

## **Fundamentos teóricos para el diseño y desarrollo de unidades didácticas relacionadas con las soluciones químicas**

Theoretical foundations for designing and developing teaching units connected to Chemical solutions

**Ximena Umbarila Castiblanco**

ximenaumbarila@gmail.com

**Universidad Pedagógica Nacional Bogotá Colombia. Programa Interinstitucional de Doctorado en Educación**

### **RESUMEN**

*Presenta fundamentos teóricos que sustentan la propuesta de 3 unidades didácticas escritas para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos clasificatorios, comparativos y métricos relacionados con las disoluciones. También se discute el concepto de demanda de una tarea en función de algunas estrategias didácticas postuladas para la asignación de significado a los conceptos asociados con las disoluciones por parte de los estudiantes, como una de las formas de disminuir la demanda y lograr la transferencia y aplicación de dichos conceptos en el contexto de la química y fuera de ella. Se destaca la importancia de los mecanismos de asimilación y acomodación como base para la búsqueda de nuevos estados mentales de equilibrio durante los procesos individuales de construcción de conocimiento.*

**Palabras clave:** *Conceptos clasificatorios comparativos y métricos; enriquecimiento significativo de conceptos; diferenciación conceptual; unidad didáctica*

### **ABSTRACT**

*This article presents theoretical foundations for designing and developing 3 written lessons to teach the following three different types of concepts related to chemical solutions: qualifiers, comparatives and metrics. It also discusses the concept of work demand based on some teaching strategies proposed for assigning meaning to some concepts*

*connected to chemical solutions. Redution of tasks demand aims at achieving high levels of transference and application of concepts related to solutions in the context of chemistry and beyond. The importance of mechanisms such as assimilation and accommodation in the search for new mental states of equilibrium for the individual processes of knowledge construction is also highlighted.*

**Key words:** *Qualifier; comparative and metric concepts; conceptual differentiation, written lessons; significant enrichment of concepts*

## INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de las ciencias se resalta la importancia que tiene la elaboración y el uso sistemático de unidades didácticas como apoyo a las actividades de los docentes y se reconocen los resultados que se han obtenido a partir de su implementación en el aula. Según Novak, (2003) esta aproximación en la didáctica de las ciencias, como muchas otras investigaciones llevadas a cabo en otros contextos de la educación, trascienden poco o nada el nivel a-teórico con que suelen llevarse a cabo muchas de las investigaciones en este campo.

Si bien es cierto que, en principio, se comparte la apreciación anterior, también es cierto que actualmente se ha ganado mucho en relación con la vinculación de los planteamientos teóricos a la investigación en educación y en particular a la investigación en didáctica de las ciencias (Shayer, 1987). Sin embargo, es necesario reconocer que la investigación con fundamento teórico en el campo de la educación es un espacio aún en proceso de construcción (Moreira 2005; Cachapuz, *et al*, 2004).

Los Programas: Guía de Actividades, a manera de unidades didácticas, que en el contexto de este artículo se llamarán unidades escritas de enseñanza, han sido muy aplicadas en la investigación en la didáctica de las ciencias (Umbarila, 2003; Erazo y Teusabá, 1995; Cárdenas y Montealegre, 2001; Cárdenas *et, al.*, 2003). Antes de presentar algunos aspectos relacionados con el diseño y la aplicación de tales unidades didácticas, es conveniente aclarar que el contexto de su uso en esta

investigación es el de la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos asociados con las disoluciones.

## **MÉTODO**

El proceso de selección y revisión bibliográfica giró en torno a una pregunta ¿Porqué son difíciles de aprender los conceptos asociados con las disoluciones? En búsqueda de posibles respuestas, se abordó la pregunta desde tres ámbitos diferentes, por una parte desde la individualidad del sujeto y los procesos de aprendizaje de los estudiantes, es decir, analizar las teorías psicológicas que sustentan el aprendizaje; en este caso particular se toma como referencia la teoría piagetiana y la teoría del procesamiento de información.

El segundo ámbito considerado fue el contexto científico y el nivel de abstracción conceptual que debe realizar un estudiante cuando tiene que hacer interpretaciones en el macromundo de fenómenos que ocurren en el micromundo. La química como ciencia maneja conceptos propios así como otros que ha tomado del mundo cotidiano, pero unos y otros han sido representados mediante símbolos, expresiones gramaticales, ecuaciones y fórmulas que son comprensibles en el contexto científico.

El tercer ámbito considerado fue la didáctica y como las diferentes corrientes epistemológicas y didácticas han permeado los procesos de enseñanza de los conceptos científicos en los últimos años, identificando fortalezas y debilidades para proponer finalmente un diseño de unidades didácticas que puede contribuir a disminuir las dificultades de aprendizaje de los conceptos científicos, organizar de una forma intencionada y lógica los tipos de conceptos en una unidad didáctica y aportar en el campo de la didáctica de las ciencias.

Para efectos del presente artículo se hicieron consultas de fuentes de información ya publicadas, básicamente libros y artículos de revistas de divulgación científica.

## RESULTADOS

### *Aclaraciones sobre la terminología usada*

Los desarrollos de la investigación en el campo de la didáctica de las ciencias en la actualidad han creado un amplio repertorio de vocablos utilizados por diferentes autores, algunos de ellos con significados parecidos. Es pertinente, por lo tanto, dejar claro el significado de algunos de los términos y expresiones más usados a lo largo del mismo. En este sentido, el término esquema y algunos de los más cercanos a él; guarda, para todos los efectos, la connotación introducida por su proponente original (Piaget, 1978). Según este autor un esquema es un conjunto de acciones que construye cada sujeto, a partir de su interacción con el medio, y que luego de dicho proceso lo utiliza de manera coordinada como base para los mecanismos de asimilación y acomodación de información adicional en busca de nuevos estados de equilibrio.

