

Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia

Ruby Ordenes, Marcela Arellano, Roxana Jara, Cristian Merino*

ABSTRACT (Macroscopic, submicroscopic and symbolic representations of matter)

In this paper we present a review of the macro, micro and symbolic representations of matter. From this review, a questionnaire was adapted for application of 15-years, in the classification of the subject content. Data analysis shows that students have great difficulty in relating the macroscopic and sub-microscopic levels of matter, as well as to distinguish between mixtures and compounds.

KEYWORDS: levels of representation, classification of matter, chemistry learning

Resumen

En este estudio se presenta una revisión sobre las representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas relacionadas con los conceptos involucrados en la clasificación de la materia. A partir de esta revisión se adaptó un cuestionario para ser aplicado a estudiantes de 15 años. El análisis de los datos muestra que los estudiantes presentan grandes dificultades en relacionar los niveles macroscópicos y submicroscópicos de la materia, como también, en diferenciar mezclas y compuestos.

Palabras clave: niveles de representación, clasificación de la materia, aprendizaje de la química

1. Introducción

En los últimos años, un tema recurrente en la investigación en didáctica de las ciencias y en particular en química, es la atención en el análisis de cómo aprende y progresa el estudiante, para elaborar hipótesis de progresión en cada dominio específico (Harrison & Treagust, 2002; Leach, 1997). Al parecer los modelos actuales no se adaptan de manera coherente con las nuevas finalidades de la educación científica y ciertamente el aprendizaje de los estudiantes en química sucede sin haber sido identificados los objetivos de la disciplina por parte de los estudiantes (Merino & Izquierdo, 2011). Es importante cuestionar una concepción tácitamente aceptada por algunos investigadores que consiste en asociar directamente la percepción de los estudiantes sobre la naturaleza de la materia y el cambio químico con un único modelo macroscópico de representación cuando, por ejemplo, se afirma que los estudiantes conciben la materia y sus cambios tal como los perciben (Pozo & Gómez Crespo, 2005).

Por otra parte, diversos estudios nos muestran que la enseñanza de las ciencias y en particular la química, todavía sigue siendo en parte reproductiva y centrada en el profesor (Porlán & Rivero, 1998). Lo anterior deja en evidencia que en la enseñanza de la química domina un planteamiento basado en la transmisión de conocimientos, desde una lógica de

transposición analítica (Sanmarti, Izquierdo & Watson 1995): el profesor elabora contenidos que el alumno recibe pasivamente, complementados ocasionalmente por la realización de prácticas en laboratorio, no menos expositivas y cerradas (Furió & Domínguez, 2007).

Los contenidos escolares que se presentan a diario en las aulas contienen una serie de términos asociados a conceptos, procesos y operaciones, que los docentes consideran comprendidos, especialmente a medida que la formación académica de los alumnos avanza, en particular en los últimos años de la educación media (15 a 17 años). Sin embargo, los cambios que se están produciendo en las estrategias de enseñanza de las ciencias tienen como meta esencial que los estudiantes construyan su propio conocimiento, que sean capaces de darse cuenta de sus errores y autorregularse. Para ello se hace necesario que los profesores realicen una fase indagatoria preliminar que ponga en evidencia las ideas previas de los alumnos. Es aquí donde resulta de interés para el profesor conocer las ideas de los estudiantes y los modelos históricos que se han desarrollado en química con el fin de relativizar la infravaloración que se suele dar en la investigación a las representaciones macroscópicas de los escolares en un dominio concreto de la química (Dominguez & Furió, 2001; Furió & Domínguez, 2007). Una de las dificultades que se presenta en el nivel submicroscópico es en el concepto de átomo; cuando los alumnos no tienen una representación submicroscópica adecuada de la sustancia se puede favorecer que consideren un compuesto como una mezcla aleatoria de átomos, dado que tanto en la mezcla como en el compuesto intervienen, como mínimo, dos componentes.

* Instituto de Química. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

Correo electrónico: marellan@ucv.cl

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2012.

Fecha de aceptación: 22 de marzo de 2013.

2. Propuesta de estudio

Numerosos son los estudios que señalan la inadecuación de las ideas de los estudiantes sobre la conceptualización en química (Andersson, 1990; Gabel, Samuel & Hunn, 1987; Harrison & Treagust, 2002; Novick, 1981; Stains & Talanquer, 2007; Stavy, 1989). No obstante, carecemos de datos locales y, en particular, sobre la naturaleza de la materia, a la luz del currículo chileno actual en química.

Con el fin de precisar el problema didáctico, centraremos nuestro estudio en el contexto de aprendizaje sobre los conceptos involucrados en la clasificación de la materia que suele enseñarse entre los 11 y 15 años de los estudiantes. A partir de estas bases, la cuestión principal que nos planteamos es: ¿cuáles son las representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas de los estudiantes de 15 años sobre la materia?

