

BUSCANDO COHERENCIA EN LA ESTRUCTURA BÁSICA DE LA QUÍMICA. UNA PROPUESTA PEDAGÓGICA

SOSA FERNÁNDEZ, PLINIO

Facultad de Química, UNAM, México 04510, México, D. F.

Palabras clave: Compuestos; Elementos; Mezclas; Química; Sustancias.

OBJETIVOS

Presentar definiciones funcionales, coherentes y con sentido pedagógico de los conceptos base de la química.

MARCO TEÓRICO

La química es una disciplina difícil de enseñar y de aprender. En parte por razones comunes a todas las ciencias (alto grado de abstracción de las explicaciones científicas, ideas alternativas no científicas existentes en la mente de los aprendices, técnicas de enseñanza ajenas a los procesos de aprendizaje, conocimientos sin el adecuado contenido pedagógico, etcétera). Pero en parte también por culpas sólo atribuibles a la química misma. Es fácil encontrar en la estructura de esta disciplina definiciones que no definen, verdades poco representativas, ideas contradictorias o, incluso, francamente absurdas. En este sentido, W. B. Jensen (1998), en tres publicaciones consecutivas, ha presentado un elegante cuestionamiento sobre si de verdad la química tiene una estructura lógica.

Por otro lado, en los últimos años se ha realizado una investigación muy seria e intensa acerca de los errores conceptuales de los alumnos en el área de la química (Kind, 2004). Muchos de ellos están ligados precisamente a los conceptos primarios o base (a partir de los cuáles se genera toda la disciplina): materia, compuestos, elementos, mezclas, cambio químico, átomos y moléculas.

En este trabajo se discute brevemente la presentación tradicional de los conceptos base como posible fuente de errores conceptuales y, además, se propone una presentación alternativa —construida desde un punto de vista pedagógico— basada en nuevas definiciones que le den coherencia y funcionalidad a los cimientos de la química.

DESARROLLO DEL TEMA

La presentación tradicional de los conceptos base se desarrolla a partir de ligeras variantes del siguiente discurso:

- *Química es la ciencia que estudia la materia, la energía y sus cambios.*
- *La materia es de lo que está hecho todo lo que hay en el universo.*

- *La materia se clasifica en mezclas y sustancias puras*
- *Las sustancias puras se dividen en compuestos y elementos*
- *Las mezclas se pueden separar físicamente en sustancias puras.*
- *Los compuestos se pueden separar químicamente en elementos*
- *Toda la materia está formada por átomos de diferentes clases, combinados de diversas maneras.*
- *Los átomos son las unidades más pequeñas de una sustancia.*

La definición de química es cierta pero imprecisa. La química no estudia el movimiento de una pelota, ni la colisión entre dos placas tectónicas, ni la migración de las mariposas monarca. Una buena definición tendría que señalar claramente los límites de la química: qué sí estudia y qué no. Qué es química y qué no. Si definir implica precisar los límites, la definición tradicional de la química es mala en el sentido de que realmente no define.

En realidad, la química no abarca tanto. Con lo único que está relacionada es con aquellos procesos en los que se forman unas sustancias a partir de otras.

Las definiciones en términos de *materia* no son aptas para novatos. Habría que partir de lo que ve la gente: objetos, cuerpos y seres hechos de una diversidad enorme de materiales y sustancias. La expresión “*la materia*” (así en singular y con el artículo determinado) induce a pensar que todo está hecho de una misma “pasta” y que todas las sustancias y materiales que conocemos o que sabemos que existen no son más que diferentes presentaciones de esa única “pasta” llamada *materia*. Cuando los alumnos intentan explicar un proceso químico sin hacer alusión a la formación de nuevas sustancias probablemente están pensando en que la *materia* (la única que hay) se conserva. En los procesos químicos, la masa se conserva pero las sustancias no.

No puede haber una categoría que se llame *mezclas*. Si así fuera, habría seis categorías de vertebrados: los peces puros, los anfibios puros, los reptiles puros, las aves puras, los mamíferos puros y las mezclas. La química es la única disciplina que yo conozca en la que existe una categoría de mezclas. Se entiende que la expresión *sustancia pura* pretende hacer énfasis en que se trata de *una sola sustancia*. Lo malo es que, por lógica, tendrían que existir las *sustancias impuras* lo cual es un absurdo. Desde el punto de vista pedagógico, lo único que hay que aclarar al estudiante es que existen algunos materiales (como el acero) que constan de más de una sustancia.