De conformidad con la descripción anterior, a manera de ejemplo hipotético, a continuación se analiza la situación que se puede presentar con un sujeto que en el contexto de la Química, por primera vez, se encuentra con el tema de las soluciones ácidas; seguramente a partir de su experiencia cotidiana él ha construido algún esquema de pensamiento relacionado con las sustancias ácidas. Con el fin de incorporar a esa estructura cognitiva, ya existente en su mente, lo relacionado con los ácidos: *sustancias que disueltas en agua liberan iones hidronio,  $H^+$* , él debe **asimilar** el nuevo significado de ácido, correspondiente al contexto químico, al esquema ya presente; puesto que seguramente se va a dar cuenta de que el nuevo significado es diferente del que tiene, debe hacer un esfuerzo intencionado y voluntario para **acomodar** lo nuevo a la estructura existente; este esfuerzo llamado por Mayer (2002) “*esfuerzo por el significado*” puede entenderse como una acción mental del estudiante para ampliar el significado ya existente; una vez logre este proceso de acomodación, con el nuevo esquema, así reestructurado y ampliado en este caso, el sujeto busca un nuevo estado de **equilibrio**. Es de anotar además que, el proceso de acomodación puede suponer un cierto estado

de desequilibrio que el sujeto intentará compensar para volver a un nuevo estado de equilibrio. En este proceso hay construcción cognitiva.

Según Piaget (1977), un sujeto va logrando ampliar o construir su conocimiento en la medida que, a partir de su interacción con el medio, por procesos de asimilación y acomodación alcanza de manera paulatina nuevos estados de equilibrio, aunque dichos estados de equilibrio son parciales (Bandura, 1986; Pourtois y Desmet, 2008).

En el tema del conocimiento de los ácidos, un paso más en el análisis se puede lograr cuando más tarde el mismo sujeto se encuentra con otro significado de ácido, también dentro del contexto de la química, donde se considera que: *un ácido es una sustancia que sin necesidad de estar disuelta en el agua es capaz de ceder electrones*. Una vez más, el sujeto se da cuenta de que este significado es diferente a los que ya conoce y para incorporarlo se debe nuevamente esforzar por acomodarlo al esquema reestructurado anteriormente. Este nuevo proceso de reestructuración a partir de los mecanismos de asimilación y acomodación conduce a un nuevo esquema más amplio y con mayor capacidad de posteriores asimilaciones.

En este momento es necesario reconocer que, a partir del esquema inicial, reestructurado para incorporar el significado relacionado con la liberación de protones y luego vuelto a reestructurar para incorporar el significado de ceder electrones, el significado asociado con los ácidos ha sufrido un proceso de **enriquecimiento y discriminación**. Se ha enriquecido en la medida que de un significado de la vida cotidiana ha pasado a tener dos significados más y se ha discriminado en la medida que el sujeto ahora debe estar en la capacidad de separar, diferenciar e identificar, en un contexto dado, el significado cotidiano de ácido, del correspondiente a la liberación de protones y estos dos del significado asociado al proceso de ceder o donar electrones. Por este procedimiento de enriquecimiento y diferenciación conceptual finalmente el sujeto llega a generalizar los distintos significados de ácido en el contexto científico, lo cual a su vez le permite **operar** con él o con ellos, esto es, hacer algo

con los conceptos así enriquecidos, utilizarlos correctamente en contextos dentro o fuera de la química.

En el campo de los procedimientos didácticos, para que el estudiante logre los procesos anteriores, el docente debe proporcionar escenarios para facilitar al estudiante alcanzar ese enriquecimiento y diferenciación conceptual. Una de las estrategias didácticas que pueden ser apropiadas para este propósito es la utilización de actividades en las cuales el docente va modificando paulatinamente tanto factores relevantes (aquellos cuyo cambio determina modificaciones sustantivas en el resultado) e irrelevantes (aquellos que al cambiar no altera nada del resultado).

La siguiente actividad puede servir de ilustración:

- *En dos tubos de ensayo se tienen disueltas en agua dos sustancias distintas una de las cuales es ácida y la otra básica. Con ayuda del papel tornasol azul identifique la sustancia que es ácida.*

El análisis de la formulación de la tarea anterior permite establecer lo que es relevante y lo que no lo es para lograr la solución. Entre lo que es relevante se encuentra el hecho de que las sustancias están disueltas en agua y el papel tornasol que es el indicador; el primer factor porque es una condición del concepto de ácido y el indicador porque permite discernir el carácter ácido o básico de cada sustancia. Son factores irrelevantes, en el mismo contexto anterior, entre otros, el recipiente donde se encuentran las sustancias, bien podrían tenerse en dos vasos de precipitado, también es irrelevante la cantidad de sustancia que se tenga y el tipo de sustancia en sí mismo dado que lo importante es su carácter ácido o básico no si se trata de una sustancia orgánica o inorgánica.

En la mayoría de los casos, cuando se realizan estas actividades en clase este análisis sobre la variabilidad de factores y de entendimiento de la tarea no se realiza, como tampoco se analiza con los estudiantes si se trata de una situación química del nivel macro o del nivel micro de la materia, y por tanto, de una parte se presenta una alta probabilidad de estar contribuyendo al aprendizaje memorístico del comportamiento

de las sustancias frente a los indicadores o por lo menos se índice a la generación de dificultades de aprendizaje (Jhonstone, 1991).

Este proceso de enriquecimiento y diferenciación conceptual, se produce cada vez que el sujeto se encuentra en un estado de desequilibrio y busca un nuevo estado de equilibrio y se encuentra permeado por las clases de conceptos científicos.

### **Acerca de la clasificación de los conceptos científicos**

Para construir sus estructuras conceptuales, las comunidades científicas han ideado una serie de conceptos que adquieren significados particulares y muy precisos dentro de los diferentes campos del saber. Dichos conceptos en algunos casos, permanecen y son usados solamente dentro del campo científico donde fueron propuestos y aceptados y en otros casos son llevados a diferentes contextos del saber humano en donde son utilizados con algún significado parecido.

En muchos casos las comunidades científicas no necesariamente proponen conceptos sino que incorporan a su vocabulario algunos provenientes de la vida cotidiana, es el caso, de los conceptos de fuerza o velocidad en Física o, en el contexto de la Biología, el pez, el perro o el gato; en estos casos lo que hacen las comunidades científicas es dotarlos de significados específicos y particulares.

En el campo de las ciencias, los conceptos pueden reunirse en los siguientes grupos: clasificatorios, comparativos y métricos (Mosterin, 1978). Cada uno tiene características y funciones, o por lo menos usos, muy particulares en los entramados científicos. Así por ejemplo, en el contexto de la Química conceptos tales como metal, no metal, ácido o base, mezcla o solución, son entidades representativas que la mente humana ha creado para clasificar sustancias; como tales, dichos conceptos no tienen ejemplos concretos, pero aquellas sustancias que cumplan con las propiedades definidas para ellos constituyen ejemplos específicos de dicha categoría.

