

# REACCIONES QUÍMICAS: APORTES DESDE LA DISCIPLINA Y LA DIDÁCTICA

Liliana Darré

Instituto de Profesores "Artigas", Montevideo, Uruguay.

lilidarre@gmail.com

## Resumen

*El presente trabajo es una adaptación del proyecto presentado en 2019, en el concurso de oposición y méritos para adquirir carácter efectivo en docencia directa del Consejo de Formación en Educación, correspondiente a la sección Contenidos Estructurantes.*

*El estudio de las reacciones químicas constituye un aspecto central en la estructura conceptual de la química y por tanto un contenido clave en la enseñanza de los futuros educadores en química. Se presentan en este artículo, en primer lugar, aspectos disciplinares referidos a las reacciones químicas y luego aspectos didácticos, enmarcados en la formación del profesorado de Química.*

**Palabras clave:** reacción química; cambio químico; ecuación química, enseñanza.

## Introducción

Actualmente es indiscutible que todos los ciudadanos deben poseer conocimientos de ciencias que establezcan una base sólida para reflexionar y tomar decisiones fundamentadas sobre problemáticas presentes en la vida cotidiana de carácter tecno-científico (de Pro, 2011). Por ejemplo, tomar postura sobre las discusiones dadas en nuestro país hace un tiempo, acerca de la instalación de una mina a cielo abierto, o recientemente la instalación de una nueva planta de procesamiento de pasta de celulosa; así como también poder valorar críticamente

y con argumentos, publicidades sobre determinados productos. Por lo tanto, la ciencia ha pasado a ser un aspecto de la cultura de toda la población (Izquierdo, 2000) y desde la enseñanza de la química se trata de contribuir para lograr una mejor cultura científica (Caamaño y Oñorbe, 2004).

## 1. Aspectos disciplinares

---

### 1.1 Reacción química y cambio químico

---

Los profesores de Química deben tener un conocimiento profesional específico en tres dominios principales: la materia científica a enseñar, los fundamentos epistemológicos, psicológicos e históricos de la educación científica de la disciplina y los fundamentos proporcionados por la didáctica de las ciencias (Cañal, 2011).

Responder a la pregunta, ¿qué estudia la química?, representa una forma de fundamentar el tema a desarrollar. Garritz y Sosa (2016), proponen que la definición debe incluir los términos de sustancia y reacción química, planteando que la química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de las sustancias. Actualmente hay un gran consenso en otorgarle un carácter central a los conceptos de sustancia y reacción química en el currículo de Química (Caamaño, 2014). Por lo tanto, el estudio de las reacciones químicas es considerado uno de los conceptos estructurantes de la disciplina. Se entiende por concepto estructurante aquél cuya construcción transforma el sistema cognitivo, permitiendo la adquisición de nuevos conocimientos, así como una organización diferente de datos e incluso la transformación de conocimientos anteriores. Permite al alumno incorporar cosas que antes no se tomaban en cuenta o se les daba otro significado (Gagliardi, 1986).

El estudio de las reacciones químicas involucra diversas cuestiones, por ejemplo: ¿cómo se define lo que es una reacción química?, ¿cómo es posible identificar un cambio químico?, ¿cómo pueden clasificarse las reacciones químicas?, ¿cómo pueden ser explicadas?, ¿cómo pueden representarse e interpretarse?, ¿cómo pueden calcularse las cantidades de reactivos o productos que intervienen?, ¿cuál es la causa de la energía transferida en las reacciones?, ¿cómo se puede predecir qué reacciones serán espontáneas y cuáles no?, ¿por qué algunas reacciones son completas y otras no?, ¿de qué factores depende la velocidad a la que transcurren?, ¿cómo puede realizarse la síntesis de sustancias de la forma más sosteni-

ble? (Caamaño, 2017). Por la extensión requerida, este trabajo se centrará en el concepto de reacción química y su diferencia con cambio químico, la representación mediante ecuaciones químicas, la interpretación cuali y cuantitativa de estas últimas, y los cálculos que pueden realizarse a partir de ellas. Para comprender la naturaleza de la química es conocido el planteo de Johnstone acerca del triángulo que vincula tres niveles de representación. El nivel macroscópico, representado por aquello a lo cual accedemos por medio de nuestros sentidos, el nivel microscópico, compuesto por átomos, moléculas, iones y el nivel simbólico constituido por símbolos, fórmulas, ecuaciones, gráficos (Johnstone, 2000). Sin embargo, algunos autores (Cutrera y Stipcich, 2016; Labarca, 2009; Taber, 2009) han planteado una revisión del modelo de Johnstone. En ese sentido, Taber (2009) indica que el nivel simbólico permitiría transitar entre los niveles macroscópico y microscópico.