Si los *compuestos se pueden separar químicamente en elementos*, dado que tanto los compuestos como los elementos son sustancias puras, entonces querría decir que hay sustancias puras (los compuestos) constituidas por otras sustancias puras (los elementos). Justo lo contrario de lo que se quería enseñar. Entonces, ¿qué significa *sustancia pura*? ¿Y cuál es la diferencia entre *mezcla* y *compuesto*?

La frase correcta debería ser algo así: una *sustancia compuesta*, sometida a ciertas condiciones pero sin entrar en contacto con ninguna otra sustancia, reacciona para formar otras sustancias más simples llamadas *sustancias elementales*.

¿Qué puede entender un joven con estas definiciones? Todos los maestros sabemos que los alumnos confunden los conceptos de compuesto, elemento y mezcla. Pero ¿cómo podría ser de otro modo si nuestras definiciones son precisamente las que inducen esta confusión?

Toda la materia está formada por átomos de diferentes clases, combinados de diversas maneras. No es exactamente así. Sería como decir que la fauna artrópoda está formada por miembros (patas, alas, antenas, etc.) combinados de diversas maneras. Una ligereza de este tipo induciría enormes errores conceptuales. Primero, haría suponer que los miembros existen y son estables separados de los cuerpos. Segundo, haría pensar que las unidades de cada tipo de invertebrado son los miembros solitos. Tercero, haría creer que los cuerpos de los invertebrados no son entidades íntegras sino un conglomerado de miembros combinados de diversas maneras.

Los átomos son las unidades más pequeñas de una sustancia. No es cierto. En algunas sustancias las unidades más pequeñas son los átomos, ya sea aislados (como en los gases nobles) o formando enormes entramados (como en los metales y en los sólidos covalentes). Pero en muchas otras, las unidades más pequeñas son moléculas o iones. Es decir, no hay un solo tipo de partículas químicas sino tres: iones, moléculas y átomos. Acostumbramos representar estas partículas en términos de los fragmentos que las integran. Para referirnos a estos fragmentos también se usa la palabra *elemento*. Es decir, los químicos usamos la misma palabra para referirnos a dos conceptos muy diferentes: los fragmentos que integran a las partículas químicas y aquellas sustancias cuyas partículas están constituidas por fragmentos del mismo tipo. Se podría dejar el nombre de *sustancias elementales* a éstas y el de *elementos* a aquellos.

La presentación debería de ser así: Los *materiales* son las *sustancias* y combinaciones de sustancias de que están hechos los objetos, cuerpos y seres que hay en el universo. Los materiales que constan de varias sustancias se denominan *mezclas*. Cada sustancia posee características propias que la distinguen de las demás. Las sustancias consisten de partículas químicas inimaginablemente pequeñas: *iones, moléculas y átomos* (figura 1). Se acostumbra representarlas mediante una serie de fragmentos conectados entre sí llamados *elementos*. Una *sustancia elemental* es aquella cuyas partículas están formadas por puros fragmentos iguales, es decir, por un solo elemento. Una *sustancia compuesta* es aquella cuyas partículas están formadas por fragmentos diferentes, es decir, por varios elementos. La *composición química de una mezcla* indica cuántas sustancias y en qué porcentaje la constituyen. En cambio, la *composición química de una sustancia* indica cuáles y cuántos elementos integran a sus partículas. A continuación se presenta un glosario en el que se desarrollan todos los conceptos involucrados.

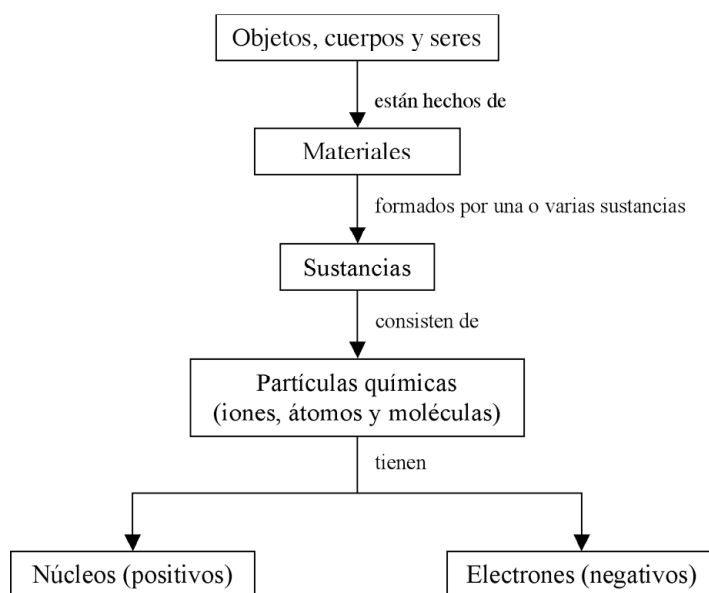


FIGURA 1

Glosario

QUÍMICA.- Es la ciencia que estudia todo lo relacionado con los *procesos en los que se forman unas sustancias a partir de otras*. La única manera de saber si un determinado proceso es químico es identificando las sustancias antes y después de que ocurra. Para ello se requiere de personal y equipo especializados. En los procesos químicos, *no se conservan las sustancias* pero sí se conserva la masa. La figura 2 muestra un diagrama de flujo que sirve para saber si un determinado proceso es químico o no.

MATERIA.- Es todo aquello que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio. Este término engloba todos los cuerpos, objetos y seres que existen en la naturaleza.

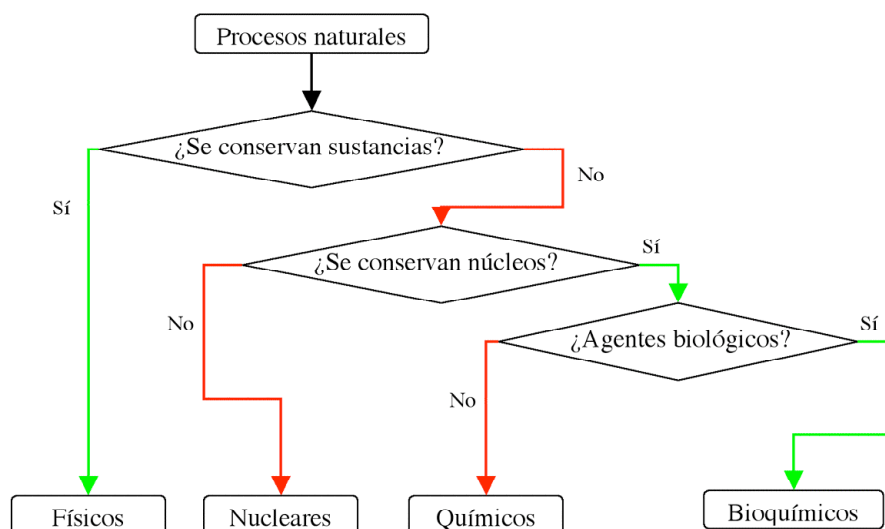


FIGURA 2

MATERIALES.- Son todas las sustancias y mezclas de sustancias de que están hechos los objetos, los seres y los cuerpos. Un determinado material puede estar constituido por una o varias sustancias.

MEZCLA. En química, se refiere a un material constituido por dos ó más sustancias. La *composición química de una mezcla* indica cuáles sustancias la constituyen y en qué proporción.

MEZCLA HETEROGÉNEA. Es un material de aspecto heterogéneo constituido por varias sustancias. Heterogéneo significa que, *a simple vista, se distinguen dos o más sustancias*.

MEZCLA HOMOGÉNEA. Es un material de aspecto homogéneo constituido por varias sustancias. Homogéneo significa que *no se distingue a simple vista que esté formada por dos o más sustancias*.

SUSTANCIAS.- Son los diferentes tipos de materia que pueden existir. Son materiales de aspecto homogéneo de un solo constituyente. Cada sustancia posee características propias que la distinguen de las demás. Consisten de unas pequeñas partículas llamadas *iones, moléculas o átomos*. Se tienen registradas más de 25 millones de sustancias.¹

| | | | |
|-------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| | | Un constituyente | |
| Aspecto homogéneo | Sustancias | | |
| | Mezclas homogéneas | Mezclas heterogéneas | |
| | | Varios constituyentes | |
| | | | Aspecto heterogéneo |

En la **figura 3** se muestra un diagrama de flujo para clasificar un determinado material.

PARTÍCULAS QUÍMICAS.- Son las pequeñas unidades que integran a una sustancia. Son muy pequeñas y muy ligeras. Tanto que en unos cuantos gramos de cualquier sustancia hay del orden de un cuatrillón de partículas. Están constituidas por un cierto número de *núcleos* (con carga eléctrica positiva) interactuando con un cierto número de *electrones* (con carga eléctrica negativa). Pueden ser **iones** (partículas carga-

1. <http://www.cas.org/cgi-bin/regreport.pl>

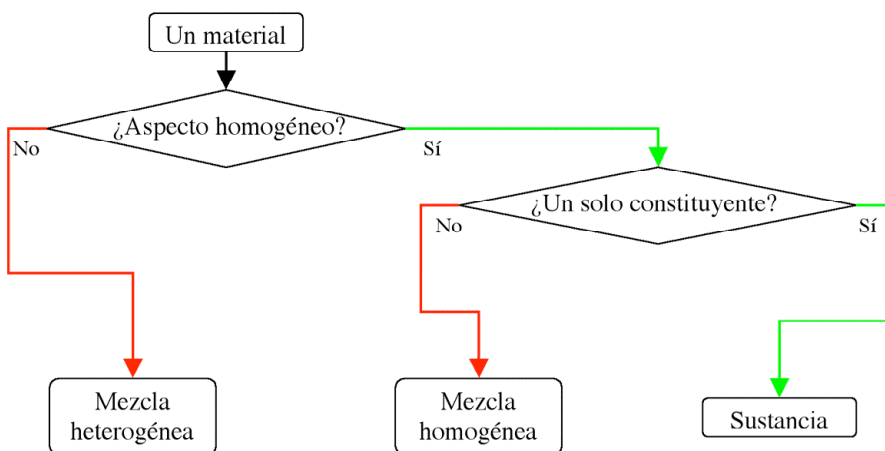


FIGURA 3

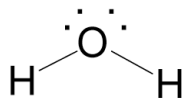
das mono o polinucleares), **moléculas** (partículas polinucleares neutras) o **átomos** (partículas mononucleares neutras). La relación que hay entre sustancia y partícula es similar a la que hay entre manada y búfalo. Es decir, *sustancia* se refiere al conjunto, mientras que *partícula* se refiere a un solo individuo.

| | | | | | |
|----------------|--|----------------------|--|-------|-----------------|
| | | Mononucleares | | | |
| Neutras | | Átomos | | Iones | Cargadas |
| | | Moléculas | | | |
| | | Polinucleares | | | |

NÚCLEOS.- Son la parte positiva de las partículas químicas. Concentran la mayor parte de la masa de las partículas que constituyen. Están formados por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga)

ELECTRONES.- Son la parte negativa de las partículas químicas. No se puede saber cómo se mueven, ni su forma, ni su tamaño, ni su localización precisa. Se distribuyen por capas alrededor de los núcleos. Ocupan regiones inmensamente grandes (comparadas con el tamaño de los núcleos) llamadas *dominios electrónicos*.

REPRESENTACIONES DE LEWIS. Se acostumbra representar a las partículas mediante una serie de fragmentos mononucleares conectados entre sí llamados elementos. En este tipo de representación, las letras representan a los distintos núcleos y sus electrones internos; cada raya representa a dos electrones interactuando eléctricamente con dos núcleos; y cada punto a un electrón interactuando con un solo núcleo.



ELEMENTOS. Se refiere a los fragmentos mononucleares neutros que integran a las partículas (*fragmentos que contienen un solo núcleo y sus respectivos electrones*). Cada elemento se identifica por el número de protones que hay en su núcleo. Se conocen más de 100 elementos distintos. A cada uno se le ha dado un nombre y un símbolo químico (una abreviatura de una o dos letras) y se acostumbra agruparlos en la lla-

mada Tabla Periódica de los Elementos. No son estables en forma aislada (excepto en el caso de los gases nobles). Sólo se estabilizan como parte de moléculas o de redes (metálicas, iónicas o covalentes).

COMPOSICIÓN QUÍMICA. Puede ser la composición sustancial de una mezcla o la composición elemental de una sustancia.

