

OBSTÁCULOS PARA GENERAR REPRESENTACIONES MENTALES ADECUADAS SOBRE LA DISOLUCIÓN

Nora Nappa⁽¹⁾, María José Insausti⁽²⁾, Agustín Francisco Sigüenza⁽³⁾

⁽¹⁾ Dpto de Física y Química – Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

jferrero@unsj.edu.ar

⁽²⁾ Dpto Química física. Universidad de Valladolid. España

insausti@qf.uva.es

⁽³⁾ Dirección Provincial de Educación y Ciencia. Valladolid. España

sigmolag@jcyt.es

RESUMEN

La intención del presente trabajo es realizar un análisis de los obstáculos más importantes en la generación de representaciones mentales sobre el fenómeno de disolución. La metodología utilizada corresponde a la de investigación cualitativa y el instrumento de recolección de datos fue la entrevista teachback. También son sugeridas algunas implicaciones didácticas en cuanto a la secuencia, organización y profundidad de los temas involucrados en el aprendizaje de dicho fenómeno.

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

FUNDAMENTACIÓN

Para apropiarse de un concepto y construir conocimiento las personas hacen uso de representaciones o modelos mentales. Estos son esquemas internos que se generan a fin de captar, comprender y predecir fenómenos. El aprendizaje estará directamente relacionado con el mayor o menor acercamiento de las representaciones mentales generadas a los modelos científicos del fenómeno de que se trate.

Las personas no aprehenden el mundo directamente, sino que poseen una representación interna de él, afirma Johnson-Laird y la propuesta de este autor toma en cuenta el principio fundamental de la ciencia cognitiva que postula la mente como un sistema simbólico, que puede construir símbolos y manipularlos dentro de varios procesos cognitivos (Johnson-Laird, 1990) asumiendo que la esencia psicológica del entendimiento consiste en tener en la mente un "modelo de trabajo" del fenómeno referido. Esto nos remite a pensar que el tipo de modelo que una persona genere respecto de un evento o concepto en particular, estará relacionado con el mayor o menor conocimiento que se tenga de dicho evento.

Así para aprender los conceptos relativos a las disoluciones es necesario que los estudiantes se hayan creado representaciones mentales de ellas y, a tal fin, también es indispensable que estén bien construidos los conceptos que subyacen a las disoluciones. La realidad del alula muestra que existen obstáculos conceptuales que

impiden una generación adecuada de representaciones mentales sobre disoluciones y, consecuentemente, el aprendizaje no se concreta eficientemente.

A pesar de la cotidianeidad del fenómeno de disolución, el dominio presenta dificultades para su aprendizaje (Ahtee y Varjola 1998, Stavridou y Solomonidou 1998) porque en él se utilizan conceptos y modelos teóricos muy abstractos que dificultan la comprensión significativa. A fin de dejar de lado los conceptos abstractos subyacentes, los fenómenos de solubilidad son explicados por los estudiantes prescindiendo, en muchos casos, del análisis de polaridad, tanto del soluto como del disolvente o de la concepción corpuscular de la materia, entre otros factores.

Elegimos el tema de las disoluciones ya que goza de una gran importancia en los currícula de química. Siempre está presente y se encuentra muy relacionado a otros temas no menos importantes.

Por ejemplo, la Reforma Educativa Argentina del año 1993, plantea para el 7^{mo} año de la Enseñanza General Básica (EGB) el estudio de diferentes tipos de materiales, luego sustancias y sistemas homogéneos, pasando por el tratamiento de cierto tipo de materiales denominados "*disoluciones*" con los conceptos de soluto y disolvente. En esta forma de tratamiento del tema el fenómeno de solubilidad solamente se aborda a nivel de sistema material o en un nivel muy elemental como fenómeno físico, para ser retomado en años posteriores con mayor nivel de profundidad.

Por su parte, en la Educación Secundaria Obligatoria Española (ESO) la química constituye una de las disciplinas integradas dentro del área Ciencias de la Naturaleza y su estudio comprende los siguientes conceptos: la materia, su naturaleza, la multiplicidad de sus propiedades, los principios que rigen sus cambios y transformaciones y la influencia de los seres humanos sobre el equilibrio del entorno natural.

Así, el conocimiento de la materia y de los diferentes materiales constituyen un núcleo central en las Ciencias de la Naturaleza en la ESO, conformando los núcleos: "Diversidad y unidad de estructura de la materia" y "Los materiales terrestres".

Algunos de los conceptos involucrados son:

- Estados de agregación. Sistemas homogéneos y Heterogéneos.
- Mezclas, sustancias puras y elementos químicos.

La propuesta para el tratamiento de estos contenidos dada por Prieto, Blanco y González (2000) se esquematiza en el siguiente mapa conceptual (Figura 1).

Del análisis del mapa conceptual se desprende que el estudio de la materia y su estructura interna constituye el punto de origen para el posterior abordaje de las *disoluciones*.

Por otra parte, el tema de las disoluciones se trata tanto como sistema, al incorporarlo dentro de los cambios físicos que puede experimentar la materia y también como proceso cuando se las ubica como un caso particular de las mezclas.

Por su parte, la propuesta dada en "Project 2061" de la American Association for the Advancement of Science (AAAS, 2001) de los Estados Unidos plantea la introducción a

la química, y en especial a la estructura de la materia, con las siguientes nociones básicas:

- La materia está constituida por pequeñas partículas invisibles.
- La enorme variedad de materiales en el mundo es el resultado de diferentes combinaciones de un número relativamente pequeño de ingredientes básicos.