Dado que no existe en la bibliografía un acuerdo general en la terminología a utilizar (Ordenes et al., 2014), en este trabajo se hará referencia para el estudio del tema, al nivel macroscópico o dimensión fenomenológica (fundamentalmente descriptiva) (Hernández et al., 2016; Ordenes et al., 2014; Laborde, 2003a) y al nivel microscópico, como nivel corpuscular o teórico (dimensión interpretativa, explicativa, predictiva) (Laborde, 2003a). De esta forma los alumnos deben construir sus aprendizajes en dos dimensiones diferentes de conceptualización: en aquella correspondiente a las descripciones formales de los fenómenos observados, dimensión fenomenológica y, por otra parte, en términos de los modelos teóricos propios del nivel corpuscular. El nivel simbólico permitirá mediar entre los dos niveles de conceptualización (Cutrera y Stipcich, 2016).

Las sustancias reaccionan y producen nuevas y diferentes sustancias. Las reacciones químicas tienen lugar cuando las sustancias sufren cambios fundamentales de identidad, una o más sustancias se consumen mientras se forman otras sustancias. A las sustancias presentes al inicio de una reacción se les llama reactivos y las sustancias que produce la reacción se conocen como productos (Atkins y Jones, 2006).

Las reacciones químicas han existido desde antes de la aparición del hombre, luego, tanto el descubrimiento del fuego, como la obtención de los metales, se relacionan con diversas reacciones químicas, que probablemente no fueran reconocidas como tales en esos primeros tiempos (Hernández et al., 2016). Garritz y Sosa (2016) plantean, con relación a la reacción química que el antecedente a la química que comienza con Lavoisier, fue la química del flogisto y Johann J. Beccher (1635-1682) fue la primera persona que trató de construir una teo-

ría sobre la química en 1699. Pocos años después Georg E. Sthal (1660-1734) publicó una obra dividida en dos partes (la primera con conceptos teóricos y la segunda con aspectos prácticos de la química). El flogisto era considerado como una sustancia hipotética, que representaba la inflamabilidad y fue postulado este concepto a finales del siglo XVII para explicar el fenómeno de combustión. Químicos reconocidos por su trayectoria como Carl W. Scheele (1742-1786), Joseph Priestley (1733-1804) y Henry Cavendish (1731-1810) defendieron la teoría del flogisto. Antoine Lavoisier (1743-1794), niega la teoría del flogisto y postula la presencia del oxígeno, como responsable de las combustiones. Cabrera y García (2014), en un análisis histórico-epistemológico, plantean que la reacción química como programa de investigación atravesó tres momentos: el análisis (instaurado por Lavoisier); la sustitución (reacciones estudiadas por Jean B. Dumas (1800 - 1884) y Auguste Laurent (1807 - 1853)) y la síntesis (aportes de Friedrich Wöhler (1800 - 1882)).

Caamaño (2017) define reacción química como la transformación de unas sustancias químicas en otras, en el mismo sentido Raviolo, Garritz y Sosa (2011) sugieren como definición: “una reacción química es un proceso en el cual una sustancia o varias sustancias se forman a partir de otra u otras”. Estas definiciones y otras mencionadas en libros de texto (Atkins y Jones, 2006; Petrucci et al., 2011) ponen de manifiesto que la comprensión del concepto de sustancia constituye un prerequisite para la comprensión de las transformaciones químicas (Azcona et al, 2004). La falta de profundidad en la explicación del concepto de sustancia tanto desde el punto de vista macro como microscópico generará problemas en la comprensión de las reacciones químicas, de la misma forma que, históricamente, no se pudo construir los conceptos de compuesto y reacción química sin comprender en primer lugar el de sustancia (Furió y Dominguez, 2007). Furió y Furió (2000) realizaron una revisión de las dificultades conceptuales y epistemológicas de los estudiantes sobre los conceptos básicos (naturaleza corpuscular de la materia, sustancia y compuesto químico), planteando como necesaria su superación para poder interpretar adecuadamente los procesos químicos.

