

Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria

Andrés Raviolo¹

ABSTRACT (The definitions of basic chemical concepts in secondary textbooks)

Chemistry textbooks have a great influence in teaching and learning. In this work, an analysis is carried out about the definitions of basic chemical concepts presented in twenty textbooks mostly utilized by argentine teachers. The concepts revisited were: objective of chemistry study, substance, chemical reaction, elementary substance, element, compound, atom, molecule and ion. The author has preoccupation of the results with regard to: (1) the diversity and ambiguity of the definitions, (2) the absence of coincidences between textbooks, (3) the little internal coherence of discourse, (4) the promotion of alternative conceptions, (5) the relationship between macroscopic and microscopic levels, and (6) the scarce precaution in the introduction of historical information. A proposition about the definition of each of the surveyed concepts has been added in italics.

KEY WORDS: definitions, basic chemical concepts, secondary textbooks, alternative conceptions.

Introducción

Los libros de texto disponibles y utilizados por los profesores de química del nivel medio tienen una gran influencia en la enseñanza y aprendizaje en las aulas. Si bien, el *Diccionario de Ciencias de la Educación* concibe al libro de texto como “el recurso didáctico que ofrece al alumno la información relevante de un nivel, curso o disciplina sistematizada y adecuada al currículo en el que se inscribe” (Mesanza, 1983), en el contexto argentino se observa que los estudiantes generalmente manipulan materiales, fotocopias o guías elaboradas por sus profesores a partir de los libros de texto. Lamentablemente, y en desmedro de la calidad de la enseñanza, para muchos docentes estos textos constituyen la única fuente de información sobre el contenido e inspiración para desarrollar propuestas didácticas.

Por lo mencionado, se estaría frente a graves problemas si los textos no presentan un cuerpo de conocimiento preciso, claro y estructurado, y si sus enfoques y actividades de enseñanza no se basan en los productos de la investigación y reflexión que surgen en la Didáctica de las Ciencias.

El objetivo de este trabajo no fue buscar “errores” en textos

de química de nivel medio disponibles en Argentina, sino realizar un análisis didáctico (útil para el aprendizaje y la enseñanza) de cómo los libros presentan las definiciones de algunos conceptos básicos del currículo de química.

Los conceptos revisados fueron: objeto de estudio de la química, sustancia, reacción química, sustancia elemental, elemento químico, compuesto, átomo, molécula e ion.

Interesó indagar particularmente:

- Cuál es el grado de coincidencia en la formulación de las definiciones.
- Cuál es la primera información que aparece en las definiciones, si comienzan con la referida a la clase en que se incluye el término definido.
- Cómo abordan las definiciones a un nivel macroscópico (empírico, perceptivo) y a un nivel microscópico (átomos, moléculas, iones), de los conceptos: sustancia, reacción química, sustancia elemental y compuesto.
- Cómo presentan dos conceptos estructurantes de la química para este nivel: sustancia y cambio químico.
- Si establecen más de un significado al término elemento químico.
- Si promueven la aparición o consolidación de concepciones alternativas en los alumnos y también en los profesores.

Metodología

Se analizaron 20 textos disponibles de química para nivel medio, entre los que se encuentran los más utilizados por los profesores argentinos (ver Anexo 1).

Cada libro fue revisado siguiendo una lista de preguntas que guiaron el trabajo (Anexo 2). Las respuestas se escribieron incluyendo también los párrafos y definiciones textuales. Cada libro fue analizado independientemente, por lo menos, por dos investigadores.

* Universidad Nacional del Comahue. Bariloche. Río Negro. Argentina.

Colaboraron docentes de secundaria que participaron en un taller coordinado por el autor, en orden alfabético del apellido: Elsa Biffi, Graciela Casado, Sandra Cavallaro, M^a Fernanda Cháves, M^a Inés Chiossone, Claudio Contogiorgakis, Raúl Magallán, Mariana Menéndez, Teresa Mesa, Sabina Mesa, Sabrina Natalizio, Nilda Schavinsky, Yamila Sessa, Paula Soares y Marta Vassallo

Correo electrónico: araviolo@bariloche.com.ar

Los resultados del análisis de la información obtenida se desarrollan a continuación. También se presentan (en letra cursiva) definiciones sugeridas que atienden fundamentalmente a cuestiones didácticas, muchas de las cuales son discutidas en otro artículo (Raviolo, 2008).

1. Objeto de estudio de la química

El 25% de los textos consultados no definen el objeto de estudio de la química. El 35% propone afirmaciones generales del tipo: “Estudio de la materia, la energía y sus transformaciones”, “Se preocupa de estudiar las transformaciones naturales y artificiales que experimenta la materia” que podrían caberle a la Física.

Curiosamente son poco frecuentes (35%) las afirmaciones que hacen referencia a los dos conceptos centrales de “sustancia” y “reacción química”: “*La Química estudia las sustancias, su estructura, sus propiedades y reacciones y las leyes que rigen estas reacciones*”. Una discusión interesante sobre este aspecto la realiza Garritz (2007).

