

REFLEXIÓN EPISTEMOLÓGICA Y DIDÁCTICA: CONCEPTOS ESTRUCTURANTES EN ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Mag. Prof. Daniel Álvarez Rivero

Instituto de Profesores “Artigas” / Profesorado Semipresencial
danquim2013@gmail.com

Resumen

El presente artículo incluye un breve abordaje epistemológico y didáctico de dos conceptos cuya comprensión –a juicio del autor– es estructurante para la futura construcción de significados en diversos aspectos que constituyen el corpus conceptual de la química y su enseñanza. Desde esta perspectiva se presenta un posicionamiento frente a las dimensiones de análisis de la química (fenomenológica y teórica), se discute sobre las nociones de sustancia y cantidad química, y se expone un enfoque didáctico particular: explícito y reflexivo sobre la Naturaleza de las Ciencias (NdC).

Palabras clave: dimensiones de análisis de la química; sustancia; cantidad química; naturaleza de las ciencias.

1. Introducción

La noción de concepto estructurante, refiere a “un concepto cuya construcción transforma el sistema cognitivo, permitiendo adquirir nuevos conocimientos, organizar los datos de otra manera, transformar incluso los conocimientos anteriores.” (Gagliardi, R., 1986, p. 30)

En diversas ocasiones, al comienzo de un curso de Química General I, se ha tenido la oportunidad de preguntar a los estudiantes acerca de cuáles consideran que son los contenidos estructurantes de la química. En esas oportunidades se ha constatado que algunos conceptos se repiten y emergen como centrales: materia,

sustancia, elemento, átomo, mol. Sin embargo, al enfrentar a los estudiantes a la necesidad de definirlos, se constata que no poseen un conocimiento adecuado de los mismos. Es decir, aquello que consideran importante, no lo dominan con solvencia. Ésta ha sido la motivación principal por la cual hacer un fuerte énfasis en la Unidad “Sistemas materiales, su composición y propiedades” en los cursos respectivos y seleccionar algunos de sus puntos clave para la exposición en el presente artículo.

El párrafo precedente, referido a deficiencias de comprensión de contenidos *de la ciencia* en particular, parece ser tan importante como las distorsiones *sobre la ciencia* (en tanto producto como proceso) que numerosas investigaciones han mostrado. En tal sentido, Porlán, Rivero y Martín (1998) mencionan que varios autores han señalado que los profesores de ciencias transmiten una imagen del conocimiento y de las actividades científicas que no se corresponden con los aportes contemporáneos de la epistemología de las ciencias.

Asimismo, Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia (2002) destacan la importancia de conocer, cuestionar y si es necesario modificar, las teorías implícitas que posee el profesorado sobre cuál es la naturaleza del conocimiento científico que deben enseñar. Los autores resaltan un creciente acuerdo en la necesidad de modificación de la epistemología espontánea del profesorado, ya que ésta puede ser un obstáculo importante en la renovación de la enseñanza de las ciencias. Se menciona entonces la existencia de visiones de la ciencia que no se corresponden con la epistemia actual, que obstaculizan la correcta orientación de la enseñanza, que impregnan las prácticas de aula y que generalmente se tratan de reduccionismos o deformaciones tales como las concepciones: empiroinductivista – atórica, rígida, apblemática – ahistórica, exclusivamente analítica, acumulativa, individualista – elitista, descontextualizada – socialmente neutra.

Surge pues la necesidad de un posicionamiento consciente frente a la propia concepción de ciencia, no solo porque importa desde el punto de vista científico, sino fundamentalmente porque dicho posicionamiento constituye una alerta epistemológica cuando en las clases se incurre en alguna de las distorsiones mencionadas; y, fundamentalmente, porque orienta al docente en la toma de decisiones didácticas.

En tal sentido, se defiende una concepción del conocimiento científico en tanto construcción humana y como tal negociada por una comunidad (científica), que dictamina las pautas y las diversas metodologías (no un único método con pretendida infalibilidad) con las que considera se construye dicho conoci-

miento. En esa concepción la observación importa y no se concibe desde la objetividad mal entendida como neutralidad teórica, sino por el contrario impregnada de un marco teórico a partir del cual se observa y fundamentalmente, se interpreta. Esta afirmación tiene sus repercusiones didácticas en la necesidad de explicitación de aspectos tanto epistemológicos como de la historia de la ciencia que han conllevado a la construcción del conocimiento científico y su evolución.

Frente a esta necesidad, se hace imprescindible una permanente vigilancia en los diversos aspectos, características y funciones que constituyen las dimensiones de análisis de la química, puesto que ellas atraviesan todos los contenidos trabajados en esta área disciplinar y la discriminación entre ambas es clave para comprensión de dichos contenidos.

2. Dimensiones de análisis en la disciplina

Este ítem tiene destacada importancia ya que constituye, tanto para el autor como para la fundamentación del programa actual de Química General I del CFE, un eje central del abordaje de los cursos: las dimensiones de análisis fenomenológica y teórica.

La fundamentación de la mencionada propuesta programática expresa:

Se propone abordar, entonces, como contenidos de base de esta asignatura, un estudio de los sistemas y las transformaciones que en ellos ocurren, a través del análisis y discusión de las diferentes regularidades que se observan desde el campo empírico y su explicación e interpretación a partir de un estudio desde la dimensión teórica. (CFE, 2008, p.16)

Así como también:

La presente unidad tiene como objetivo fundamental introducir al alumno al estudio de los sistemas jerarquizando especialmente una metodología de análisis desde una perspectiva fenomenológica y otra teórica. La forma de abordaje del estudio de los sistemas desde esta doble dimensión de análisis (macroscópica y corpuscular), será recurrente en el tratamiento de los contenidos de todas las unidades siguientes. (CFE, 2008, p.19)

Adviértase entonces que las dimensiones de análisis se erigen como un contenido en sí mismo. El hecho de distinguir claramente entre lo perteneciente al campo de la empiria y al de la teoría, en función de sus intencionalidades, de su campo de acción y de sus funciones, así como la relación entre ambas perspectivas, es un contenido que habilita a la comprensión de los mecanismos de

construcción del conocimiento científico en general y a las particularidades de cada una de las unidades trabajadas. Es decir, la abstracción de características en común sobre cómo se interpretan desde el punto de vista teórico los diversos fenómenos que se abordan en los cursos (regularidades másicas, regularidades del estado gaseoso, solubilidad, aspectos teóricos de la estequiometría, etc.) permite la construcción del concepto de modelo científico, sus tipologías y la distinción respecto a modelos científicos “escolares”, todo lo cual constituye un contenido esencial en el marco de la enseñanza de la química para futuros docentes de química.

Aclárese pues, cuáles son las consideraciones epistemológicas sobre las cuales se pretende construir el concepto de modelo científico en los futuros docentes. Izquierdo (2014) señala que en el ámbito de la investigación en la educación científica durante los últimos años se ha tenido al concepto de modelo como uno de los más importantes. Por su parte, Adúriz Bravo, Lombardi y Labarca (2014) destacan que cuestiones que revisten interés desde el punto de vista epistemológico y filosófico, merecen ser tematizadas para su enseñanza y aprendizaje en el contexto de la ciencia escolar, siendo éste el caso de la utilización de los modelos en ciencias. Sin embargo, la polisemia del término puede constituir un problema para su aprendizaje, por lo cual es necesario precisar su significado en este contexto (Justi, 2011).

Dejando de lado los significados pertenecientes al ámbito cotidiano y sin profundizar en el ámbito de las ciencias formales o incluso los momentos históricos de las ciencias naturales en la que se trasladaron concepciones sintáctica y semántica de las formales, importa destacar qué se considera como modelo hoy en las ciencias de la naturaleza. Para ello, se toman prestadas las siguientes palabras de Lombardi (2011, p. 86) “el concepto de modelo en ciencias fácticas adquiere autonomía respecto de su homónimo en ciencias formales: los modelos ya no se encuentran ligados en sentido lógico a las teorías, sino que se convierten en mediadores entre teoría y realidad”. Aquí el foco está en entender la naturaleza de los modelos más que en ubicar el modelo dentro de una red teórica cerrada descrita mediante enunciados. (Adúriz Bravo, 2011a)

Ahora bien, Giere (2004) menciona que aquello que comúnmente se denomina modelo, forma una clase muy heterogénea de posibilidades, como modelos físicos, a escala, análogos, matemáticos, etc. Sin embargo, el mismo autor señala como característica común a esta heterogeneidad el carácter de herramienta representacional que tiene en la ciencia y su uso por parte de los científicos para representar porciones del mundo con ciertos propósitos. Por lo tanto, la repre-

sentación no sólo es parcial sino además intencionada: “S uses X to represent W for purposes P (...) Scientists use X to represent some aspect of the world for specific purposes”. (Giere, 2004, p. 743)

Desde esta perspectiva, se enfatiza el carácter no lingüístico de los modelos en las ciencias de la naturaleza, y se introduce la noción de “modelo como mediador: modelo de un sistema real para una teoría”. (Lombardi, 2011, p. 87) El modelo se relaciona con el conjunto de recursos simbólicos que sirve para definirlo, y con el mundo real al cual pretende simbolizar y con el que mantiene una relación de similaridad. (Adúriz Bravo, 2011a) Este carácter de representatividad no constituye una mera representación icónica en la que cada aspecto del sistema real tiene su correlato en el modelo y viceversa. Por el contrario, se trata de una relación teórica muy compleja en la que algunas variables del sistema real pueden no aparecer en el modelo y/o algunas del modelo pueden no poseer su contrapartida en el sistema real. Las siguientes definiciones dadas por Raviolo (2009) y Chamizo (2010) contribuyen también a la comprensión del concepto de modelo en el mismo sentido:

- (...) una representación simplificada de un hecho, objeto, fenómeno, proceso, que concentra su atención en aspectos específicos del mismo, y tiene las funciones de describir, explicar y predecir. Es una construcción humana abstracta utilizada para conocer, investigar, comunicar, enseñar. (Raviolo, 2009, p. 55)
- Los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico. (Chamizo, 2010, p. 27)

Si bien el desarrollo de las características de los modelos científicos que se desprenden de las conceptualizaciones anteriores, excede las pretensiones de este artículo, corresponde señalar algunas de ellas. En tal sentido, se puede destacar la naturaleza híbrida de los modelos, parcialmente independientes tanto de la teoría como del mundo real, constituyéndose como agentes de exploración de ambos dominios. No son la realidad, ni constituyen copia fiel de la misma, sino que son subrogados de ella: en tanto representaciones parciales, generalmente basadas en analogías, con una relación de similaridad y utilizadas con una intención. Por ello, no existe un modelo perfecto para un fenómeno particular, sino que depende del propósito del uso y por ende puede existir multiplicidad de modelos. Otro motivo de multiplicidad lo constituye la existencia de variados modos de representación o la representación de distintos aspectos de una misma realidad.