Desde la dimensión fenomenológica el cambio químico es aquel proceso durante el cual la composición química del sistema cambia. En consecuencia, las propiedades intensivas y características (medidas en las mismas condiciones termodinámicas) del sistema se modifican (Laborde, 2003b). A nivel macroscópico el criterio para identificar un cambio químico será la formación de sustancias nuevas (Martín del Pozo, 1995). Alguno o algunos de los siguientes cambios son

manifestaciones de que ocurre una reacción química: cambios de color, desprendimiento de gas, formación de un precipitado, transferencia de energía como calor (Garritz, Gasque y Martínez, 2005; Petrucci et al, 2011). Hay algunas reacciones en las que, cuando tienen lugar, no se observa cambio alguno, como es el caso de las reacciones ácido-base en disolución. Para notar el cambio químico se tiene que hacer uso de indicadores o detectar cambios de la temperatura (Nieto, Garritz y Reyes, 2007). Por lo tanto, los cambios detectados a través de los sentidos, constituyen una pista de lo que esté ocurriendo, pero, para saber si se han formado nuevas sustancias, será necesario determinar algunas propiedades características de los productos y compararlas con las de las sustancias presentes al inicio del cambio (Hernández et al., 2016). Algunos autores utilizan como sinónimos los términos de cambio químico y reacción química (Hernández et al., 2016), en este trabajo, se ha considerado fundamental explicitar la diferencia entre ambos conceptos, por la importancia que tiene en el tratamiento del tema con los futuros docentes de Química. Por tanto, el concepto de cambio químico refiere a la dimensión macroscópica y el concepto de reacción química a la dimensión teórica.

Desde una perspectiva teórica, es posible plantear que *“en una reacción química hay una redistribución de los átomos o iones, formándose otras estructuras (moléculas, o redes) diferentes”* (Raviolo et al., 2011). Por lo tanto, la reacción química implica ruptura y formación de nuevos enlaces, así como también la conservación de la identidad de los elementos químicos y la cantidad de átomos de cada uno. La teoría atómica de Dalton, permitiría dicha interpretación atómica de las reacciones químicas (acorde con la conservación de la masa de Lavoisier y las proporciones múltiples de Proust) (Caamaño, 2003).

Para comprender los cambios que se producen durante las reacciones químicas, los estudiantes deben ser capaces de relacionar los cambios macroscópicos observados, el reordenamiento de partículas interpretado en el nivel corpuscular y la ecuación química como representación (Cutrera y Stipcich, 2016).

Si bien algunos autores plantean que no existe un límite definido entre cambio físico y químico (Garritz, 2007; Borsese y Esteban, 1998); se considera que la clasificación de las transformaciones en físicas y químicas, sigue siendo útil en la enseñanza; ya que estas definiciones, como otras, son una construcción humana, una forma de aproximación a la realidad (Raviolo et al, 2011). En este sentido Martín del Pozo (1995) plantea que a nivel macroscópico el criterio para diferenciar un cambio físico de químico es la conservación o no de la identidad de la/s sustancia/s inicial/es; a nivel teórico es la conservación o no de la estruc-

tura de las unidades corpusculares. Para comprender un tipo de transformación, se debe poder reconocer no solamente qué cambia, sino también qué se conserva (Raviolo et al, 2011).

## 1.2. Ecuaciones químicas y su interpretación

Las reacciones químicas pueden representarse mediante ecuaciones químicas. La IUPAC define ecuación de la reacción química como “representación simbólica de una reacción química donde las entidades reactantes se dan en el lado izquierdo y las entidades de producto en el lado derecho. Los coeficientes junto a los símbolos y fórmulas de las entidades son los valores absolutos de los números estequiométricos. Se utilizan diferentes símbolos para conectar los reactivos y los productos con los siguientes significados: = para una relación estequiométrica;  $\longrightarrow$  para una reacción neta hacia adelante;  $\rightleftharpoons$  para una reacción en ambas direcciones;  $\rightleftharpoons$  para el equilibrio” (traducción del texto extraído de: International Union of Pure and Applied Chemistry Compendium of Chemical Terminology Gold Book Version 2.3.3 2014-02-24).