Algunos ejemplos de estos tres tipos de conceptos; son sustancias como Aluminio, Hierro, Calcio o Potasio, que son metales; su clasificación y diferenciación precisa, por parte de los estudiantes, es fundamental no solo para la identificación individual sino también para su connotación y uso posterior, bien sea en el campo de la Química o fuera de ella. No es lo mismo hablar y manipular el aluminio como metal sólo, que hacerlo como metal que forma parte de un compuesto químico como el sulfato de aluminio o un silicato que integra la composición de una roca.

Por un razonamiento análogo al anterior, se puede entender que reuniones de sustancias como el agua y el aceite o, el agua, las piedras y la madera en un riachuelo, son mezclas. Como tales, las mezclas desde el punto de vista químico, poseen ciertas características que las identifican. Al igual que en el caso anterior, su clasificación y diferenciación, por parte de quien aprende, son fundamentales no solamente para identificarlas e incluso separarlas sino también para hacer uso de ellas, bien sea desde el punto de vista teórico, o desde el punto de vista práctico en la vida cotidiana.

De manera semejante a los dos casos anteriores, el alcohol y agua o el permanganato de potasio y agua son soluciones; como soluciones que son, estas mezclas poseen ciertas características y propiedades que les dan su carácter individual y particular, es aquello por lo cual es posible decir que toda solución es una mezcla, pero que no toda mezcla es una solución. La diferenciación de estas últimas con respecto a una mezcla se encuentra en la homogeneidad de la distribución de los componentes, la solubilidad mutua entre ellos y, ante todo, en la pérdida de la identidad física de cada uno de los componentes.

Al observar los componentes a las mezclas, tal como se ha descrito anteriormente, para su aprendizaje y posterior uso adecuado, por parte de los estudiantes, se requiere en primer lugar, un alto grado de asignación de significado, “*esfuerzo por el significado*”, (Mayer, 2002), esto es, que el estudiante tenga claro el significado de aquello que en el campo de la Química se entiende por un elemento, una mezcla y una solución. Es este



alto grado de significación, asignada por cada alumno, lo que le permite diferenciar estos conceptos unos de otros y por tanto hacer uso adecuado y correcto de cada uno de ellos en los diferentes contextos.

Así, la asignación de significados a los distintos términos, símbolos, signos y demás convenciones propias del campo de las ciencias, se constituye en la base fundamental, no solo del aprendizaje sino también del uso de los conceptos científicos. De allí que:

- En química, como en los demás campos del saber humano los *conceptos clasificatorios*, tienen como función permitir, e incluso facilitar, la agrupación de los distintos elementos que constituyen los respectivos objetos de estudio, en este caso, la clasificación de los distintos materiales que forman la naturaleza. Por su esencia clasificatoria estos conceptos no permiten describir o hacer cálculos matemáticos acerca de un objeto o de una propiedad del mismo; tampoco permiten decir, si el objeto es de mayor o de menor tamaño que otro, o si tal o cual propiedad se encuentra presente o ausente en mayor o menor grado en un objeto o en una entidad cualquiera, en otros palabras no permiten hacer comparaciones.
- Para este último propósito, la comunidad científica ha propuesto y aceptado los *conceptos comparativos*; a partir de este grupo de conceptos es posible dar cuenta, en un momento dado, de las relaciones de precedencia que se presentan entre dos objetos, por ejemplo, o de la mayor o menor presencia de una propiedad existente en varias entidades que pertenecen a la misma categoría o a la misma clasificación; en este sentido, los conceptos comparativos operan como ampliación y complemento de los clasificatorios. Para lograr este propósito, el de establecer relaciones de precedencia en ciencias, se han propuesto las escalas o patrones de comparación; es el caso de la escala de Mohs, para dar cuenta de la dureza de un mineral en el campo de la mineralogía o de las variaciones de las propiedades metálicas en los grupos de la tabla periódica. En el primer caso, si un mineral raya a otro, sin dejarse rayar, se dice que el primero es más duro que el segundo; en el segundo caso, por ejemplo, si se afirma

que un metal conduce mejor la corriente eléctrica que otro, entonces el primero es más metálico que el segundo. Nótese que es a partir de estos conceptos comparativos que se construyen, en ciencias, las clasificaciones y ordenamientos, la tabla periódica o la dureza de los minerales en este caso.

Es necesario destacar además, que a partir de los conceptos comparativos sólo se logran sistemas de ordenamiento sobre la base de precedencia, es decir, sobre la base de expresiones como mayor o menor que, no se alcanzan mediciones cuantitativas; en el caso de la dureza a partir de la escala de Mohs no se logra decir cuanta dureza tiene un mineral; para los elementos de un grupo en la tabla periódica no es posible decir cuánto de una propiedad metálica tiene un elemento, es decir, los conceptos comparativos no son cuantitativos (Gallego y Pérez, 1997).

- Para este último propósito, lograr hacer cuantificaciones, en ciencias se han propuesto y construido los llamados conceptos cuantitativos o métricos; es a partir de ellos que se habla de cuantificar una propiedad presente en una sustancia, es la mate- matización o cuantificación de una propiedad o magnitud observada. En este sentido, cuando se trata de medir, por ejemplo, una magnitud como la longitud se precisa de la existencia de un baremo, esto es, de un patrón de medida que en este caso es el metro. Este es quizá el origen de los sistemas de medida, que en muchos casos se utilizan de manera mecánica sin un análisis profundo de su origen o de su razón de ser en los contextos científicos.

### **La clasificación de los conceptos científicos y los conceptos asociados a las disoluciones**

Las disoluciones como campo particular de la Química, permiten observar la presencia de los tres tipos de conceptos anteriores; en realidad la clasificación anterior, sin que implique un proceso lineal, se constituye en el fundamento para la organización de los conceptos asociados con las disoluciones y por tanto para la elaboración de unidades escritas orientadas a la enseñanza de estos conceptos.