Además de multiplicidad los modelos presentan la posibilidad de modificación y producirse esa modificación cuando el conocimiento de la realidad se modifica (por ejemplo, por obtención de datos a partir de nuevas tecnologías), cuando las explicaciones o previsiones realizadas se perciben como inadecuadas o cuando se disponen de nuevas formas de representación. (Lombardi, 2011; Justi, 2011; Adúriz Bravo, Labarca y Lombardi, 2014)

La mala comprensión de los aspectos destacados anteriormente, así como la falta de cuidado en los libros de texto y en el discurso docente cuando transita entre las dimensiones de análisis, sin delimitar claramente cada una de ellas, no solo puede introducir errores conceptuales propios de la disciplina, sino fundamentalmente introducir concepciones erróneas de la construcción del conocimiento científico.

Corresponde aclarar entonces que la dimensión de análisis fenomenológica se refiere a lo adquirido a través de la experiencia mediante los sentidos. Es un dominio de carácter experimental que se basa en las propiedades de los materiales, tanto las organolépticas como las medibles (magnitudes). La otra dimensión de análisis es la teórica, que en el caso de la química es eminentemente de carácter corpuscular, en tanto que hace referencia a las interpretaciones que realizamos a nivel de las partículas. Es decir, mientras la dimensión fenomenológica describe fenómenos perceptibles, la teórica los interpreta a nivel corpuscular. Se debe ser absolutamente claros en las intervenciones como docentes, puesto que usualmente en el discurso ambas dimensiones se confunden y pueden inducir a error en los estudiantes. A su vez corresponde la aclaración de relativizar el vínculo de los modelos con la dimensión teórica, a efectos de minimizar la inducción a la confusión con una concepción sintáctica, en la que los modelos no aportan nada más que ser un elemento lógico dentro de una red de enunciados que constituyen la teoría.

Por otra parte, Casado y Raviolo (2005, pp 35 – 36) señalan que:

Johnstone (1982) fue uno de los primeros autores en destacar la importancia de diferenciar tres niveles de representación de la materia: (1) nivel sensorial o perceptivo (nivel macroscópico), (2) nivel partículas: átomos, moléculas o iones (nivel microscópico o submicroscópico) y (3) nivel símbolos, fórmulas y ecuaciones (nivel simbólico). Desde esta perspectiva, saber química es poder aplicar estos tres niveles, de una forma relacionada, al estudio de un fenómeno.

Adviértase que, en la cita anterior, se toma como equivalentes los niveles microscópico y submicroscópico, puesto que el propio Johnstone en artículos sucesivos cambió la denominación de microscópico a submicroscópico. Del mismo modo, Caamaño (2015) menciona que Johnstone advierte que parte de la dificultad de aprendizaje de la química radica en la necesidad de integración de esos tres niveles de representación.

Conviene entonces discernir entre lo que son las dimensiones de análisis de la disciplina (fenomenológica y teórica) respecto de los niveles representacionales para la enseñanza de la química (macroscópico, submicroscópico y simbólico).

Adicionalmente, parecería razonable realizar dos matices en relación a ello. Por un lado, las denominaciones microscópico o submicroscópico, podrían relacionarse con una escala de medida, como aquello que refiere a lo observable con un microscopio o de tamaño inferior a lo que se observa con dicho aparato. Sin embargo, adviértase que ese nivel en realidad refiere a las entidades elementales, las cuales – en tanto modelizaciones – no son observables, sino que se postula su existencia como posibilitadoras de una interpretación. Podría entonces ser más adecuado utilizar la expresión corpuscular.

Finalmente, el otro matiz refiere a lo simbólico en tanto nivel de representación; aquí se toma como postura no considerarlo como independiente, en el entendido que el carácter representacional de lo simbólico está presente en ambas perspectivas abordadas, es decir, hay simbolización tanto en lo macroscópico como en lo corpuscular.

3. Algunos conceptos estructurantes

Tal y como se mencionó anteriormente, resulta muy interesante el abordaje de los contenidos de la Unidad “Sistemas materiales, su composición y propiedades”, en tanto que son parte de paradojas bastante inexplicables: ¿Cómo puede ser que siendo contenidos estructurantes no se tenga una adecuada comprensión de los mismos por parte de los docentes? ¿Cómo puede ser que siendo tan importantes no se les dedique suficiente extensión y profundidad en los libros de texto de la asignatura? Y más grave aún ¿Cómo puede ser que dichos libros estén plagados de errores al respecto?

Una posible respuesta a las preguntas anteriores, que no pretende ser completa ni irrefutable sino una entre tantas, puede radicar en la finalidad de la formación, ya que la perspectiva del estudio terciario de un químico es (y debe ser) distinto que el de un docente de química. Por su profesionalidad, quizás más pragmática

y más orientada a lo procedimental, a un químico no le interesa tanto discutir sobre la pertinencia de la expresión conceptualmente errónea de “número de moles”, o la tradicional asociación confusa de cuestiones ontológicamente distintas como son “sustancia simple – elemento”, o las posibles inducciones al error que proceden de la no clara distinción “fase – componente”. No obstante, un profesional que debe facilitar el aprendizaje en sus estudiantes, como lo es el profesor, sí debe ser capaz de comprender la importancia de estos aspectos y tenerlos claros para poder generar instancias de aprendizaje de los mismos. Es decir, debe comprender las conexiones entre los conocimientos de la asignatura y los conocimientos didácticos pertinentes que habiliten la transformación del contenido para su enseñanza, a la transposición didáctica adecuada. (Acevedo Díaz, 2009a)

Raviolo (2008) analiza la inclusión de algunos contenidos centrales para la enseñanza de la química en veinte libros de texto de uso común en Argentina. Comienza su análisis desde la inclusión del objeto de estudio de la química, para el cual el autor señala la poca relevancia que se le da en los textos, en algunos casos realizando formulismos ambiguos (por ejemplo: el estudio de la materia, la energía y sus transformaciones) que perfectamente le podrían caer a la física y en otros ni siquiera mencionándolo, siendo pocos los que refieren a dos conceptos centrales: sustancia y reacción química. En esta ocasión, se hará énfasis en el primero de ellos, el concepto de sustancia, desde ambas perspectivas de análisis.

3.1 Sustancia como concepto estructurante

A nivel macroscópico, Raviolo (2008, p. 316) menciona que muchas de las definiciones encontradas resultan poco precisas; tal es el caso de “es lo que tiene en común la materia con iguales propiedades intensivas o específicas” (como si todas las propiedades intensivas fueran específicas, considérese la temperatura como excepción), o “es cada una de las clases de materia” (como si la categoría “clase de materia” fuera un concepto preciso y conocido), o “especie química o sustancia es lo que tienen en común los cuerpos puros con iguales propiedades”. Más allá de la falta de la precisión, y tomando como ejemplo esta última definición, adviértase la existencia de error en la definición y la posible inducción a otros errores que pueden derivarse de ella. En primer lugar, la expresión “especie química” (tomada aquí como sinónimo de sustancia) resulta más adecuada para plano corpuscular (ya que refiere a moléculas, iones o redes) que al fenomenológico y por ende su utilización en una definición macroscópica induce a la con-

fusión entre las dimensiones de análisis. Se agrega a esta definición la dificultad de mencionar “con iguales propiedades” puesto que no se aclara a qué tipo de propiedades se refiere ni en qué condiciones se miden las mismas.

Además de definiciones que puedan resultar ambiguas, la aparición de este concepto a nivel fenomenológico en los textos estudiados por Raviolo (2008) incluyen los siguientes aspectos: materia homogénea (55%), composición fija (20%), propiedades características (85%) y no fraccionable (50%). Adviértase que pocos son los textos que destacan la composición fija como una de las características de las sustancias, siendo este un aspecto relevante que permite diferenciarlas respecto de otro tipo de sistema homogéneo como son las soluciones, las cuales se caracterizan por su composición variable. Agréguese en este sentido, la posible inducción al error que conlleva la expresión “sustancia pura” que no solo está presente en el 45% de los textos analizados por Raviolo (2008), sino fundamentalmente en algunos de los libros que se pueden recomendar para cursos terciarios de Química General, tal es el caso de Burns (2011) y Brown, Le May, Bursten y Burdge (2004). Esta expresión da lugar al contradictorio término “sustancia impura”; si por definición una sustancia tiene una composición fija, esta expresión infeliz en realidad hace referencia a una mezcla, no a una sustancia. Además de encontrarse en textos, la “pureza de una sustancia” está presente en la jerga cotidiana de la práctica de la química, pero no es conceptualmente correcta; en todo caso se estaría hablando de la composición de un sistema que es una mezcla, de la cual hay una presencia notoriamente mayoritaria de una sustancia en particular. En definitiva, una sustancia a nivel macroscópico se puede definir como: materia homogénea, no fraccionable, de composición fija y que posee iguales propiedades características – medidas en las mismas condiciones – que la diferencia de otras.

Más preocupante aún resulta la definición de sustancia a nivel corpuscular, en tanto que solo el 10% de los libros relevados en el artículo de Raviolo (2008) intentan incluirla, si bien este tipo de definición sí es habitual al referirse a sustancias simples y compuestas, pero no a sustancia en general. Obsérvese las dos definiciones: “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”. Obviando la discusión de la impertinencia de la expresión “sustancia pura” realizada anteriormente, cabe señalar que este tipo de definición sólo es aplicable cuando se refiere a un tipo de sustancia en particular, aquellas formadas por moléculas, dejando de lado las sustancias iónicas, metálicas o incluso las que están formadas por redes covalentes. Si bien Raviolo (2008, p. 316) toma la

definición dada por Furió y Furió (2000): “una sustancia es materia homogénea formada por partículas iguales”, aclara que se trata de partículas representativas de las sustancias que permiten clasificarlas en distintos tipos de sustancias (moleculares, covalentes, iónicas y metálicas). A esta aclaración, parece razonable agregar que el término partícula es muy abarcativo y refiere a diferentes posibilidades incluso pertenecientes a distintas dimensiones de análisis pudiendo inducir a error. Por ejemplo, hay quienes hablan de distinto tamaño de partícula de los sólidos a nivel macroscópico cuando quieren explicar el fundamento de la tamización como método de separación de fases, o se habla de partícula al referirse a átomos, a moléculas, a iones, o se habla de partículas (subatómicas) al referirse a protones, neutrones y electrones. La postura del presente artículo es la de diferenciarlo claramente y por ende parece más adecuado en el primer caso hablar de gránulo, en el segundo de entidades elementales y reservar el término partícula a las subatómicas, de modo de minimizar las confusiones.