3. Marco de referencia

Entre los estudios acerca de las dificultades en el aprendizaje de la química, el análisis realizado por Chioldi (2009), muestra que para los estudiantes, la química es una de las disciplinas científicas más arduas y difíciles de aprender. De ahí surge la duda de los profesores sobre la real dificultad, y tienden a atribuir la incapacidad para comprender y manejar los conceptos a la falta de interés de los alumnos, capacidad intelectual o inapropiada enseñanza (Pozo & Gómez-Crespo, 1991). Estas dificultades están presentes actualmente en el aula, lo que conlleva a la baja comprensión de los alumnos, quienes, además, cuentan con sus propios puntos de vista y explicaciones sobre los conceptos, así como con un lenguaje propio (Lemke, 1990).

En relación con las concepciones sobre ciencia, Osborne y Bell (1983), hacen una distinción entre lo que llaman la *ciencia de los estudiantes* y la *ciencia de los científicos*. La primera se refiere a los puntos de vista acerca del mundo y los significados de las palabras que los estudiantes tienden a adquirir, antes de que reciban alguna enseñanza formal de las ciencias. La segunda se refiere al punto de vista científico generalmente aceptado. En el desarrollo de la enseñanza científica se ha ignorado o se ha considerado de manera inadecuada la existencia de la *ciencia del estudiante*.

Con respecto a lo anterior, en la mayoría de los casos los profesores no consideran las concepciones previas de los estudiantes, iniciando su formación en química sin conocerlas y, peor aún, es que muchas investigaciones de educación química nunca son leídas por los profesores, y menos aún, se aplican en el aula (Chioldi & Sheehan, 2009). Estos conocimientos previos de los alumnos, antes de la enseñanza de cualquier contenido, son de gran ayuda para la comprensión de los conceptos químicos. En efecto, el aprendizaje se logra cuando se concatenan y relacionan los nuevos conocimientos con los anteriormente adquiridos, generando las estructuras de acogida para las nuevas ideas y originando una sustentabilidad de la información; esto significa que al estar claros en la estructura cognitiva se facilita el anclaje del nuevo contenido, siendo guardada en la memoria a largo plazo

(Mintzes, Wandersee & Novak, 1998). La importancia de tomar en cuenta los conocimientos previos de los alumnos ante la enseñanza de cualquier contenido es de gran ayuda para mejorar la comprensión en química.

En la actualidad, un gran número de investigaciones en desarrollo curricular, así como la elaboración de textos y de algunos materiales educativos se llevan a cabo considerando las ideas previas de los estudiantes en los diferentes niveles escolares. A estas ideas se les asignan diferentes términos: errores conceptuales, ideas previas, concepciones alternativas. El hecho de que se utilice uno u otro nombre no es indiferente, ya que usar una u otra nomenclatura, responde a diferentes concepciones. Por ejemplo, si utilizamos el término "error conceptual", éste nos indica que tenemos que eliminarlo; en cambio, hoy se cree mayoritariamente que estas ideas deben mantenerse y utilizarse para iniciar el proceso de enseñanza y aprendizaje, mediante sucesivas rectificaciones para acceder a un cierto nivel de formulación más adecuado y cercano al saber científico (Giordan, 1987). Adicionalmente los trabajos de Martinand sobre el término *obstáculo* teorizan en este plano e insisten en el cambio de óptica (Martinand, 1988; Martinand & Giordan, 1989).

El término *concepción* es uno de los más neutrales e indica cómo el sujeto construye una *representación mental* del mundo que le permite entender el entorno y actuar de forma apropiada. El adjetivo *alternativa* establece una distinción con las concepciones científicas y, al mismo tiempo, concede a la concepción derecho propio, entidad en sí misma (Rodríguez, 1999). En cambio, el término "ideas previas," se aplica a aquellos conceptos que tienen los alumnos sobre los temas a tratar en la escuela, que parten de su propia experiencia, y suelen consistir en un sistema relativamente coherente con sus reglas propias. Se basan en la percepción de las personas y en su propia experiencia cotidiana, resultando útiles al plantear situaciones problemáticas vinculadas con la realidad de nuestros alumnos (Carretero, 1997).

Muchos estudiantes de entre 11 y 18 años de edad tienen errores conceptuales en las áreas básicas de la química, en la medida en que se esfuerzan para comprender las ideas abstractas (Kind, 2004).

Las dificultades de aprendizaje vienen dadas por muchas razones (Kempa, 1991):

- Baja competencia lingüística y coherencia entre el estilo de aprendizaje del estudiante y el estilo de enseñanza del docente.
- Escasa adecuación de las ideas previas para establecer conexiones significativas con los conceptos que se desean aprender.
- Mínima capacidad del estudiante para organizar y procesar información.

Además de lo anterior, hay que considerar otros factores que también influyen en el desempeño académico de los alumnos, tales como la naturaleza propia de los temas de estudio y los vacíos de la historia y evolución de las ciencias, los cuales

no siempre son considerados en los textos de química. El artículo de Furió (2007) da cuenta de que los vacíos de la historia y la evolución de la ciencia influyen en las dificultades que presentan los alumnos para el aprendizaje de los contenidos en estudio. Su artículo demostró que los alumnos tenían grandes dificultades en la conceptualización de tópicos relativos a sustancias, mezclas y compuestos químicos en sus aspectos tanto submicroscópico como macroscópico.

Las dificultades de comprensión (Furió & Domínguez, 2007) se atribuyen a que la enseñanza habitual no toma en cuenta que los estudiantes adquieren, en primer lugar, las definiciones operacionales, sino que por el contrario entran directamente a lo submicroscópico, creyendo ingenuamente que estas explicaciones se asociarán fácilmente con los referentes macroscópicos supuestamente ya conocidos.

La principal implicancia didáctica de la ausencia de estas conceptualizaciones en la secuenciación de los contenidos de la química es la de no salir al paso de las dificultades de aprendizaje que se presentan, sobre todo en niveles introductorios. Es lógico esperar que los estudiantes sigan teniendo importantes problemas de comprensión a la hora de diferenciar elemento, mezcla y compuesto (Domínguez, 2001). Las ideas previas son importantes para conocer las dificultades de los alumnos y sus causas, pero no son suficientes para conseguir un mejor aprendizaje de los estudiantes. Como una vía de caracterización, Johnstone (1982, 1993) propuso para las ciencias naturales, y para la química en particular, tres niveles para explicitar las representaciones de los estudiantes: *macroscópico*, *submicroscópico* y *simbólico*, las que profundizamos a continuación.

3.1 Tipos de representaciones en química

En la bibliografía existe un gran número de trabajos que se refieren a las representaciones de los estudiantes. El primer tipo corresponde a las representaciones de los fenómenos experimentados con los sentidos, el segundo tiene como objetivo apoyar una explicación cualitativa de los fenómenos, mientras que el tercero tiene como objetivo apoyar una explicación cuantitativa de los fenómenos. Con algo más de detalle los tres tipos se caracterizan a continuación.

3.1.1 Representaciones fenomenológicas

Este nivel consiste en las representaciones de las propiedades empíricas de los sólidos, líquidos (incluyendo las disoluciones), coloides, gases y aerosoles. Las propiedades son perceptibles tanto en el laboratorio como en la vida cotidiana y, por tanto, pueden ser medidos. Ejemplos de estas propiedades son la masa, la densidad, la concentración, el pH, la temperatura y la presión osmótica.

3.1.2 Representaciones modélicas

En química se desarrollan modelos para explicar las causas de los fenómenos que son de su competencia. Es común generar modelos a partir de entidades como átomos, iones, moléculas y radicales libres. Por ejemplo, un sólido puede describirse en términos de átomos, iones o moléculas como

un conjunto de entidades. Estas descripciones se pueden dar también en el modo visual de la representación, por ejemplo en forma de diagramas o gráficos (es decir, dos dimensiones), o en modo material, por ejemplo maquetas esfera-varilla (es decir, tres dimensiones).

3.1.3 Representaciones simbólicas

Este nivel implica la asignación de símbolos para representar los átomos, ya sea de un elemento o de los grupos vinculados de varios elementos, de los signos para representar el cambio eléctrico, de los subíndices que indican el número de átomos en un ion o molécula, de las letras para indicar el estado físico de la entidad.

3.2 Sistemas de representación en química

Uno de los principales problemas para la enseñanza y aprendizaje de estos tres tipos de representaciones es la falta de acuerdo general en la terminología, como se ilustra en la tabla 1. De acuerdo con ésta, hay una diversidad de términos para referirse a los tres niveles de representación. Dada la abundante bibliografía, éstos son el modelo clave para la enseñanza de la química. En este sentido, hay considerable evidencia de que a los estudiantes les resulta difícil entender, aplicar y encontrar la relación entre ellos. Estos problemas, según Gilbert (2009a) se pueden atribuir a:

- Falta de experiencia en el nivel macroscópico. Ya sea como carencia de experiencias prácticas adecuadas (Nelson, 2002) o la falta de claridad en los objetivos de aprendizajes en las propias prácticas (Hodson, 1990).
- Errores sobre la naturaleza del tipo submicroscópico, con base de confusiones sobre la naturaleza de la mate-

Tabla 1. Palabras o frases usadas para representar los tres niveles. Adaptado de Gilbert y Treagust (2009b).

Autores	Términos usados
Andersson, 1986	Mundo macroscópico, mundo atómico
Ben-Zvi, 1987	Nivel macroscópico, nivel submicroscópico, nivel simbólico.
Gabel, Samuel & Hunn, 1987	Nivel macroscópico, nivel submicroscópico, nivel simbólico.
Johnstone, 1982	Nivel macro, nivel submicroscópico, nivel simbólico
Bodner, 1992	Mundo macroscópico de la química, mundo submicroscópico de la química, mundo simbólico de la química
Johnstone, 1993	Macroquímica, submicroquímica, química representacional
Fensham, 1994	Mundo macroscópico, mundo atómico
Nakhleh & Krajcik, 1994	Sistemas macroscópicos, sistemas submicroscópicos, sistemas simbólicos, sistemas algebraicos
Johnstone, 2000	Macro, submicroscópico, representacional
Treagust, 2003	Macroscópico, submicroscópico, simbólico

ria (Harrison & Treagust, 2002) y la incapacidad de visualizar las entidades cuando se representa en ese nivel (Tuckey & Selvaratnam, 1993).

- c) La falta de entendimiento de las convenciones usadas a nivel simbólico (Marais & Jordaan, 2000).
- d) La incapacidad para moverse entre los tres niveles (Gabel, 1998).

4. Metodología

Para identificar y caracterizar las nociones de los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico presentes en los estudiantes en relación con los conceptos de elemento, compuesto y mezcla se aplica un cuestionario cuyas preguntas formuladas abarcan los conceptos antes mencionados (Anexo I).

La muestra en estudio corresponde a 32 estudiantes entre 14 y 16 años, de segundo año medio, pertenecientes a un Liceo Municipal en la ciudad de Valparaíso, Chile, donde la asignatura de Química cuenta con tres horas semanales. La aplicación y recolección de datos se llevó a cabo por el propio docente en la sesión de clases, previamente al contenido de disoluciones y sin aviso.

El cuestionario consiste en seis preguntas, de las cuales cuatro están referidas al nivel microscópico y las dos últimas al nivel macroscópico. En la primera se muestran diferentes modelos de partículas donde deben identificar cuál o cuáles de ellas son mezclas; en la segunda deben identificar sustancias, en tanto que en la tercera deben distinguir elementos y, posteriormente, identificar los compuestos.

En la quinta pregunta se les pide realizar un diagrama a nivel molecular para cada una de las muestras que están representadas de manera macroscópica, con el objetivo de percibir la relación que tiene el estudiante entre estos dos niveles. En la sexta y última pregunta se les pide clasificar una serie de conceptos en sustancias (elementos y compuestos) y en mezclas (homogéneas y heterogéneas). Esta pregunta está relacionada con el nivel macroscópico, cuyo objetivo es conocer si en este nivel disminuye la dificultad para clasificar los conceptos. Las cuatro primeras interrogantes corresponden a los ejemplos propuestos por Furió (2007); las dos restantes corresponden a diseño propio de los autores.

5. Resultados

Los resultados se presentan en una tabla con el número de alumnas para cada alternativa y el porcentaje al cual corresponde. El análisis se realiza con base en las representaciones que tienen los estudiantes acerca de los conceptos de materia y en la relación entre el nivel submicroscópico y macroscópico.

Los resultados de la tabla 1 muestran que ninguna alumna responde la alternativa correcta, que en este caso corresponde a la **B**. El 75,0 % de las estudiantes responden las opciones **B** y **D**, confundiendo mezcla con compuesto. Es posible que esta confusión se deba a que no toman en cuenta la estructura de la molécula; vale decir que cuando el modelo presentado está formado por más de dos átomos diferentes,

los estudiantes lo perciben como mezcla, no diferenciando si los átomos se encuentren enlazados o no. Por otra parte un 18,8 % responden la alternativa **D**, la cual representa a un compuesto.

Tabla 1. Identificación de mezclas a nivel submicroscópico.
Pregunta 1: Identificar las mezclas

Respuesta	A	B	C	D	B y D	B, C y D
%	0	0	3,1	18,8	75	3,1
n	0	0	1	6	24	1

Según se puede observar en la tabla 2, solamente un 3,3 % contesta correctamente la alternativa **A, C y D**, ya que los tres modelos presentados corresponden a sustancias, siendo **A** y **C** elemento y **D** compuesto. Un 53 % responde solo las alternativas **A** y **C**, reduciendo el término de sustancia a sustancia simple (elemento); las estudiantes asocian solo los elementos como sustancias puras, no considerando los compuestos (alternativa **D**). Relacionan sustancia en el nivel submicroscópico solo con aquellas moléculas formadas por átomos iguales; a las moléculas formadas por átomos distintos las relacionan con mezclas. La alternativa **A**, la cual representa un elemento, fue respondida por el 37,5 %. Si bien ésta corresponde a una sustancia, no consideran a los elementos moleculares y a los compuestos.

Tabla 2. Identificación de sustancias a nivel submicroscópico.
Pregunta 2: Identificar las sustancias.

Respuesta	A	B	C	D	A y C	A, C y D
%	37,5	0	6,25	0	53	3,3
n	12	0	2	0	17	1

Según los resultados de la tabla 3, un 34,4 % de la muestra responde de manera correcta la alternativa **A y C**, corroborando así que los estudiantes tienen menos dificultad en distinguir a nivel submicroscópico un elemento, que una mezcla o un compuesto. Es importante mencionar que un 53,0 % de la muestra responde la alternativa **C**, la cual es un elemento molecular; si incorporamos el 34,4 % de las alumnas que contestan **A** y **C**, se puede observar que el 87,4 % de la muestra distinguen el elemento molecular, lo que se contradice con la pregunta anterior, donde 12 alumnas lo dejaron fuera de la categoría de sustancia. Lo que se puede inferir es que cuando se les pregunta por el concepto

Tabla 3. Distinción de elemento a nivel submicroscópico.
Pregunta 3: Distinguir los elementos.

Respuesta	A	B	C	D	A-C	B-D
%	9,4	0	53	0	34,4	3,1
n	3	0	17	0	11	1

de sustancia pura, el término “puro” hace que algunas estudiantes seleccionen solo aquellas representaciones que tienen un mismo tipo de átomos y no enlazado, pero cuando se les pide que distingan elemento, diferencian correctamente un elemento molecular como tal. Por otro lado, solo un 9,4 % de la muestra contestan la alternativa **A** como elemento, desconociendo los elementos moleculares como tales.

Los resultados de la tabla 4 muestran que un 21,9 % responde correctamente la alternativa **D**. El porcentaje más alto un 43,8% de la muestra responden erróneamente las alternativas **B y D**, ya que solo **D** es compuesto y **B** es mezcla. Nuevamente confunden mezcla con los compuestos, en este caso al tener la mezcla dos átomos diferentes la consideran como compuestos, sin tomar en cuenta la estructura de la molécula. Otro grupo de alumnas un 15,6 %, responde sólo la alternativa **B**. Estas alumnas relacionan directamente el concepto de compuesto con la representación de mezcla. Un 15,6 % responden las alternativas **C y D** incorporando erróneamente el elemento molecular al concepto de compuesto, estas alumnas al contrario de las anteriores, relacionan compuestos con átomos enlazados no importando la diferencia de éstos en la molécula.

Tabla 4. Identificación de Compuesto a nivel submicroscópico.
Pregunta 4: Identificar un compuesto.

Respuesta	A	B	C	D	B-D	C-D
%	0	15,6	3,1	21,9	43,8	15,6
n	0	5	1	7	14	5

• Representación de muestras a nivel submicroscópico

La tabla 5 muestra que un 28,0 % representan correctamente el té como una mezcla homogénea a nivel submicroscópico, dibujando átomos de diferentes colores y con espacios entre ellos. En cambio, el 72,0 % de la muestra representa un elemento dibujando átomos de un solo color. Al ser el té una mezcla homogénea, las alumnas no observan a simple vista los dos componentes; es por esta razón que, al parecer, tienden a dibujarlo con una sola clase de átomos, confundiendo una mezcla con un elemento. Un 71,9 % representan un elemento, un 9,4 % lo dibujan con átomos blancos y un 62,5 % lo pintan de color oscuro, otorgando propiedades

Tabla 5. Diagramas de representación submicroscópica del té.
Pregunta 5: Representar submicroscópicamente muestras de materia presentadas macroscópicamente

			
46,8%	28,1%	9,4 %	15,6%
15	9	3	5

macroscópicas a lo submicroscópico (Merino & Sanmartí, 2008; Sanmartí, 1995). Es interesante destacar la línea que las alumnas dibujan para dar el límite a la disolución, desconociendo que este límite se lo dan las propias moléculas.

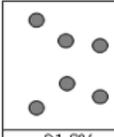
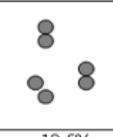
En la tabla 6, correspondiente a la representación microscópica de una mezcla heterogénea que contiene arena con agua, solo un 6,3 % la representa correctamente, dibujando átomos de diferentes colores para representar el agua y la arena. Representan los átomos oscuros en la parte inferior y los átomos blancos en la superior, donde además se puede observar claramente dos fases. Un 93,8 % representa la mezcla incorrecta.

Tabla 6. Diagramas de representación submicroscópica de arena y agua.

				
18,8 %	40,6%	6,3 %	28,1%	6,3%
6	13	2	9	2

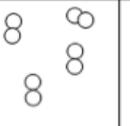
En tabla 7, correspondiente a la representación submicroscópica de una barra de hierro, un 84,2 % dibujó átomos de un solo tipo representando a un elemento. Sin embargo, 46,8 % responde correctamente, ya que representa el estado de agregación del sólido. Un 9,4 % de las estudiantes dibujan erróneamente los átomos de la barra de hierro con átomos diferentes, cuya representación corresponde a la de una mezcla. Cabe destacar que un 6,4 % de las estudiantes no responde la pregunta.

Tabla 7. Diagramas de representación submicroscópica de barra de hierro.

				
21,8%	12,5%	9,4%	46,8 %	3,1%
7	4	3	15	1

La tabla 8 es la que causa mayores dificultades. Un 78,1 % dibuja un elemento. De éstas, un 62,5 % representan átomos blancos con espacios entre ellos. A las estudiantes les cuesta imaginar que la sal está compuesta por dos elementos distintos (cloro y sodio). Una alumna representa los cristales de la sal dibujando cuadrados y dentro de ellos los átomos muy juntos y de un mismo color. Éste es uno de los ejemplos más claros que muestra atribuir propiedades macroscópicas a lo submicroscópico. Un total de 18,8 % dibujan átomos enlazados, 12,5 % de igual color y solo un 6,3 % de diferentes colores, representando a un compuesto. Pero en el caso de las sales, al tener enlaces iónicos, no forman moléculas, sino redes cristalinas formadas por iones, por lo tanto ninguna de las representaciones es correcta,

Tabla 8. Diagramas de representación submicroscópica del cloruro de sodio.

				
9,4%	62,5%	6,3%	12,5%	3,1%
3	20	2	4	1

debido a que no incorporan las cargas eléctricas de los iones. Un 9,4 %, dibujan átomos no enlazados y de color oscuro y blanco representando una mezcla.

• Clasificación de diferentes muestras a nivel macroscópico

El análisis de los resultados de la tabla 9 muestra que a nivel macroscópico las alumnas tienen menos dificultades para clasificar la materia. Los elementos presentan menor dificultad, ya que tanto el oxígeno como el azufre fueron clasificados correctamente con un 65,6 y un 62,5 % respectivamente. La calcita tampoco presentó mayor dificultad, un 56,3 %, la clasifican correctamente; por el contrario, a nivel microscópico un 75 % de las alumnas confunden mezcla con compuesto (ver pregunta 1). Un 12,5 % la clasifica como una mezcla homogénea, al visualizar el trozo de calcita en una sola fase. En el agua de mar un 50 % de las alumnas clasifica correctamente como mezcla homogénea, un 15,6 % como mezcla heterogénea. La causa de esta confusión podría atribuirse a lo que habitualmente se tiende a pensar que el agua de mar contiene arena u otras partículas.

Tabla 9. Síntesis de las representaciones macroscópicas.

Pregunta 6: ¿Cómo clasifican la materia los estudiantes a nivel macroscópico?

	Elemento	Compuesto	Homogénea	Heterogénea	No clasificado
	%	%	%	%	%
Oxígeno	65,6	6,3	18,7	3,3	—
Granito	18,8	50	12,5	9,4	9,4
Moneda	59,3	12,5	—	25	3,3
Azufre	62,3	12,5	9,4	—	15,6
Agua mar	3,3	6,2	50	15,6	25
Calcita	9,4	56,3	12,5	9,4	12,5
Bebida	—	12,5	31,2	40,6	15,5

Las tres muestras restantes —el granito, la moneda de bronce y la bebida gaseosa— muestran mayor complejidad. En el caso del granito solo un 9,4 % lo clasifica correctamente como mezcla heterogénea y un 50 % como compuesto, a pesar que presenta dos coloraciones diferenciadas, lo que indica que hay presencia de más de una sustancia. Un error similar se comete a nivel submicroscópico cuando las alumnas confunden mezcla con compuesto (pregunta 1). Finalmente, un 12,5 % lo clasifica como mezcla homogénea. La moneda de bronce fue una de las muestras más compleja, ya

que ninguna estudiante la clasifica correctamente como mezcla homogénea. Un 59,3 % la clasifica como elemento, lo que indica que poseen preconcepciones erróneas al asumir que el bronce es un elemento y, por lo tanto, desconocen que es una aleación.

Finalmente, respecto de la bebida gaseosa, un 71,8 % la clasificaron como mezcla; sin embargo, la confusión se genera al identificar a qué tipo de mezcla corresponde, ya que un 31,2 % responde correctamente que era una mezcla homogénea, en tanto que un 40,6 % la clasificaron como mezcla heterogénea. Una posible explicación a esta confusión puede ser la visualización de burbujas al interior de la bebida. Solo un 12,5 % la clasificaron como un compuesto.

6. Conclusiones e implicaciones

Se evidencia que las estudiantes establecen una baja relación entre los niveles macroscópico y submicroscópico, ya que representan los conceptos de la materia a través de las propiedades que pueden observar, más cercanas a las dimensiones del mundo real que a las del mundo corpuscular.

Se identifican confusiones en las estudiantes con relación a los conceptos de compuesto y mezcla, principalmente en la identificación de un modelo submicroscópico de la materia.

En el nivel macroscópico se destaca un mínimo reconocimiento de las aleaciones, resultándoles complejo identificar los componentes de estas mezclas sólidas al clasificarlas como elemento.

Finalmente, el análisis muestra la importancia que tiene el conocer las representaciones de los estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, ya que a través de ellas los docentes pueden identificar las representaciones erróneas. Su identificación y caracterización permiten modificar las planificaciones de manera de promover aprendizajes sustentable (Galagovsky, 2003). Lo anterior implica un cambio de la metodología tradicional a formas más innovadoras, donde el proceso se centre en el alumno.

7. Bibliografía

- Andersson, B. R., Pupils explanations of some aspects of chemical reactions, *Science Education*, **70**(5), 549-563, 1986.
- Andersson, B. R., Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., Silberstein, J., Students' visualisation of a chemical reaction, *Education in Chemistry*, **24**(4), 117-120, 1987.
- Bodner, G., Refocusing the general chemistry curriculum, *Journal of Chemical Education*, **69**, 186-190, 1992.
- Carretero, M., ¿Qué es el constructivismo? Desarrollo cognitivo y aprendizaje Constructivismo y educación. En: Carretero, M., *Progreso*. México, 1997, pp. 39-71.
- Childs, P., & Sheehan, M., What's difficult about chemistry? An Irish perspective, *Chemistry Education Research and Practice*, **10**, 204-218, 2009.

- Dominguez, M. C., Furio, C., Knowing the history of science to understand students' difficulties with the concept of chemical substance. In: D. Psillos, Kariotoglou, P., Tselfes, V., Bisdikian, G., Fassoulopoulos, G., Hatzikraniotis, E., Kallery, M. (eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*, Vol. 1. Thessaloniki, Greece: Aristotle University of Thessaloniki, 2001, pp. 365-367.
- Fensham, P. J., Beginning to teach chemistry. In: P. Fensham, Gunstone, R., White, R. (eds.), *The content of science*. London: The Falmer Press, 1994, pp. 14-28.
- Furió, C., & Domínguez, C., Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico, *Enseñanza de las Ciencias*, **25**(2), 241-258, 2007.
- Gabel, D., The complexity of chemistry and implications for teaching. In: B. J. Fraser, Tobin, K. G. (eds.), *International Handbook of Science Education, Part 1*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Press, 1998, pp. 233-248.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., Hunn, D., Understanding the particulate nature of matter, *Journal of Chemical Education*, **64**(8), 695-697 1987.
- Galagovsky, L., Rodríguez, M., Stamati, N., Morales, L., Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla, *Enseñanza de las Ciencias*, **21**(1), 107-121, 2003.
- Gilbert, J., & Treagust, D., Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and relationship between them: key models in chemical education. In: J. Gilbert & D. Treagust (eds.), *Multiple representations in chemical education, models and modeling in science education*. Springer, 2009a, pp. 1-8.
- Gilbert, J., & Treagust, D., *Multiple representations in chemical education, models and modeling in science education*. New York: Springer, 2009b.
- Giordan, A., Vecchi, G. de, *Les origines du savoir*. Neuchatel, Paris: Delachaux & Niestle, 1987.
- Harrison, A. G., & Treagust, D.F., The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In: J. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. van Driel (eds.), *Chemical education: Towards research-based practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002, pp. 189-212.
- Hodson, D., A critical look at practical work in school science, *School Science Review*, **71**(256), 33-40, 1990.
- Johnstone, A., Macro-and micro-chemistry, *School Science Review*, **64**, 377-379, 1982.
- Johnstone, A., The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand, *Journal of Chemical Education*, **70**(9), 701-705, 1993.
- Johnstone, A., Developing student' understandig of chemical change: what should we be teaching?, *Chemistry Education Research and Practice*, **1**, 77-90, 2000.
- Kempa, R.F., Students' learning difficulties in science, Causes and possible remedies, *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(2), 119-128, 1991.
- Kind, V., *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de Química*, México: Santilana-Facultad de Química, UNAM, 2004.
- Leach, J., Driver, R., Millar, R., Scott, P., A study of progression in learning about 'the nature of science': Issues of conceptualisation and methodology, *International Journal of Science Education*, **19**(2), 147-166, 1997.
- Lemke, J. K., *Talking science*. Norwood, NJ: Ablex, 1990.
- Marais, P., & Jordaan, F., Are we taking symbolic language for granted?, *Journal of Chemical Education*, **77**(10), 1355-1357, 2000.
- Martinand, J. L., Recherches et innovations pour l'éducation scientifique formelle. In: A. Giordan, Martinand, J. L. (eds.), *Communication, education et culture scientifiques et industrielles. Dixiemes Journees Internationales sur l'Education Scientifique*. Paris: Dixiemes Journees Internationales sur l'Education Scientifique, 1988, pp. 51-61.
- Martinand, J. L., Giordan, A., French research in Science Education, *Studies in Science Education*, **16**, 209-217, 1989.
- Merino, C., & Izquierdo, M., Aportes a la modelización, según el cambio químico, *Educación Química*, **22**(3), 212-223, 2011.
- Merino, C., & Sanmartí, N., How young children imagine chemical change?, *Chemistry Education Research and Practice*, **9**, 196-207, 2008.
- Mintzes, J., Wandersee, J., Novak, J., *Teaching science for understanding*. San Diego: Academic Press, 1998.
- Nakhleh, M. B., Krajcik, J. S., Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base, and pH concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, **31**(10), 1077-1096, 1994.
- Nelson, P., Teaching chemistry progressively: From substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei, *Chemistry Education Research and Practice*, **3**, 215-228 2002.
- Novick, S., Nussbaum, J., Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study, *Science Education*, **65**, 187-196, 1981.
- Osborne, R., Bell, B., Gilbert, J., Science teaching and children's views of the world, *European Journal of Science Education*, **5**(1), 1-14, 1983.
- Porlán, R., & Rivero, A., *El conocimiento de los profesores: una propuesta formativa en el área de ciencias*. Sevilla: Díada Editora, 1998.
- Pozo, I., & Gómez-Crespo, J., *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencias*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencias 1991.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo, M. Á., The embodied nature of implicit theories: The consistency of ideas about the nature of matter, *Cognition and Instruction*, **23**(3), 351-387, 2005.
- Sanmarti, N., Izquierdo, M., Watson, R., The substantialisation of properties in pupils' thinking and in the history of

science, *Science & Education*, **4**(4), 349-369, 1995.

Stains, M., & Talanquer, V., Classification of Chemical Substances using Particulate Representations of Matter: An analysis of student thinking, *International Journal of Science Education*, **29**(7), 935 - 938, 2007.

Stavy, R., Students' conceptions of matter. In: P. Adey (ed.), *Adolescent development and school science*. London: Falmer Press, 1989, pp. 273-282.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. L., The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations, *International Journal of Science Education*, **25**(11), 1353-1368, 2003.

Tuckey, H., & Selvaratnam, M., Studies involving three-dimensional visualisation skills in chemistry, *Studies in Science Education*, **21**, 99-121, 1993.

Anexo I

Estimado (a) estudiante:

- Lee atentamente cada una de las siguientes preguntas
- Esta actividad no es calificada, pero es muy importante porque nos permitirá conocer tus ideas en relación a los contenidos que se preguntan
- Responde todas las preguntas y no omitas ninguna

1. No olvides señalar tus datos personales

Gracias por tu colaboración
Tu profesora de química

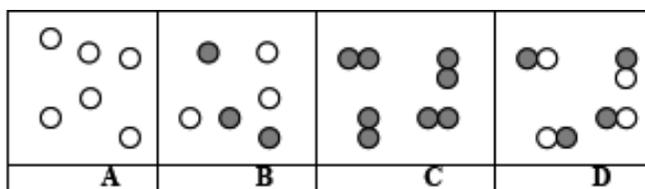
Nombre:

Curso:

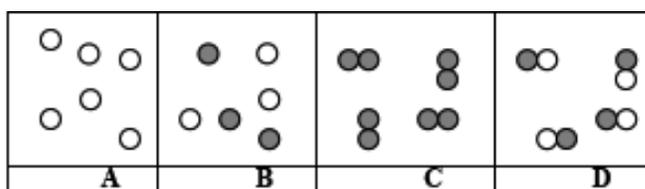
Fecha:

Para las preguntas 1, 2 y 3 los dibujos representan gases, cada bolita corresponde a un átomo y las bolitas del mismo color son átomos idénticos. Para cada pregunta puede haber más de una alternativa correcta.

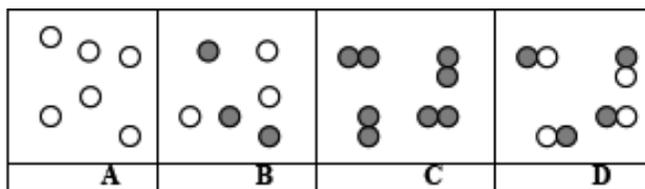
1. ¿Cuál o cuáles de ellas puede ser una **MEZCLA**?



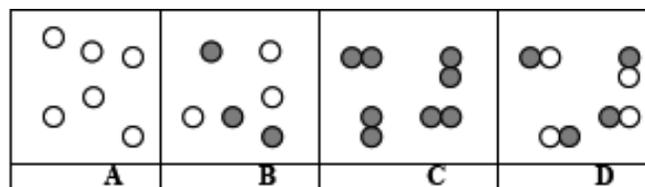
2. ¿Cuál o cuáles de ellas puede ser una **SUSTANCIA PURA**?



3. ¿Cuál o cuáles de ellas representa un **ELEMENTO**?



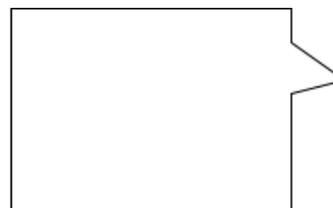
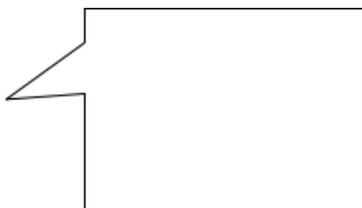
4. ¿Cuál o cuáles de ellas representa un **COMPUESTO**?



5. Las siguientes imágenes corresponden a distintas muestras de materia representadas de manera macroscópica, es decir, tal como las vemos a simple vista. Sin embargo, sabemos que están formadas por partículas más pequeñas que no podemos ver. Realiza un diagrama en donde las muestre de forma microscópica.



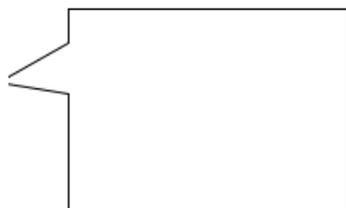
Taza de té



Arena con agua



Barra de hierro



Sal (NaCl)