Como se puede observar en la figura 1, que representa la estructura conceptual básica para la elaboración de una primera unidad escrita de actividades, en su mayoría se trata de nociones clasificatorias; así, nociones como: sustancia, sustancia elemental, sustancia compuesta, mezcla, mezcla heterogénea, mezcla homogénea y otros adicionales entre los que se encuentran cambio físico, cambio químico, soluto y solvente, no necesariamente presentes en el diagrama, pero que forman parte de esta unidad, no presentan la suficiente especificidad como para ubicar ejemplos particulares de los mismos. Sin embargo, y con miras a que el estudiante pueda ir construyendo su dominio conceptual alrededor de las disoluciones y sus conceptos asociados, es necesario que él asigne a cada uno de ellos el significado que tiene en el campo científico.

La enseñanza de estos conceptos puede llevarse a cabo mediante estrategias didácticas sencillas orientadas a desarrollar en los estudiantes los esquemas de conocimiento necesarios para asignarles significado y para encaminarlos por un proceso de enriquecimiento y diferenciación cada vez mayor.

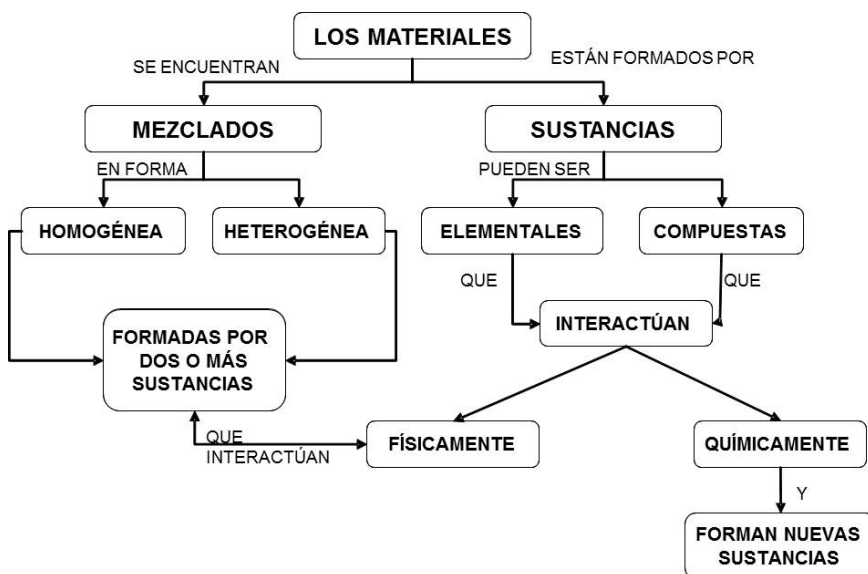
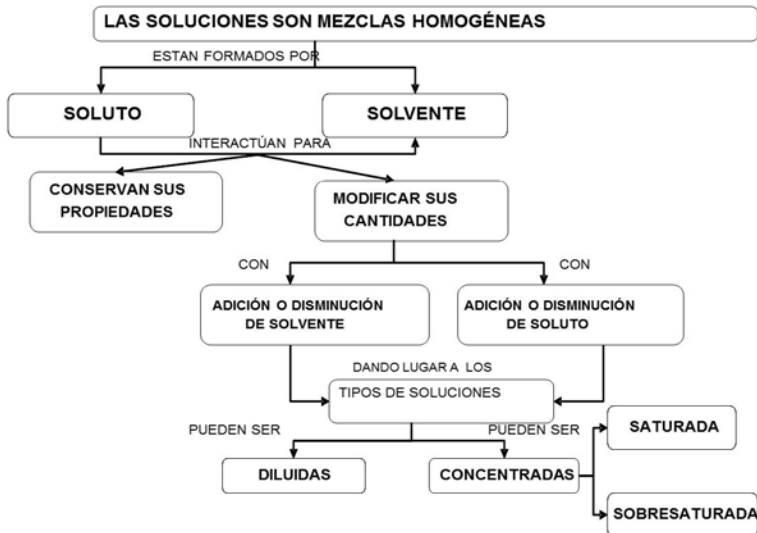


Figura 1. Algunos conceptos clasificatorios asociados a las disoluciones

De manera similar, en la figura 2 se muestran los conceptos asociados con las disoluciones que forman la base para la elaboración de una segunda unidad escrita. El diagrama permite observar algunos conceptos que en concordancia con los tipos de clasificación anterior, corresponden a la categoría de conceptos comparativos, es el caso de las soluciones concentradas y diluidas, soluciones insaturadas, saturadas y sobresaturadas.

En este caso, para afirmar que una solución es diluida o concentrada se requiere un punto de comparación, otra solución o patrón de comparación o una cantidad dada de soluto en una cantidad constante de solvente.



**Figura 2.** Algunos conceptos comparativos asociados a las disoluciones

Desde el punto de vista del aprendizaje de estos conceptos, es preciso resaltar que se requiere, por parte del alumno, haber logrado previamente la asignación de un significado particular y específico a términos como: soluto, solvente, solución, cambio físico, propiedades físicas e incluso concentración desde el punto de vista cualitativo. Es decir, es necesario haber alcanzado con anterioridad, para los conceptos asociados con las disoluciones y ubicados en la categoría de clasificatorios, el más alto grado de significación posible para ellos. Para llegar a este punto de

diferenciación, entendida en los términos establecidos anteriormente, en la mente del estudiante se ha debido producir un proceso de enriquecimiento de significado paulatino, ayudado por las estrategias didácticas incluidas para este propósito en la unidad escrita como base para su estudio. Sin embargo, este no es un proceso lineal, es decir, no es prerequisite primero adquirir y dar significado a los conceptos clasificatorios, luego a los comparativos y finalmente a los métricos y que, en la segunda unidad escrita también existen conceptos clasificatorios. Es el caso del soluto y del solvente, por ejemplo.

En la figura 3 se representa un paso más en la clasificación de los conceptos asociados con las disoluciones, en la cual aparecen conceptos que pueden ubicarse en la tercera categoría propuesta por Mosterin (1978). Son conceptos métricos o cuantitativos que incluyen las formas como la comunidad química expresa cuánto más concentrada es una solución en comparación con otra y cuánto soluto hay en una determinada cantidad de solución. En esta tercera unidad de actividades se incluye lo relacionado con las unidades físicas y químicas de concentración, esto es, la expresión de la concentración de las soluciones en términos de porcentaje o la proporción de la cantidad de soluto presente en determinada cantidad de solvente y su descripción con conceptos como Molaridad, Normalidad y Fracción Molar.