En cuanto al concepto de sustancia simple, Raviolo (2008) argumenta a favor de la utilización de la expresión sustancia elemental, en tanto que la IUPAC acepta la denominación sustancia simple solo por una cuestión de uso.

Por su parte, una confusión muy usual que aparece en los libros de texto se da entre elemento y sustancia elemental, en relación a ello el autor señala:

Si bien la IUPAC acepta dos significados para el concepto de elemento químico (como especie de átomos y como sustancia química) se considera inapropiado utilizar 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. (Raviolo, 2008, p. 317)

Dejando de lado la omisión del autor respecto a otro tipo de entidades cuando refiere a elemento como tipo de átomo, parece razonable la esencia de la postura que toma en cuanto a diferenciar sustancia elemental respecto de elemento químico. La falta de diferenciación podría dar lugar a interpretaciones erróneas como, por ejemplo, al decir que una sustancia compuesta está formada por más de un elemento, se podría pensar que está formada por más de una sustancia elemental, es decir que se incurriría en la contradicción de que una sustancia (en este caso compuesta) estaría formada por una mezcla de sustancias (simples).

En el caso de posibles textos de referencia para cursos de Química General se puede encontrar: “los elementos no pueden descomponerse en sustancias más

simples” (Brown et al, 2004, p.6) o “un elemento es una sustancia que no se puede separar en sustancias más simples por medios químicos” (Chang, 2002, p.9) o peor aún “los elementos son las sustancias más fundamentales con las cuales se construyen todas las cosas materiales” (Burns, 2011, p.17). Adviértase que en los tres casos planteados a modo de ejemplo, se da la asociación elemento – sustancia elemental que puede inducir al error ya mencionado, agréguese que en la definición dada por Chang (2002) menciona “separar en sustancias más simples” siendo que la expresión “separar” es preferible reservarla para un proceso físico como es la separación de fases, mientras que en este caso se trata de un proceso químico (descomposición) y finalmente, en el caso de Burns (2011) se termina diciendo que todas las cosas materiales están constituidas por sustancias simples.

En síntesis, tratando de ser lo más cuidadosos posible, se puede decir que una sustancia elemental – desde el punto de vista macroscópico – puede definirse como una sustancia a partir de la cual no se pueden obtener sustancias más simples por medios químicos; si bien se deben tener presente las contradicciones que esta definición puede presentar con algunas excepciones, por ejemplo, en el caso de la transformación de ozono en dióxígeno.

En cuanto a la dimensión corpuscular de las sustancias elementales, Raviolo (2008, p. 317) advierte que varios libros no la incluyen, mientras otros refieren solo a sustancias moleculares presentando definiciones como: “las moléculas de una sustancia simple están formadas por átomos de la misma clase”. Adviértase además que ciertos libros señalan que “están formadas por átomos iguales”, perdiéndose de vista la posibilidad de existencia de isótopos. Parece razonable entonces plantear que las sustancias simples o elementales – desde el punto de vista corpuscular – son sustancias formadas por entidades de un único elemento químico.

Se puede aquí entonces discriminar respecto de elemento químico, el cual puede definirse como el conjunto de entidades (átomos, iones, etc.) que poseen el mismo número atómico, es decir, la misma cantidad de protones en el núcleo. Si bien hay fuentes bibliográficas que definen elemento como una clase de átomo o como una clase de partícula, e incluso el propio Raviolo (2008) opta por ello, en este caso resulta ambigua la expresión “clase o tipo de átomo” sumado al hecho de que no se incluyen otras entidades. Considérese el siguiente ejemplo: un átomo de oxígeno, el anión oxo, una molécula de dióxígeno, una de ozono y una de oxozono, constituyen diferentes entidades elementales del mismo elemento: el oxígeno, en todos los casos la cantidad de protones que hay en los núcleos considerados es el mismo, ocho. Adviértase incluso que, por la

definición dada, el concepto de elemento químico pertenece exclusivamente a la dimensión teórica.

En cuanto a compuesto (o sustancia compuesta), Raviolo (2008, pp. 318 – 319) indica que la tercera parte de los libros no lo definen a nivel macroscópico y otros tantos lo hacen a través de ejemplificaciones, incluso algunos refuerzan las confusiones señaladas anteriormente, por ejemplo: “sustancia formada por dos o más elementos que no es posible separar por medios físicos” (anteriormente se había definido elemento como sustancia simple en ese texto) o “resultan de la combinación de dos o más sustancias simples”.

Se opta por una definición como: “sustancia a partir de la cual se pueden obtener sustancias elementales por medios químicos”. Aquí importa destacar que las sustancias en las que se descompone un compuesto pueden ser simples o compuestas, pero estas últimas a su vez también se pueden descomponer. Por lo tanto, cuando se dice “por medios químicos” debe entenderse una o varias reacciones que conlleven a la obtención de sustancias elementales.

Finalmente, en las definiciones corpusculares dadas a sustancia compuesta, aparecen dificultades similares a las de sustancia elemental. En algunos libros ni se menciona, en otros se hace ligados a un tipo de sustancia en particular, por ejemplo: “formados por dos o más tipos de átomos diferentes” dejando fuera de la definición a sustancias iónicas. Este tipo de omisión también aparece en Chang (2002) cuando señala que compuesto es “una sustancia formada por átomos de dos o más elementos unidos químicamente en proporciones definidas”. (p.6) Por el contrario, Burns (2011) es más abarcativo cuando indica que las sustancias compuestas están “constituidas por elementos de dos o más tipos, combinados unos con otros en proporciones fijas”. (p.17) Es interesante que en este caso se agrega la condición de las proporciones definidas.

Por lo antedicho, una definición de sustancia compuesta, razonable desde la perspectiva corpuscular, podría ser: sustancia formada por dos o más elementos, cuyas entidades elementales están unidas químicamente en proporciones definidas.

3.2 Cantidad química: magnitud fundamental y concepto esquivo

Vale la pena dedicar aquí algunos párrafos a otro concepto estructurante de la enseñanza de la química, cuyo abordaje conceptual usualmente presenta dificultades: la magnitud cantidad de sustancia (o cantidad química) y su unidad: el mol. Furió, Azcona y Guisasola (2006) – tomando palabras de Kolb (1978)

– señalan que “probablemente el concepto de mol es el más importante para los estudiantes de los primeros cursos de química en la educación secundaria y que su comprensión es requisito necesario para resolver problemas de estequiometría”. (p.43) Con respecto a ello, Andrade Gamboa, Corso y Gennari (2006) proponen un título bastante sugerente para su artículo “se busca una magnitud para la unidad mol”, haciendo referencia a la cotidianidad del uso de la unidad y al mismo tiempo la falta de conceptualización de la magnitud. Adicionalmente, Furió, Azcona y Guisasola (1999) señalan que este concepto no tiene un claro significado entre el profesorado. Por lo tanto, estaríamos frente a un concepto fundamental del cual no se tiene una adecuada comprensión.

Por su parte Furió et al (1999) advierten que comprender un concepto no es solamente conocer con precisión el significado de su definición, sino que implica reconocer el contexto que le da origen, las relaciones y diferencias con otros conceptos, así como los cambios que ha sufrido. De hecho, conviene destacar una anomalía epistemológica, históricamente surge primero la unidad y luego, en 1961, la magnitud.

Esa anomalía implica – según Andrade Gamboa et al (2006) – un conflicto con aspectos conceptuales del resto de las definiciones de las unidades fundamentales: primero existe un concepto de magnitud, claramente establecido mediante un procedimiento instrumental que permite realizar las mediciones correspondientes y luego, cada unidad se define como un valor determinado de su magnitud correspondiente, elegido arbitrariamente con fines comparativos.

Considérese además que, cuando Ostwald (en 1900) introdujo el concepto de mol, lo hizo en base a una masa proporcional a las masas relativas de las entidades elementales de las sustancias, lo cual trajo el problema de la asociación del concepto de mol como una unidad de masa. Ostwald trataba de averiguar la fórmula química del agua oxigenada, para lo que pretendía determinar el “peso normal” de esta sustancia mediante el descenso crioscópico y la concentración en soluciones acuosas de dicho compuesto. En este contexto, menciona repetidas veces la expresión cantidad de sustancia asociándolo a masa y define mol: “Así, se ha constatado que, si se diluye un mol (el peso normal o molecular de una sustancia expresado en gramos se debe llamar a partir de ahora mol) de cualquier sustancia en 1 litro o 1000g de agua, la disolución resultante congela a $-1,850^{\circ}\text{C}$ ”. Adviértase que, en esta definición original, el concepto de mol está identificado con la magnitud masa. De hecho, la palabra mol en latín significa “masa grande” (mole), en contraposición a molécula (masa pequeña); por lo tanto, el mol tenía el significado de una masa química.

Furió et al (1999) resaltan que la introducción de la magnitud cantidad química está relacionada con la consolidación de la teoría atómico molecular, ya que, desde esta perspectiva, en una reacción química se atiende más a la relación de cantidades de entidades elementales que a los “pesos” de combinación. Sin embargo, dada la extremada pequeñez de las entidades elementales, resulta imposible realizar un conteo directo de las mismas en el nivel corpuscular. No obstante, esta cantidad de entidades elementales está relacionada con magnitudes macroscópicas como la masa o el volumen. Resulta intuitivo suponer que cuantas más entidades haya, más masa tendrá un sistema. Este problema de la imposibilidad de determinación directa, se resuelve desde la química a través de la magnitud cantidad de sustancia (n). De ahí que sea necesario introducir la cantidad de sustancia como nueva magnitud que hace posible contar en el nivel macroscópico las entidades elementales a partir de las masas o volúmenes de combinación de las sustancias reaccionantes. Por tanto, la introducción de la magnitud cantidad de sustancia obedece a razones de comodidad a la hora de contar entidades elementales.

La aceptación de la cantidad de sustancia como una magnitud distinta a la masa, se pone de manifiesto en las definiciones de mol dadas por parte de la IUPAP en 1961 y de la IUPAC en 1965. Asimismo, en 1971 la IUPAC define:

El mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos de carbono hay en 0,012 kilogramos de carbono-12. Cuando se utiliza el mol, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas, o grupos específicos de tales partículas. (Furió et al, 1999, p.363)

Adicionalmente, la IUPAC recomienda que se denomine cantidad de sustancia o cantidad química a la magnitud que durante mucho tiempo fue utilizada sin nombre propio, hablándose simplemente de “número de moles”. Esta infeliz expresión implica la confusión magnitud – unidad, como si se denominara a la masa como número de kilogramos o al volumen número de litros.

En cuanto a la denominación de la magnitud, Andrade Gamboa et al (2006) sugieren que sería más correcto hablar de cantidad química que de cantidad de sustancia, en tanto que en el último caso se restringe el ámbito de aplicación de la magnitud dejando de lado la posibilidad de hacer referencia a partículas subatómicas por ejemplo, puesto que un conjunto de ellas no constituye sustancia alguna.