En general en los libros de texto (Petrucci et al., 2011, Atkins y Jones, 2006), al definir ecuación química, lo hacen de un modo más sencillo.

La forma más simple de representación es la ecuación química con palabras, en la que se representan por su nombre los reactivos y productos separados por una flecha (Caamaño, 2017; Atkins y Jones 2006), esta forma permite visualizar las sustancias que intervienen en el proceso.

El conocimiento de la composición de las sustancias y los consensos sobre sus representaciones, permitió que los procesos se puedan expresar utilizando una ecuación química con fórmulas.

Cabe recordar que en el Congreso de Karlsruhe, en 1860, S. Cannizzaro (1826-1910), basado en la “hipótesis de Avogadro”, presentó un método para la determinación de fórmulas moleculares y para la elaboración de una nomenclatura racional de los compuestos químicos (Gallego, Gallego y Pérez, 2012).

El signo más (+) que separa las fórmulas de los reactivos (si hay más de uno), significa “reacciona con”; la flecha se lee como “para formar” o “para dar” y el signo más que separa las fórmulas de los productos indica “y” o “más”. Cualquier condición especial necesaria para que la reacción se efectúe se puede escribir arriba de la flecha. Para ser válida una ecuación química debe estar de acuerdo con los resultados experimentales, establecer las especies químicas que reaccionan y

las que se producen, y ser coherente con la conservación de la masa y de la carga (Atkins y Jones, 2006).

Antoine Lavoisier (1743-1794), reconociendo la importancia de las mediciones, logró darle forma a una regularidad importante observada en base a datos experimentales, conocida como la “ley de conservación de la masa” que puede ser enunciada de la siguiente manera: La masa total de un sistema cerrado se mantiene constante, independientemente de los cambios físicos o químicos que en él se produzcan. La interpretación teórica de dicha regularidad, según la teoría atómica de John Dalton (propuesta en su tratado *Nuevo sistema de la filosofía química*, publicado entre 1808 y 1810), implica la conservación de la identidad del elemento químico y de la cantidad de átomos de cada elemento durante una reacción química (Angelini et al., 2016). No debe omitirse la reflexión histórica sobre la evolución del concepto de reacción química, para poder distinguir la naturaleza epistemológica diferente entre la construcción del modelo propuesto por Lavoisier en el siglo XVIII y la aproximación estequiométrica cuyo consenso empezó a finales del siglo XIX. El modelo estequiométrico deriva de avances científicos basados en discusiones a lo largo de varios años, que derivaron en acuerdos sobre nomenclaturas y reglas sintácticas que subyacen al lenguaje de fórmulas. La conservación del número de átomos de cada elemento en reactivos y productos derivada del modelo estequiométrico, es conceptualmente diferente del modelo de cuantificación de la masa sobre el sistema cerrado inicial y final en una reacción química. Ignorar estas diferencias, podría exponer a los alumnos a la construcción de generalizaciones erróneas (Galagovsky, Di Giacomo y Alí, 2015). Por ejemplo, de acuerdo a lo planteado por estos autores, resulta clave para los educadores tener presente qué se quiere significar al utilizar los términos “reactivos” y “productos” y diferenciar este último del término “estado final del sistema”, de manera que el enunciado de la “ley de conservación de la masa” y su relación con el concepto de estequiometría resulten correctos.

La ecuación química es una expresión que debe estar igualada, eso significa que debe representar la misma cantidad de átomos de cada elemento en reactivos y productos. Para igualar las expresiones y obtener la ecuación química (se considera que el término ecuación química implica la expresión ya igualada), se colocan coeficientes estequiométricos delante de las fórmulas: números que multiplican toda la fórmula (Atkins y Jones, 2006). Un método útil para balancear las expresiones, es el método del tanteo, se van probando coeficientes hasta conseguir una expresión igualada. En la bibliografía se sugieren algunos criterios, para que no sea un procedimiento ligado a la suerte (Petrucci et al.,

2011, Silberberg, 2002). Por lo tanto, la ecuación química con fórmulas, simboliza tanto los cambios cualitativos como cuantitativos que se producen en un proceso químico y puede suministrar información desde la dimensión teórica o fenomenológica, según como se plantee e interprete.