COMPOSICIÓN SUSTANCIAL DE UNA MEZCLA. Indica cuáles sustancias y en qué proporción la constituyen. Por ejemplo, el acero contiene 98 % de hierro y 2 % carbono.

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE UNA SUSTANCIA. Indica cuáles elementos y en qué proporción están presentes en su estructura. Por ejemplo, la composición del agua es H_2O . Quiere decir que en el agua hay 2 fragmentos de hidrógeno por cada fragmento de oxígeno.

SUSTANCIAS COMPUESTAS.- Son aquellas que en su estructura contienen fragmentos de distinto tipo, es decir, que consisten de distintos *elementos*. Una *sustancia compuesta*, sometida a ciertas condiciones pero sin entrar en contacto con ninguna otra sustancia, reacciona para formar otras sustancias más simples llamadas *sustancias elementales*. Algunos ejemplos de sustancias compuestas son: agua (H_2O), bicarbonato de sodio, (NaHCO_3), benceno (C_6H_6), etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$), etcétera.

SUSTANCIAS ELEMENTALES. Son aquellas sustancias cuya estructura consta de fragmentos del mismo tipo, es decir, consisten de un solo *elemento* (un solo fragmento o el mismo repetido varias veces). Por ejemplo: Neón (Ne), oxígeno (O_2), fósforo (P_4), azufre (S_8), sodio (Na_n), carbono (C_n), etcétera. Sin hacerla reaccionar con alguna otra sustancia, es imposible obtener otras sustancias elementales, a partir de una sustancia elemental. Es decir, son las sustancias más simples posibles. Prácticamente no existen en la naturaleza. El hombre las ha obtenido a partir de la descomposición de las *sustancias compuestas*.

CONCLUSIONES

La presentación que se propone en este trabajo va de:

- lo familiar a lo poco conocido (de objetos y seres a núcleos y electrones)
- lo concreto a lo abstracto (de materiales y sustancias a la representación de las partículas en términos de fragmentos mononucleares)
- lo sensorial a lo invisible (de objetos y materiales a iones, moléculas y átomos).

Para que haya coherencia entre los conceptos y no contradicciones ni absurdos se:

- define la *química* en función de la *obtención de nuevas sustancias*
- destaca la *no conservación de las sustancias* en los procesos químicos
- introduce el concepto de *materiales*
- transfiere el énfasis de “la materia” a “los materiales y las sustancias”
- define *mezcla* como *un material constituido por varias sustancias*
- les da el mismo estatus a las *sustancias compuestas* y a las *elementales* (el de sustancias) nombrándolas con el sustantivo *sustancia* y con los adjetivos correspondientes
- dan denominaciones distintas a los conceptos *sustancia elemental* y *elemento*
- define *elemento* como *un fragmento en las partículas*
- presenta el concepto *elemento* dentro del modelo de *representación de las partículas químicas* escogido por los científicos: el de las estructuras de Lewis
- distingue la *composición (sustancial) de las mezclas* de la *composición (elemental) de las sustancias*
- definen las *sustancias compuestas* y las *sustancias elementales* en función de su composición elemental
- les da el mismo estatus a *iones, moléculas y átomos*: el de *partículas químicas*
- destaca la *naturaleza eléctrica de las partículas químicas* y su descripción en términos de la interacción entre sus partes cargadas eléctricamente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAAMAÑO, A. (1998) Materia y materiales en la enseñanza secundaria. *Aula de innovación Educativa*, Vol. 6, pp. 6-12.
- FURIÓ, C., FURIÓ, C. (2000) Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química* Vol. 11 (3) pp. 300-308.
- JENSEN W. B. (1998). "Does Chemistry Have a Logical Structure?", *Journal of Chemical Education*, (6), pp. 679-687; "Can We Unmuddle the Chemistry Textbook?" (7) pp. 817-828; "One Chemical Revolution or Three?" (8) pp. 961-969
- KIND, V. (2004) *Más allá de las apariencias. Ideas previas sobre conceptos básicos de química*. México: Editorial Santillana S. A. de C. V.
- SOSA, P. (2004) Química aritmética. Un primer paso hacia el cambio conceptual. *Educación química* Vol. 15 (3) pp. 248-255.