La cantidad de sustancia cuenta con una definición funcional, en la que se expresa el “para qué sirve” ya que puede definirse como: la magnitud que permite determinar macroscópicamente el número de entidades elementales (átomos, moléculas, iones, electrones, grupos especificados de partículas, etc.) contenidos en un sistema dado. Ahora bien, siendo la cantidad de sustancia proporcional al número de entidades elementales especificadas y dado que el factor de proporcionalidad es el mismo para todas las sustancias (el inverso de la constante de Avogadro), resulta extraño que no se mencionara explícitamente dicha constante en la definición de mol. No obstante, en virtud de que se ha logrado la determinación experimental de la constante de Avogadro cada vez con menor incertidumbre a lo largo del tiempo, en la 26ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) en noviembre de 2018 se acordó una definición nueva que entró en vigencia el 20 mayo de 2019:

El mol, cuyo símbolo es mol, es la unidad de cantidad de sustancia del SI de una entidad elemental especificada, que puede ser un átomo, molécula, ion, electrón, cualquier otra partícula o un grupo especificado de tales partículas. Se define asignando el valor numérico fijo de $6,02214076 \times 10^{23}$ a la constante de Avogadro N_A cuando ésta se expresa en la unidad mol^{-1} .

Esta definición implica la relación exacta $N_A = 6,022140857 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Es decir, el número de entidades en un mol es igual al valor numérico de la constante de Avogadro que es conocido como el número de Avogadro. El efecto de esta definición es que el mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene $6,022140857 \times 10^{23}$ entidades elementales especificadas. De igual forma la masa de un mol es la masa de un sistema que contiene $6,022140857 \times 10^{23}$ entidades elementales determinadas. Tal masa se denomina masa molar (especificando el tipo de especie a la que pertenece), se representa mediante el símbolo y su unidad sería g/mol.

4. Algunas consideraciones didácticas

En los apartados anteriores se hizo hincapié en la construcción conceptual de una red de términos que constituyen la base del discurso de la química, en algunos casos se explicitaron obstáculos epistemológicos para su aprendizaje, en otros se destacó la inadecuada comprensión por parte del profesorado, y en todos se intentó transitar su significado desde las dos dimensiones de análisis (fenomenológica y teórica). Ahora bien, cuáles son las decisiones didácticas que

posibilitan un mejor aprendizaje de los mismos, qué enfoque debería adoptarse y con qué metodologías, son interrogantes a las que brevemente se pretende dar respuesta en los párrafos subsiguientes.

Una de las renovaciones pujantes que tiene lugar en el área de la Enseñanza de las Ciencias se relaciona con la incorporación de las metaciencias a la misma, una mirada que constituye una reflexión sobre el producto (conocimiento científico) y sobre el proceso (actividad científica). (Adúriz Bravo, 2005; 2011b)

Las metaciencias son disciplinas cuyo objeto de estudio es la ciencia misma desde diversas perspectivas teóricas. Este cuerpo de disciplinas está conformado principalmente por la sociología de la ciencia, la historia de la ciencia y la epistemología. Se encargan entonces del estudio sobre cómo se genera el conocimiento científico, cómo es dicho conocimiento y la actividad científica, cómo cambia a través de la historia, qué hechos y personajes han contribuido a esta historia, qué valores están en juego en la comunidad científica, cómo se relacionan las disciplinas científicas con otras disciplinas y formas de entender el mundo. (Adúriz Bravo, 2005)

En definitiva, proporcionando una definición operativa, vaga pero conveniente – según el propio autor – Adúriz Bravo (2005, p. 12) dice que “hablamos de naturaleza de la ciencia para referirnos a un conjunto de ideas metacientíficas con valor para la enseñanza de las ciencias naturales”. La amplitud de esta definición posee como ventajas la compatibilidad con las ciencias de la naturaleza y su carácter enseñable dentro de este espacio curricular, la no separación estricta de las disciplinas de las que proceden las ideas metacientíficas y finalmente el énfasis en la voluntad educativa de la definición, que remite a trasposiciones didácticas funcionales a la tarea cotidiana de los docentes, rescatando sólo aquellos aspectos que contribuyen positivamente a la enseñanza de las ciencias de la naturaleza (no interesa instalar la epistemología académica por sí misma). (Adúriz Bravo, 2005; 2007)

Cañas, Martín-Díaz y Niedo (2007) destacan la importancia del trabajo sobre los conocimientos científicos (cuerpo conceptual de la ciencia) y los conocimientos sobre la propia ciencia (reflexión teórica sobre su estructura, su evolución y sus formas de hacer), los cuales consideran fundamentales para lograr la alfabetización científica. Sin embargo, Caamaño (2012) advierte que aún gran parte del currículum de ciencias se preocupa por enseñar las ideas *de* la ciencia sin incorporar las ideas *sobre* la ciencia.

Ahora bien, cabe preguntarse por qué resulta tan importante la inclusión de la NdC en el currículum de ciencia y particularmente en el profesorado. De las

muchas respuestas dadas por Acevedo Díaz (2008), una es destacable en este contexto: la razón docente (facilita aprendizaje de cuestiones científicas y promueve el cambio conceptual) Asimismo, Adúriz Bravo (2005) señala que proporciona herramientas de pensamiento y discurso, ayuda a superar obstáculos presentes en el aprendizaje, propicia la estructuración de currículos y contribuye al diseño de la enseñanza pues genera ideas, recursos, enfoques, etc.

Dado que en el apartado anterior se hizo énfasis en la componente epistemológica, conviene aquí hacer mención a la histórica. Adúriz Bravo, Izquierdo y Quintanilla (2008) advierten que el desconocimiento de la historia de la ciencia por parte del profesorado se debe en parte a la inexistencia de la misma en los contenidos y la persistencia de una concepción dogmática, utilitarista e instrumental de la ciencia en la formación docente. Agregan además el desinterés de los docentes sobre el análisis y la reflexión acerca de los sucesos históricos como parte de las clases de ciencias, así como las escasas publicaciones relacionadas con ellos. Señalan a su vez la necesidad de actualización del conocimiento del profesorado en formación y en ejercicio, con el objetivo de instalar la historicidad de la disciplina a enseñar.

Del mismo modo, Izquierdo y García (2014) explicitan el papel de la historia de las ciencias en tanto que proporciona narraciones que introducen a los alumnos a la actividad científica humanizada, desarrollada por personas con motivaciones, que están inmersos en una realidad política y social concreta, la cual influye en su trabajo. A su vez, Cuellar, L., Quintanilla, M. y Camacho, J. (2008) señalan:

De esta forma, se considera que la historia de la ciencia (HC) en el análisis de cada una de las disciplinas científicas, además de brindar la posibilidad de reconstruir los hechos científicos que se presentan como “vigentes en la actualidad” y con ello cambiar la tradicional imagen de la ciencia como una actividad dogmática y triunfalista, permite el planteamiento de nuevas formas de problematizar el contenido científico, lejos de intereses reduccionistas de algoritmización y transmisión. (p. 111)

Desde la perspectiva de la enseñanza, Schnek (2008) considera que es necesario presentar los obstáculos y analizar las dudas, los mitos y las controversias que se dieron en relación a los problemas de cada época, mostrándolos ligados a los contextos culturales, filosóficos y tecnológicos. Esto habilita a nuevas preguntas sobre los caminos que desembocaron en la invención de los modelos vigentes, refuerza la concepción del conocimiento científico enmarcado en un contexto y

valora la existencia de controversias en su construcción, permitiendo así analizar los argumentos de las minorías.

Reconocer la necesidad de la Naturaleza de las Ciencias (NdC) como parte fundamental del currículo científico escolar implica preguntarse sobre las metodologías más pertinentes para llevarla a las aulas. En el entendido de que la NdC constituye uno de los temas que los docentes de ciencias deben enseñar, al igual que para el resto de los contenidos, Acevedo Díaz (2009a; 2010) considera que los profesores deben desarrollar un conocimiento didáctico del contenido (CDC) sobre la naturaleza de la ciencia (CDC – NdC) Es más probable desarrollar una enseñanza eficaz de la NdC a partir de un buen dominio de los temas científicos, conjuntamente con el conocimiento de las creencias de los estudiantes y de los puntos de vista actuales sobre la NdC, si además se cuenta con el suficiente conocimiento didáctico para su implementación. (Acevedo Díaz, 2010)

Este CDC-NdC del profesorado implica tomar decisiones en cuanto al enfoque de la enseñanza de la NdC. Sin pretensiones de abundar en justificaciones, se deja de manifiesto el acuerdo con Acevedo Díaz (2009b) en cuanto a que en lugar de esperar el efecto secundario propuesto por los enfoques implícitos, es preferible la planificación intencionada en pos de la mejora de las creencias sobre la NdC. Se propone incluso que el enfoque, además de explícito, sea reflexivo; la primera de las condiciones (explícita) es de naturaleza curricular, mientras que la segunda (reflexiva) tiene implicancias para la enseñanza. El enfoque explícito supone que la comprensión de NdC es un objetivo de la enseñanza, por lo que su planificación debe ser deliberada. La noción de reflexivo implica que: “se deben proporcionar a los estudiantes suficientes oportunidades en el aula para analizar las actividades que realizan desde diversas perspectivas” y “conectar esas actividades con las que llevan a cabo otras personas” (Acevedo Díaz, 2009b; p. 361)

Las actividades más apropiadas para la comprensión de la NdC son las actividades investigativas; el estudio de casos históricos y contemporáneos; las actividades de modelización, de argumentación y comunicación, y las actividades que impliquen la discusión de controversias científico – tecnológicas. (Caamaño, 2012, p. 122)

Adviértase que, de los tres ejes de la NdC, la Unidad “Sistemas materiales, su composición y propiedades” en particular constituye una excelente oportunidad para el abordaje de dos de ellos: el epistemológico y el histórico. En el primer caso por el constante diálogo de las dimensiones de análisis (fenomenológica y teórica) así como por el papel de las actividades experimentales en la construcción del conocimiento; y en el segundo caso por la oportunidad de trabajo sobre

dos controversias científicas en particular (Proust – Berthollet y Gay Lussac – Avogadro) cuyas argumentaciones en un sentido y otro contribuyen a la adecuada comprensión de las regularidades de las combinaciones (contenido que si bien no se abordó en el presente artículo, también forma parte de esta Unidad).

Finalmente, corresponde señalar que, desde el punto de vista de la metodología didáctica concreta, el autor del presente artículo considera que una aproximación al aprendizaje cooperativo, a través del aprendizaje basado en equipos (ABE) constituye una muy buena opción para poner en juego este enfoque explícito y reflexivo de la NdC, particularmente en esta Unidad. Sin duda, dicha opción metodológica podrá constituir un tema de discusión para futuras publicaciones.

