ordena en términos de sustancias hidratadas y no hidratadas. El resultado de esta situación se ilustra en el siguiente esquema².



Con la clasificación de sustancias químicas, de lo concreto a la identidad química como composición representada en la fórmula química, se permite un acercamiento a una clasificación química de sustancias y a la diferenciación entre éstas y elementos químicos, lo cual da lugar a establecer relaciones significativas entre las propiedades que posibilitan determinar la pertenencia o no pertenencia de cada elemento a los grupos y períodos de la tabla periódica.

Las dos anteriores situaciones de aprendizaje, en las cuales los alumnos mediante etapas sucesivas logran una clasificación de mayor nivel de abstracción, se realizan con la cooperación de la profesora, los alumnos no resuelven el problema de modo independiente. Los conceptos relativos a las fases de las sustancias, sólido – líquido – gaseoso, no aparecen como generalizaciones en un primer momento y son abstraídos en la interacción con las sustancias cuando reúnen éstas en las diversas formas de presentación y realizan varios intentos clasificatorios, lo cual origina la generalización y su expresión con las respectivas palabras concepto, como es el caso al reemplazar las palabras “polvos”, “bloques” y “granos” por la palabra “sólido”, y “no hay nada”, sustituirla por la palabra “gaseosos”. Estas generalizaciones logradas por los alumnos de modo arduo en la primera clasificación, en la siguiente transitan a ellas en un menor tiempo y con menos ayuda de la profesora. En ambos casos, la información en los rótulos de las muestras de los materiales no fue motivo inicial de la atención de los alumnos y ésta se centró en las cualidades perceptibles más inmediatas. Esta tendencia parece estar afincada en la no familiaridad y la comprensión significativa de las fórmulas químicas y su significado como identidades químicas. Es necesaria la mediación de la profesora para trascender a una clasificación más abstracta y orientar que la fórmula química y su nombre, sean percibidos como representación de identidad química para lograr el

² El término “sustancia pura” es utilizado por los alumnos como un modo de diferenciar sustancia y mezcla.

reconocimiento como sustancias simples y sustancias compuestas, y proceder a la clasificación en subclases de metales y no metales y de compuestos hidratados y no hidratados. Alcanzar esta forma final, es el producto de intentos y reintentos clasificatorios, mediante los cuales la percepción conceptual es generada en la interacción con las sustancias concretas y con los respectivos significados de las sustancias químicas y las fórmulas químicas. Parece ser un aprendizaje de formación de conceptos que posiblemente avanza como aprendizaje significativo representacional y conceptual.

Clasificación de minerales

Una clasificación importante en química,” por razones geológicas e industriales, es la de “los minerales. A partir de una colección disponible para cada subgrupo de alumnos y de un documento descriptivo acerca de los minerales que utilizan como información antecedente antes de proceder a la acción de ordenación. En esta actividad, los alumnos toman la iniciativa para organizar la metodología de ordenación y la mediación de la profesora está ausente; los alumnos ponen en acción su aprendizaje; actúan orientados por sus conceptos, dialogan con sus significados lo perceptible en sus diferentes grados de abstracción: fase, forma, fórmula química y nombres químicos, y la dureza y el color como otras cualidades perceptibles de modo directo.

Los estudiantes plantean la siguiente secuencia de criterios ordenadores: sólidos, dureza, color, y forma que identifican al establecer relaciones con los modelos moleculares analógicos disponibles en el aula, acá se detienen a reconocer los siete sistemas cristalinos, en particular para aquellos minerales que presentan geometría definida y perceptible de modo directo. Progresan a la lectura significativa de las fórmulas químicas y en particular de la función química. La comprensión de estas representaciones simbólicas se constituye en el ordenador decisivo para establecer las diferentes subclases del conjunto de los minerales. Aunque los estudiantes consideran las cualidades perceptibles de modo directo y organizan subgrupos con dichos referentes, no permanecen en estos criterios como en los dos casos anteriores, continúan su indagación y adoptan una clasificación química. Este proceso se caracteriza por la subordinación de las cualidades externas al concepto de identidad química, a pesar del asombro ante la belleza de los minerales.