2. Sustancia a nivel macroscópico

Un 10% de los libros de texto no define sustancia o lo hace muy indirectamente.

Una definición es una explicación del significado de un término con el fin de eliminar la vaguedad y la ambigüedad de las palabras; por ello, la primera información que tendría que aparecer en una definición es la referida a la clase, o categoría, en que se incluye el término definido. Para el caso de sustancia la incluyen en:

- “sistema” (ej. sistema homogéneo) (40%)
- “materia” (30%)
- “muestra” (10%)
- “cuerpo” (10%)
- no define clase alguna (10%)

Es inadecuado que la definición de sustancia dependa de otros términos que requieran una compleja definición previa, por ejemplo los términos sistema o componente: “Sustancia es un sistema homogéneo formado por un solo componente”; el concepto científico de sistema es complejo y, además, posee muchos significados cotidianos.

En forma análoga a la biología, se suelen llamar a las sustancias como las “especies químicas” (15% de los textos). El inconveniente de este término es que la palabra “especie” es utilizada en los textos también para partículas (como tipo de átomos, tipos de moléculas, etc.). Para estos casos la IUPAC propone “entidades moleculares”.

Otras definiciones resultan poco precisas: “Sustancia es lo que tiene de común la materia con iguales propiedades intensivas o específicas”, “Es cada una de las clases de materia”, “Especie química o sustancia es lo que tienen en común los cuerpos puros con iguales propiedades”.

Los aspectos del concepto sustancia que se tienen en cuenta en las definiciones son:

- Materia homogénea: 55%
- Composición fija: 20%
- Propiedades características: 85%
- No fraccionable: 50%

El hecho de que su composición sea fija (constante, definida, conocida) es una característica muy importante de las sustancias a la que se da poca relevancia en la enseñanza. Este aspecto la diferencia del otro sistema homogéneo, las disoluciones, que son mezclas de composición variable. Por ello, una definición adecuada de sustancia es: “*Una sustancia es materia homogénea de composición fija que posee propiedades específicas que la diferencian de otras*”.

Un 45% de los textos se refiere a “sustancia pura”, o a “cuerpo o material puro”, conceptos que han dejado de utilizarse. Es importante discutir con los alumnos el significado del término “pureza” de un reactivo. Hablar de “sustancia pura” daría lugar al contradictorio término de “sustancia impura”. La diferencia entre sustancia y mezcla se torna sutil y abstracta. A nivel macroscópico es una sustancia cuando se funde o hierve a temperatura constante, si no, es una mezcla. Así, el concepto de sustancia se refiere a un modelo de la química más que a un objeto real. A este debate no aportan mucho afirmaciones como la encontrada en un texto: “Una sustancia pura es toda la que está formada por un único componente”.

3. Sustancia a nivel microscópico

Sólo dos libros (10%) presentan una definición microscópica de sustancia en general, aunque este tipo de definiciones es común para sustancia elemental y compuesto. Ambos textos hacen referencia a las sustancias como moleculares (sin tener en cuenta a las sustancias iónicas, metálicas y covalentes): “Una sustancia es pura cuando todas sus moléculas tienen la misma composición”, “Una sustancia pura es una sustancia formada por un solo tipo de moléculas” (en esta última, el uso del término “sustancia pura” daría lugar a pensar en sustancias formadas por más de un tipo de moléculas).

Teniendo en cuenta la tendencia de los alumnos a transferir propiedades macroscópicas de las sustancias a las partículas, las definiciones anteriores fomentan la transferencia del concepto macro de pureza al nivel micro.

Furió y Furió (2000) afirman que los alumnos desconocen la idea microscópica de sustancia como un conjunto de muchísimas partículas todas iguales; por ello, se sugiere como definición de sustancia a nivel microscópico: “*Una sustancia es materia homogénea formada por partículas iguales*”. En otro artículo (Raviolo, 2008) se ha profundizado esta idea de partículas iguales aclarando que se trata de las partículas representativas de las sustancias que permiten clasificarlas en distintos tipos de sustancias (moleculares, covalentes, iónicas y metálicas). Por ejemplo, el átomo es la partícula representativa de la sustancia en el caso de los gases nobles, ejemplo: Ar(g) o de los sólidos covalentes, ejemplo: C(diamante).

4. Reacción química a nivel macroscópico

Sorprendentemente un 10% de los libros de química no definen en forma directa al cambio o reacción química, objeto de estudio de esta ciencia. A nivel empírico se espera que las definiciones se refieran a “un proceso en el cual una sustancia (o sustancias) cambia para formar una o más sustancias nuevas”.

Una concepción alternativa frecuente de cambio químico es considerarlo como una modificación, en la cual la sustancia varía su apariencia o propiedad pero manteniendo su identidad (Andersson, 1990). A esta idea contribuyen, directa o indirectamente, el 50% de las definiciones extraídas de estos textos, al hacer hincapié en la modificación de propiedades: “Durante las transformaciones, reacciones o fenómenos químicos, sí se producen modificaciones en las sustancias presentes en el sistema”, “Las sustancias se transforman en otra u otras sustancias cuyas propiedades son diferentes de las sustancias que se pusieron en contacto”, “Los cambios químicos o reacciones provocan una modificación en la composición química de las sustancias, dando lugar a la formación de otras sustancias”.

Relacionada con la concepción anterior, un 10% de los textos promueve la afirmación errónea de que “toda transformación en la que cambian las propiedades específicas de las sustancias es un cambio químico”, dado que algunas transformaciones físicas, como los cambios de estado, producen cambios en propiedades específicas (por ej. la variación de la densidad del agua al pasar al estado sólido). La siguiente definición encontrada en uno de los textos aporta a esta idea: “Cambio químico es toda modificación que produce cambios en las propiedades intensivas o sustanciales”.

Otras definiciones incorrectas de textos asocian a los cambios físicos como reversibles y cambios químicos como irreversibles o permanentes (15%): “Fenómenos químicos son todas aquellas transformaciones que alteran las propiedades de las sustancias de modo definitivo y permanente”.

Una definición sugerida podría ser: “*Una reacción química es un proceso en el cual una sustancia (o varias sustancias) cambia/n y forma/n una o más sustancias nuevas*”.

5. Reacción química a nivel microscópico

El 35% de los textos consultados no presenta una definición microscópica de la reacción química. El 40% lo hace correctamente como un reordenamiento de átomos: “Los átomos que constituyen las sustancias originales (llamadas reactivos) proceden a reagruparse para formar las nuevas sustancias (es decir, los productos)”, y un 25% se refiere a cambios en los átomos que forman las moléculas, es decir consideran a todas las sustancias como moleculares: “En toda reacción química los átomos que constituyen las moléculas se reagrupan, es decir, se unen de manera distinta formando nuevas moléculas”.

Un 30% de los textos, conjuntamente a la interpretación microscópica del cambio químico, mencionan la conservación del número y de la identidad de los átomos que participan en él: “durante una reacción química los átomos no se crean ni se destruyen, ni cambian su identidad”.

Definición sugerida: “*En una reacción química hay una redistribución de los átomos o iones formando otras estructuras (moléculas o redes) diferentes*”.

6. Sustancia elemental a nivel macroscópico

En primer lugar, la presencia en muchos de los libros de texto analizados de los términos “sustancia simple” y “sustancia compuesta”, a pesar de que ya no son empleados por la IUPAC, reflejaría cierto grado de obsolescencia en estos libros. En este artículo se discute y propone el uso del término “sustancia elemental” (en lugar de “sustancia simple”) como una forma de precisar el concepto de elemento químico y de evitar contradicciones en el discurso.

El 60% de los libros analizados define a sustancia elemental en términos macroscópicos como: “Sustancias que no pueden dar origen a otras, no se pueden descomponer”. En un 25% de los textos no se encontró una definición.

Un 10% las define considerando a las sustancias sólo como moleculares: “Son aquellas cuyas moléculas están constituidas por átomos de la misma especie”, “Sus moléculas están formadas por átomos idénticos”. Y un texto (5%) emplea el prescindible término “cuerpo puro simple”: “Cuerpo puro simple es aquel cuerpo que, sometido al proceso de descomposición mantiene sus propiedades y no forma cuerpos puros más sencillos”.

Un 20% utiliza, en forma explícita, a “elemento” y “sustancia elemental” (“sustancia simple” en muchos textos) como sinónimos. Si bien la IUPAC acepta dos significados para el concepto elemento químico (como especie de átomos y como sustancia química), se considera inapropiado emplear como sinónimos a elemento y sustancia elemental, desde un punto de vista de la coherencia lógica interna del discurso y desde un enfoque didáctico, dado que conduce a muchas confusiones; por ejemplo, en las reacciones químicas se conservan los elementos (tipos de átomos) y no las sustancias elementales involucradas en la reacción. Así se reserva el término elemento como un concepto del nivel microscópico. Esta postura, apoyada por algunos autores como Bullejos y otros (1995), se sigue discutiendo más abajo cuando se analizan las definiciones de elemento.

La utilización de “elemento químico” como sustancia conduce a contradicciones internas que se ponen de manifiesto a veces en un mismo párrafo: “Un elemento químico es una sustancia pura que no puede descomponerse en otras sustancias más simples mediante reacciones químicas ... todas las sustancias puras son elementos químicos o están formados por la combinación de dos o más elementos químicos”, se desprende la concepción alternativa de que un compuesto está formado por una combinación de dos o más sustancias elementales. Esta idea, la refuerza el hecho de que la palabra combinación se utiliza frecuentemente para mezclas.

En definitiva: “*Una sustancia elemental es una sustancia a partir de la cual no puede obtenerse sustancias más simples por medios químicos*”.

7. Sustancia elemental a nivel microscópico

El 25% no presenta una definición a nivel partículas de sustancia elemental. Un 35% lo hace considerando a todas las sustancias como moleculares y/o dentro de las hipótesis de Dalton y Avogadro: "Las moléculas de una sustancia simple están constituidas por átomos de la misma clase".

Un 15% se refiere a "tipos de átomos": "Sustancia simple: sustancia cuyas partículas constituyentes corresponden al mismo tipo de átomos". Un 10% a "átomos iguales": "Está formada por átomos iguales", que no sería del todo correcta si se tienen en cuenta los isótopos. Y, finalmente, un 15% a "elemento químico": "Sustancia simple formada por un solo elemento".

Definición sugerida: "Las sustancias elementales son sustancias formadas por un único tipo de átomos".

8. Elemento químico

El 50% de los textos considera a elemento como una sustancia y un 15% no lo define. En el análisis de resultados de este apartado la suma de los porcentajes excede el 100% dado que varios textos asumen más de una postura.

El 25% utiliza la definición asociada a Dalton: "Elemento: lo que tiene en común las sustancias simples, sus variedades alotrópicas y todas aquellas sustancias compuestas que, por descomposición, pueden originar dicha sustancia simple". Otros lo definen como sustancia adoptando la concepción de Boyle: "Para Boyle, los elementos debían definirse como las sustancias básicas de las que estaba constituida toda la materia. Esto significaba que un elemento no podía descomponerse en sustancias más simples".

Otro grupo de definiciones (15%) lo designa como un tipo de "unidad fundamental" (unidad química, entidad elemental, etc.): "Los elementos químicos son las unidades químicas fundamentales a partir de las cuales se forman las sustancias simples y compuestas".

La IUPAC enumera dos definiciones para elemento químico: (1) como una especie de átomos y (2) como una sustancia química pura compuesta de átomos con el mismo número de protones en el núcleo, y aclara que, frecuentemente, se utiliza el término sustancia elemental para la segunda acepción.

El 35% de los textos define a elemento como un concepto del nivel micro, como una clase o tipo de átomos: "A cada tipo de átomo se le da el nombre de elemento", "Un elemento químico designa a la clase de átomos que tienen un mismo número atómico Z", sólo un 15% aclara que se trata de un tipo de átomos con igual número atómico. Otras afirmaciones a nivel partículas son más confusas: "Los átomos de una misma especie corresponden a un determinado elemento químico", "Estos diferentes tipos de átomos, son partículas representativas de los elementos químicos", "Un conjunto de átomos con el mismo número de protones".

La consideración de elemento como sustancia contribuye a la concepción alternativa muy extendida entre los alumnos de que un compuesto es una mezcla de sustancias. Por ejemplo: "Una idea muy antigua es que todas las sustancias se ori-

ginan por combinación de unas pocas sustancias elementales... la materia está formada por la combinación de elementos químicos", "Elemento es una sustancia constituida por un solo tipo de átomo, que puede formar parte de todas las demás sustancias", de la que se desprende: "sustancia... que puede formar parte de todas las demás sustancias".

La última definición del párrafo anterior concibe a elemento como sustancia y como tipo de átomo. Curiosamente, ningún autor aclara que emplea al término "elemento" con dos significados: uno macroscópico (como sustancia elemental) y otro microscópico (como tipo de átomos).

Algunas definiciones son confusas: "Los átomos de una misma especie corresponden a un determinado elemento químico", "Un elemento no puede descomponerse en entes más elementales", además de ser rebuscadas utilizan términos imprecisos como "especie", que se usa también para tipos de sustancias o de moléculas, o "entes elementales".

Otra afirmación conlleva, también, una contradicción interna: "Los elementos son sustancias simples, pero no toda sustancia simple es un elemento, pues el diamante y el grafito son sustancias simples, no son elementos sino que están constituidos por el elemento carbono", de la que se deriva que el diamante y el grafito están constituidos por la sustancia elemental carbono, pero ¿existe la sustancia elemental carbono? Siguiendo el mismo razonamiento la sustancia ozono (O_3) estaría constituida por la sustancia elemental oxígeno (O_2).

Teniendo en cuenta lo apropiado de la utilización del término sustancia elemental, se sugiere como definición: "Un elemento químico es una clase de átomos, átomos con igual número atómico; es decir, átomos que tienen el mismo número de protones".

Y, más general, teniendo en cuenta a las sustancias formadas por iones: "Un elemento químico es una clase de partículas con núcleos atómicos que poseen igual número de protones".

9. Compuesto a nivel macroscópico

El 30% de los textos no presenta una definición de compuesto ("sustancia compuesta" se le denomina en muchos textos) a nivel macroscópico como una sustancia que puede ser descompuesta en sustancias simples por procedimientos químicos. Un 20% lo hace indirectamente a través de ejemplos: "La descomposición del agua por electrólisis ha mostrado que esta sustancia es compuesta, porque se la puede descomponer en dos sustancias".

El 35% presenta una definición apropiada, aunque la mitad de ellos aclara que se trata de una descomposición química: "Sustancia compuesta: pueden descomponerse en dos o más sustancias", "Toda sustancia que puede ser químicamente descompuesta". Otras son más confusas: "Es aquel cuerpo que sometido al proceso de descomposición produce dos o más cuerpos puros de composición más sencilla".

En otras afirmaciones (20%) se concibe a la sustancia compuesta como una combinación de dos o más sustancias elementales o elementos, con lo que promueven la confusión entre mezcla y compuesto: "Sustancias compuestas o com-

puestos químicos: resultan de la combinación de dos o más sustancias simples”, “Sustancia formada por dos o más elementos que no es posible separar por métodos físicos” (anteriormente este texto había definido a elemento como una sustancia).

La definición: “En las sustancias compuestas desaparecen las propiedades de las sustancias que le dan origen”, refuerza indirectamente la concepción de cambio químico como modificación de propiedades manteniendo identidad de sustancias.

Sólo un texto hace referencia a la posibilidad de que como producto de una descomposición se podría obtener otra sustancia compuesta (por ej. la descomposición térmica del clorato de potasio o del carbonato de calcio): “Las sustancias en las que se puede descomponer una sustancia compuesta pueden ser simples o a su vez compuestos, pero estas sustancias compuestas a su vez se pueden descomponer en otras simples”.

Definición sugerida: “*Un compuesto químico es una sustancia a partir de la cual pueden obtenerse sustancias elementales por medios químicos*”. Por medios químicos debería entenderse una o varias reacciones químicas que lleven a la obtención de sustancias elementales.

10. Compuesto a nivel microscópico

El 25% de los textos analizados no presentan una definición a nivel microscópico de compuesto. El 70% presenta afirmaciones apropiadas: “Los compuestos están formados por dos o más tipos de átomos diferentes”. Y un 5% lo hace indirectamente a través de la presentación de ejemplos: “Existen sustancias constituidas por un solo elemento químico (H_2 , Cl_2 , N_2) o por dos distintos (H_2O , CO_2). El agua y el dióxido de carbono son sustancias compuestas”.

El 40% de los textos considera a todas las sustancias como moleculares: “Si la molécula está formada por átomos diferentes, la sustancia es compuesta”, “Un compuesto químico es una sustancia pura cuyas moléculas están formadas por dos o más tipos de átomos”.

Una definición hace referencia a “combinación”: “A partir de los compuestos que resultan de la combinación de átomos diferentes, es posible obtener los elementos puros mediante procesos químicos”.

Como definición sugerida se propone: “*Un compuesto es una sustancia formada por dos o más tipos de átomos (elementos), esos átomos están unidos químicamente en proporciones definidas*”.

11. Conservación de los elementos en una reacción química

El 55% de los textos no hace referencia directa o indirecta a la conservación de los elementos, o del tipo de átomos, que participan en una reacción química. El 45% lo hace aunque sólo uno de ellos (5%) hace explícito el término “conservación de los elementos”: “Ley de conservación de los elementos: en toda transformación química se conserva la clase y masa de los elementos que en ella intervienen”. Las demás

definiciones hablan de conservar el tipo de átomos: “En el transcurso de la reacción, los átomos no se destruyen ni se forman átomos de otro elemento, sino que se organizan de un modo diferente”, “Pero durante las transformaciones químicas no cambia el número ni clase de átomos”.

Un 20% lo hace indirectamente a partir de extraer una generalización de ejemplos presentados: “Estos procesos consisten en un reordenamiento de los átomos, que se agrupan de diferente manera en los reactivos y en los productos, por lo que su cantidad e identidad se conserva”.

Teniendo en cuenta que en un cambio químico pueden participar sustancias formadas por iones, se podría definir: “*En una reacción química se conserva la identidad y número de los núcleos atómicos*”.

12. Átomo

En un 15% de los textos no se encontró una definición de átomo y en un 40% se presenta al átomo en forma indirecta, generalmente dentro del desarrollo de la teoría de Dalton.

En general, al átomo se lo incluye en las categorías de:

- “partícula” (40%): “El átomo es la partícula más pequeña de un elemento que puede participar en un cambio químico”.
- “menor porción” (25%): “Átomo es la menor porción de materia capaz de combinarse para formar moléculas”, “Parte más pequeña de un elemento”.
- “unidad básica o fundamental” (5%): “Unidad fundamental de un elemento que puede intervenir en una reacción química”.
- otras categorías difusas como “estructuras” o “constituyentes” (10%): “Son constituyentes de las moléculas”, “La materia está constituida por estructuras infinitamente pequeñas, los átomos”.

En un 30% de los libros se aprecian las cuestionables asociaciones entre átomo-menor partícula de una sustancia simple y molécula-menor partícula de una sustancia compuesta. “Átomo: parte más pequeña de un elemento. Molécula: parte más pequeña, con existencia individual estable, de una sustancia pura simple o compuesta”, “Los elementos químicos están formados por átomos”. Generalmente, éstas surgen como derivadas de introducciones históricas (Dalton, Avogadro).

Relacionado con lo anterior, un 10% menciona la partícula posee las propiedades de la sustancia: “Átomo es la menor masa de un elemento químico que mantiene la identidad de dicho elemento”, “Partícula más pequeña que posee propiedades de un elemento”, afirmaciones que promueven una de las concepciones más extendidas en el aprendizaje de la química, atribuirle a las partículas propiedades del mundo macroscópico o perceptible.

Definiciones sugeridas: “*Un átomo es una partícula, unidad básica de la materia, dado que toda la materia está constituida por átomos o por partículas que se derivan de ellos*”. “*Un átomo es una partícula mononuclear (con un solo núcleo atómico) neutra*” (Sosa, 2007).

13. Molécula

Un 10% de los textos analizados no define molécula y otro tanto lo hace indirectamente a través de ejemplos: “La porción más pequeña de azúcar será una molécula de azúcar”.

Los atributos del concepto de molécula que mencionan son:

- “menor porción de sustancia” (35%): “Molécula es la menor porción de sustancia que puede existir en estado libre conservando todas las propiedades de esa sustancia”.
- “existe libre” (35%): “La partícula más pequeña de la materia que puede encontrarse libre es la molécula, formada por uno, dos o más átomos”.
- “partícula” (25%): “La partícula más pequeña de la materia que ...”.
- “estable” (20%): “A los agregados estables de dos o más átomos...”, “Se presenta en estado libre o estable”. “... capaz de existencia individual estable”.
- “conserva propiedades sustancia” (15%): “La menor porción de una sustancia que posee todas sus propiedades es una molécula”.
- “unidad” (10%): “Una molécula es una unidad constituida por ...”.
- “átomos unidos por enlaces covalentes” (10%): “Conglomerado de dos o más átomos unidos por enlaces covalentes”.
- “proporción definida de átomos” (10%): “Una molécula está formada por un número definido de átomos iguales o diferentes”, “Moléculas, que tienen una proporción definida y característica de átomos”.
- “menor porción de materia” (5%) “es la menor porción de materia que puede presentarse en estado libre y estable”.
- “conjunto”, “agrupación”, etc. de átomos (40%): “Las moléculas son agrupaciones de átomos iguales o distintos”, “Molécula es un conjunto neutro de átomos que se comporta como una unidad”, “Conglomerado de dos o más átomos...”, “A los agregados estables de dos o más átomos se los conoce como moléculas”.

En el 35% de los textos menciona que una molécula es la menor parte de una sustancia y/o que posee las propiedades de esa sustancia, que como ya se mencionó, esta idea (además de ser incorrecta) promueve la generalizada concepción alternativa consistente en transferir propiedades macroscópicas al mundo micro (“la molécula de azúcar es blanca”). Como ejemplos, de cuatro textos diferentes se extraen: “La menor porción de una sustancia que posee todas sus propiedades es una molécula. Esto es, una sustancia se puede subdividir en partículas cada vez más pequeñas hasta alcanzar el límite molecular”, “La molécula conserva las propiedades de la sustancia a la cual pertenece”, “Así, por ejemplo, la menor partícula de agua que presenta sus propiedades es la molécula de agua, la que a su vez está constituida por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno”, “La porción más pequeña de azúcar será una molécula de azúcar”.

Afirmaciones del tipo: “las moléculas son agregados estables de dos o más átomos” no da cabida a considerar “moléculas

las monoatómicas”, que es un término (incluido en el 55% de los textos analizados) que habría que evitar dado que confunde. Por ejemplo, resulta ambigua la proposición: “La partícula más pequeña de la materia que puede encontrarse libre es la molécula, formada por la unión de dos o más átomos, y en unos pocos casos es directamente el átomo”.

Además el término “moléculas monoatómicas” conduce a otras ideas erróneas como las encontradas en dos textos: “Las sustancias simples cuya molécula está formada por un solo átomo constituyen moléculas monoatómicas, como la molécula de los gases raros y de muchos metales al estado de vapor ej. He, Ne, Ar, Xe, Na”, “Molécula de mercurio (un átomo de mercurio)”. Estas afirmaciones hacen referencia a moléculas de metales, a pesar de que, en condiciones especiales, la partícula libre de un metal es un radical libre (Sosa, 1999).

Esta terminología también tiene un origen histórico, relacionado con el desarrollo del conocimiento microscópico de los gases y la teoría cinética molecular. Pocos textos aclaran este aspecto: “Los gases nobles son una excepción, ya que están constituidos por átomos individuales”, “Los gases nobles no forman moléculas ni participan en ningún compuesto natural conocido”.

Además muchas de estas definiciones contribuyen a reforzar la idea de que todos los compuestos son moleculares: “Molécula es la parte más pequeña en la que puede ser dividida una sustancia, sin que forme una sustancia nueva”, “Moléculas simples... monoatómicas, biatómicas y poliatómicas... moléculas compuestas”.

Definiciones sugeridas: “Molécula es el conjunto de, por lo menos, dos átomos en un arreglo definido que se mantienen unidos por medio de fuerzas químicas. Estas fuerzas permiten que se muevan y actúen juntos como si fueran una sola identidad”. “Una molécula es una partícula polinuclear neutra” (Sosa, 2007).

14. Ion

La definición de ion no se encontró en el 20% de los libros. Un 20% lo hace como derivado del átomo o de grupo de átomos: “Ion es un átomo o grupo de átomos con cargas eléctricas”, y un 25% lo hace como sólo derivado de átomo: “Cuando los átomos neutros pierden o ganan electrones, se transforman en iones”, no dando cabida a los iones poliatómicos como el ion carbonato.

Un 40% incluye a ion en la categoría “partícula”: “Se llama ion a toda partícula cargada eléctricamente por cesión o ganancia de electrones”, y un 10% en la de “especie”: “Los iones son especies que, a diferencia de los átomos, tienen carga eléctrica neta”, “Cuando una especie química (un átomo o conjunto de átomos) adquiere una carga eléctrica neta, por ganancia o pérdida de electrones, se la denomina ion”. Un 45% hace referencia a la ganancia o pérdida de electrones.

Aparecen contradicciones internas en los textos motivadas por el uso del término elemento como sustancia: “Un ion es un átomo con carga eléctrica”, después aclara: “existen aniones formados por dos o más elementos, aniones compuestos”,

pero antes había definido elemento como una sustancia; además, también existen cationes formados por más de un átomo.

Otras definiciones son confusas: "Partícula con carga eléctrica por pérdida o ganancia de electrones", "Los iones son partículas que tienen carga eléctrica", los protones y electrones también.

Definiciones sugeridas: "Ion es un átomo o grupo de átomos que tienen carga neta positiva o negativa". "Un ión es una partícula cargada mono o polinuclear" (Sosa, 2007).

Conclusiones

En algunos libros de química, utilizados en la educación media argentina, no se encuentran definidos algunos conceptos básicos que abordan en sus páginas. Muchos textos, no sólo no presentan en una forma destacada las definiciones sino que parecen evitar el compromiso de hacerlo.

La diversidad de afirmaciones que se encuentra, en el conjunto de textos, es alarmante. Es difícil hallar definiciones iguales, o semejanzas en los aspectos que se tienen en cuenta del objeto definido. No hay coincidencias en las clases en que se incluyen los términos definidos, es decir en las primeras partes de las definiciones.

Muchas proposiciones son erróneas o muestran generalizaciones imprecisas. Existe poca consideración de las concepciones alternativas que pueden fomentar directa o indirectamente. Lo que estaría indicando poca conexión de los autores con los resultados de la investigación en Didáctica de las Ciencias.

De la revisión hecha surge la necesidad de reforzar claramente los distintos niveles de representación de la materia: macro, micro y simbólico, y las adecuadas relaciones entre ellos. Sobre este aspecto, Domínguez y Furió (2005) hallaron resultados similares y preocupantes en docentes y libros de texto españoles.

En este contexto, una de las cuestiones a revisar es cómo los libros presentan los antecedentes históricos. Debe discriminarse lo que corresponde a la construcción histórica del conocimiento y al conocimiento aceptado en la actualidad, teniendo en cuenta que el alumno, seguramente, está tomando contacto por primera vez con estos hechos y conceptos; por ejemplo, con la inclusión de la teoría de Dalton. Furió y Domínguez (2007) plantean la existencia de ciertas semejanzas entre las ideas sobre la composición de la materia que ofrecen algunos modelos históricos y la visión actual de los estudiantes, en lo que respecta a: (a) las diferencias entre mezcla y compuesto, (b) la conservación o no de las sustancias en un cambio y (c) el concepto microscópico de sustancia. De lo tratado en la presente revisión se deriva que los libros de texto son responsables, en gran medida, de esa situación.

Del análisis realizado se desprende que la química de los libros de texto, considerados en su conjunto, es un cuerpo, lógico y semánticamente, incoherente de conocimientos. Da

la impresión que para entender el significado correcto de muchas expresiones hay que saber química previamente. Por ejemplo, para poder superar: (1) el uso del mismo término con distinto significado, (2) el empleo de palabras que tienen otras connotaciones en la vida cotidiana, y (3) las contradicciones en la lógica del discurso. Con respecto a las dos primeras se observa que los textos no incluyen advertencias sobre ellas al lector neófito.

Surge como una implicación de este trabajo la necesidad de volver a reflexionar sobre las definiciones de los conceptos básicos de la química en distintos momentos del desarrollo del currículo, incluso en la universidad. Es una concepción alternativa creer que un concepto abstracto se aprende en un momento del programa en forma acabada y definitiva.

En síntesis, si la mayoría de los docentes de nivel medio se guía, exclusiva y acriticamente, en los textos para ese nivel se está frente a una preocupante fuente de problemas para el aprendizaje de la química.

Bibliografía

- Andersson, B., Pupils conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.
- Bullejos, J., De Manuel, E. y Furió, C., ¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, **9**, 27-42, 1995.
- Domínguez, C. y Furió, C., Aprendiendo de la historia y filosofía de la ciencia: deficiencias en la enseñanza de los conceptos macroscópicos de sustancia y cambio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso, 2005.
- Furió, C. y Furió, C., Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos, *Educ. quím.*, **11**(3), 300-308, 2000.
- Furió, C. y 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.
- Garriz, A., Química: ¿tiene que ver con sustancias o con procesos? Consultada por última vez en julio 10, 2007. En la siguiente URL http://garriz.com/andoni_garriz_ruiz/documentos/Definicion_Quimica.doc
- Mesanza, J. (coord.), *Diccionario de las Ciencias de la Educación*, Vol. II, Madrid. Santillana, 1983.
- Raviolo, A. Definiciones básicas de la química: una discusión didáctica. I. Química, sustancia, mezcla y reacción química, *Educación en la Química*, en prensa, 2008.
- Sosa, P., De palabras, de conceptos y de orden, *Educ. quím.*, **10**(1), 57-60, 1999.
- Sosa, P., *Conceptos base de la química*, México, Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM, 2007.

Anexo 1:

Textos analizados (en orden cronológico de edición)

1. Fernández Serventi, H., *Química General e Inorgánica*, 8° edición, Ed. Losada, 1974.
2. Biasioli, G.A. y Weitz, C.S., *Química General e Inorgánica*, Ed. Kapelusz, 1978.
3. Carrillo, E., *Ciencias Físico Químicas III*, Ed. Estrada, 1979.
4. Maiztegui, A. y Boido, G., *Nociones de Física y Química*, Ed. Kapelusz, 1982.
5. Magnetti, R.C., *Elementos de Física y Química*, Ed. Huelmul, 1985.
6. Beltrán, F., *Química, un curso dinámico*, 4° edición, Magisterio Río de La Plata, 1987.
7. Depau, C., Tonelli, L. y Cavalchino, A., *Elementos de Física y Química*, Ed. Plus Ultra, 1988.
8. Milón, J.O., *Merceología IV*, Ed. Estrada, 1992.
9. Mautino, J. M., *Química 4 (Aula Taller)*, 1ª edición, Ed. Stella, 1992.
10. Escudero, P. y otros, *Físico-Química*, Ed. Santillana, 1992.
11. Garritz, A. y Chamizo, A., *Química*, Addison Wesley, 1994.
12. Vidarte, L., *Química. Para descubrir un mundo diferente*, Ed. Plus Ultra, 1997.
13. Alegría, M.P. y otros, *Química I. Polimodal*, Ed. Santillana 1999.
14. Mautino, J.M., *Físicoquímica 3. Aula Taller*, Ed. Stella, 1999.
15. Aldabe, S., Aramendia, P. y Lacreu, L., *Química 1, Fundamentos*, Edic. Colihue, 1999.
16. López Vivar, J. y otros, *Química. Educación Media*, Santillana, 1999.
17. Candas, A. y otros, *Química. Polimodal*, Ed. Estrada, 2000.
18. Dal Fávero, M. A. y otros, *Química Activa. Polimodal*, Ed. Puerto de Palos, 2001.
19. Mautino, J.M., *Química Polimodal*, 1ª edición, Ed. Stella, 2002.
20. Bulwik, M. y otros, *Qui. Química (Polimodal)*, Tinta Fresca, 2006.

Anexo 2:

Preguntas que guiaron la indagación de textos

1. ¿Menciona el objeto de estudio de la química? ¿Éste hace referencia al cambio o reacción química?
2. ¿Defina a sustancia en forma empírica? (sistema homogéneo, composición única, propiedades características) ¿Se refiere a sustancia "pura"?
3. ¿Define a la reacción química en forma empírica?
4. ¿Define a la reacción química a nivel microscópico?
5. ¿Define a la sustancia elemental ("sustancia simple") en forma empírica?
6. ¿Define a la sustancia elemental a nivel microscópico?
7. ¿Define a elemento químico? (como un tipo de átomos)
8. ¿Utiliza como sinónimos a sustancia elemental con elemento?
9. ¿Define a compuesto ("sustancia compuesta") en forma empírica?
10. ¿Define a compuesto a nivel microscópico?
11. ¿Considera a todas las sustancia como moleculares? (formadas por moléculas)
12. ¿Menciona que en una reacción química se conservan los elementos?
13. ¿Define átomo?
14. ¿Define molécula?
15. ¿Hace referencia a moléculas "monoatómicas"?
16. ¿Menciona que las moléculas conserven algún tipo de propiedad de la sustancia?
17. ¿Define ion?