Referencias bibliográficas

- Acevedo Díaz, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. En *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 5 (2), 134 -169.
- Acevedo Díaz, J. A. (2009a). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la NdC (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 6 (1), 21 – 46. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3715>
- Acevedo Díaz, J. A. (2009b). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 6 (3), 355 – 386. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3681>
- Acevedo Díaz, J. A. (2010). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 7 (3), 653 – 660. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3681>.
- Adúriz Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de cultura económica.
- Adúriz Bravo, A. (2007). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *UNESCO* (en línea). Recuperado de <https://didacticadelascienciasut.files.wordpress.com/2012/03/0018.pdf>
- Adúriz Bravo, A. (2011^a). Concepto de modelo científico: una mirada epistemológica de su evolución. En Galagovsky, L. (coord.) *Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos*. (p.p. 141 – 161) Buenos Aires: Lugar Editorial.

- Adúriz Bravo, A. (2011b). Desde la enseñanza de los “productos de la ciencia” hacia la enseñanza de los “procesos de la ciencia” en la Universidad. *Colección de Cuadernillos de actualización para pensar la Enseñanza Universitaria*. 6 (3). 5 – 15.
- Adúriz Bravo, A.; Izquierdo, M. y Quintanilla, M. (2008). Discusión en torno a un modelo para introducir la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de ciencias. En Izquierdo, M., Caamaño, A. y Quintanilla, M. (editores) *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Barcelona: UAB servicio de publicaciones.
- Adúriz Bravo, A., Labarca, M. y Lombardi, O. (2014). Una noción de modelo útil para la formación del profesorado de química. En Merino, C., Arellano, M. y Adúriz Bravo, A. (editores) *Avances en didáctica de la química: Modelos y lenguajes* (pp. 37 – 50). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Andrade Gamboa, J., Corso, H. y Gennari, F. (2006). Se busca una magnitud para la unidad mol. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 3 (2), 229 – 236. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3862>
- Brown, T., Le May, H., Bursten, B y Burdge, J. (2004). *Química. La ciencia central*. México: Pearson Educación.
- Burns, R. (2011). *Fundamentos de química*. México: Pearson Educación.
- Caamaño, A. (2012). La elaboración y evaluación de modelos científicos escolares es una forma excelente de aprender sobre la naturaleza de la ciencia. En Pedrinaci, E. (Coord.) *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. (pp. 105 – 126) Barcelona: Graó.
- Caamaño, A. (2015). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Didáctica de las ciencias experimentales*. 78, 7 – 20.
- Cañas, A., Martín-Díaz, M. y Nieda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. La competencia científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum* 10 (1), 35 – 43.
- CFE (2008). Planes de estudio y programas. Química General I (en línea), extraído de http://www.cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/planes_programas/profesorado/plan_2008/quimica/primer/quim_general_I.pdf
- Chamizo, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. En *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 7 (1), 26 – 41.
- Chang, R. (2002). *Química*. México: Mc Graw-Hill.
- Furió, C., Azcona, R y Guisasaola, J. (1999). Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (3), 359 – 376.

- Furió, C., Azcona, R y Guisasola, J. (2006). Enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. En *Enseñanza de las Ciencias*. 24 (1), 43 – 58.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477 – 488.
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*. 4 (1), 30 – 35.
- Giere, R. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71 (5), 742 – 752.
- Izquierdo, M. (2014). Pasado y presente de la química: su función didáctica. En Merino, C., Arellano, M. y Adúriz Bravo, A. (editores) *Avances en didáctica de la química: Modelos y lenguajes* (pp. 13 – 36). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Justi, R. (2011). Las concepciones de modelo de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. En Caamaño, A. (coord.) *Didáctica de la física y la química*. (pp. 85 – 104), Barcelona: Graó.
- Lombardi, O. (2011). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En Galagovsky, L (coord.) *Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos*, (pp. 83 – 94) Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín, R. (1998) Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 271 – 288.
- Cuellar, L., Quintanilla, M. y Camacho, J. (2008). Introducción de la historia de la química en la formación docente. Aportes para un debate de teoría y campo. *III Jornada d'història de la ciència i ensenyament, nova època*, 1 (2), 109 – 117.
- Raviolo, A. (2008). Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación Química*, 19 (4), 315 – 322.
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación en Química*, 20 (1), 55 – 60.
- Schnek, A. (2008). ¿Qué aporta la historia de las ciencias a la enseñanza de las ciencias naturales? En Galagovsky, L (coord.) ¿Qué tienen de naturales las ciencias naturales?, (pp.61 – 70). Buenos Aires: Biblos.

LOS CONCEPTOS DE ELEMENTO Y SUSTANCIA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PENSAMIENTO QUÍMICO

Gustavo Bentancur

Instituto de Profesores “Artigas”. Profesorado Semipresencial. Uruguay.
gustavobentancur@gmail.com

Resumen

En este trabajo se analiza desde una perspectiva epistemológica y ontológica dos conceptos que resultan básicos en la construcción del pensamiento químico: elemento y sustancia. Se trata de una sistematización de los aportes que han surgido desde disciplinas recientes como la Filosofía de la Química y la Didáctica de las Ciencias, en una lectura que se conjuga con reflexiones que provienen de nuestra experiencia en la enseñanza de estos conceptos, a nivel de la formación de grado de profesores de Química. La pluralidad ontológica de la química y la imposibilidad de un reduccionismo epistemológico a las teorías cuánticas explican las dificultades en la construcción de estos conceptos. En particular se presenta las consecuencias didácticas que trae la no diferenciación de elemento y sustancia simple. Finalmente, se presenta en forma breve una propuesta de investigación didáctica, en la cual se propone indagar acerca de las representaciones de elemento y sustancia en los libros de textos utilizados en Uruguay.

Palabras clave: *elemento; sustancia; enseñanza; investigación.*

1. A modo de introducción

La enseñanza de la Química en la formación inicial de educadores en Química, incorpora la discusión y el análisis de los conceptos básicos y estructurantes del campo, lo cual aparece reflejado en los programas actuales de estudio. ¿Pero

cuáles son estos conceptos que estructuran el campo y por qué será necesaria una comprensión profunda de los mismos?

Al respecto Raviolo, A.; Garritz, A. (2011), Caamaño, A. (2014) indican que los conceptos de elemento, sustancia, mezcla y reacciones químicas son claves en la descripción y explicación de la composición y transformaciones de la materia. No obstante, para Scerri (2007), Labarca y Zambón (2013) las tres categorías fundamentales del mundo químico son sustancia, elemento y estructura ya que desempeñan un papel central en las explicaciones de las reacciones químicas y en la comprensión de la tabla periódica. En este trabajo, nos centraremos en presentar y analizar las conceptualizaciones acerca del elemento y la sustancia química.

Por tratarse de conceptos básicos, su tratamiento específico en textos de enseñanza universitaria utilizados frecuentemente en nuestro medio (Brown, T., Lemay, Jr. y Burnstein, B., 2011; Chang, R. 2013) aparece acotado, con escasa referencia a aspectos históricos, epistemológicos y ontológicos que hacen a la construcción de los mismos.

Seguramente esto responde a que, en el mundo predominan los modelos de formación docente universitarios y consecutivos, donde primero se forman en la disciplina, se comparte el trayecto formativo disciplinar específico con estudiantes de otras carreras vinculadas a la química, para los cuales el aprendizaje de estos conceptos no es central para su formación profesional. Pero fundamentalmente, por tratarse de conceptos básicos y primarios en el desarrollo histórico de la disciplina, reflejan las tensiones constitutivas del campo, entre el origen experimentalista con un precario estatus del aparato teórico y el desarrollo posterior de las teorías atómico-moleculares.

Por lo tanto, se considera estratégico su presentación atendiendo a su evolución histórica, pero desde una perspectiva no acumulativa y lineal, sino de crisis y de estructuraciones paradigmáticas (Kuhn, 1971), desde las cuales los conceptos cambian. Incluir esta perspectiva en el estudio de los conceptos básicos en la sección contenidos estructurantes de la Química, contribuye a que el docente de este nivel desarrolle una posición crítica acerca del conocimiento que enseña.

En primer lugar, se presentan y desarrollan los conceptos enunciados, desde la perspectiva señalada anteriormente. El énfasis se centra en demostrar que el concepto de sustancia y elemento se presentan como polisémicos y con estrecha vinculación entre ellos.

En segundo lugar, se analiza la transposición didáctica de estos conceptos, se muestra en forma breve como algunos obstáculos epistemológicos en relación a

su construcción como objeto de saber, generan obstáculos didácticos que repercuten en el aprendizaje de los mismos.

Finalmente, en forma breve, en el marco prospectivo de una institución universitaria de formación de educadores, se presenta una posible línea de investigación y de extensión que recupera como centro la enseñanza de los conceptos estructurantes en Química.

2. La perspectiva epistémica y ontológica en el estudio de la composición de los sistemas materiales

“La química macroscópica es” la ciencia de la transformación de las sustancias” (van Brakel, 1997) mientras que la Química molecular “el alfa y omega” es la doctrina de que las moléculas existen como objetos individuales y que cada molécula tiene una forma” (Primas 1994:216) (citado por Lewowicz y Lombardi, 2014, p.9).

El estudio de los sistemas materiales, su enseñanza y su aprendizaje implica considerar la relación que se establece entre tres dominios o niveles: macro, submicro¹ y simbólico (Johnstone, 1999). No obstante, algunos autores (Caamaño, 2014, Labarca 2014) indican que el dominio simbólico refiere a ambos niveles, no constituye en sí una ontología, pues es por medio del lenguaje que es posible representar el mundo químico. Así por ejemplo, al escribir “H₂O”, referimos tanto a una cantidad macroscópica de agua, como a la constitución de una molécula de esta sustancia. El contexto del enunciado que contenga la fórmula dará sentido si nos estamos refiriendo a un nivel o a otro.

En relación a lo anterior, pero usando categorías tomadas de Klimosky (1994), Laborde (2018), propone que al realizar el estudio del sistema material se tienen en cuenta dos dimensiones: la dimensión fenomenológica (fundamentalmente descriptiva) y la dimensión teórica (interpretativa, explicativa y predictiva). Para la dimensión fenomenológica, el lenguaje supondrá el uso de enunciados empíricos, es decir aquellos significantes o conjuntos de significantes que derivan de la observación directa o que surgen de un proceso de medición. Un enunciado teórico, contendrá al menos un término teórico, esto es un significantes que refiera a entidades o procesos (ítems) no observables. El estudio de un sistema desde esta dimensión supondrá el uso de teorías y modelos.