Los esquemas de representación de la clasificación, producidos por tres alumnos (ver Anexo), según su asimilación, representan a nuestro modo de ver, el aprendizaje significativo manifiesto por ellos al realizar la clasificación química de minerales. El esquema realizado por el alumno 1, representa de modo jerárquico clases y subclases químicas y finaliza con la identificación de minerales particulares, e introduce algunas generalizaciones para representar el número de veces (n) la función en la fórmula de composición. Esta clase de solución en nuestra interpretación es considerada como una manifestación de aprendizaje significativo supraordenado. Este estudiante utiliza de modo dominante el lenguaje químico y cuando hace uso del lenguaje natural lo acompaña de la respectiva fórmula química. El esquema de la alumna 2 podría representar aprendizaje significativo subordinado correlativo al incluir relaciones jerarquizadas de clases y subclases expresadas en lenguaje natural; esta alumna no utiliza el lenguaje químico y no representa casos de cada clase. La alumna 3 representa un esquema de clases no

jerarquizado, representadas las clases por las letras a, b, c, d, e, f, g, h y para esta última clase representa subclases h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , y para cada clase y subclase identifica minerales en lenguaje común. Este diagrama expresado en lenguaje natural es muy próximo a la ordenación realizada en la mesa de trabajo con los materiales. En nuestro análisis este aprendizaje es considerado como significativo subordinado derivativo al presentar las clases y subclases de minerales e identificar los casos particulares.

Los alumnos, excepto los que alcanzan aprendizaje significativo supraordenado, expresan en sus esquemas, no presentados en este texto, las respectivas clases y subclases de modo similar a las alumnas 2 y 3. El siguiente cuadro detalla el aprendizaje significativo respecto a la clasificación de minerales.

Aprendizaje Significativo	N° de alumnos
Supraordenado	3
Subordinado correlativo	9
Subordinado derivativo	8

Conclusiones

La adquisición de conocimientos sobre mezclas y sustancias y de la representación como fórmulas químicas relativas y moleculares, es un proceso arduo y de tiempo, principalmente para aquellos alumnos con poca experiencia química. Según el grado como los alumnos desarrollan procesos de formación de conceptos alcanzan un aprendizaje significativo representacional y conceptual para el conjunto de conceptos mezcla, mezcla homogénea y heterogénea, sustancia, sustancia simple y compuesta, elemento químico y fórmula química de composición.

Desarrollar tareas de clasificación de sustancias parece ser una metodología adecuada para posibilitar en los alumnos el aprendizaje significativo representacional y conceptual del anterior grupo de conceptos y el avance de éste si se da de modo simultáneo el aprendizaje significativo del lenguaje químico. El progreso del aprendizaje significativo parece manifestarse en relación con el grado de jerarquización y diferenciación del conjunto de conceptos manipulados y la asimilación de las fórmulas químicas de composición y a futuro de las fórmulas estructurales. Este progreso como construcción de una estructura conceptual adecuada con capacidad para expresar de modo oral y escrito significados y establecer relaciones conceptuales pertinentes, posibilita el crecimiento intelectual y el progreso del aprendizaje significativo representacional al subordinado derivativo y correlativo y al supraordenado. Los alumnos con mayor disponibilidad cognitiva requieren de menos tiempo y una vez alcanzan aprendizaje significativo representacional su modo predominante de aprendizaje es subordinado correlativo y en la medida que interactúan con nuevos conceptos y su experiencia intelectual y procedimental se amplía, pueden progresar a aprendizaje significativo supraordenado, de modo especial en aquellas situaciones donde se hacen explícitas las relaciones en términos de lenguaje químico. Los alumnos de menor disponibilidad

cognitiva adquieren aprendizaje subordinado derivativo y pocas veces alcanzan subordinado correlativo.