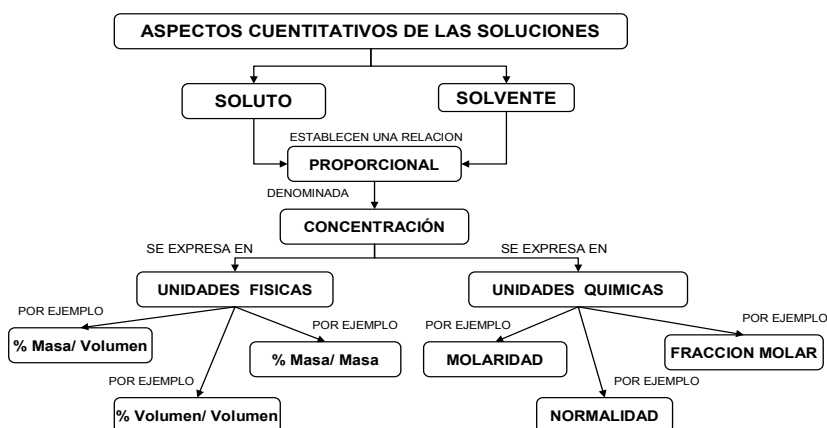


Figura 3. Algunos conceptos métricos asociados con las soluciones

A nivel de aprendizaje de estos conceptos, se presupone la asignación de significados claros y discriminados por parte de los estudiantes a los dos tipos de conceptos descritos con anterioridad, esto es, a los conceptos clasificatorios y a los conceptos comparativos asociados con las disoluciones.

En términos generales, es lógico pensar que para el caso de las soluciones y muy seguramente para el caso de otros temas semejantes a este y también pertenecientes al campo de la química, su aprendizaje implica, por parte del estudiante, un proceso de enriquecimiento y diferenciación conceptual mediante el cual se apropie significativamente de ellos; es decir, un proceso mediante el cual paulatinamente vaya asignando de manera individual y consciente los significados propios de estos conceptos. Esta asignación paulatina de significados conduce al desarrollo de una capacidad para operar con ellos tanto de manera formal, dentro del campo de la química, como en otros contextos fuera de ella.

Lo anterior significa que cuando un alumno ha logrado integrar un contenido académico a sus esquemas previos de conocimiento, en ese momento será capaz de hacer transferencias con lo aprendido, usándolo para resolver al menos tareas sencillas ya sea en el campo de la química o fuera de ella (Marín, 1997). Sin esta adecuada integración del contenido a uno o varios de sus esquemas de conocimiento, no es posible que los estudiantes logren usar y aplicar dichos conceptos cuando tienen que enfrentarse a tareas o problemas relacionados con las disoluciones en los cuales estén involucrados los conceptos cuantitativos. En la cotidianidad del aula de clase esto se puede observar cuando se enfrenta a los estudiantes a ejercicios de lápiz y papel en los cuales deben establecer la concentración de una solución dada de un ácido para la cual se indica su concentración en porcentaje por masa y el valor de su densidad. En otras palabras, cuando se enfrentan los problemas de lápiz y papel que usualmente forman parte del desarrollo de estos temas en el aula.

## **Los conceptos científicos y la enseñanza de las disoluciones**

Tradicionalmente la enseñanza de las ciencias, se ha caracterizado por aproximarse al aprendizaje de conceptos desde una visión externa al sujeto. Así, la enseñanza de las ciencias fundamentada en el método científico y los modelos basados en la analogía “*el alumno como científico*”, AcC, han sido las aproximaciones más predominantes, por lo menos en los últimos treinta años (Marín y Cárdenas, 2011; Marín, *et. al.*, 2011).

Específicamente, con fundamento en la analogía del alumno como científico, se han desarrollado por lo menos tres modelos: el movimiento de concepciones alternativas, el modelo del cambio conceptual y el enseñanza por investigación (Marín y Cárdenas, 2011).

Si bien es cierto, los modelos de enseñanza AcC han gozado de un amplio consenso en la comunidad de didáctica de las ciencias y han inspirado la realización de muchas investigaciones en el aula, trabajos mas recientes han demostrado la necesidad de complementar los logros y los alcances de estos modelos con un mayor grado de conocimiento de las estructuras psicológicas del estudiante y en particular de los procedimientos mediante los cuales los seres humanos construyen y producen su propio conocimiento (Marín, *et al.*, 2001).

En el contexto anterior, la mera transposición y uso de los procedimientos propios de la construcción de conocimientos en ciencias a su didáctica, es una condición necesaria pero no suficiente para lograr una enseñanza efectiva.

En efecto, desde la psicología también se han realizado propuestas de modelos para la enseñanza de las ciencias y por tanto extensibles a la enseñanza de las disoluciones. Los modelos provenientes de la psicología consideran importante la naturaleza cognitiva del sujeto, en este sentido son aportes dignos de mencionar, a manera de ejemplo, la teoría del aprendizaje significativo (Ausubel, 1976) y el desarrollo evolutivo del ser humano (Piaget, 1978).

Centrando la atención en el plano de la enseñanza de las ciencias, y por tanto de las soluciones, es posible pensar que a pesar de la poca importancia dada hasta ahora a los modelos sobre la cognición y el aprendizaje del alumno, estos últimos sean también parcialmente válidos para hacer diversos diseños de estrategias para su enseñanza.

En efecto, los diseños realizados bajo la analogía AcC se pueden complementar considerando aspectos específicos de la construcción cognitiva individual, que no pueden ser considerados o contemplados en los modelos de construcción social del conocimiento tales como: la construcción de significados por el sujeto, el conocimiento implícito y su toma de conciencia, los diversos procesos y niveles de abstracción cognitiva o la naturaleza del conocimiento procedimental (Marín, 2003).

Desde este punto de vista son necesarios esfuerzos para proponer alternativas que permitan coordinar y complementar las orientaciones didácticas fundamentadas en la construcción del conocimiento de ciencias con las del alumno (Marín y Cárdenas, 2011).

