

## CARACTERÍSTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN Y RODAJE DE LOS MODELOS MENTALES GENERADOS SOBRE LAS DISOLUCIONES

Nora Nappa<sup>(1)</sup>, María José Insausti<sup>(2)</sup>, Agustín Francisco Sigüenza<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto de Física y Química – Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

[jferrero@unsj.edu.ar](mailto:jferrero@unsj.edu.ar)

<sup>(2)</sup> Dpto Química Física. Universidad de Valladolid. España

[insausti@qf.uva.es](mailto:insausti@qf.uva.es)

<sup>(3)</sup> Dirección Provincial de Educación y Ciencia. Valladolid. España

[sgmolag@jcyl.es](mailto:sgmolag@jcyl.es)

[Recibido en Mayo de 2005, aceptado en Agosto de 2005]

### RESUMEN <sup>(Inglés)</sup>

*En este trabajo se exponen las principales características que poseen la construcción y el rodaje de los modelos mentales generados por los estudiantes sobre la disolución. Se piensa que puede constituir una base para profundizar en el conocimiento sobre los mecanismos que se ponen juego en la generación de los modelos mentales.*

**Palabras claves:** Modelos mentales, disolución, aprendizaje de química.

### INTRODUCCIÓN

Estudios realizados en la década del 90 y primeros años de este siglo, ponen de relevancia el hecho que las personas captan y comprenden el mundo que los rodea sobre la base de la construcción de modelos mentales. Las teorías de los modelos mentales generan un campo de investigación en educación que intenta aportar mayor conocimiento a los problemas de aprendizaje y comprensión que los obtenidos hasta ahora con los estudios sobre concepciones alternativas o cambio conceptual. Esto se debe a que los datos obtenidos indican la manera en que las personas construyen las representaciones sobre determinados fenómenos, ofreciendo una mejor información acerca de los aprendizajes realizados por los estudiantes.

El concepto de modelos mentales ha sido abordado por diferentes autores desde la psicología cognitiva (Johnson-Laird, 1983, 1990, 1994, de Kleer y Brown, 1983, Norman 1983, Eisenck y Kaene, citado en Moreira, 1996) y aplicado por muchos otros en trabajos tendentes a comprender mejor la manera en que los alumnos aprenden las ciencias y las implicancias pedagógicas de la formación de los modelos mentales (Rodríguez Palmero y Moreira, 1999; Greca y Moreira, 1996a; Greca y Moreira, 1996b;

Greca y Moreira, 1998; Moreira y Greca, 1998; Tignanelli, 1998 y Greca y Herscovitz, 2002). Un concepto relacionado al de modelos mentales es el de esquemas que son estructuras de datos para representar los conceptos genéricos almacenados en la memoria (Domínguez Castiñeiras, et al, 2003).

En cuanto a los aspectos teóricos, se puede decir que las personas interactúan con el mundo formándose modelos mentales de él a partir del procesamiento de la información que disponen; estos modelos fueron propuestos originalmente por Craik (1943, citado en Johnson-Laird 1983) como bases programáticas del pensamiento. Esto constituye el principio básico de la psicología cognitiva que considera la mente como un sistema procesador de la información.

La teoría de Johnson-Laird se basa en la premisa que postula la mente como un sistema simbólico que puede construir símbolos y manipularlos dentro de varios procesos cognitivos (Johnson-Laird, 1990). Estos procesos son los responsables de generar modelos de trabajo con suficiente poder explicativo y predictivo tal que permitan comprender un determinado fenómeno.

Los modelos de trabajo generados para interactuar con el mundo no son totalmente certeros ni correspondientes con aquello que representan; son incompletos y más simples que las entidades a las que alude. Estas características tienen su fundamento en algunos de los principios postulados por Johnson-Laird (1983), por ejemplo, el principio de finitud que establece que los modelos mentales son finitos en tamaño y no pueden representar un dominio infinito, o el principio de economía que expresa que un único modelo mental puede representar un número infinito de estado de cosas.

En lo referido a los trabajos de aplicación de la teoría de modelos mentales, la mayor parte de los trabajos publicados apuntan a determinar el tipo de modelos mentales que generan las personas sobre algún concepto en particular.

Un ejemplo lo constituye el trabajo de Gangoso y Buteler (1998) en el que se caracterizaron los modelos mentales sobre tres situaciones físicas sencillas.

Por su parte Vosniadou (1994) define modelo mental como "representaciones dinámicas generativas que pueden ser manipuladas mentalmente para proveer explicaciones causales de fenómenos físicos y hacer previsiones sobre estado de cosas del mundo físico". Usando esta definición determinó los modelos mentales de los alumnos sobre conceptos tales como tierra, fuerza, calor, día y noche.

Greca y Moreira (1996a y 1996b) trabajaron sobre los conceptos de campo electromagnético, electricidad y magnetismo.

Trabajos sobre los modelos mentales de la célula y su funcionamiento y sobre genética han sido llevados a cabo por Rodríguez Palmero y Moreira (1999) y Sigüenza Molina (2000) respectivamente.

Otros temas pertenecientes a la mecánica clásica fueron abordados por Moreira y Greca (1998) y el sistema Tierra-Sol-Luna por Tignanelli (1998).

Recientemente Greca y Herscovitz (2002) han abordado los modelos mentales sobre temas referidos a la mecánica cuántica, caracterizando los núcleos de dichos modelos en 4 categorías diferentes.

Estudios sobre niveles de representaciones mentales de los fenómenos naturales (Galagovsky, et al. 2003) permitieron clasificar los modelos sobre la concepción de materia en los niveles macroscópico, semiparticulado y submicroscópico.

La importante cantidad de trabajos sobre modelos mentales de estudiantes, pone de manifiesto que esta temática se presenta hoy en día como prioritaria en la enseñanza de las ciencias. Conocer las representaciones mentales logradas por los alumnos es tan importante como comprender los mecanismos mediante los cuales se generan y las características que éstos poseen, por lo cual nos propusimos como objetivo de este trabajo, determinar la existencia de modelos mentales sobre las disoluciones para luego caracterizar el modo de generación y rodaje de los mismos.