Tareas clasificatorias de sustancias química, guiadas como ha sido expuesto a lo largo de este texto, permiten a los alumnos contextualizar y conceptualizar no sólo el conjunto de conceptos ya anotados, sino también el sistema periódico de los elementos químicos, de tal modo que las sustancias y las fórmulas químicas son percibidas por ellos de un modo racional y dinámico y no como entes estáticos y simbólicos de poco significado. Como actividad didáctica, los sistemas clasificatorios y la utilización consciente del lenguaje químico implican para los alumnos, el rol de la distinción operacional entre sustancias puras y mezclas homogéneas, entre modificaciones químicas y físicas y pueden posibilitar la inferencia de fórmulas químicas de series homologas de sustancias. Tareas de clasificación química, parecen constituir un espacio para la formación de conceptos y el aprendizaje significativo subordinado derivativo y correlativo y en algunos casos supraordenado cuando se promueve la adquisición de subsumos adecuados y pertinentes, la interacción con materiales de aula diseñados para la situación y la mediación de la profesora y del lenguaje químico.

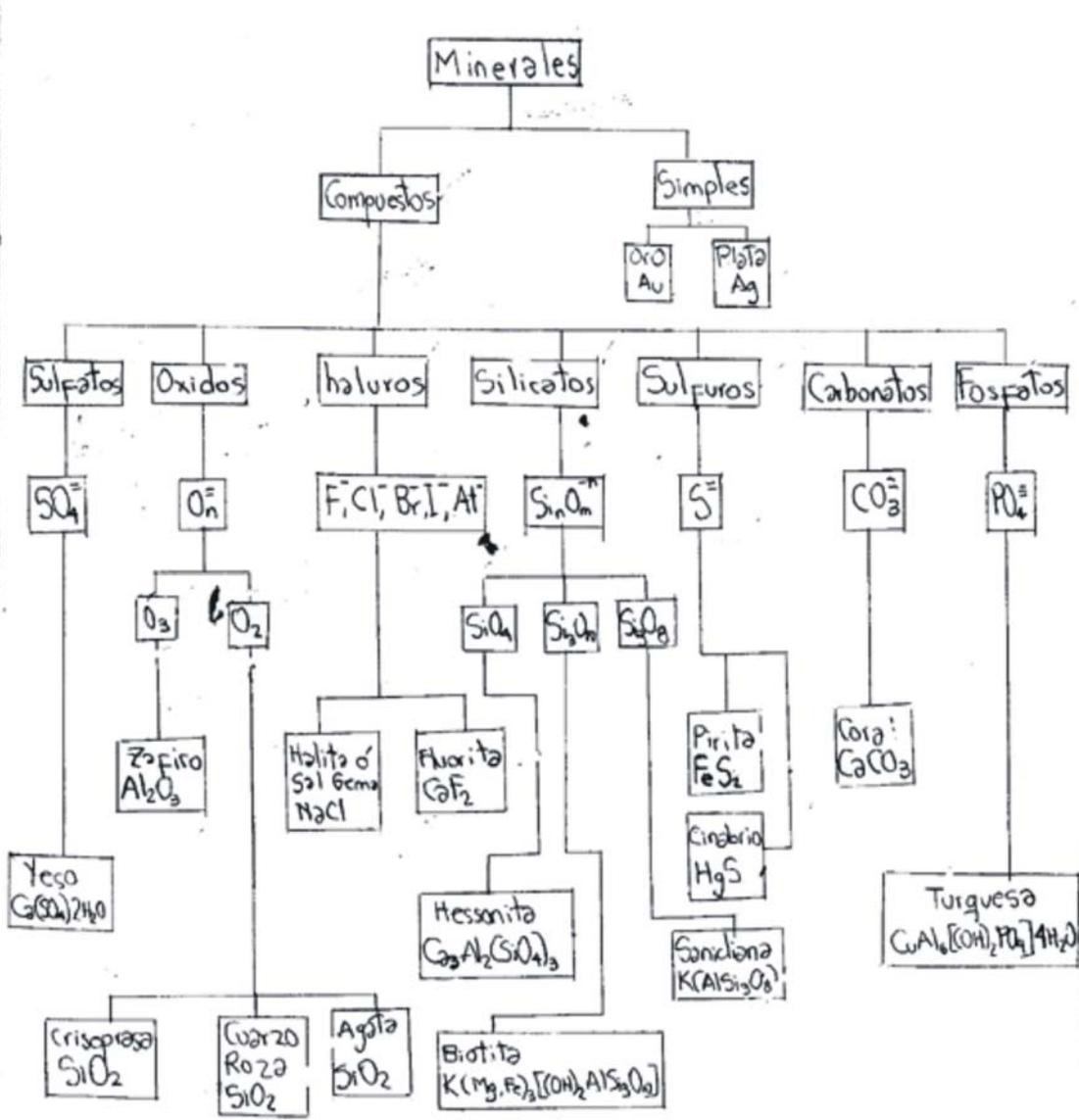
Hacia un futuro próximo, los sistemas clasificatorios podrían potenciar nuevas tareas de investigación, orientadas a consolidar y profundizar el aprendizaje significativo de los conceptos sustancia, mezcla, elemento y combinación química y en particular el aprendizaje de los conceptos homogeneidad y heterogeneidad tan prestados a la intuición y a la apariencia, y a esclarecer el importante papel del lenguaje químico para el aprendizaje significativo y de modo relevante el papel del lenguaje químico para propiciar el progreso del aprendizaje hacia formas más abstractas y la conexión con las fórmulas estructurales para posibilitar en mayor grado la inferencia y la predicción de propiedades químicas y de nuevas sustancias.