La teoría del procesamiento de información, que ha sido ampliamente utilizada para explicar algunas de las dificultades de aprendizaje en Química (Johnstone y EL-Banna, 1986; Johnstone, 1974; Johnstone, 1984; Johnstone y Wham, 1982; Johnstone y Kellet, 1980; Johnstone, 2006; Cárdenas, 2007) fundamentalmente proponen el funcionamiento de la mente humana con base en su capacidad para procesar información. Sin embargo, al considerar como base del procesamiento una unidad de información, parece centrarse en el tratamiento de los símbolos antes que en el tratamiento de los significados como proceso interno e individual.

Esta aproximación podría explicar, en el caso del aprendizaje de las soluciones, el hecho de que muchos estudiantes “saben” o “recitan” el concepto de solución u otros asociados con este tema, pero no llegan a ser capaces de operar con ellos; por ejemplo, no llegan a aplicar el concepto de solución en el contexto de las diluciones o en el contexto de su preparación a partir de un soluto y de un solvente dado. Quizá



esto sea debido a que la enseñanza se ha realizado de tal manera que el estudiante, ha orientado el aprendizaje más a la parte simbólica y nemotécnica antes que al desarrollo de técnicas y procedimientos de asignación de significados a los mismos. Sus esfuerzos se han orientado más a la manipulación mecánica de símbolos que en la construcción cognitiva de significados.

De esta manera, es lógico pensar que mientras un estudiante no construya las estructuras básicas para poder llenar de significado a los símbolos, no sabrá operar con ellos de un modo significativo; esto es, no puede hacer uso significativo de los mismos en diferentes contextos incluyendo el propio donde se han generado o a donde han llegado los mismos. Por ejemplo, si un estudiante no ha logrado asignar el significado propio al término solución, en el contexto de la química, difícilmente podrá llegar a diferenciar una solución sobresaturada de una solución saturada<sup>1</sup>.

Una estrategia didáctica para la enseñanza de los conceptos asociados a las disoluciones podría plantearse con dos orientaciones: la primera, encaminada a lograr que el estudiante dote de significado cada vez más claro y definido a los símbolos o expresiones simbólicas asociadas a las soluciones; y la segunda: orientada a su operación y uso para la resolución de tareas o situaciones problemáticas; estas dos orientaciones sirven de base para la elaboración de las unidades escritas de enseñanza del tema de las disoluciones.

Con miras a desarrollar una propuesta didáctica haciendo uso de las dos orientaciones descritas anteriormente, la dotación de significados claros y definidos para los símbolos y las expresiones simbólicas y su operación y uso, esta vez para la enseñanza de las soluciones, se han propuesto tres unidades escritas de enseñanza las cuales contienen actividades que propenden por el desarrollo de la capacidad de los estudiantes para

<sup>1</sup> Es común entre los estudiantes e incluso muchos docentes, considerar que una solución es sobresaturada simplemente porque a la vista presenta en el fondo del recipiente soluto sin disolver; así esta situación se presenta por falta de agitación de la mezcla. En estas condiciones lo que parece suceder es que el sujeto no ha llegado al nivel de enriquecimiento del significado que requiere el concepto de solución para hacer la respectiva diferenciación, ante una diversidad de contextos.

asignar significados a los conceptos, enriquecerlos paulatinamente hasta lograr un alto grado de diferenciación y luego llevar a cabo procesos de transferencia y aplicación básicamente para los conceptos clasificatorios y comparativos.

También se han propuesto actividades para desarrollar en los estudiantes la capacidad para hacer transferencia y uso de estos dos tipos de conceptos en contextos en los cuales deben operar con conceptos métricos o cuantitativos. En la primera unidad se incluye un mayor número de actividades tendientes al desarrollo de la capacidad para asignar significados, comparado con las actividades orientadas al desarrollo de la capacidad para diferenciar conceptos y operar con ellos; es decir, el énfasis en la primera unidad de enseñanza se ubica en la orientación de los estudiantes para que logren darle significado a los conocimientos declarativos de las disoluciones o sea a los contenidos asociados con ellas.

En la segunda unidad se disminuyen las actividades orientadas al desarrollo de la capacidad para asignar significados, se acentúan aquellas conducentes a lograr la diferenciación y se incrementan las correspondientes a los procesos de operación y uso; el énfasis en esta segunda unidad está orientado a lograr la distinción y diferenciación de los conceptos asociados a las disoluciones en diferentes contextos mediante ejercicios de aplicación y de reconocimiento de los mismos.

En la tercera unidad escrita, se resta importancia a los dos primeros tipos de actividades y se priorizan aquellas tendientes a lograr el desarrollo de la capacidad de los estudiantes para hacer transferencias, aplicaciones y operaciones con los conceptos clasificatorios y comparativos trabajando con los conceptos métricos o cuantitativos de las soluciones; el énfasis se ubica entonces, hacia la aplicación, uso y transferencia de los conceptos asociados a las disoluciones en contextos propios de la química y fuera de ella.

## **Los tipos de conceptos y la demanda de las tareas**

Se ha dicho que la teoría del procesamiento de información parece centrarse en los aspectos externos a la enseñanza de las soluciones dado que se fundamenta en el procesamiento de unidades de información, es decir, en los símbolos y los términos empleados en el lenguaje de la química, con prioridad a los aspectos internos del sujeto que corresponden a la asignación de significados; en este sentido es claro que los símbolos y los términos asociados a las soluciones son externos al estudiante, son significantes sin significado y que es el estudiante quien decidida y voluntariamente le asigna significados a dichos significantes, es el estudiante quien debe *“hacer el esfuerzo por el significado”*.

Por otra parte, el concepto de demanda de una tarea, de conformidad con la teoría del procesamiento de información, está altamente relacionado con la cantidad de unidades de información que un sujeto debe retener y operar en su memoria de trabajo de manera simultánea, cuando resuelve un problema o desarrolla una tarea. En efecto, la demanda de una tarea esta dada por el número de pasos o esquemas de pensamiento que un sujeto debe retener y procesar para resolverla adecuadamente (Johstone y El-Banna, 1986; Case, 1974; Cárdenas, 2002; Cárdenas y González, 2006).