## METODOLOGÍA

Bajo la premisa que los modelos mentales son representaciones internas (Moreira, 1996) que los sujetos construyen para representar la realidad, surge la imposibilidad de conocerlos directamente. Por tal motivo el estudio de los modelos mentales debe encararse desde un punto de vista cualitativo, utilizando un instrumento que sea capaz de ofrecer datos a partir de las predicciones y explicaciones (pictóricas o verbales) de los alumnos y que permita interpretar el modelo mental del alumno.

El instrumento utilizado para la obtención de datos fue una entrevista teachback (Gutiérrez, 1994), basada en la teoría conversacional de Pask (1975). El espíritu de la entrevista es tratar que el alumno, considerado como experto en un determinado dominio o saber público que ha sido especificado, enseñe al entrevistador de todas las formas posibles lo que sabe respecto del dominio. El entrevistador traduce los dichos o explicaciones del alumno a fin de consensuar significados. Si el alumno no acuerda con el entrevistador, éste pide una nueva explicación y la traduce nuevamente, si el estudiante acuerda con el entrevistador, se ha llegado a un consenso y la entrevista puede avanzar a otro ítem.

En este caso el estudio se realizó con 32 alumnos pertenecientes a dos cursos de 5º año de la educación secundaria, en la provincia de San Juan, Argentina.

El criterio para la elección de los alumnos fue el rendimiento académico en la asignatura Química Orgánica, eligiéndose los ocho alumnos con mejor rendimiento y los ocho alumnos con más bajo rendimiento académico de cada uno de los cursos.

Los temas sobre los cuales se entrevistó a los estudiantes estaban relacionados con la solubilidad de distintas sustancias. La solubilidad ha sido estudiada en cursos anteriores y aplicada en numerosas ocasiones, tanto en teoría como en clases prácticas de aula y laboratorio. La entrevista teachback estuvo mediada por 4 experiencias.

### *Experiencia 1. Disolución de sulfato cúprico en agua:*

Está dirigida a conocer si el alumno considera las soluciones como sistemas materiales; así deberían surgir conceptos tales como sistema heterogéneo, eventualmente inhomogéneo, homogéneo, fases, solución. En esta experiencia no aparece todavía, ninguna pregunta que haga alusión a la polaridad de soluto o del disolvente ya que esto

introduciría un grado más de complejidad en la tarea y ese aumento de complejidad se reserva para la experiencia 2.

*Experiencia 2. Mezcla de n-hexano y agua:*

En este experimento se trabaja con un líquido no polar y otro polar. Al no solubilizarse el n-hexano, se forma un sistema heterogéneo de manera que el alumno puede dar explicaciones en el ámbito de lo macroscópico (como sistema material y tal vez con la concepción de materia continua) o de lo microscópico, pudiendo explicitar lo que observa en términos de concepción corpuscular de la materia y relacionar lo observado con la polaridad de los compuestos en cuestión.

*Experiencia 3. Disolución de alcohol y n-hexano:*

Si bien se trata de un líquido polar y otro no-polar, ambos son solubles. Debido a la distinta polaridad puede surgir el concepto o regla de "lo polar disuelve lo polar" y por ende "lo polar (alcohol) no se disuelve en lo no polar (n-hexano). Al obtener una solución, y como en este caso la regla no se cumple, el alumno debe buscar otra explicación y se puede estudiar si posee el conocimiento de otros factores que justifiquen la solubilidad del alcohol en n-hexano.

*Experiencia 4. Disolución de sacarina en agua y en n-hexano:*

En este caso la situación problemática se complica debido a que el soluto estudiado (sacarina) se solubiliza tanto en un solvente polar (agua) como en uno no polar (n-hexano); esto permite observar qué conocimientos pueden activar los alumnos para explicar estos fenómenos y de qué manera pueden relacionar la polaridad con la solubilidad de los compuestos.

## **REALIZACIÓN DE LAS ENTREVISTAS**

Se comienza la entrevista explicando al alumno el motivo por el cual se realiza la misma.

El entrevistador es una persona desconocida para los alumnos y deja claramente explicitado que los resultados de la entrevista serán usados para un trabajo de investigación y que no constituyen una evaluación para la cátedra de Química.

Igualmente se explica al alumno que se desea conocer de qué manera se le puede facilitar el aprendizaje, para lo cual es necesario obtener datos referidos a lo que él piensa y sabe en relación a algunos fenómenos, para lo cual se le harán algunas preguntas.

Todas las entrevistas fueron grabadas en cassettes de audio a la vez que se realizaron anotaciones de los principales aspectos enunciados, escritos y/o dibujados por los alumnos, en respuestas o explicaciones dadas a nuestros requerimientos. También fueron recopilados los dibujos, fórmulas, etc. realizados por cada estudiante durante la entrevista.

Si bien se estimó en un primer momento que las entrevistas podrían demandar entre 60 y 80 minutos, en la práctica este período se redujo en término medio a 50 minutos, y no superó en ningún caso los 60 minutos.

Con el análisis de las respuestas de los alumnos se pudo determinar ciertas características que posee la generación de las representaciones mentales.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al analizar los resultados obtenidos, se pudo observar que los modelos mentales generados por los estudiantes presentan ciertas características; las mismas fueron agrupadas por los investigadores, a posteriori, en:

- Economía en el número de elementos del modelo
- Distintos grados de abstracción
- Construcción a partir de ideas previas
- Modificación en el número de elementos del modelo
- Modificación en el modelo de trabajo
- Abandono de tareas

Las primeras tres características siempre se encuentran presentes en los modelos, mientras que las otras tres pueden o no estar.

A continuación se comentan las características de la generación y rodaje de los modelos generados.

### Economía en el número de elementos del modelo

Esta llamada economía se refiere a que los modelos están formados por elementos y sus relaciones; una de las características que encontramos en la generación de modelos mentales es que contienen el menor número de elementos posibles en tanto posean el suficiente poder explicativo como para ser operativos.

Esta característica se encontró en 29 de los 32 casos analizados, cifra que supera el 90 %.

Los estudiantes generan modelos mentales con el mínimo de elementos posibles; por ejemplo, para explicar la solubilidad del n-hexano en éter de petróleo una alumna indica que:

*"al colocar juntos el n-hexano y el éter de petróleo se formaría una sola fase, es un sistema homogéneo"*

Es decir, si debe dar una explicación sobre la solubilidad de una sustancia puede ser suficiente trabajar con los conceptos de fases o sistema homogéneo, sin tener en cuenta otros tales como polaridad de enlaces y distribución de cargas; por el contrario, el modelo de otros estudiantes puede contener los últimos conceptos pero prescinden de los primeros.

En una explicación vertida por una alumna sobre la solubilidad del sulfato cúprico en agua, se puede ver claramente que utiliza un único elemento que es la interacción entre moléculas. Las explicaciones pictóricas y verbales se muestran a continuación:



*"Una molécula empieza a atraer a otra y se van uniendo, por ejemplo tenemos acá el círculo grande representa el cobre,..., sulfato cúprico, lo introducimos en el agua y las moléculas de agua se empiezan a unir, rodeando la molécula de sulfato de cobre."*

El mismo elemento, es decir la interacción entre moléculas, es usado por esta alumna en otro ejemplo: el caso del agua y el n-hexano, donde ella indica:

*"Las moléculas de agua con las del hidrocarburo se van a repeler, no se solubilizan"*

Volviendo al ejemplo del sulfato cúprico en agua otro estudiante contesta las siguientes preguntas:

*Investigadora: ¿Qué sucederá al agregar agua al sulfato cúprico?*

*Alumno: Primero se encuentra en un estado sólido, cristalizado y supongo que si le agregamos agua se va a solubilizar.*

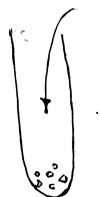
*Investigadora: ¿Podrías explicármelo?*

*Alumno: Se ha solubilizado los cristales en el solvente, que en este caso es agua, y se ha formado una solución de sulfato cúprico.*

*Investigadora: ¿Podrías hacer un esquema o un dibujo?*

*Alumno: Agregamos los cristales y luego agregamos el agua que en este caso es el solvente y hay una solubilidad entre el sulfato cúprico y el agua, al agregar agua los cristales se solubilizan.*

Y realiza el siguiente dibujo:



*Investigadora: Y luego, . . . ¿qué quedaría?*

*Alumno: Sería la solución que contiene agua y el sulfato cúprico disuelto.*

*Investigadora: ¿Podrías representarlo?*

*Alumno: Al colocar el sulfato de cobre en agua se empieza a subdividir en pequeñas partículas que son invisibles al ojo humano y quedan totalmente dispersas en el líquido.*

Tal como se puede ver en la explicación vertida por el alumno, si bien es bastante completa y correcta, utiliza unos pocos elementos; simplemente menciona que el sólido (sulfato cúprico) con el solvente (agua) se solubiliza y forma una solución. Estos elementos son: soluto, solvente, solubilización y solución.

Esta característica tiene su base en el marco teórico mismo que utilizamos para nuestro estudio, es decir la teoría de Johnson-Laird. Esto está en estrecha relación con uno de los supuestos básicos de la teoría de los modelos mentales, no hay modelos completos, los modelos deben ser funcionales y son contruidos sólo con los elementos que son significativos.

La economía cognitiva juega un papel determinante en la generación de modelos mentales. Si un modelo es útil para predecir o explicar un fenómeno, mientras más económico sea cognitivamente, será mejor. La demanda cognitiva de un modelo es menor cuando los elementos que lo conforman, aunque éstos sean complejos y abstractos, están bien integrados en la estructura de conocimiento del individuo, es decir, están firmemente aprendidos.

### **Distintos grados de abstracción**

Otra característica de la construcción de modelos mentales son los distintos grados de abstracción con los que un individuo puede representarse mentalmente un fenómeno; están relacionados con la complejidad o el grado de elaboración del modelo, por lo tanto esa visualización que se tenga del fenómeno caracteriza el modelo mental. Un modelo en el cual el grado de abstracción sea pequeño, es decir, que se desarrolle fundamentalmente en el plano de lo concreto, será un modelo sencillo, tal vez muy lejano a los modelos científicos y probablemente, poco predictivo.

Los mecanismos que se ponen en juego al interpretar un evento con diferentes grados de abstracción, se relacionan con el grado de significatividad que tal evento o fenómeno tenga para la persona y con el grado de análisis que sea capaz de realizar a fin de atomizar los elementos que forman el modelo.

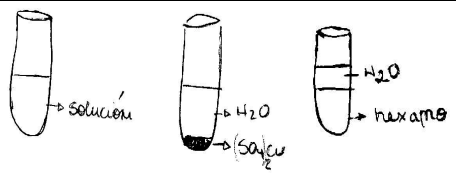
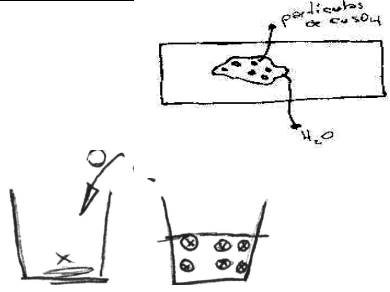
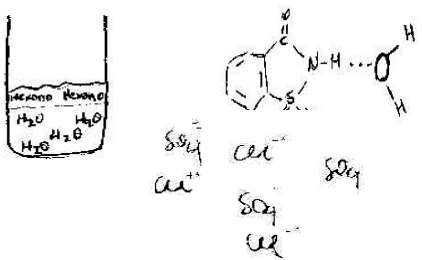
En nuestro estudio se encontraron diferentes grados de abstracción con que el estudiante puede explicar el fenómeno de solubilidad. Los mismos se mencionan a continuación y se ejemplifican en la Tabla 2:

- Grado de visualización macroscópico: considera elementos macroscópicos, es decir aquellos que puede observar visualmente, como por ejemplo fases, sólidos, soluciones.
- Grado de visualización particular: trabaja el concepto de partículas, muchas veces sin especificar de qué partículas se trata, otras, refiriéndose a cristales, trozos, gránulos, es decir, partículas que no se corresponden con la teoría corpuscular de la materia.
- Grado de visualización molecular: hace uso de conceptos relativos a la naturaleza corpuscular de la materia, tales como moléculas, átomos, iones.

La incidencia de cada una de los grados de visualización se muestra en la Tabla 1.

Grado de visualización macroscópico	38 %
Grado de visualización particular	31 %
Grado de visualización molecular	31 %

**Tabla 1.-** Incidencia de los grados de visualización.

Grado de visualización macroscópico	
Grado de visualización particular	
Grado de visualización molecular	

**Tabla 2.-** Ejemplos de diferentes grados de visualización.

### Construcción a partir de ideas previas

Los modelos mentales se construyen sobre la base de las ideas previas que las personas tienen sobre un determinado fenómeno. Estas ideas previas pueden ser el fruto de la interacción del individuo con el mundo natural y/o artificial o de la instrucción formal recibida en las aulas de clase. Las ideas previas de los alumnos son el cimiento sobre el cual se construyen los modelos mentales y si no se produce un verdadero cambio conceptual desde las ideas erróneas hacia los conceptos científicos, los modelos que se puedan generar carecerán de rigor científico y amplio poder explicativo-predictivo y probablemente sólo servirán para dar cuenta de un pequeño número de eventos sencillos.



Por otra parte, como lo indica Johnson-Laird, si una persona entiende cómo se produce un fenómeno, cuáles son las causas que lo provocan, cómo se relacionan los elementos que intervienen, entonces entiende el fenómeno y el modelo de trabajo que construya estará estrechamente relacionado con sus saberes previos y sobre todo con aquellos saberes que la situación problemática a la que se enfrenta le permita evocar.

Como ya se ha mencionado, el modelo mental de trabajo es construido a partir de las ideas previas y también del conocimiento que la situación problemática a resolver permita evocar. Este modelo se mantiene en las sucesivas situaciones problemas mientras su grado de predicción no requiera que sea modificado.

Por ejemplo las explicaciones de una alumna entrevistada fundamentan la solubilización de sulfato cúprico en agua en la solvatación, que es un concepto previamente estudiado y que es evocado por la experiencia:

*"Una molécula empieza a atraer a otra y se van uniendo, por ejemplo tenemos acá el círculo grande representa el cobre,..., sulfato cúprico, lo introducimos en el agua y las moléculas de agua se empiezan a unir, rodeando la molécula de sulfato de cobre."*

En algunas ocasiones los estudiantes dan alguna respuesta incorrecta como por ejemplo para el caso del sulfato cúprico:

*"Creo que se tiene que separar el cobre."*

El alumno hace uso de alguna idea previa sobre reacción química, pero al ver una evidencia experimental cambian el argumento, quizás porque a partir de la experiencia observada se evocan otros conocimientos y abandonan por completo el argumento primitivo.

Otro alumno explica:

*"Si nosotros lo agitamos veremos una pequeña disolución con el agua. El agua está un poco ionizada y como este producto (señala el frasco de sulfato cúprico) es iónico, al ser polar como el agua se puede disolver debido a que el agua deja espacios y esos espacios son ocupados por los cristales."*

Por lo tanto, al ser evocado por la experiencia el concepto de "disociación", el modelo del alumno se fundamenta en esa idea y propone una solubilización debida a la disociación de la sal.

Completa las explicaciones utilizando otro saber previo como es la solvatación e indica que:

*"El sulfato cúprico se disuelve porque se produce una solvatación."*

Cuando se le pregunta a otro alumno sobre la polaridad del n-hexano indica:

*"El compuesto será no polar porque no se separa en iones, . . ."*

Esta respuesta indica que el estudiante utiliza para sus explicaciones las ideas o conocimientos adquiridos previamente, por ejemplo las nociones sobre ionización de las sales, que hace extensivo para el caso de una sustancia no iónica como el n-hexano.

Respuestas similares se obtienen durante otra entrevista en la cual se justifica la solubilidad del sulfato cúprico en agua basándose en la disociación de la sal:

*Entrevistadora: ¿Qué pasará si el sulfato cúprico permanece en el agua?*

*Alumno: Se solubiliza.*

*Entrevistadora: ¿Podrías explicármelo con más detalle?*

*Alumno: En presencia de agua se disocia en cobre dos positivo y sulfato.*

### **Modificación en el número de elementos del modelo**

Se ha podido observar que los alumnos, en general, trabajan con modelos sencillos, constituidos por pocos elementos y aquellos son usados en la medida de su predictibilidad; sólo cuando se enfrentan a situaciones problemáticas en las que el modelo primitivo pierde utilidad y eficacia, es modificado por otro modelo más complejo. En el presente estudio se encontró que 5 alumnos (16 %) realizan esta modificación.

Lo mencionado anteriormente concuerda con el hecho de que la utilidad y funcionalidad de un modelo no se incrementa necesariamente por la incorporación de elementos al modelo de trabajo, salvo en aquellos casos en que el modelo pierde poder predictivo o explicativo. Cuando en la mente del alumno se produce un conflicto cognitivo ocasionado porque su modelo de trabajo no le permite predecir o explicar fenómenos, trata de incorporar otros conceptos que son activados desde su estructura de conocimiento, añadiendo al modelo primitivo elementos que amplíen la capacidad de explicación, completando y complejizando el modelo. Algunos alumnos explican los fenómenos de solubilidad a partir de la idea de que sustancias polares disuelven otras que también lo son y el modelo de trabajo que poseen es eficaz para interpretar un gran número de casos, pero cuando se enfrentan a una sustancia que es soluble tanto en solventes polares como no polares, deben introducir en su modelo algunos otros elementos que les permita la predicción y explicación de los eventos.

Por lo tanto, se puede decir que el número de elementos que conforman un modelo de trabajo puede modificarse a fin de aumentar su poder explicativo-predictivo o bien, puede tomar unos elementos constituyentes u otros en función de las características que posea la tarea a resolver.

A continuación se presenta la transcripción de parte de una entrevista realizada en la cual se puede observar cómo el alumno va tomando diferentes conceptos o elementos de su modelo mental para dar las justificaciones requeridas. Sus primeras explicaciones se basan en que se disuelve la sustancia, luego menciona la disociación, posteriormente algún tipo de interacción, luego simetría molecular y por último utiliza el concepto de cargas en diferentes átomos. Esto puede evidenciarse en los párrafos siguientes:

*Entrevistadora: ¿Qué crees que sucederá si el cristal de sulfato cúprico permanece en el agua?*

*Alumno: Se va a disolver, si se ha disuelto.*

*Entrevistadora: ¿Podrías explicarlo con más detalle?*

*Alumno: Se va a disolver, porque el agua va a disociar a la molécula.*

Mientras que para la experiencia de solubilidad de sacarina, el alumno fundamenta:

*"Elijo el gráfico 1 porque las dos sustancias tienen afinidad."*

Con respecto a las explicaciones sobre la polaridad de las sustancias basadas en simetría molecular, el estudiante explica:

*"El n-hexano es polar, porque es una molécula simétrica."*

En lo referente a cargas o densidades de carga:

*"El alcohol es polar porque el oxígeno es negativo y el hidrógeno positivo, entonces es polar. Porque tiene cargas positivas y negativas."*

En otra entrevista también se pone de manifiesto el cambio en los elementos que conforman el modelo de trabajo, a pesar de que no sean científicamente correctos. Por ejemplo, primero se justifica la polaridad del agua diciendo:

*"El agua es polar porque se puede separar en hidrógeno y oxígeno."*

A continuación dice, sobre la polaridad del etanol:

*"El etanol es polar porque se puede unir al agua."*

La representación mental de un estudiante sobre la polaridad de las sustancias está formada por dos elementos: la relación "lo orgánico se disuelve en lo orgánico" y "si tiene oxidrilo es polar", de manera que según el caso que se le presente utiliza uno de los dos elementos mencionados. Esto puede observarse en las siguientes respuestas dadas por el alumno:

*Investigadora: ¿Cómo te parece que será la polaridad del n-hexano?*

*Alumno: Me parece que es no polar, . . . sé que es orgánico y no veo oxidrilo.*

*Investigadora: ¿Cómo te parece que será la polaridad del etanol?*

*Alumno: A pesar de ser un compuesto orgánico, porque en general los compuestos orgánicos son no polares, el etanol debe ser polar porque presenta el grupo oxidrilo que le da esa característica.*

El modelo de trabajo que posee este alumno para determinar la solubilidad de un compuesto, consta de varios elementos, pero él trabaja selectivamente con el elemento "polaridad", con la "naturaleza orgánica de las sustancias" o con "interacciones moleculares" como por ejemplo puente de hidrógeno. Las respuestas basadas en la polaridad son:

*Entrevistadora: ¿Entonces, el n-hexano será soluble en agua?*

*Alumno: Porque una es polar y la otra sustancia no, no son miscibles.*

*Entrevistadora: ¿Cómo crees que será la polaridad de la sacarina?*

*Alumno: Es polar.*

*Entrevistadora: ¿Qué es lo que hace que sea polar?*

*Alumno: Porque tiene densidades de cargas.*

*Entrevistadora: ¿Entonces la sacarina será soluble en el n-hexano?*

*Alumno: No se solubilizaría porque uno es polar y la otra es no polar.*

Para otras experiencias emite respuestas basadas en la naturaleza orgánica de las sustancias, por ejemplo:

*Entrevistadora: ¿El n-hexano será soluble en alcohol?*

*Alumno: El alcohol y el n-hexano se solubilizarían.*

*Entrevistadora: ¿Por qué?*

*Alumno: Porque los dos son orgánicos.*

*Entrevistadora: ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?*

*Alumno: Se solubilizó porque los dos son orgánicos.*

*Entrevistadora: ¿Será soluble el n-hexano en éter de petróleo?*

*Alumno: El éter de petróleo y el n-hexano se solubilizaría porque es un solvente orgánico y porque los dos son alcanos.*

Una respuesta basada en interacciones moleculares es:

*"Se va a solubilizar, puede formar puentes de hidrógeno."*

### **Modificación en el modelo de trabajo**

Parece ser que las personas generan distintos modelos de trabajo sobre un mismo tópico y que están estrechamente relacionados con el tipo de situación problemática a la que se enfrentan. Cuando deben resolver una tarea utilizan un determinado modelo de trabajo, pero si éste pierde utilidad, los sujetos se ven obligados a modificarlo. El 60 % de los alumnos entrevistados modificaron sus modelos cuando estos perdieron su utilidad y poder predictivo. Un concepto similar es mencionado por Criado y Cañal (2003) y lo denominan coexistencia de concepciones.

La modificación del modelo se realiza de alguna de las siguientes dos maneras:

- Adaptándolo a las nuevas circunstancias, considerando conceptos completamente opuestos a los utilizados hasta el momento.
- Trabajando con otros conceptos o parámetros totalmente diferentes que no guardan relación con el modelo primitivo.

En el primer caso, se utilizan conceptos totalmente contrarios a los usados en el modelo primitivo; por ejemplo, un estudiante explica un fenómeno diciendo: "una sustancia polar se disuelve en otra polar" y para otro caso diferente indica: "una sustancia polar se disuelve en otra no polar", es decir que usa conceptos que se contradicen. Esto puede hacer referencia a la falta de conocimientos conceptuales por parte del alumno o simplemente a un cambio de conceptos realizado conscientemente a fin de compatibilizar sus explicaciones con la experiencia.

La segunda alternativa planteada en la modificación del modelo vigente corresponde a aquellos casos en que se utilizan ciertos conceptos para dar algunas explicaciones, por

ejemplo, el alumno basa sus explicaciones de polaridad de las sustancias y en la existencia cargas en la molécula, pero si la experimentación le presenta un caso que no puede explicar de esa manera, recurre a otros conceptos tales como que la polaridad de una sustancia resulta de su solubilidad en agua.

Cuando a un determinado alumno se le pregunta sobre la polaridad del n-hexano, el contesta:

*“Sería...humm, sería polar, por los hidrógenos, que son extremadamente positivos, tiene una carga positiva la sustancia.”*

Al realizar la experiencia y observar que no se solubiliza, varía su respuesta diciendo:

*“Es no polar, se ven las dos capas, claro...al ser un producto orgánico al igual que el benceno es no polar, ahora me acuerdo.”*

Es decir que, mientras en la primera respuesta explica la polaridad en función de las cargas, en explicaciones posteriores ofrece explicaciones a partir de la idea de que un compuesto orgánico debe ser no polar.

Cuando se le consulta a Federico sobre la relación que tiene la polaridad en la solubilización de dos sustancias, él basa algunas de sus respuestas en la polaridad, es decir que sustancias polares se disuelven en sustancias polares, pero en otras ocasiones trabaja con la regla “lo orgánico se disuelve en lo orgánico, es decir que modifica el modelo de trabajo, para darle mayor poder explicativo.

*Entrevistadora: ¿El n-hexano será soluble en alcohol?*

*Alumno: supongo que no se va a solubilizar.*

*Entrevistadora: ¿por qué?*

*Alumno: No se, me parece, porque uno es polar y el otro es no polar.*

Al realizar la experiencia, contesta:

*Alumno: Sí se solubilizó.*

*Entrevistadora: ¿Por qué?*

*Alumno: Porque los dos son sustancias orgánicas.*

*Entrevistadora: ¿El éter de petróleo es polar o no polar?*

*Alumno: Es no polar.*

*Entrevistadora: ¿Puedes explicarlo?*

*Alumno: Porque es simétrico.*

*Entrevistadora: ¿Será soluble el n-hexano en éter de petróleo?*

*Alumno: Pueden solubilizarse porque son sustancias orgánicas.*

Probablemente sean el contexto y la clase de situación los que activen un modelo u otro y esto, acompañado de la falta de predicción del mismo, produce en el alumno la necesidad de modificación del modelo primitivo.

### Abandono de tareas

Teniendo en cuenta todos los conceptos vertidos hasta aquí sobre las particularidades de la generación de los modelos mentales, se puede visualizar que los estudiantes, y todas las personas en general, generan, utilizan y modifican los modelos que les permiten interpretar el mundo que los rodea, siguiendo una serie de parámetros que les son característicos, tales como los mencionados en los párrafos anteriores.

Así mismo, existe otra singularidad que hemos denominado "abandono de tarea". En ciertos casos (21%), cuando el alumno se ve superado por una evidencia experimental que no concuerda con las predicciones que le permite hacer su modelo, o simplemente cuando no es capaz de emitir alguna predicción, se bloquea, se niega a seguir trabajando, abandona la tarea y argumenta razones tales como "no sé", "no me acuerdo", "eso lo vimos pero no sé", etc.

Se considera que el abandono de tarea no se produce en forma caprichosa o por falta de ganas o interés del alumno en resolver las situaciones problemáticas planteadas. Posiblemente, sucede que ante evidencias que no se pueden explicar ni prever, el alumno se ve totalmente desestructurado debido a que la información recibida no concuerda con su estructura de conocimiento.

Además los modelos mentales se construyen sobre la base de las ideas previas que se tienen sobre un determinado dominio conceptual, y si la experimentación se contrapone a las dichas ideas, se produce un conflicto cognitivo entre su modelo primitivo y las experiencias observadas que no permite al alumno encontrar una respuesta lógica y correcta; como consecuencia de esto, abandona la tarea propuesta.

Un ejemplo de lo que expresamos anteriormente lo constituye el siguiente diálogo realizado con un alumno:

*Entrevistadora: ¿Cómo crees que será la polaridad de la sacarina?*

*Alumno: Podría ser polar . . .*

*Entrevistadora: ¿Entonces la sacarina será soluble en el n-hexano?*

*Alumno: No debería solubilizarse porque el n-hexano es no polar y la sacarina es polar.*

[se colocan unos miligramos de sacarina en un tubo de ensayo, se agrega n-hexano y se agita el tubo para observar lo que sucede].

*Entrevistadora: ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?*

*Alumno: No, pero no sé por qué.*

*Entrevistadora: ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo? No grafica.*

*Entrevistadora: ¿Cómo crees que será la solubilidad de la sacarina en agua?*

*Alumno: No lo sé.*

Algo similar sucede se observó en la experiencia que involucra alcohol etílico y agua, el estudiante confunde la solubilidad con reacción química con lo cual ya no tiene fundamentos para emitir explicaciones o predicciones y abandona la tarea.

*Entrevistadora: ¿Qué pasará al agregarle agua?*

*Alumno: Creo que se disolverá.*

*Entrevistadora: ¿Si pudieras mirar con un microscopio muy potente, que verías dentro del tubo?*

*Alumno: Se verían las partículas unidas, . . .*

*Entrevistadora: ¿De qué serían esas partículas?*

*Alumno: Tendríamos que hacer la reacción para saber que son.*

*Entrevistadora: ¿Qué partículas se unirían?*

*Alumno: El agua con, mmm, con el hidrógeno, no, . . . no, no me acuerdo.*

Otro ejemplo es el caso de una aluna que abandona la tarea cuando se le pregunta sobre la polaridad del n-hexano, tal como se muestra en el siguiente diálogo:

*Entrevistadora: ¿Cómo crees que será el n-hexano en cuanto a la polaridad?*

*Alumna: El n-hexano sería no polar porque el agua es polar, me parece que no se mezclan, porque es como si fuera un aceite.*

*Entrevistadora: ¿Podrías explicarlo a partir de la estructura?*

*Alumna: No, no me acuerdo de eso.*

En la experiencia de la sacarina un alumno responde:

*Alumno: La sacarina será polar, . . . por las cargas, . . . por el anillo, . . . no sería no polar, no sería polar porque tiene los hidrógenos con carga mas y el carbono con carga menos. La sacarina más n-hexano se solubilizó, es no polar. La sacarina con agua quedan partículas, pero algo se ha solubilizado, casi todo.*

*Entrevistadora: ¿Por qué se solubiliza en agua también?*

*Alumno: No sé, porque habíamos quedado en que era no polar, . . . pasa lo mismo en los dos casos.*

Como este estudiante no posee un modelo de trabajo sobre la solubilidad – polaridad, no puede explicar el hecho que una sustancia se solubilice tanto en una sustancia polar como en otra no polar y esto provoca en su mente una confusión tal que lo lleva a no querer continuar emitiendo respuestas.

Un estudiante realiza una especie de abandono de tarea; si bien no lo hace expresamente, sus respuestas son cambiantes e incoherentes, sólo trata de responder algo, lo que sea, para finalizar con el interrogatorio. Por ejemplo:

*Entrevistadora: ¿La sacarina será soluble en el n-hexano?*

*Alumno: Se rompería el anillo bencénico, se disociaría, mmm bueno no, supongo que no pasaría nada, no va a reaccionar, ni disolver.*

Otro caso se da cuando se interroga a una estudiante sobre la experiencia de sacarina y n-hexano; ella ofrece algunas explicaciones, pero posteriormente, cuando no se encuentra muy convencida de sus argumentos, trata de finalizar la tarea:

*"La sacarina es no polar por las cargas del oxígeno o por los dobles enlaces, . . . sacarina más n-hexano no se solubiliza, sí, no, . . ."*

También se produce abandono la tarea cuando el modelo del individuo no se ajusta a lo observado, Por ejemplo:

*Entrevistadora: ¿El n-hexano será soluble en alcohol?*

*Alumno: Se solubilizaría, porque esto más esto se forma... Ah! no, no se solubiliza porque este es polar y el otro es no polar.*

[Se colocan unos mililitros de alcohol en un tubo de ensayo, se agrega n-hexano y se agita el tubo para observar lo que sucede.]

*Alumno: Sí se solubiliza.*

*Entrevistadora: ¿Por qué?*

*Alumno: Eso es lo que no sé. Porque son los dos compuestos orgánicos.*

*Entrevistadora: ¿Será soluble el n-hexano en éter de petróleo?*

*Alumno: Se solubilizaría porque son los dos no polares.*

*Entrevistadora: ¿Por qué?*

*Alumno: No sé explicarlo.*

*Entrevistadora: ¿La sacarina será soluble en el n-hexano?*

*Alumno: No, no se solubilizaría.*

*Entrevistadora: ¿Por qué?*

*Alumno: Porque . . . (no puede explicarlo).*

*Entrevistadora: ¿Cómo crees que será la solubilidad de la sacarina en agua?*

*Alumno: Se solubilizaría porque la sacarina atrae los electrones del agua.*

*Entrevistadora: ¿Cómo los atrae?*

*Alumno: No lo sé.*

Lo que puede observarse a lo largo de todos estos ejemplos es que los alumnos pueden intentar explicar un fenómeno y corregir sus errores cuando la evidencia experimental no concuerda con sus supuestos; pueden buscar en su estructura cognitiva más conceptos o formas de razonamientos que se validen ante un experimento, pero si no lo logran, se niegan a seguir trabajando, razonando y pensando y simplemente deciden abandonar la tarea propuesta.

Una explicación plausible a este hecho es que la memoria a corto plazo del estudiante se satura, su mente se bloquea, el conflicto cognitivo es tan grande que se desestructura de tal manera que no encuentra explicaciones válidas y no es capaz de continuar adelante para resolver la situación problemática.



## CONCLUSIONES

Un punto importante a tener en cuenta es que los docentes deberíamos saber cuáles son los elementos fundamentales en el aprendizaje de un determinado concepto y poner énfasis en ellos durante la enseñanza. De esta manera se estaría ayudando a que los modelos generados tengan los elementos más significativos y precisos. Si bien los modelos mentales generados no son completos, ni pueden serlo, sí deben ser funcionales y contruidos con elementos específicos y representativos para dar el mayor grado de científicidad posible al modelo.

Un supuesto de base en el estudio de la química es el alto grado de abstracción de los conceptos que involucra, pero los estudiantes deben comprenderlos a partir de la experimentación, es decir, se pretende que a partir de lo observable comprendan lo abstracto; esto deriva en que no todas las personas puedan modelizar de la misma manera los fenómenos químicos, sino que cada cual lo hará con distintos grados de abstracción en función de sus posibilidades en términos del estadio de pensamiento en que se encuentre, manejo y comprensión de conceptos involucrados en el fenómeno, etc. Por lo tanto una de las características de los modelos mentales referidos a fenómenos químicos es el grado de abstracción o visualización que poseen y que hemos llamado macroscópico, particular y molecular. De esta manera se puede afirmar que un grado de abstracción macroscópico implica un modelo que trabaja en el plano de lo concreto, mientras que si el grado de abstracción es particular el individuo tiene cierta noción sobre la naturaleza corpuscular de la materia pero sin llegar a una total comprensión de la misma, de forma que le permita diferenciar átomos, moléculas o iones. Por último, si el grado de abstracción es molecular, el modelo implica en entendimiento de la naturaleza y composición de la materia y será un modelo más útil y eficaz.

En cuanto a que la construcción de modelos mentales se realiza a partir de las ideas previas, es obvio pensar que si el conocimiento se construye a partir de conceptos de anclaje (Ausubel 1976), creando una estructura que relaciona los conceptos afines, las bases para generar un modelo mental sean justamente los conocimientos o ideas previos.

Por tal motivo, es crucial que se conozcan y comprendan los conceptos subyacentes a uno nuevo que se deba aprender, para poder concretar un modelo más próximo al científico. Por ejemplo para comprender a fondo el fenómeno de solubilidad es menester manejar las relaciones polaridad-geometría molecular y polaridad-fuerzas de atracción y algunos autores como Madoery, et al. (2003) señalan que los alumnos evidencian falencias en estas relaciones.

Además, el hecho de que las ideas previas de los estudiantes estén tan fuertemente establecidas en su estructura cognitiva constituye un gran obstáculo en la generación de buenos modelos mentales.

Bajo la premisa de que un modelo mental debe ser eficaz y poseer poder explicativo y predictivo, tal como lo señala Johnson-Laird (1983), un aspecto importante es que los elementos que lo constituyen sean los necesarios y suficientes para ser de utilidad en la explicación y/o predicciones de los fenómenos. De manera que, ante distintas

circunstancias, el modelo que utiliza una persona puede estar formado por distintos elementos que darán lugar a las respuestas requeridas. Por este motivo es que sugerimos que en la enseñanza de las disoluciones se den explicaciones variadas sobre las causas por las que una sustancia es capaz de disolverse en otras, es decir, debido a la polaridad de las mismas, a la formación de enlaces intermoleculares como puentes de hidrógenos, a la afinidad estructural, entre otras, a fin de que los alumnos puedan usar distintos modelos eficaces si las tareas a resolver lo requieren.

Algo similar ocurre en cuanto a la modificación en el modelo de trabajo, porque un fenómeno tan complejo como el de disolución puede explicarse con distintos modelos alternativos. Uno u otro se pondrá en marcha en función del tipo de suceso que se deba explicar y de los datos disponibles. Un modelo versátil será aquél que pueda modificarse cada vez que sea necesario.

Ya se mencionó anteriormente que una característica que puede ostentar un modelo mental es el abandono de tarea por parte del alumno, es decir, si no puede explicar un fenómeno o si la evidencia experimental no concuerda con su modelo, se negará a seguir trabajando. Este puede ser un punto de partida de gran envergadura a tener en cuenta por los docentes ya que si no se consigue que los estudiantes generen modelos mentales eficaces a lo largo del estudio de una ciencia, puede llegar el momento en que la incoherencia y falta de concordancia entre la experimentación y sus conocimientos le impedirá seguir aprendiendo nuevos conceptos.

Pensamos que el conocimiento de las características de la generación y rodaje de los modelos mentales proporciona un elemento sustancial de análisis para reflexionar sobre los procesos cognitivos que se ponen en juego en el aprendizaje. El conocimiento de dichos procesos y mecanismos de razonamiento aportará importante información sobre la manera como aprenden los estudiantes, sobre el manejo de concepciones alternativas y sobre la construcción de modelos mentales con alto grado de cientificidad.

Por otra parte será posible realizar algunas consideraciones didácticas a tener presentes a la hora de abordar la enseñanza de algún tema de química en particular. Así por ejemplo, para un abordaje profundo del concepto de solubilidad es necesario que el alumno comprenda previamente la polaridad de los compuestos, los distintos enlaces químicos y las interacciones a nivel molecular, entre otros conceptos.

En cuanto al proceso de disolución, también es importante continuar el estudio de los modelos mentales cuando se trate desde una perspectiva cinético-molecular y físico-químico, donde los conceptos involucrados serán más específicos y de mayor grado de abstracción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, D., (1976). *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Editorial Trillas. México.
- CRAIK, K. (1943). *The nature of explanations*. Cambridge. Cambridge University Press.

- CRIADO, A. y CAÑAL P. (2003). Investigación sobre algunos indicadores del status cognitivo de las concepciones sobre el estado eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, pp 29-41.
- DE KLEER, J. y BROWN, J. S., (1983). Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. En Gentner, D. y Stevens, A. L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate, pp 155-190.
- DOMINGUEZ CASTIÑEIRAS, J. M.; DE PRO BUENO, A.; GARCÍA RODEJA FERNÁNDEZ, E. (2003). Esquemas de razonamientos y de acción de estudiantes de ESO de la interpretación d los cambios producidos en un sistema material. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), pp 199-214.
- GALAGOVSKY, L.; RODRIGUEZ, M. A.; STAMATI, N. y MORALES, L. F. (2003). Representaciones Mentales, Lenguajes y Códigos en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. Un Ejemplo para el Aprendizaje del Concepto de Reacción Química a partir del Concepto de Mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), pp 107-122.
- GANGOSO, Z. y BUTELER, L., (1998). Modelos Mentales en Física: Algunos Aspectos Metodológicos. *4º Simposio de Investigadores en Educación en Física*. La Plata, Argentina, pp 161-169.
- GRECA, I. y MOREIRA M. A., (1996 a). Un Estudio Piloto sobre Representaciones Mentales, Imágenes, Propositiones y Modelos Mentales respecto al Concepto de Campo Electromagnético en Alumnos de Física General, Estudiantes de Postgrado y Físicos Profesionales. *Investigações en Ensino de Ciências*, 1(1), pp 95-108. En línea en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- GRECA, I. y MOREIRA M. A., (1996 b). Tipos de Modelos Mentales Utilizados por Físicos en Actividad. *Actas del III Simposio de Investigadores en Enseñanza de la Física (SIEF)*, pp 271-177.
- GRECA, I. y MOREIRA M. A., (1998). Modelos Mentales y Aprendizaje de Física en Electricidad y Magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), pp 289-303.
- GRECA, I. y HERSCOVITZ, V. (2002). Construyendo significados en mecánica cuántica: Fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), pp. 327-238.
- GUTIERREZ, R., (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. el caso de la dinámica elemental*. Tesis Doctoral. Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad Complutense de Madrid.
- JOHNSON- LAIRD, P. N., (1983). *Mental models*. Cambridge, M. A.: Harvard University Press.
- JOHNSON- LAIRD, P. N., (1990). Mental models, en Posner, M. (ed.), *Foundations of Cognitive Science*. Cambridge, M. A.: MIT Press, pp 469-499.
- JOHNSON- LAIRD, P. N., (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50, pp 189-209.
- MADOERY, R.; MÖLLER, M. A.; PEME ARENGA, C; BENITO, M.; MESTRALLET, M; ROMERO, C. y CADILES, S. (2003). La construcción de nociones básicas de química en ciencias agropecuarias: El caso de "efectos electrónicos en la molécula". *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), pp 419-428.
- MOREIRA, M. A., (1996). Modelos mentais. *Investigações en Ensino de Ciências*, 1(1). En línea en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.

- MOREIRA M. A. y GRECA, I. (1998). Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: Três casos (1). *Investigações em Ensino de Ciências*, 3(2). En línea en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- NORMAN, D. A., (1983). Some observations on mental models. En Gentner, D. y Stevens, A. L. (Eds.) *Mental Models*. Hillsdale, N J: Lawrence Erlbaum Associates, pp 6-14.
- PASK, G., (1975). *Conversation, Cognition and Learning*. Amsterdam: Elsevier.
- RODRÍGUEZ PALMERO, M. L. y MOREIRA, M. A., 1999. Modelos mentales de la estructura y el funcionamiento de la célula: Dos estudios de casos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(2). Disponible en línea en: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- SIGÜENZA MOLINA, A. F., (2000). Formación de modelos mentales en la resolución de problemas de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp 439-450.
- TIGNANELLI, H. (1998). Detección de modelos mentales del sistema Tierra-Sol-Luna. *4º Simposio de Investigadores en Educación en Física*. La Plata, Argentina, pp 377-285.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), pp 45-69.

### SUMMARY

*The aim of this research is to make the analysis of the most important obstacles about the solution. A qualitative approach was adopted in the research and the data was gathered by means of teach-back interview. Some didactic implications are also discussed as a sequence, organization and depth of the topics that has to do with the learning of solution.*

**Key words:** *Mental models; solution; chemical's learning.*