Referencias

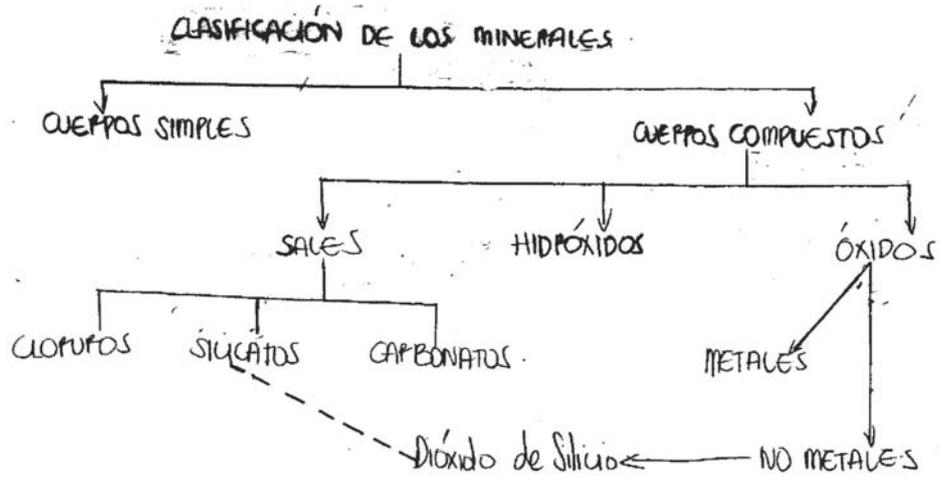
- Ausubel, D., Novak, J., Henessian, L., 1991, *Psicología Educativa, un Punto de Vista Cognoscitivo*, Editorial Trillas, México.
- Bachelard, G., 1979, *La Formación del Espíritu Científico*, Siglo Veintiuno Editores, 8ª ed. en español, Buenos Aires, Págs. 302 (traducción del francés José Babini).
- Dagognet, F., 1969, *Cuadros y Lenguajes de la Química*, París: Seuil (Traducción de Paláu C. Luis Alfonso, Para el Seminario permanente de Historia de la Biología, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, septiembre 24 de 2001).
- Hoffman, R., Lazlo, P., 1991, Representation in Chemistry, *Angewandte Chemie*, 30, 1, 1-112.
- Moreira, M. A., 2000, *Aprendizaje significativo – teoría y práctica*, Aprendizaje Visor, Madrid.
- Moreira, M. A., 2000, *Aprendizaje Significativo Subversivo*, Publicado en las Actas del III Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, Págs. 33-45, Lisboa.
- Schummer, J., 1998, The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach, *HYLE- An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 4, 2, 1-32.
- Vygotsky, L., 1995 (1934), *Pensamiento y Lenguaje*, Ediciones Paidós, Barcelona, Págs. 237 (Traducción del inglés Pedro Tosaus Abadía).

ANEXO

ESQUEMA ALUMNO 1



ESQUEMA ALUMNA 2



ESQUEMA ALUMNA 3