Puesto que este número de pasos o esquemas depende de cada individuo y el contenido de la química sobre el cual el sujeto estructura ese número de pasos es externo a él, en un momento dado, cuando un estudiante se enfrenta a una tarea, en su mente confluyen aspectos externos e internos del sujeto; los primeros relacionados con la naturaleza propia de la química y los segundos, propios de la forma personal como cada individuo construye conocimiento o procesa información; es de anotar además que estos aspectos internos dependerán del repertorio de esquemas que se activan ante el contexto del problema, así como de las capacidades del sujeto para procesar toda la información de la tarea.

Una aproximación para relacionar el concepto de demanda de la tarea con los tipos de conceptos descritos anteriormente alrededor de

las soluciones, mediada por las tres unidades de enseñanza propuestas puede describirse en los siguientes términos:

- Un concepto clasificatorio, como es el caso de mezcla, si el estudiante en su mente no le asigna ningún significado se convierte simplemente en una unidad de información, capaz incluso de bloquear la posibilidad de que el estudiante logre elaborar cualquier tipo de procesamiento u operación con ella. Esto podría explicar por qué muchos alumnos recuerdan el término mezcla, incluso lo describen, pero cuando se les solicita su significado no lo tienen, no lo escriben o escriben significados equívocos. Podría pensarse que en este caso el concepto no ha adquirido en la mente del estudiante un significado, o mejor que el estudiante aún no le ha dado ningún significado a ese significante, o le ha dado un significado parcial, o que no corresponde.
- En otro nivel de análisis, un poco más complejo que el anterior, podría pensarse que el estudiante no tiene éxito en identificar una mezcla en medio de otras entidades químicas como por ejemplo, entre un recipiente que contiene agua y sal, el sólo líquido o la sola sal. En este caso se podría decir que el concepto de mezcla en la mente del estudiante no está totalmente diferenciado o que dicha diferenciación está presente en un grado muy bajo.
- Extrapolando el análisis anterior a una situación más compleja todavía, como el caso de establecer la proporción de soluto y de solvente en una solución, si el estudiante no tiene bien diferenciados los conceptos de soluto y de solvente será muy difícil que pueda establecer dicha proporcionalidad.

Con base en el análisis anterior, es posible postular, a manera de hipótesis, que la demanda de una tarea está afectada por el grado de significación y diferenciación que cada estudiante le asigne a los conceptos, en este caso asociados con las disoluciones; en otros términos, se puede postular que la demanda de una tarea se logra disminuir en la medida que los estudiantes asignen significados a los conceptos, los enriquezcan y los llevan a un alto grado de diferenciación; es decir, la aplicación en una diversidad de situaciones progresivamente va automatizando esa

posibilidad uso y aplicación de conceptos para finalmente garantizar su operatividad cuando se tenga que coordinar con otros esquemas y con los datos que el individuo percibe de la tarea.

En el contexto propiamente dicho de la teoría del procesamiento de información, lo expuesto anteriormente podría considerarse como un paso anterior al procesamiento de la información, la demanda de una tarea disminuye cuando previo al procesamiento de la información el sujeto ha logrado un alto nivel de significación y discriminación para las unidades respectivas. No basta con desglosar la tarea en unidades más pequeñas para lograr el éxito en la resolución es preciso que cada una de ellas esté dotada de significado por el sujeto.

Desde el punto de vista didáctico, se pretende lograr este proceso de establecimiento de significados y de diferenciación conceptual, a partir de las unidades de enseñanza mediante lecturas, clases magistrales, discusión de los contenidos entre el docente y los estudiantes, explicaciones particulares del docente y con algunas experiencias sencillas de laboratorio; la diferenciación conceptual se pretende lograr mediante el desarrollo de actividades en clase, extraclase y mediante la elaboración de ejercicios escritos a manera de evaluaciones así como también con el diálogo permanente del docente con los estudiantes.

En esta fase de desarrollo de las unidades de enseñanza es importante aplicar actividades, cualitativas y cuantitativas, de variación de factores tanto relevantes como irrelevantes que intervienen en cada situación problemática; lo anterior con el fin de lograr que el concepto en la mente del estudiante tenga mas significado y por tanto se haga potencialmente mas útil y por lo mismo más operativo.

Así mismo, la capacidad de operar con estos conceptos se pretende lograr enfrentando a los estudiantes al desarrollo de problemas cuantitativos y cualitativos de alta demanda. En buena medida esta fase se fundamenta en estrategias deducidas de la teoría del procesamiento de información; en este sentido, como unidad de información se tomaría, no solo el significante

o los significantes asociados al concepto sino también todo su significado; puede pensarse entonces que, la unidad de información sea el significado que el sujeto le ha atribuido dentro del contexto de los conceptos asociados a las soluciones. Si se acepta esto, entonces por vía de hipótesis puede plantearse que el enriquecimiento conceptual, obtenido por el estudiante a través de cada una de las unidades de enseñanza, y posteriormente refinado en la interpretación de las tareas de diferente demanda, en cuyo contexto se hace uso de estos conceptos ya con significado para cada individuo y altamente diferenciados, se constituiría en un mecanismo para disminuir la demanda de una tarea.

Es pertinente destacar una vez más, que sin el significado apropiado para un concepto dado, el alumno no puede hacer aplicaciones, con lo cual se supone un orden entre la asignación de significado a un símbolo o expresión simbólica y su aplicación, dicho de otro modo, la adquisición del significado de un concepto es prerequisite para su aplicación en diversos contextos dentro de las soluciones o fuera de ellas, como ya se ha mencionado.

Así, en el contexto anterior, sería equívoco desde el punto de vista didáctico utilizar las estrategias del procesamiento de información para la enseñanza de conceptos simples, que como se ha dicho requieren estrategias didácticas particulares para la adquisición del significado; así mismo, sería inapropiado enseñar a resolver problemas de alta demanda a partir de las estrategias didácticas empleadas para la enseñanza de significados. En el primer caso, podría estarse utilizando una estrategia demasiado compleja para un aprendizaje sencillo, mientras que en el segundo caso se estaría utilizando una estrategia muy sencilla para resolver un problema complejo.