1. Actualmente, algunos actores sugieren sustituir submicroscópico por nanoscópico, al entender que refiere a entidades como átomos, moléculas, iones, cuyas dimensiones son del orden de $1 \times 10^{-9} \text{m}$. (van Brakel, 1997). En esta comunicación, usaremos nivel corpuscular.

Desde esta perspectiva, el concepto de elemento y de sustancia, no sólo son centrales para la caracterización e interpretación del comportamiento de la materia, sino que en tanto significantes, su significado estará en relación con estas distinciones que hemos presentado. Se considera que esta perspectiva es significativa por las connotaciones didácticas que de ella se deriven.

Se trata de conceptos que se encuentran relacionados desde su origen, por lo tanto se advierte al lector que en la presentación de las nociones de elemento Químico (EQ), la noción de sustancia aparece no siempre con la misma acepción. Por lo tanto, la conceptualización actual de los mismos es dificultosa, seguramente por el origen empirista de la Química y la tardía construcción de teorías y modelos sobre la estructura corpuscular de la materia. ¿Cómo se van reconfigurando estas conceptualizaciones con el desarrollo de las teorías atómico-moleculares? ¿Cuáles son las ontologías de elemento y sustancia? Esta cuestión parece ser más un tema de disciplinas emergentes como la Filosofía de la Química que de la propia Química. No obstante su estudio tiene repercusiones sobre la Didáctica de la disciplina.

2.1 Elemento químico

El concepto de elemento químico (EQ) se ha ido modificando con el desarrollo histórico de la disciplina, desde que esta adquiere a fines del siglo XVIII, el estatus de disciplina científica. Al respecto Alzate Cano (2005) resume muy bien esta evolución:

La idea sustancia básica o primaria o elemento químico, es un concepto de la química moderna apoyado en algunas de las razones epistemológicas del atomismo cualitativo de los griegos, la cual se ha enraizado y diferenciado a la luz del pensamiento de Boyle, Lavoisier, Mendeléiev, y de los progresos científicos relacionados con el conocimiento del núcleo atómico y sus respectivos isótopos, del modelo mecano-cuántico, al considerar la molécula como objeto cuántico. (Alzate Cano, p.183).

Propongo comentar las conceptualizaciones del elemento químico que surgen de los trabajos de Lavoisier (1789), Mendeleiev (1889) y Paneth (1931), para poder entender luego, los problemas que surgen en la transposición de este concepto. El concepto de elemento químico ha estado ligado fundamentalmente a cuatro modelos históricos: aristotélico-escolástico, Química de los materiales del siglo XVIII y XIX, modelo atómico clásico y modelo mecánico-cuántico.

(López-Valentin, 2008). Exceptuando el primero de ellos, los otros tres serán el marco desde donde se analicen las nociones que se exponen.

En el marco de una concepción empirista de la ciencia, Lavoisier en *Tratado elemental de Química* (1789), identifica a los elementos como todas aquellas sustancias que se encuentran en la naturaleza y que por la vía de la experimentación no pueden ser descompuestas en otras más simples. Si se consulta la lista de elementos químicos presentados, se podrá notar claramente que algunos son lo que actualmente conocemos como sustancias compuestas e incluso se incluye a la luz y al calor. Esta conceptualización lleva a Lavoisier a considerar que los cuerpos compuestos surgen de la combinación de estas sustancias simples, y las propiedades de estas deben permanecer en los compuestos que forman. Persiste la idea aristotélica de la retención de las propiedades perceptibles de lo simple en el todo (Alzate Cano, 2005).

En síntesis, desde una perspectiva fenomenológica, elemento es identificado como sustancia simple. Esta identificación es entendible, en un contexto de ausencia de teorías y modelos científicos sobre la estructura de la materia.

Un segundo momento, desde una concepción más racionalista, corresponde a la noción de elemento químico que aparece desarrollada por Mendeléiev. Éste distingue en forma clara, elemento de sustancia simple, indicando que el elemento es el constituyente de los cuerpos simples y compuestos. Asocia la idea de molécula a cuerpo simple y la de átomo a elemento, diferenciándolos por la masa de sus átomos (Linares, 2004; Alzate, 2005).

A la expresión cuerpo simple le corresponde la idea de molécula (...). Por el contrario, es necesario reservar el nombre “elementos” para caracterizar las partículas materiales que forman a los cuerpos simples y compuestos y que determinan la manera en que éstos se comportan desde el punto de vista de la física y la química. La palabra “elemento” requiere de la idea de átomo. (Mendeléiev, citado por Bensaude-Vincent y Stengers, 1997, p.118).

En la conceptualización que hace Mendeléiev, aparece otro rasgo a destacar: introduce la idea de cuerpo simple y cuerpo compuesto, prescindiendo del significativo sustancia. De esta forma la sustancia parece referir a un sistema ideal, imposible de concebir a nivel macroscópico. Además, desde una posición revolucionaria para la época instala posibles conexiones epistemológicas y ontológicas entre los sistemas macroscópicos (los cuerpos simples y compuestos) y los ítems del nivel corpuscular (los átomos y las moléculas).

Como se tratará más adelante, desde una posición materialista, sustancia en tanto categoría ontológica requiere de la idea de cuerpo.

En esta noción de elemento, sustancia es entendida como sustancia básica, en el sentido que recupera luego la IUPAC, para definir elemento. El adjetivo básica, coloca a la sustancia en un plano más abstracto, así para Mendeléiev se trata de una categoría que tienen en común los átomos con la misma masa.

El elemento como sustancia básica- sentido que toma la IUPAC en la actual definición-, recupera la acepción de sustancia como “subs-tare”, literalmente significa aquello que “subyace a” (Labarca, 2013). En ese sentido es planteado por Mendeleiev, quien distingue perfectamente el sentido de elemento como un término teórico del de cuerpo simple, un término empírico. La inmutabilidad del elemento en las transformaciones químicas, así como la idea que las propiedades del todo, no derivan directamente de las partes, queda clara en el siguiente pasaje de la obra de Mendeleiev:

El óxido rojo de mercurio no contiene dos cuerpos simples, un metal y un gas, sino dos elementos, Hg y O, lo que hay en ese óxido es la sustancia de esos cuerpos simples (como el pan encierra la sustancia del trigo y no el trigo en sí). (Mendeleiev, 1889, citado por Linares, 2004).

En síntesis, Mendeleiev diferencia claramente la sustancia simple (lo que él denomina cuerpo simple) del elemento. Conceptualiza al elemento desde la dimensión teórica como átomos con igual masa, siendo esta propiedad el criterio para ordenarlos en su propuesta de sistema periódico. Esta distinción es explicitada por filósofos de la química (Scerri, 2005, Labarca y Zambón, 2013), el elemento es concebido en sentido abstracto diferenciándolo de aquel sentido macroscópico, como sustancias que podemos encontrar en frascos de laboratorio. De alguna forma, Mendeleiev, propone dos acepciones para el elemento, que son las que más adelante retoma Paneth (1962) y que recupera la actual definición de la IUPAC. Pero también, no usar el término sustancia para sistemas macroscópicos, nos lleva a sostener que se concibe a ésta como una categoría que trasciende al cuerpo, al objeto individual. Así el término oro como metal, es lo que hay en varios cuerpos, que tienen ciertas propiedades en común, las propiedades intensivas medidas en iguales condiciones termodinámicas.

En 1913, Moseley observó que las frecuencias de los Rayos X emitidos por un elemento estaban relacionadas con el número de cargas positivas presentes en el núcleo (protones), según la ecuación $\nu = a(Z-b)^2$, siendo ν la frecuencia de los Rayos X, Z una constante propia de cada elemento, a y b constantes. Posteriores

interpretaciones de este experimento permitieron crear el concepto de número atómico, y asociar este al número de protones que hay en el núcleo de los átomos o iones de los distintos elementos.

Con el descubrimiento de núcleos del mismo elemento que tienen distinto número de neutrones, el radioquímico F. Soddy, sugiere el término isótopos para describir estas variedades del mismo elemento. Propone definir el término elemento como una clase de núcleos, todos los cuales tienen el mismo número de protones. (Jensen, 1998, citado por Alzate Cano, 2005), como forma de solucionar una aparente multiplicación de elementos. De esta forma, la masa pasa a ser una propiedad que diferencia a los nucleídos y el número atómico la constante que los identifica como nucleídos del mismo elemento.

En estas discusiones participó también Paneth, el cual sugiere referir a sustancia básica y a sustancia simple como dos aspectos diferentes del concepto de elemento. Sin embargo estas dos acepciones no son intercambiables, siendo el de sustancia básica el que más se adecua al de elemento químico. En ese sentido la IUPAC (2006) hace referencia a estas dos acepciones:

1. “Una especie de átomos; todos los átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico”.
2. “Una sustancia pura compuesta por átomos con el mismo número de protones en el núcleo atómico. Algunas veces este concepto se denomina sustancia simple distinguiéndose de elemento tal como se define en 1, pero generalmente el término elemento químico se emplea para ambos conceptos”.

La referencia a “especie de átomos”, incorpora el problema de los isótopos. En el compendio terminológico de la IUPAC (2005), la introducción del concepto de nucleído permite resolver el problema. Por tanto el elemento como una categoría que incluye a “*todos los nucleídos² tanto atómicos como iónicos que contienen el mismo número de protones (p.43).*”

Esta definición hecha desde la dimensión teórica, refleja el estado actual de desarrollo de la teoría química, el concepto de elemento no refiere a una entidad individual, sino a una clase de ellas.

Respecto a las propiedades de esta clase de entidades, no son todas aquellas que aparecen en la Tabla Periódica, muchas de las propiedades que allí figuran,

2. Nucleído o núcleo es una especie nuclear caracterizada por su número de masa, su número atómico y su estado de energía nuclear siempre que la vida media en este estado sea lo suficientemente larga como para detectarla.

tales como el estado de agregación, la temperatura de fusión y ebullición normal, el carácter metálico, de semimetal o de no metal, refieren a la sustancia simple y no al elemento.

2.2 Sustancia

La primera referencia a sustancia en el ámbito científico fue en una audiencia científica, en 1718, cuando Ettiene François Geoffroy (1672-1731) presentó su trabajo en la Real Academia de Ciencia en París, en donde en una tabla ordenaba a las sustancias según sus afinidades. (De Fourcroy (1796, p. 333), citado por Garritz y Raviolo, 2011, p. 242).

Actualmente, en el compendio terminológico de la IUPAC, se explicita la siguiente definición:

Sustancia química es materia de composición constante, mejor caracterizada por las entidades de las que está compuesta (moléculas, unidades fórmula, átomos). Caracterizada por propiedades físicas como densidad, índice de refracción, conductividad eléctrica, punto de fusión, etc. (McNaught y Wilkinson, 2003, p.83).

Seguidamente realizaremos algunas precisiones sobre esta definición.

La adjetivación de la sustancia como “química” es necesaria por la connotación filosófica del término, sobre todo ligada al concepto aristotélico de esencia del ser. Para Aristóteles la sustancia es lo que permanece en el sujeto o cosa por más que transcurra el tiempo. Además está inclusión en la definición de la IUPAC, evita la connotación mágica y misteriosa del término (Raviolo, 2011).

El hecho que corresponda a una porción de materia de composición química constante y definida es lo que permite diferenciarla de las mezclas. Al respecto la regularidad de Proust, permitió hacer esta distinción. En dicha regularidad se plantea que al combinarse los elementos para formar las sustancias, lo hacen en una relación constante y definida de sus masas. Así por ejemplo, en la formación de agua siempre la relación de combinación es $mH/mO = 1/8$, mientras que en el peróxido de hidrógeno la relación es $mH/mO = 1/16$. En este sentido, la regularidad de Proust es un acuerdo de la comunidad científica de la época, puesto que las evidencias experimentales por el estado de desarrollo de las técnicas de

análisis cuantitativo no eran suficientes para validarla³. El acuerdo radica en haber detectado la importancia que esta regularidad tenía para definir sustancia, sistemas materiales de enorme trascendencia para el desarrollo experimentalista cuantitativo de la química del siglo XIX, con relación al estudio de las transformaciones químicas.

Las sustancias poseen propiedades físicas que permiten identificarlas. Se trata de propiedades físicas medidas en las mismas condiciones termodinámicas, tales como punto de ebullición normal, densidad a una determinada temperatura, poder rotatorio específico, entre otras. Nótese que esto resulta clave para poder mostrar que un par de isómeros son sustancias distintas. En ese mismo sentido Needham y van Brakel (2008) consideran que, la noción de sustancia es un concepto que se define desde la dimensión fenomenológica y que por tanto su identificación radica en criterios termodinámicos. Indican que es el punto triple(o puntos triples) o la densidad en el cambio de fase el mejor criterio para identificarla.

El planteo de van Brakel y Needham implica que en términos del lenguaje, los enunciados para caracterizar a la sustancia sólo contienen términos empíricos. Ubicamos a la sustancia como una construcción que refiere al nivel macroscópico. Sin embargo, si nos preguntamos qué es la sustancia, o sobre la posibilidad de manipular realmente esas porciones de materia que tengan sólo una sustancia, surgen algunas dificultades. ¿Es posible tener porciones macroscópicas de materia que estén constituidas en su totalidad por una única sustancia? ¿Tiene sentido referir a la pureza de esa porción de materia que denominamos convenientemente sustancia?

La ontología de la sustancia tiene ciertas particularidades. Las sustancias se encuentran estructuradas de acuerdo a la categoría ontológica de *stuff* y no a la de individuos. “Los objetos existen efectivamente, mientras que el *stuff* es una abstracción, un término de masa” (Lewowicz, L., Lombardi, O., 2005, p.10). Los objetos con los cuales trabajan los químicos son cuerpos puros, objetos que tienen un aspecto sustancial en común. Ese aspecto en común es la sustancia.

3. Para una mayor comprensión de este tema se recomienda ver la polémica Proust- Berthollet en Bensaude-Vincent, B (1997) *Historia de la Química*. Madrid, Addison -Wesley.

Cabe notar además que, no todos los compuestos se ajustan a una proporción constante y definida de las masas de los elementos constituyentes. Los compuestos no estequiométricos, generalmente óxidos de elementos de transición, por defectos en la estructura cristalina, no guardan esa relación.

La sustancia en tanto *stuff*, no es identificable como algo particular e individual, es una abstracción que permite caracterizar y agrupar a los cuerpos simples y compuestos.

Desde esta diferenciación que proponemos entre cuerpo y sustancia, la pureza es un atributo del cuerpo simple o compuesto, no de la sustancia. De esta forma, el término sustancia pura, que aparece en muchos de los textos de nivel universitario (Brown T. et al., 2011; Chang R., 2013) resulta redundante.

En Química Analítica se hace referencia a la “pureza analítica de los reactivos”. El reactivo, es el cuerpo material que contiene materia de una sustancia. En ese sentido, tal como plantean Córdoba, Labarca y Zambón (2013), “al conjunto de cuerpos puros con propiedades intensivas iguales se denomina sustancia” (p.168).

Por otra parte, en la definición que estamos analizando se hace referencia a las entidades⁴ que constituyen esas porciones de materia. Al respecto, de acuerdo con Hendry (2008, citado por Córdoba et.al, 2013), en un plano submicroscópico, la sustancia se identifica, con aquellas entidades moleculares de menor estado energético (para el caso de los *conformers*). Sin embargo, en el planteo de estos autores, en la identificación de sustancia a nivel corpuscular, se excluyen, las entidades iónicas o atómicas, que constituyen a los cuerpos compuestos como por ejemplo el cloruro de sodio sólido y el hierro metálico.

Por otra parte, según Lewowicz et al., 2005, coincidiendo con planteos ontológicos no reduccionistas, no es posible reducir lo que es la sustancia a entidades como moléculas o átomos. Las autoras, en este trabajo justifican esta posición al sostener que la macroquímica, el mundo de las sustancias y sus transformaciones, se encuentra estructurada de acuerdo a la categoría ontológica de *stuff*, mientras que el mundo molecular se encuentra estructurado por la categoría ontológica de *individuos*.

En síntesis, el concepto actual de sustancia química encierra una importante complejidad respecto a su ontología, aunque su existencia es fundamental para sostener el estudio de las transformaciones químicas. A nivel de la macroquímica, la sustancia es el componente de los cuerpos puros que tienen igual valor de las propiedades intensivas. Son los cuerpos los que tienen distintos grados de

4. Al referir a la ontología del nivel corpuscular, la identificación de sustancia se hace con respecto a un tipo de entidades específicas o conjunto de estas, que para el caso de las entidades moleculares corresponde al *conformer* de menor energía (Hendry, 2006, 2008, citado por Córdoba, et. al. 2013).

pureza, la sustancia no se corresponde con una clase de objeto, se trata de una categoría ontológica que no es individualizable, como sí lo son los ítems del nivel corpuscular, como los átomos, las moléculas y los iones.

Al referir a sustancia básica, el significante sustancia tiene ahora otro significado, la referencia es a una clase de entidades del nivel corpuscular: los nucleídos con igual número de protones. La sustancia básica es lo que permanece en las transformaciones químicas, mientras que la sustancia en tanto constituyente de los cuerpos simples o compuestos, es lo que se transforma. Esta última acepción de sustancia, surge de la práctica de los químicos, como sistemas productos de las técnicas (Bachelard, 1968), una categoría útil para comenzar a estructurar la química del siglo XIX.

Al respecto Bruno Latour, comentando un pasaje de la obra de Bachelard, deja claro esta noción macroquímica de la sustancia.

“Lo que Pasteur dejó en claro (...) es que poco a poco vamos pasando de una serie de atributos a una sustancia. El fermento comenzó como atributos y terminó siendo sustancia, una cosa con límites claros, con nombre, con obstinación que era más que la suma de sus partes. La palabra sustancia no designa lo que queda debajo, indiferente a la historia. Una sustancia es más como un hilo que enlaza las perlas de un collar que como el lecho de roca que sigue siendo el mismo sin importar lo que se construye sobre él.” (Latour, 1999, p.151, citado por Nordman, 2011, p. 505).

3. La enseñanza de estos conceptos en la formación de educadores en Química

La concepción y práctica de la enseñanza en la formación de profesores es relevante, en cuanto se transforma en uno de los modelos desde los cuales los futuros educadores construyen su identidad como profesionales de la educación (Poogré, 2008; Galiazzi, 2003), a la vez que fundamenta políticas de investigación y de extensión que habilitan a un desarrollo específico del campo académico en esta institución.

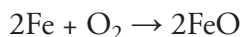
Por otra parte, los docentes trabajan en la transposición de un saber que dista del saber de la disciplina, saber sabio a decir de Chevallard (1991), por tanto es necesaria realizar una vigilancia epistemológica, para hacer evidente esa transformación. Además en el caso “*de los saberes que hemos asociado a la Química General son saberes sin objeto, saberes sin productores inmediatos*”. (Chevalard, 1991,

p.145). Por lo tanto, en el marco de la formación de educadores en Química, resulta importante rastrear su origen para “*cuidar la transformación*” de objeto de saber a objeto de enseñanza. Así, el concepto de elemento y sustancia no estructuran actualmente ningún campo de investigación de la disciplina, pero atraviesan todo el espectro de la Química y por ende de su enseñanza básica.

Una de las formas de realizar esa vigilancia es reconocer las dificultades que históricamente ha implicado la construcción del objeto de saber, se conoce en contra de un conocimiento anterior. (Bachelar, 1981). Estas dificultades que no han permitido una correcta apropiación del conocimiento, generando visiones epistémicas y ontológicas deformadas, productos del contexto de descubrimiento, de la diferenciación entre las dimensión empírica y teórica, del lenguaje, entre otros.

Al respecto, volviendo a nuestro tema, en la construcción del concepto de elemento la visión empirista que define elemento como sustancia simple, se transforma en un obstáculo para comprender que en las transformaciones químicas las sustancias cambian, siendo los elementos los que se conservan. Pero también para poder evidenciar que existen distintas sustancias simples constituidas por el mismo elemento, tales como el dioxígeno y el ozono.

A modo de ejemplo, para el estudiante que se le presenta la oxidación del hierro:



Al definir elemento químico como sustancia simple (obstáculo epistemológico), genera un obstáculo en la enseñanza. En la comprensión de la transformación química representada, el elemento hierro se conserva, mientras que la sustancia hierro se transforma. En el óxido de hierro (II) no hay un metal, sino el elemento hierro. El metal en tanto sustancia no se conservó, mientras que la “sustancia básica”, en tanto elemento sí lo hace.

El enfoque planteado por Laborde (2018), con relación a diferenciar las dimensiones de análisis y explicitar esto en términos del lenguaje, permite hacer explícitas estas diferencias. Veamos dos enunciados a modo de ejemplo:

1. El **hierro** metálico al ser calentado en presencia de dioxígeno gaseoso produce óxido de hierro.
2. El óxido de **hierro** contiene átomos de **hierro**.

El primero de ellos se trata de un enunciado empírico, el significante hierro, refiere en ese contexto del enunciado a sustancia. El carácter metálico surge de una serie de características como el brillo, la maleabilidad, el estado de agrega-

ción a determinada temperatura y presión que sólo son propios de ítems de la macroquímica. En cambio, en el segundo enunciado, el significante hierro es teórico, en el sentido que no hay ninguna característica empírica de la entidad átomo con la cual este se identifica. El hierro en tanto elemento es el constituyente de las sustancias, constituye tanto al hierro metálico como al óxido de hierro.