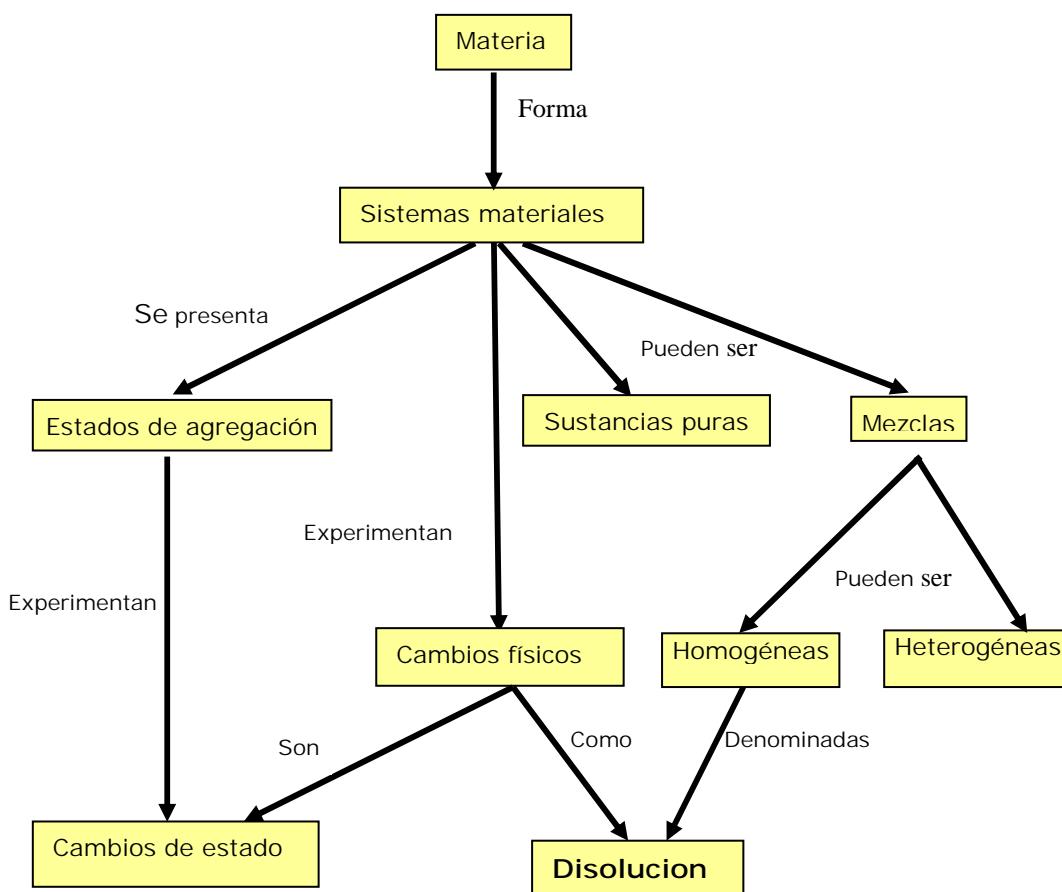


Figura 1.- Propuesta de contenidos de Prieto et al. (2000).

Luego, estas ideas se extienden abordando otros conceptos tales como:

- Las propiedades de las sustancias con sus fórmulas moleculares.
- La estructura del átomo.
- La existencia de isótopos y radiactividad.

Posteriormente se aborda la conservación de la materia ya que ésta tiene implicaciones críticas en muchos otros tópicos, como por ejemplo, la conservación de la materia en sistemas vivientes, conservación de las propiedades en sistemas cerrados, reciclaje y fuentes no renovables y tratamientos de residuos.

Otro punto de gran importancia en el tratamiento de los temas de química es el referido a los estados de la materia y los cambios de estados, cuyo entendimiento se

basa en el conocimiento de la teoría atómico molecular. El caso del agua provee un ejemplo muy interesante de los cambios de estado y cómo la vida, tal como la conocemos, es posible debido a las propiedades de cada uno de esos estados.

El tratamiento de los estados de la materia y la exemplificación referida al agua, brinda un marco apropiado para el tratamiento de las *disoluciones*, apoyado, además, por el estudio de ciertas propiedades de las sustancias, como por ejemplo la polaridad, derivada de la estructura atómico-molecular de las mismas.

Se puede observar que el tema de disoluciones ocupa un importante lugar en los currícula mencionados, pero también no es menos cierto que cuando se profundiza en su enseñanza, los aprendizajes logrados por los alumnos no son los esperados. Esto se debe a que existe una cantidad de factores que impiden un aprendizaje efectivo y científicamente correcto.

También es importante destacar algunos estudios realizados sobre las disoluciones como por ejemplo los publicados por Prieto et al, (2000) quienes indican que en una primera instancia el proceso de disolución para los estudiantes está centrado en la *acción* que se lleva a cabo cuando se realiza una disolución, esto es, primero se *agrega* una sustancia sólida en un líquido y luego se *agitá* para distribuir la sustancia en el líquido. Con esta perspectiva, para esos alumnos, los términos *disolver* y *mezclar* son indicativos del mismo fenómeno, por ende, las disoluciones pueden incluir otros sistemas como las mezclas heterogéneas, las suspensiones o las dispersiones coloidales.

Estas ideas se ven reforzadas por dos vertientes de orden académico, una de ellas es que algunos libros de texto introducen explícitamente este concepto, es decir, consideran en forma genérica las *mezclas* y como un caso particular de ellas a los sistemas homogéneos a los que llaman *disoluciones*. La otra vertiente es que los docentes adhieren a dicha propuesta y plantean el tema en esas condiciones.

Esta concepción estudiantil en la cual la atención se centra en las acciones externas tales como agitación y calentamiento sin tener en cuenta lo que sucede entre las dos sustancias o en el sistema obtenido, evoluciona con la edad y nivel de instrucción, aunque persiste aun en los estudiantes de entre 17 y 18 años, (Blanco y Prieto, 1997).

En una segunda instancia, con mayor grado de elaboración, los estudiantes focalizan el entendimiento del fenómeno de disolución en el proceso que tiene lugar en los componentes interviniéntes por separado (sin tener en cuenta la interacción entre ambos), sobre todo en el soluto, porque es la sustancia en la que produce un cambio observable.

Con respecto a la concepción de disolución como interacciones producidas entre soluto y disolvente esta es más difícil de asimilar. Prieto et al., (2000) expresan que solo un 20 % de los alumnos de 14 años son capaces de utilizar la noción de interacción para interpretar un fenómeno aunque no lo hacen con gran precisión.

Por su parte, aunque refiriéndose a niños más pequeños, Driver et al. (1999) indican que "pueden reconocer más fácilmente las mezclas heterogéneas como el granito que

las homogéneas como las disoluciones". También expresan que hasta los 8 años los niños centran sus explicaciones sobre disolución sólo en lo que sucede con el soluto, por ejemplo: "desaparece", "se funde", "se convierte en agua", "se hacen pequeños trocitos minúsculos".

Otra importante investigación realizada por Holding (1987, citado en Driver et al., 1999) destaca dos aspectos primordiales. Por un lado, la conservación de sustancia, peso/masa y volumen en las disoluciones, encontrando un elevado porcentaje de niños que piensan que la sustancia que se disuelve permanece en el sistema de alguna manera, pero no todos esos estudiantes indican que se conserve el peso. Por otro lado, indica que los niños de los primeros grados escolares no consideran las disoluciones (por ejemplo de azúcar en agua) como una única fase, sino que mantienen la idea de que permanecen "gruesas partículas invisibles". Otros niños consideran a las disoluciones como una sustancia debido a que no ven una línea de separación entre soluto y solvente.

OBJETIVOS

El objetivo que incentivó el desarrollo de este trabajo fue el interés por conocer las causas fundamentales que llevan a los estudiantes a no poder alcanzar un aprendizaje efectivo y duradero sobre el fenómeno de disolución, y que se convierten en serios obstáculos para generar representaciones mentales científicas acerca de él.

METODOLOGÍA

A fin de llevar adelante este trabajo de investigación se optó por utilizar una metodología cualitativa. En ella se hizo uso de una entrevista teachback para conocer los inconvenientes que tienen los alumnos para modelizar científicamente el fenómeno de disolución.. El instrumento fue pasado a dos cursos constituidos por 16 y 24 alumnos, respectivamente, cuyas edades oscilaban entre los 17 y 18 años y que cursaban la asignatura de Química II. Dicho espacio curricular corresponde al quinto año de una escuela de enseñanza media de la provincia de San Juan, Argentina y que está considerada como de buen nivel académico. Las entrevistas se realizaron en forma individual, durante las horas destinadas a la asignatura, pero a solas con el entrevistador en un laboratorio contiguo al aula de clases. Si bien la duración de las entrevistas estaba estipuladas en 60 minutos, ninguna de ellas superó los 55 minutos.

Con el instrumento mencionado fue posible recabar datos sobre ciertos tópicos que condicionan las representaciones mentales que forman los alumnos.

En el **anexo I** se encuentra el protocolo de la entrevista que permitió la recolección de los datos y llevó a la determinación de los obstáculos existentes para la generación de representaciones mentales sobre disoluciones.

OBSTÁCULOS PARA LA COMPRENSIÓN DE DISOLUCIONES

En función de los resultados encontrados en nuestra investigación (Nappa 2002), podemos mencionar los siguientes ítems como importantes obstáculos en la generación de representaciones mentales del fenómeno de disolución, a saber:

1. Concepción corpuscular de la materia.
2. Naturaleza del enlace químico.
3. Existencia de interacciones moleculares.
4. Manejo de reglas simplistas.
5. Atribución de propiedades macroscópicas a lo microscópico.
6. Dificultades para interpretar el significado de una ecuación química y para distinguir cambio físico y cambio químico.

Concepción corpuscular de la materia

El principal inconveniente que podemos observar en el aprendizaje de las disoluciones está relacionado con los conceptos básicos e indispensables que subyacen al aprendizaje de las disoluciones: *materia, sustancia simple, sustancia compuesta y elemento*. Esto a su vez trae aparejada la dificultad de concebir la materia en su naturaleza corpuscular. Este hecho no debe sorprendernos ya que nos estamos refiriendo a un dominio de la química muy abstracto, que trata de dar explicaciones a eventos difíciles de apreciar en la vida diaria y de interpretar a la luz de la naturaleza corpuscular de la materia.

En las explicaciones vertidas por los alumnos podemos observar que muchos de ellos (29 alumnos) consideran al fenómeno de disolución desde el punto de vista de los sistemas materiales, utilizando conceptos tales como fases, mezclas, sistemas homogéneo, sistema heterogéneo, soluto, solvente, mientras que otros estudiantes (18) lo hacen desde la perspectiva de proceso físico o físico-químico y dan explicaciones en base a temperatura, agitación, superficie de contacto, miscelas, solvatación, polaridad de soluto, disociación, etc.

La consideración del proceso de disolución como sistema material no involucra necesariamente poseer una concepción corpuscular de la materia, en tanto, la consideración como fenómeno físico-químico si lo hace.

Las respuestas de algunos estudiantes que evidencian concebir la materia como continua y estática se reflejan en frases como las siguientes:

Verónica R.: (al ver que el sulfato cúprico se disuelve en el agua, dice): *No queda nada.*

Carolina: (sobre la experiencia anterior): *Primero están los cristales, después no están más, es decir se solubilizó.*

Eduardo: (sobre el caso de disolución de alcohol etílico en n-hexano): *Entre las partículas no hay nada, están todas unidas.*

Verónica G.: (sobre la experiencia anterior): *Las moléculas de alcohol están mezcladas con las de n-hexano, entre las moléculas hay líquido (duda), no hay nada.*

Por otra parte, respuestas tales como las siguientes hacen alusión a una concepción más internalizada de la naturaleza corpuscular de la materia.

Federico: (sobre la disolución del sulfato cúprico en agua): *Se va a disolver, porque el agua va a disociar la molécula.*

Érica: (sobre la disolución del sulfato cúprico en agua): *Se disuelve el sulfato cúprico y los iones formados se solvatan.*

En vista de estas respuestas obtenidas podemos afirmar que los modelos generados por los estudiantes, serán diferentes en función de poseer una concepción corpuscular o continua de la materia. Además, un mismo alumno puede presentar dualidad en la concepción de la materia. Esto se debe a que, por tener las ideas previas una naturaleza estructural y sistemática (Benarroch Benarroch, 2001) para modificarlas se requiere un cambio profundo en las estructuras conceptuales, lo cual parece no estar favorecido por las intervenciones didácticas que reciben los alumnos. Además, se aduce que las dificultades para aprender química, podrían estar determinadas por la forma en que el alumno organiza los conocimientos adquiridos a partir de las ideas previas o de sus propias teorías implícitas (Pozo y Gomez Crespo, 1998).

Debido a que muchos de los alumnos tienen una concepción continua y estática de la materia, les resulta difícil identificar la mínima unidad de materia, la molécula, que puede estar formada por átomos de la misma o de distinta clase, constituyendo las sustancias simples y sustancias compuestas. Por estos motivos algunos estudiantes sólo pueden formar en sus mentes representaciones sencillas referidas a la solubilidad de las sustancias; estas representaciones poseen las características que pueden percibir sensorialmente en un nivel macroscópico constituyendo modelos elementales y alejados del modelo científico ya que no se ha producido una comprensión adecuada de los conceptos.

Si los estudiantes operan con diferentes concepciones de la estructura de la materia, seguramente los modelos mentales que generen estarán influenciados por tales concepciones y se reflejarán en el grado de acercamiento que esas representaciones tienen con el modelo científico del fenómeno estudiado. Una concepción continua de la materia dará como resultado un modelo mental en el que sólo tienen significación las diferentes fases que pueden observarse en el sistema, es decir, prima lo macroscópico, sin atender a otros aspectos importantes tales como la distribución de las especies químicas en la solución, intervención del solvente o interacciones moleculares entre soluto y disolvente, mientras que una concepción de la materia corpuscular y discontinua puede dar lugar a la formación de modelos mentales más cercanos a los científicos, en los que están presentes elementos tales como interacciones moleculares y polaridad de las sustancias involucradas.

Naturaleza del enlace químico

El concepto de enlace químico es fundamental para una entendimiento profundo del fenómeno de disolución que conduzca a la generación de adecuadas representaciones mentales en los estudiantes.

El aprendizaje de los diferentes tipos de enlaces químicos remite a la existencia de moléculas polares y no polares y este concepto es de gran importancia a la hora de interpretar la disolución de una sustancia en un determinado disolvente.

Los distintos tipos de enlaces, tales como el iónico y el covalente con todas sus variedades, es decir, simple, doble, triple, polar y dativo se desarrollan para llevar a cabo el estudio del tema uniones químicas. La presentación de los enlaces covalentes polares permite incorporar el concepto referido a moléculas polares; en ellas los electrones que forman el enlace en cuestión no están simétricamente distribuidos entre los dos átomos, sino que existe una mayor densidad electrónica en las cercanías de uno de los átomos. Esto corresponde también a un aporte positivo respecto a considerar que el "enlace covalente está formado por electrones compartidos entre dos átomos", cuestión que no es siempre bien entendida entre los estudiantes.

También está poco internalizado en los alumnos que los enlaces covalentes existentes entre átomos diferentes producen un enlace con cierta polaridad, pero más difícil aun resulta para ellos realizar un análisis global, en toda la molécula, para determinar si un determinado compuesto es polar o no lo es. Por ejemplo, algunos estudiantes afirman que el n-hexano es un compuesto no polar y que los enlaces C-H tienen cierta polaridad, pero no pueden correlacionar ambos datos, aparentemente contradictorios. Es decir, la existencia de enlaces polares no es condición suficiente para que la molécula también lo sea y esto se relaciona estrechamente con la posibilidad de solubilización en solventes de determinada polaridad.

Por otra parte, en los casos en que las moléculas son algo más complejas, los estudiantes tienen una gran dificultad para predecir y/o explicar la solubilidad de un compuesto en determinado disolvente a la luz de las interacciones de tipo intramoleculares que, están íntimamente relacionadas con la polaridad de los enlaces y que trataremos en el apartado siguiente.

Respecto de las respuestas dadas por los entrevistados, podríamos hacer una agrupación de las mismas en dos grandes grupos, a saber:

- a) alumnos que explican la polaridad de las sustancias en base a la posible disolución de la misma en el agua, sin tener en cuenta la polaridad de los enlaces.
- b) alumnos que explican la polaridad de las sustancias en base a la existencia de cargas o de grupos que se pueden dissociar en iones, dejando de lado la posibilidad de existencia de enlaces covalentes.

En lo referente a los alumnos del grupo a), podemos decir que ellos tienen fuertemente incorporado o arraigado el concepto del *agua como sustancia polar*, y todas sus inferencias las realizan sobre la base de ese conocimiento previo. Los alumnos no realizan la deducción de la polaridad de una sustancia a partir de su

estructura, sino que hacen el razonamiento inverso, mediante el cual *si una sustancia es soluble en agua, entonces será polar, por el contrario si es insoluble en agua, será no polar*, por ejemplo:

Vanesa: *El n-hexano es no polar porque no se disuelve en agua.*

Mariana: *El alcohol es polar porque se disuelve en agua. El n-hexano con el éter de petróleo si se puede disolver (duda)... no se disolverá... si se disolverá.*

Entre los alumnos del grupo b), la concepción generalizada sobre la polaridad de las moléculas se basa en la posible existencia de cargas. En este punto, es necesario aclarar que al hablar de cargas, los estudiantes consideran las cargas obtenidas como resultado de una disociación o ionización total de la especie química, sin tener en cuenta la polaridad de los enlaces y el efecto resultante de todos ellos en la molécula.

Algunas respuestas de los jóvenes entrevistados fueron:

Marcelo: *El etanol es polar porque el oxhidrilo es negativo.*

Roberto: *El etanol es polar porque tiene grupo oxhidrilo que se puede separar en H^+ y O^- .*

De lo expuesto con anterioridad, surge como conclusión el hecho indiscutible que para un completo entendimiento de los fenómenos de solubilidad es fundamental realizar el abordaje crítico de los enlaces químicos y cómo éstos influyen en las interacciones soluto - solvente que serán responsables de la solubilización de la sustancia. Dicho abordaje debería realizarse con ejemplos más cercanos a la cotidaneidad de los alumnos, y así permitir que los conceptos se afiancen en la estructura cognoscitiva propiciando un aprendizaje significativo.

Existencia de interacciones moleculares

Es lógico pensar que cuando una sustancia se disuelve en un disolvente debe ponerse en juego algún tipo de interacción entre las moléculas de ambas sustancias. El conocimiento de estas interacciones intermoleculares permite al alumnado representar mentalmente el fenómeno. Para comprender las interacciones entre moléculas, ya sea de la misma sustancia o de dos sustancias diferentes, en el caso que nos ocupa soluto y disolvente, es condición sine qua non que se produzca en el alumno un aprendizaje significativo del concepto de polaridad de los enlaces para poder interpretar las posibles interacciones.

Una consecuencia del deficiente aprendizaje de polaridad de los enlaces se refleja en la falta de claridad de los distintos tipos de interacciones intermoleculares. Algunos estudiantes tienen noción respecto de ellas pero les es difícil explicitarlas y dan explicaciones tales como:

Federico: *Las dos sustancias(sacarina y n-hexano) tienen afinidad.*

Fernanda: *El alcohol es polar por lo que tiene un oxhidrilo. Tiene una parte positiva y una negativa. Pienso que se van a disolver en el n-hexano. Por el tipo de estructura. Tienen cierta afinidad.*

En la elección de uno de los diagramas presentados en la entrevista, esta alumna justifica de la siguiente manera:

"Elijo el diagrama 5 porque se engloba,..., el agua encierra a la sacarina."

Una justificación más elaborada emitida por Juan, para el caso de la solubilidad entre n-hexano y éter de petróleo, alude a interacciones intermoleculares en los siguientes términos:

"Se pueden disolver uno en el otro porque tienen características similares en cuanto a carbono y son orgánicos. Veríamos una solución transparente. Interacciona esta parte de la molécula (indica grupos metilo) con esta parte de otra molécula (también indica metilos), hay interacciones entre las partes similares."

De respuestas tales como las aquí mostradas es posible inferir que, a pesar de que los alumnos hayan recibido instrucción en lo referente a interacciones entre moléculas, esos conceptos no están lo suficientemente asimilados como para permitirles emitir explicaciones científicamente correctas sobre un fenómeno o evento.

Manejo de reglas simplistas

Los alumnos de química más avanzados, que pueden dar explicaciones más científicas sobre el fenómeno de solubilidad, utilizan frecuentemente reglas simplistas tales como *lo polar disuelve lo polar o lo orgánico disuelve lo orgánico*.

Cuando se remiten a la frase *lo polar disuelve lo polar*, podemos ver que el concepto subyacente no está significativamente incorporado en la estructura conceptual y a la hora de dar explicaciones no hay razonamiento sobre las interacciones posibles debidas a la polaridad de las moléculas. Esto se traduce en que los alumnos hacen uso mnemotécnico de esta regla y pueden, eventualmente justificar ciertos fenómenos de solubilidad, pero en casos de solubilización de sustancias polares en otras que no lo son, no pueden dar las explicaciones pertinentes. Por ejemplo:

Cecilia: *Es polar porque no se disuelve en agua.*

Pedro: *Si se disuelve en agua es polar, entonces no se va a disolver en n-hexano.*

Por otro lado, cuando los estudiantes hacen uso de la regla *lo orgánico disuelve lo orgánico*, suelen sufrir cierta desestructuración si se les hace referencia al simple y cotidiano caso de la solubilidad del azúcar (orgánico) en agua (inorgánico).

En la experiencia que utiliza n-hexano y metanol Maximiliano contesta:

"Me parece que no sería igual al caso de n-hexano y agua, se disolverían, además (el alcohol etílico) es un compuesto orgánico."

Pensamos que este tipo de reglas, muy utilizada tanto por docentes como por algunos libros de texto, lejos de ser útiles son más bien el origen de numerosos errores conceptuales y dificultan el entendimiento del fenómeno y la generación de modelos mentales completos y versátiles.

Atribución de propiedades macroscópicas a lo microscópico

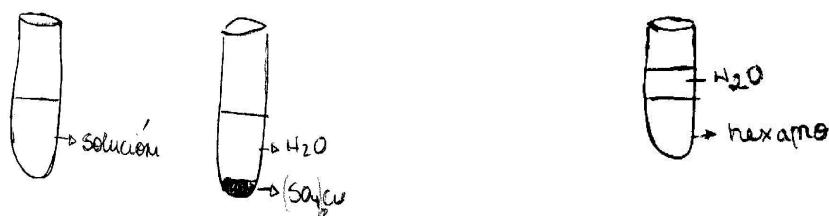
El conocimiento cotidiano, es decir no científico, asume que el mundo es tal cual se percibe y por ende lo que no se percibe, no se concibe; por tal motivo y, como lo indican Gómez Crespo y Pozo (1998), las partículas que constituyen la materia tendrían las mismas propiedades que las sustancias, es decir que los alumnos atribuyen propiedades macroscópicas a las partículas microscópicas tales como, átomos, moléculas o iones. Esta situación, es decir, la confusión entre el sistema de referencia factual o macroscópico con el de referencia atomista o microscópico, constituye el denominado *sustancialismo* (Chastrette, 1991) o *pensamiento sustancializador* (Sanmartí, 1991, citado en Estaña e Izquierdo, 1997) y lleva a la interpretación de los fenómenos microscópicos en función de las características macroscópicas observadas en dicho fenómeno, aunque puedan inclusive, representarlo en forma de ecuación química (Nappa, 1997).

Debido al sustancialismo los alumnos consideran las propiedades de las partículas igual a las de las sustancias (Furió y Gil Pérez, 1989, Pozo y Gómez Crespo, 1998). Esto se pone de manifiesto cuando los alumnos eligen como respuesta correcta una representación gráfica donde las partículas de una sustancia gaseosa (agua) son de mayor tamaño que las de agua líquida y éstas, a su vez, más grandes que las del agua en estado sólido.

Estas correlaciones erróneas tienen relación con el llamado "realismo ingenuo" (Pozo y Gómez Crespo, 1998) que se centra en los aspectos perceptivos del mundo y cuyas concepciones organizadas deben ser superadas por los individuos y evolucionar hacia la interpretación de los fenómenos a partir de modelos.

Por otra parte y relacionado con este último concepto, nos encontramos con que, si bien algunos alumnos utilizan adecuadamente los modelos de la química, no son conscientes de que ellos *representan* la realidad, pero *no son* la realidad misma.

En nuestras entrevistas encontramos una categoría de diagramas realizados por los alumnos, que denominamos "diagramas macro", donde los alumnos grafican "lo que perciben visualmente", por ejemplo:



Gráficos realizados por cecilia

Otra categoría que llamamos "diagramas micro no molecular" comprende aquellos que mencionan la existencia de partículas a las cuales les asignan propiedades visualmente observables. No hacen referencia a moléculas ni átomos, sino de partículas más pequeñas que las originales, pero que mantienen sus propiedades macroscópicas

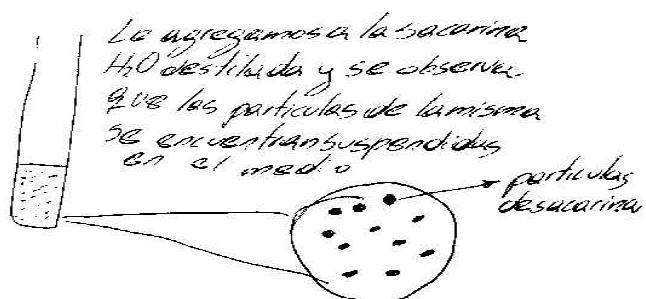
Por ejemplo Pablo expresa:

"Veríamos pequeñas partículas de color azul, de sulfato de cobre."

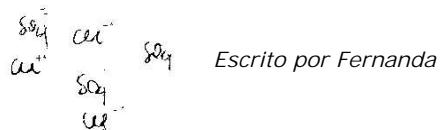
"Se verían las partículas de alcohol etílico."



Andrés indica que lo que vería corresponde a partículas.



El otro tipo de gráficos realizados por los alumnos no involucra la consideración de propiedades macroscópicas a las partículas microscópicas, lo cual estaría indicando que el sujeto no trabaja dentro de un marco sustancialista. Un ejemplo es el siguiente:



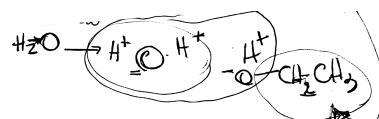
Resulta obvio pensar que asignar propiedades macroscópicas a las partículas constituyentes de la materia tiene una influencia negativa para el entendimiento de los fenómenos de disolución. Este punto lleva a que los alumnos consideren, por ejemplo, que un soluto *desaparece* cuando se disuelve en un disolvente y con esta adhesión no es posible generar una explicación relativamente correcta del fenómeno, es decir, si el alumno considera que el soluto desapareció, entonces no podrá dar explicaciones en base a interacciones entre partículas no existentes en el sistema. Esta concepción sustancialista conduce a la generación de modelos mentales científicamente pobres y de baja demanda cognitiva y en muchos casos, cuando la presencia de tal concepción es muy fuerte, la visión de los fenómenos es solamente macroscópica y limita la generación de un modelo mental del fenómeno el cual será poco científico y bastante erróneo.

Dificultades para interpretar el significado de una ecuación química y para distinguir cambio físico y cambio químico

Estos dos aspectos, que ofrecen una gran dificultad a los estudiantes, serán tratados en forma conjunta por estar íntimamente relacionados entre sí, ya que, conferir atributos macroscópicos a las partículas microscópicas subyace a la dificultad para distinguir un cambio físico de uno químico y la manera en que se representan las ecuaciones químicas.

Algunos alumnos explican las disoluciones sobre la base de reacciones químicas. Creen que si se mezclan dos líquidos incoloros obteniendo otro líquido incoloro no hubo reacción química es un simple fenómeno físico de mezcla de líquidos, pero si por el contrario, al mezclar los líquidos se obtiene otro coloreado, los alumnos pensarán que si se ha producido una reacción química (Limón y Carretero, 1997).

Los siguientes gráficos realizados por nuestros entrevistados ponen de manifiesto la confusión entre fenómeno físico y reacción química. Los ejemplos corresponden a la disolución de sulfato cúprico en agua y de etanol en agua:



Así mismo algunas respuestas obtenidas son:

Cecilia: *Se diluye, se ha formado una reacción, se han juntado el agua con el sulfato cúprico. Se formó una solución.*

Cecilia: *La sacarina y el n-hexano han reaccionado.*

Estos resultados en los que se observa la falta de discriminación entre fenómeno físico y químico, involucra también que los estudiantes no interpretan la reacción química como una forma de modelización de un determinado fenómeno.

Es obvio pensar, entonces, que las dificultades para comprender y diferenciar una disolución de un cambio químico, tendrá una gran influencia en la generación de los modelos mentales sobre el fenómeno de disolución y, como hemos encontrado en los resultados de esta investigación, en muchos modelos mentales se explica o se puede inferir la concepción sinónímica o confusa de disolución (cambio físico) y de reacción (cambio químico).

A partir de lo anteriormente expuesto, queda claro que el tema de disoluciones presenta ciertas dificultades que se deberían tener en cuenta a la hora de su tratamiento académico ya que para lograr su aprendizaje es necesario modelizar varios conceptos subyacentes cuya complejidad y grado de abstracción no es menor.

CONCLUSIONES

El conocimiento de las dificultades con que se encuentran los estudiantes para generar representaciones mentales adecuadas sobre el fenómeno de disolución sugiere un planteamiento didáctico diferente en cuanto a la secuencia, organización y profundidad de los temas involucrados en el aprendizaje de dicho fenómeno. Algunas sugerencias al respecto son las siguientes:

En cuanto a la secuencia de contenidos, una alternativa general que nos parece apropiada para la enseñanza de las disoluciones es la que se muestra en la Figura 5.

Por otra parte, en la enseñanza del tema de disoluciones debería hacerse hincapié en los siguientes aspectos:

Basar la solubilidad en la teoría corpuscular de la materia: La enseñanza de la solubilidad de los compuestos debe basarse en un manejo fluido y correcto de la teoría corpuscular de la materia, ya que esto actúa en favor del entendimiento de los fenómenos puestos en juego en la solubilización. Esto, que muchas veces no es tenido en cuenta por el profesorado, es muy lógico debido a que la disolución es un proceso que se produce a nivel molecular y el hecho de que el alumno no posea un conocimiento claro y correcto de la teoría corpuscular de la materia constituye un importante obstáculo para generar un buen modelo mental del fenómeno.

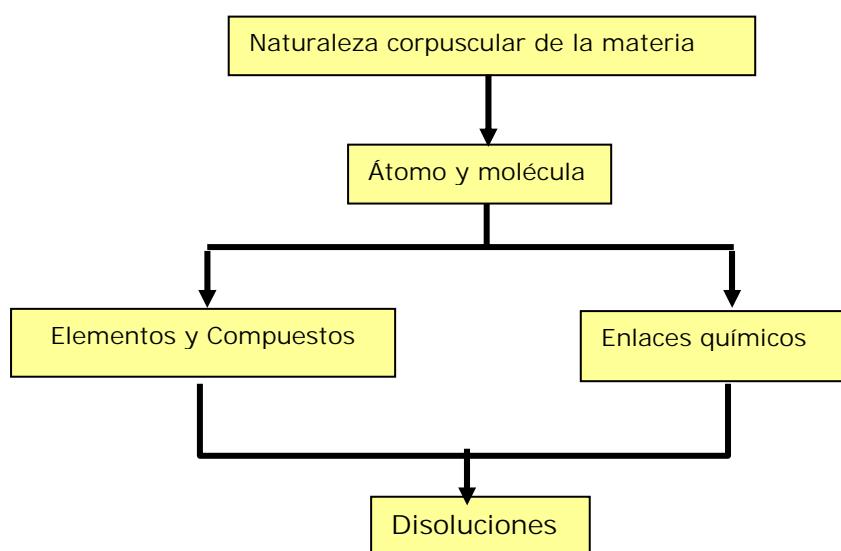


Figura 5. - Secuencia de contenidos sugerida para el estudio de disoluciones.

También es importante tener en cuenta que los alumnos interpretan la naturaleza de la materia con diferentes grados de abstracción, por ejemplo, continua, corpuscular u otras concepciones intermedias, tales como conglomerado de partículas, continua con partículas microscópicas o como agregado de partículas microscópicas (Prieto et al., 2000) y aun el uso de los términos átomos o moléculas pueden tener diferentes concepciones para distintos alumnos.

Explicar la solubilidad sobre la base de la polaridad e interacciones moleculares: Para poder explicar la solubilidad es necesario hacer referencia a la polaridad de las especies involucradas y a los diferentes tipos de interacciones moleculares que pueden producirse. Una vez que el estudiante tiene en claro la constitución atómico-molecular de la materia, es importante trabajar sobre los conceptos de polaridad, interacciones moleculares y sus diferentes tipos. Esto se debe a que la polaridad de los compuestos es un parámetro determinante en el tipo de interacción posible entre un soluto y algún disolvente y esto determina, a su vez, la posibilidad de solubilización.

Un tratamiento del fenómeno de disolución desde la perspectiva de sistemas materiales no propiciará un buen aprendizaje del mismo ya que en ese caso no son tenidos en cuenta los principales factores que están involucrados en la disolución. En

la concepción de las disoluciones como sistemas materiales carecen de relevancia las interacciones moleculares y ellas son las que, en definitiva, le permitirán a los estudiantes el verdadero entendimiento del fenómeno y la posibilidad de dar explicaciones a casos tales como la solubilidad de sustancias polares en disolventes no polares.

Cuando la enseñanza de las disoluciones se basa en un análisis pormenorizado de las interacciones moleculares que se ponen en juego, entre moléculas de soluto y las de disolvente, se plantea una visión molecular del fenómeno que ayuda a clarificar ideas previas, detectar diferencias con otros fenómenos tales como reacción química y a entender la naturaleza del fenómeno solubilización.

No usar reglas reduccionistas: No es conveniente usar reglas tales como "lo orgánico disuelve lo orgánico" o "lo polar disuelve lo polar" sin una justificación más profunda y científica de esas generalizaciones. Este reduccionismo, muy utilizado por el profesorado y por los libros de texto induce a que el alumno adquiera un conocimiento parcializado del fenómeno y que no pueda explicar aquellos casos que no cumplen con dichas reglas.

Teniendo en cuenta que entre los 11 y los 14 años los aspectos derivados de la percepción son determinantes en el conocimiento alcanzado por los alumnos (Blanco López, 1995), podemos suponer que la enseñanza de las citadas reglas de solubilidad pueden quedar ancladas en la mente de los alumnos tan fuertemente, que sean motivo de generación de preconceptos muy difíciles de desarraigar, convirtiéndose así, en grandes obstáculos cognitivos para el aprendizaje de las disoluciones.

Ejemplificar con casos que no cumplan las reglas: Debido a que es muy frecuente encontrar en la bibliografía usada por los estudiantes las reglas reduccionistas mencionadas en el apartado anterior, ellas se transforman en una muletilla que les permite manejar los casos más sencillos de solubilidad, por lo que es necesario mostrar algunos ejemplos que rompan con dichas reglas a fin de dar un panorama más completo del fenómeno.

Uno de los principios del cambio conceptual es la producción de un conflicto cognitivo que modifique la estructura de conocimiento subyacente de quien aprende y le permita reorganizarla de manera más precisa. De manera tal que al enfrentar al estudiante con algunos contraejemplos se logra producir un conflicto cognitivo que lo lleva a replantearse las justificaciones del fenómeno y a buscar respuestas en un nivel microscópico en el cual, tanto la polaridad de las sustancias como las interacciones entre moléculas, juegan un papel determinante en la solubilización.

Usar justificaciones variadas: Esta sugerencia tiene por objeto contribuir a que las reglas simplistas no sean utilizadas como mera repetición y que el alumno posea mayor cantidad de fundamentos para explicar los fenómenos de solubilización.

Es conveniente utilizar diferentes tipos de justificaciones para explicar la solubilidad de las sustancias; en algún caso concreto, explicar la solubilidad en base a la polaridad o a la naturaleza orgánica de las sustancias involucradas puede ser lo más apropiado, en otros casos la mejor explicación puede ser la basada en cierto tipo de interacciones que se producen a nivel molecular. Esta variedad en las justificaciones ayudará a

evitar que el alumno utilice las reglas de solubilidad como un simple algoritmo sin argumentación y propiciará la generación de un modelo mental más amplio y cercano al modelo científico.

REFERENCIAS

- AHTEE, M. Y VARJOLA, I. (1998). Students' Understanding of Chemical Reaction. *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 305-316.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (2002). Proyecto 2061. Estados Unidos.
- BENARROCH BENARROCH, A. (2001). Una Interpretación del Desarrollo Cognoscitivo de los alumnos en el Área Corpuscular de la Materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 123-132.
- BLANCO LÓPEZ, A. (1995). Estudio de las Concepciones de los Alumnos sobre Algunos Aspectos de las Disoluciones y de los Factores que Influyen en Ellas. Tesis Doctoral, Universidad de Málaga. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 117-118.
- BLANCO LÓPEZ, A., PRIETO, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: a cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19(3), pp. 303-315.
- CHASTRETTE, M. y FRANCO, M. (1991). La Reacción Química: Descripciones e Interpretaciones de los alumnos del Liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 243-247.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSSHORTH, P. y WOOD-ROBINSON, V. (1999). Dando Sentido a la Ciencia Secundaria. Investigaciones sobre la Ciencia de los Niños. Ed Aprendizaje. Visor S.A. España.
- ESTAÑA, J. L. e IZQUIERDO, M. (1997). La Importancia de los Ejemplos en la Enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra V Congreso, pp. 187-188.
- FURIÓ, C. y GIL PÉREZ, D. (1989). La Didáctica de las Ciencias en la Formación Inicial del Profesorado: Una Orientación y un Programa teóricamente fundamentados. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), pp. 257-265.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1990). *El Ordenador y la Mente. Introducción a la Ciencia Cognitiva*. Barcelona: Editorial Paidós.
- LIMÓN, M. y CARRETERO M. (1997). Las Ideas Previas de los Alumnos. ¿Qué Aporta este Enfoque a la Enseñanza de las Ciencias? En Carretero, Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales. Buenos Aires: Aique Grupo Editor S.A.
- NAPPA, N. (1997). *Análisis de la Influencia de los Prácticos de Laboratorio por Investigación en el Aprendizaje de Química en Nivel Medio con Orientación en Química*. Tesis de Magister. Universidad de Alcalá de Henares, España-Universidad de La Serena, Chile.
- NAPPA, N. (2002). *Las representaciones mentales de los alumnos sobre el fenómeno de disolución*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y Enseñar Ciencia*. Madrid: Ediciones Morata S. L.

- PRIETO, T., BLANCO, A. y GONZÁLEZ F. (2000). *La Materia y los Materiales. DCE, Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Madrid: Editorial Síntesis S.A.
- STAVRIDOU, H y SOLOMONIDOU, C. (1998). Conceptual Reorganization and the Construction of the Chemical Reaction Concept during Secondary Education. *International Journal of Science Education*, 20(2), pp. 205-221.

ANEXO I PROTOCOLO DE LA ENTREVISTA

Experiencia 1- Solubilidad de un sólido en agua (difusión)

Se muestra al alumno un cristal de sulfato cúprico, se lo agrega en un tubo de ensayo que contiene agua y se le pregunta:

1- ¿Qué crees que sucederá si el cristal permanece en el agua?

(El líquido alrededor del cristal comienza a colorearse de azul).

2- ¿Qué está sucediendo ahora?

3- ¿Podrías explicármelo con más detalle?

4 - ¿Podrías realizar un dibujo o un esquema de lo que estás viendo?

(Posteriormente agitamos el tubo de ensayo hasta que la solución se homogeneice).

5- ¿Podrías explicar que sucedió al agitar el tubo?

6 - ¿Podrías realizar un dibujo o un esquema de lo que estás viendo?

Experiencia 2- Solubilidad de líquido no polar en solventes polares

En esta experiencia mencionamos al alumno el nombre de una sustancia orgánica líquida (n-hexano) y le pedimos que escriba su fórmula química desarrollada.

1- ¿La sustancia será polar o no polar?, ¿qué es lo que hace que sea - - -? ¿cómo lo explicarías?

2- ¿El agua es polar o no polar?

3- ¿Entonces el n-hexano será soluble en agua?, ¿por qué?, ¿cómo lo explicarías?

(Se colocan unos ml de agua en un tubo de ensayo, se agrega n-hexano y se agita el tubo para observar lo que sucede).

4- ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?

5- ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo?

Experiencia 3- Solubilidad de líquido polar en solventes no polares

Se muestra un frasco de alcohol etílico y se pregunta:

1- ¿El alcohol es polar o no polar?, ¿por qué el alcohol es - - -?

2- ¿El n-hexano será soluble en alcohol?, ¿por qué?

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

3- ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?

4- ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo?

5- ¿El éter de petróleo es polar o no polar?, ¿puedes explicarlo?

6- ¿Será soluble el n-hexano en éter de petróleo?, ¿por qué?

(Se coloca unos ml de éter de petróleo en un tubo de ensayo, se agrega n-hexano y se agita el tubo para observar lo que sucede).

7- ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?

8- ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo?

Experiencia 4- Solubilidad de un sólido polar en solventes polares y no polares

Comenzamos comentando que en un recipiente tenemos sacarina sódica, que es una sustancia sólida, de color blanco. Escribimos la estructura molecular de la misma, ya que los alumnos la desconocen y comenzamos con las preguntas:

1- ¿Cómo crees que será la polaridad de la sustancia?, ¿qué es lo que hace que sea - - - ? ¿cómo lo explicarías?

2- ¿Entonces la sacarina será soluble en el n-hexano?, ¿por qué?, ¿cómo lo explicarías?

(Se coloca unos mg de sacarina en un tubo de ensayo, se agrega n-hexano y se agita el tubo para observar lo que sucede).

3- ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?

4- ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo?

5- ¿Cómo crees que será la solubilidad de la sacarina en agua?, ¿puedes explicarlo?

(Se coloca unos mg de sacarina en un tubo de ensayo, se agrega agua y se agita el tubo para observar lo que sucede).

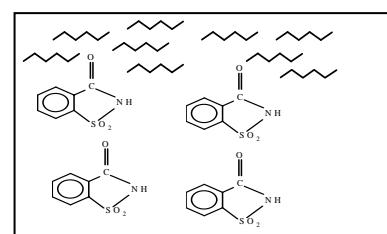
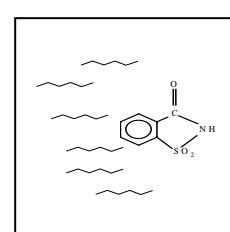
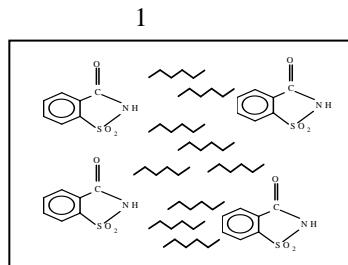
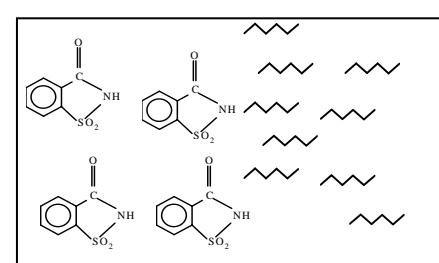
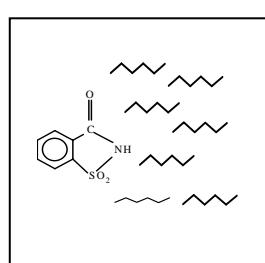
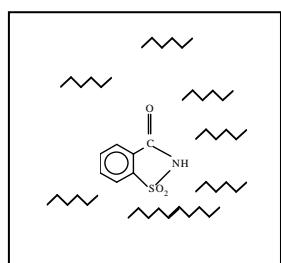
6- ¿Lo que estás viendo concuerda con lo que me has explicado?, ¿cómo lo explicarías?

7- ¿Cómo puede ser que una sustancia sea soluble en un solvente polar y también en uno no polar?, ¿explícamelo?

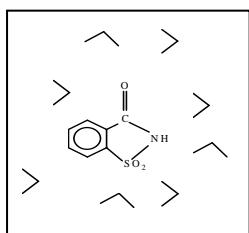
8- ¿Puedes realizar un esquema de lo que hay ahora en el tubo de ensayo?

9- ¿Cuál de los siguientes esquemas crees que representa mejor los fenómenos observados?

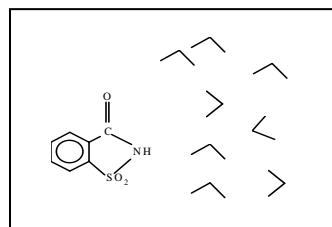
A la molécula de n-hexano la representaremos de así:



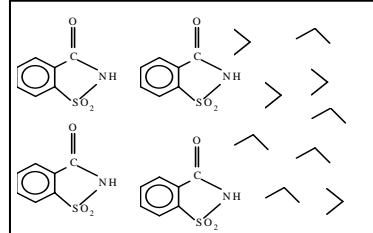
A la molécula de agua la representaremos de la siguiente forma:



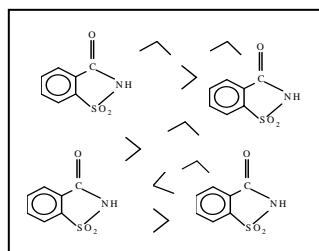
1



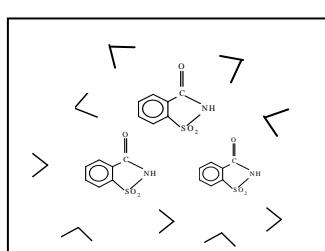
2



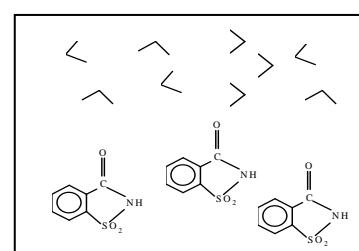
3



4



5



6