## **CONCLUSIONES**

Si bien la asignación de significados y los procesos de diferenciación son prerequisite para la transferencia y aplicación y, en general, para operar con los conceptos científicos, las actividades involucradas en las unidades de enseñanza conducentes a estos procesos no necesariamente son

lineales o prerrequisitos las unas de las otras; lo anterior en razón de que no es clara la relación que pueda existir entre las estrategias planteadas por el docente, que son una dimensión externa al sujeto que aprende, y los procesos internos que lleva a cabo cada sujeto en la mente para construir su propio conocimiento. Esta es una limitación inherente a todo razonamiento en el análisis de los procesos de enseñanza y aprendizaje y por tanto de toda investigación en este contexto.

Por otra parte y a pesar de la clara diferenciación que se hace en la clasificación de conceptos científicos, propuesta por Mosterín (1978), su aplicación directa al campo del aprendizaje de las ciencias presenta algún grado de incertidumbre. Es posible que sobre un determinado campo del saber o una parte de él, como en el caso de las disoluciones, sea posible marcar diferencias claras y por tanto agrupar los conceptos con cierta seguridad dentro de algunos límites que los caracteriza. Sin embargo, este no es el caso cuando se hace referencia al proceso de aprendizaje de cada uno de ellos, es muy difícil, si no imposible, establecer diferencias claras y límites exactos entre el aprendizaje de los conceptos clasificatorios, los conceptos comparativos y los conceptos métricos; no es fácil decir hasta donde y en que momento un estudiante ha terminado el proceso de asignación de significados y ha comenzado el proceso de diferenciación o de transferencia y operación sobre un determinado concepto, puesto que se trata de procesos muy particulares y propios de cada persona.

## **REFERENCIAS**

- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología Cognitiva: Un punto de vista cognoscitivo*. Buenos Aires: Editorial Trillas
- Bandura, A. (1986). *Social Foundations of thought and action: a social cognitive theory: Englewood cliffs*. New Jersey: Prentice Hall
- Cachapuz, A. F., López, B., Paixão, F., Praia, J. F. y Guerra, C. (2004). *Proceedings of the international seminar on "The state of the art in science education research"*. Portugal: Universidad de Aveiro
- Cárdenas S, F. A. (2002). *Dificultades de aprendizaje en química: Caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas*. Informe de

- Investigación no publicado. Centro de investigaciones, Universidad de la Salle. Bogotá
- Cárdenas S. F. A. (2007) Dificultades de Aprendizaje en Química: Caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. *Ciencia & Educação*, 12(3), 333-346
- Cárdenas S. F. A. y González, M. F. (2006). Dificultades de aprendizaje en química: Caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas Ampliación y Continuación. Informe de Investigación no publicado. Centro de investigaciones. Universidad de la Salle. Bogotá
- Cárdenas S. F.A., Rodríguez B. C.y Vera J.M.A. (2003). Los test de asociación y el establecimiento de relaciones entre conceptos químicos. *TEA, Tecne, Episteme y Didaxis. Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica Nacional.*, 14, 57-71
- Cárdenas, S. F.A. y Montealegre R. (2001) Miniproyectos como apoyo a la enseñanza de la Química a nivel Universitario. *Journal of Science Education* 2 (2), 101-102
- Case (1974). Validation of a neo-piagetian capacity construct. *Journal of Experimental child Psychology*, 14, 287-302
- Erazo P, M. A. y TIUSABA B, E. (1995). Hacia una enseñanza de las ciencias por investigación. *Educación y cultura. FECODE*. 38, 37-44
- Gallego B. R. y Pérez M. R. (1997) La Enseñanza de las ciencias experimentales. Bogotá: Mesa Redonda
- Johnstone, A.H. (1991) ¿Why is Science difficult to Learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer assisted Instruction*, 7, 75-83
- Johnstone, H. A. (1974). Evaluation of Chemistry syllabuses in Scotland. *Studies in Science Education*, 1, 21-49
- Johnstone, H. A. (2006). Chemical Education Research in Glasgow in Perspective. *Chemistry Education Research in Practice*.7 (2), 49-63
- Johnstone, H. A. and Kellet, M. C. (1980). Learning Difficulties in School Science. Towards a Working Hypothesis. *European Journal of Science Education* 2(2), 175-181
- Johnstone, H. A. and Wham, B. J. (1982). The Demands of Practical Work. *Education in Chemistry*. 19(3), p. 71-73
- Johnstone, H. A. (1984). New Stars for the Teacher to Steer by? *Journal of Chemical Education* 65(10), p. 847-849



- Johstone, A. y El-Banna H. (1986). Capacities, demands and processes – a predictive model for science education. *Education in chemistry*. 23 (3), 80-84
- Marín, M. N. (1997). *Fundamentos de Didáctica de las ciencias experimentales*. Almería: Servicio de publicaciones Universidad de Almería
- Marín, M. N. y Cárdenas S. F. A. (2011) Valoración de los modelos más usados en la enseñanza de las ciencias basados en la analogía “el alumno como científico”. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y Experiencias Didácticas*. 29(1), p. 35-44
- Marín M. N., Cárdenas S. F. A. y Zapata C. P. N. (en prensa). Tratamiento Asimétrico de los conocimientos de ciencias y alumno en la didáctica de las ciencias. Bogotá, 2011
- Marín, N. (2003). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 65-78
- Mayer, E. R. (2002). *Psicología de la Educación. El aprendizaje en las áreas del conocimiento*. España: Prentice Hall
- Moreira, M. A. (2005) *Aprendizaje Significativo Crítico*. Porto alegre- Brasil: Impressos Portao Ltda
- Mosterin, J. (1978). La estructura de los conceptos científicos. *Investigación y Ciencia*. 16. 80-93
- Novak, J. D. (2003). A Preliminary Statement on Research in Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*. 40, Supplement, S1 – S7
- Piaget, J. (1977) *Epistemología*. Buenos Aires: Solpin
- Piaget, J. (1978) *La representación del mundo en el niño*. Madrid: Morata
- Pourtois, J. P y Desmet, H. (2008) *La Educación Implícita. Socialización e individualización*. Francia: Editorial Laboratorio Educativo
- Shayer M. Adey H. (1987) *Towards a Science of Science teaching. Educational Books*. London: Heine-Man
- Umbarila C. X. (2003). Enseñanza y Aprendizaje por Investigación: Una aplicación de los programas guía de actividades para la composición y propiedades de la materia. Tesis de maestría no publicada. Departamento de química. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá