

# 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, submicro<sup>1</sup> 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 “H<sub>2</sub>O”, 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  $\nu$  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 nucleídos<sup>2</sup> 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 validarla<sup>3</sup>. 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 entidades<sup>4</sup> 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.

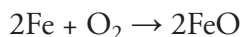
Por otra parte, los docentes trabajan en la transposición de un saber que dista del saber de la disciplina, saber sabio a decir de Chevallard (1991), por tanto es necesaria realizar una vigilancia epistemológica, para hacer evidente esa transformación. Además en el caso “*de los saberes que hemos asociado 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 dióxígeno 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 dióxígeno 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](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/acercade\\_la\\_categoria\\_ontologica\\_de\\_la\\_susancia\\_quimica.htm](http://galileo.fcien.edu.uy/acercade_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](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\\_ensenanza\\_del\\_concepto\\_de\\_elemento\\_quimico.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/19._visiones_deformadas_de_la_ciencia_en_la_ensenanza_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>