4. La investigación didáctica entorno a conceptos estructurantes

La sección contenido estructurantes en educación en Química del Departamento de Química del CFE, es un espacio a construir. Los docentes que integren esta sección estarán encargados de los cursos de Química básicos de las distintas formaciones, y no sólo de aquellos que correspondan a la formación de profesores de Química.

Es así que en un futuro escenario, en un espacio universitario para la formación de educadores, la enseñanza y la extensión estarán conectadas con la investigación. Tal como plantea Pesce (2018): *“la investigación particulariza la actividad universitaria, pues a partir de ella emergen nuevos conocimientos que se difunden a nivel de la práctica de la enseñanza y a través de las actividades de extensión educativa”*.

No se trata de que los futuros docentes se transformen en calificados investigadores, sino en reconocer que un escenario de formación impregnado por una actitud investigativa es altamente formativo, puesto que al igual que Freire (1997) concebimos que la investigación sea constitutiva del oficio de educar. Da la posibilidad de desarrollar un componente político de la competencia profesional del educador, generando acciones pedagógicas que permitan al alumno transformarse en un sujeto autónomo, que pueda tomar decisiones que le permitan ejercer efectivamente su derecho a la ciudadanía (Galiazi, 2003).

¿Pero cuáles han de ser los objetos sobre los cuáles se debe de investigar? Se propone aquí una línea de investigación en el campo de lo didáctico, que estará centrada en estudiar la enseñanza de los conceptos básicos en Química. Tal como hemos venido desarrollando en este trabajo, la enseñanza de los conceptos que estructuran el pensamiento químico es problemática. Si bien existe una importante producción de conocimiento al respecto, la misma es producida en contextos foráneos. Se trata de investigar qué sucede con la enseñanza y el aprendizaje de conceptos como reacción química, sustancia, elemento, estructuras

moleculares, sobre las distintas representaciones propias del lenguaje químico y cómo se conjugan significantes y significados en las representaciones que estás intentan capturar del mundo.

4.1 Un posible problema de investigación

En el marco de la línea antes mencionada se propone el siguiente proyecto de investigación: Estudio de las representaciones de elemento y sustancia en los libros de textos, utilizados en la enseñanza media en Uruguay, en los últimos veinte años.

Según Bravo (2007), los libros de texto pueden ser considerados como un típico registro del saber a enseñar y el saber enseñado, puesto que son producidos en general por profesores, para un determinado marco curricular de referencia, donde hay una sincretización y programación del saber(saber a enseñar) y tienen además la impronta de la explicación del profesor(saber enseñado). Por tanto, en estos textos se traducen las construcciones que los autores han hecho desde la propia disciplina que enseñan y desde su didáctica. Esto sospechamos que se vincula con la formación inicial y continúa, con los formatos institucionales desde donde está se imparte y con las dinámicas de las comunidades educativas por donde ha transcurrido su vida profesional. Ese es un lugar por donde investigar.

Para López Valentin y Furió (2017), en los textos se plantean visiones deformadas de la ciencia que demuestran el desconocimiento de aspectos históricos y filosóficos, existiendo una ausencia de una visión crítica del concepto de elemento químico. Según estos autores, el problema es que en los textos no se explicita el paradigma histórico desde el cual se plantea la definición de elemento químico. Pero lo más interesante de todo es que, estos textos son la fuente principal desde la cual el profesorado realiza la transposición didáctica. De esta investigación surge que el 60 % de los profesores de la muestra seleccionada identifican el concepto de elemento químico con sustancia simple, atribuyéndole propiedades macroscópicas, un 30% definen el concepto de elemento químico como átomos con la misma masa y sólo un 15% lo definen en el modelo cuántico del átomo.

Es así, que en el marco del concepto de transposición didáctica (Chevallard, 1997), se entiende que la identificación de los obstáculos epistemológicos y didácticos son categorías desde las cuáles se puede realizar el análisis de los distintos tipos de representaciones que aparecen en los textos.

Al respecto, González Galli(2011), en su trabajo de tesis doctoral, retomando los planteos de Astolfi indica que *“un obstáculo es un modo de pensamien-*

to, transversal y funcional y que compite, desde el punto de vista explicativo, con el modelo científico a enseñar” (p.186). Así por ejemplo, como ya se mencionó en este trabajo, si se identifica al elemento como una sustancia simple, esto se transforma en un obstáculo para comprender que en las transformaciones químicas las sustancias cambian, siendo los elementos los que se conservan.

Al respecto, y sin haber profundizado demasiado en los antecedentes del tema, se proponen las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de representaciones se utilizan en los textos de enseñanza media respecto de elemento y sustancia?
- ¿Qué obstáculos didácticos generan estas representaciones para el aprendizaje de los conceptos de elemento y sustancia?
- ¿Qué tipos de fuentes usaron los autores para escribir sobre estos conceptos?

4.2 Objetivos

1. Identificar, describir y analizar las representaciones de elemento y sustancia que aparecen en los textos de Química para enseñanza media en Uruguay.
2. Identificar los obstáculos que las representaciones de elemento y sustancia analizadas generan para el aprendizaje de estos conceptos.
3. Identificar y analizar las fuentes de referencia que explicitan haber usado los autores de los textos.

4.3 Estrategia Metodológica

Se trata de una investigación de corte cualitativo; se propone acotar a todos aquellos textos de autores nacionales o internacionales que hayan sido producidos en el marco de los programas de estudio de Química de Enseñanza Media en los últimos 20 años. Si bien nuestros programas de estudio sugieren textos de nivel universitarios existen antecedentes de estudio sobre las representaciones del concepto de elemento y sustancia (Raviolo 2008) que serán tomados como posibles insumos para construir los instrumentos de recolección de datos y análisis de los mismos.

Para poder trabajar con el segundo objetivo, se propone en forma exploratoria, elaborar algunos instrumentos que nos permitan estudiar la relación entre la

representación del texto y el aprendizaje de los conceptos de elemento y sustancia. Esto será parte del trabajo del equipo de investigación.

Se sugiere incluir en el equipo a estudiantes avanzados de la carrera que estén realizando su trabajo final de egreso y/ o a docentes adscriptores.

Referencias bibliográficas

- Alzate Cano, M.V. (2005). Elemento, sustancia simple y átomo: tres conceptos problemáticos en la enseñanza y aprendizaje significativos de conceptos químicos. *Revista Educación y Pedagogía* vol. XVII N°43, pp.179-193. Recuperado de [file:///C:/Users/covers/Downloads/Dialnet-ElementoSustanciaSimpleYAto-mo-2239059%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/covers/Downloads/Dialnet-ElementoSustanciaSimpleYAto-mo-2239059%20(1).pdf)
- Atkins J. et.al. (2012). *Principio de Química. Los caminos del descubrimiento*. México: Panamericana.
- Bachelard, Gastón. (1981). *El nuevo espíritu científico*. México: Editorial Nueva Imagen.
- Bardanca, M. (2018). "Calidad de reactivos" Material de referencia para el curso de AQ. Inédito.
- Bensaude-Vincent, B., Stengers, I. (1993). *Historia de la química*. Traducido por Encarnación Hidalgo. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana, 1997.
- Brown, T., Le May, Jr.; Burstein, B. (2011). *Química: La ciencia central*. México: Prentice Hall.
- Caamaño, A. (2014). La estructura conceptual de la Química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, N°78, pp.7-20.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del Saber Sabio al Saber Enseñado*. Bs. Aires: Aique.
- Córdoba, M., Labarca, M., Zambón, A. (2013). Acerca de la unicidad de la sustancia en Química. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*. (Enero-junio, 2013), pp.167-180. Recuperado de: [file:///C:/Users/covers/Downloads/1650-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2492-1-10-20160427%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/covers/Downloads/1650-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2492-1-10-20160427%20(1).pdf).
- Galiuzzi, M. (2003). *Educar pela pesquisa. Ambiente de formacao de professores de ciencias*. Rio Grande do Sul: Ijuí.
- González Galli, L. (2011). *Obstáculo para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. Tesis doctoral. Biblioteca digital. FCEN-UBA. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4961_GonzalezGalli.pdf
- IUPAC (2006). *Compendium of Chemical Terminology - the Gold Book*. Recuperado de <https://www.goldbook.iupac.org/terms/view/C01022>

- Klimosky, G. (1994). *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la Epistemología*. Bs. Aires: A-Z editora.
- Johnstone, A. (1999). *The nature of chemistry. Education in Chemistry*, pp. 45-47.
- Kuhn, T. *La estructura de las revoluciones científicas*. (1992). Bogota DC. Segunda reimpresión.
- Lewowicz, L.; Lombardi, O. (2013). *Acerca de la categoría ontológica de sustancia química*. *Revista Galileo*, N°48. Recuperado de http://galileo.fcien.edu.uy/acerca_de_la_categoria_ontologica_de_la_susancia_quimica.htm
- McNaught y Wilkinson, (2003). “*Compendio de Terminología Química*”. Málaga: Síntesis.
- Nordmann, Alfred (2011) *De la Metafísica a la Metaquímica*. En Baird, D., Scerri E., Lee, M. (coordinadores) *Filosofía de Química*. Fondo de cultura. México.
- Labarca, M., Zambón, A. (2013). “Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico”. *Educación química*, 24(1), 63-70. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2013000100011&lng=es&tlng=es.
- Laborde, G. (2018). *Introducción a la Química (nociones básicas)*”, Mdeo, inédito.
- Linares, R. (2004). *Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la Tabla periódica*. Tesis Doctoral, tutora Dra. Merce Izquierdo. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=5138>
- López Valentin, D. y Furió, C. (2017). *Visiones deformadas de la ciencia en la enseñanza del concepto de elemento Químico*. En *Memorias del X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, Sevilla. Recuperado de: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/19._visiones_deformadas_de_la_ciencia_en_la_en-senanza_del_concepto_de_elemento_quimico.pdf
- Pesce, F. (2018). *Propuesta de Proyecto Académico*. Manuscrito inédito.
- Raviolo, A. (2008). *Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria*. *Educación Química*, 19(4), 315-322. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v19n4/v19n4a12.pdf>
- Raviolo, A.; Garritz, A. (2011). *Sustancia y reacción química como conceptos centrales de la Química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica*. En *rev. Eureka*, 8(3), pp.240-254. Recuperado de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2714>
- Van Brakel, J. (1997). *Chemistry as the Science of the Transformation of Substances*. *Synthese*, 111, 253–282.
- Scerri, E. (2005). *Some Aspects of the Metaphysics of Chemistry and the Nature of the Elements*. *International Journal for Philosophy of chemistry*, 11(2005), pp.127-145. Recuperado de <http://www.hyle.org/journal/issues/11-2/scerri.htm>