Desde la dimensión teórica, la interpretación será en términos de átomos, moléculas, iones y/o unidades fórmula y no deben plantearse los estados de agregación de las especies involucradas; ya que el estado de agregación es una propiedad macroscópica. Los coeficientes estequiométricos se pueden interpretar como números relativos de unidades formulares. Desde la dimensión fenomenológica, la ecuación expresa desde el punto de vista cuantitativo, la mínima relación en cantidad química de las sustancias que participan de la reacción química. En esta interpretación, los coeficientes estequiométricos representan la cantidad química relativa de cada sustancia que participa en la reacción (Laporte, 2003b).

Surge así otro núcleo conceptual de la química, la estequiometría (palabra que proviene del griego: *stoicheion* “elemento” y *metron* “medida”), una herramienta indispensable para la química; es el estudio de los aspectos cuantitativos de los reactivos y productos que intervienen en una reacción química (Garritz et al., 2005; Silberberg, 2002). El uso de la estequiometría permite analizar diversas situaciones que se relacionan con aspectos de la salud, ecológicos, industriales, económicos (García Becerril, 2011).

La estequiometría tiene su base en las regularidades de las combinaciones: conservación de la masa (Lavoisier), proporciones constantes (Proust), proporciones múltiples (Dalton), y volúmenes de combinación (Gay Lussac) planteadas entre 1776 y 1810 (García Becerril, 2011). Es importante destacar que la estequiometría aborda las relaciones cuantitativas de la química sobre una base cualitativa, conceptual (Raviolo y Lerzo, 2016).

Al interpretar cuantitativamente la ecuación química desde la dimensión fenomenológica, las proporciones con que las sustancias participan del proceso se pueden expresar tanto en cantidad química como en masa, siendo más conveniente para la realización de cálculos la utilización de la cantidad química. Las cantidades químicas dadas por los coeficientes de la ecuación se conocen como cantidades estequiométricas y se pueden establecer a partir de ellas, las relaciones estequiométricas entre las sustancias que participan (Atkins y Jones, 2006; Silberberg, 2002).

En el caso de reacciones químicas que transcurren en una dirección en determinadas condiciones de presión y temperatura, cuando todos los reactivos

se consumen de forma completa y simultánea, se dice que los reactivos están en proporciones estequiométricas (Petrucci et al., 2011), al finalizar la reacción en el sistema quedarán solamente productos. Pero ocurre muchas veces que las cantidades de reactivos utilizadas al realizar una reacción química no están en la proporción que indican los coeficientes estequiométricos, en este caso uno o más reactivos se consumirán totalmente, mientras que uno o más estarán presentes en el sistema al finalizar la reacción. En esta situación se puede identificar como reactivo/s limitante/s a aquel o aquellos que se consumen totalmente, y determinan la máxima cantidad de producto que puede obtenerse, está/n en menor proporción que la requerida estequiométricamente de acuerdo a la ecuación química. Habrá reactivo/s limitante/s, siempre y cuando haya reactivos que no reaccionan por completo y estarán presentes al terminar la reacción, éstos, se denominan reactivos en exceso (Petrucci et al., 2011; Atkins y Jones, 2006; Silberberg 2002).

Otro aspecto a tener en cuenta es que la cantidad de producto calculada a partir de las relaciones estequiométricas obtenidas de la ecuación química se denomina rendimiento teórico y generalmente no coincide con la cantidad que realmente se obtiene (rendimiento real o experimental). El rendimiento porcentual de una reacción (% de rendimiento) es el rendimiento real expresado como porcentaje del rendimiento teórico (Silberberg, 2002), el cual corresponderá al producto medido y no necesariamente coincidirá con el rendimiento porcentual para otros productos. Algunos de los motivos por los cuales el rendimiento real generalmente es menor que el teórico, pueden ser los siguientes: reactivos impuros (si se dispone de la información debe considerarse el % de pureza que indica la masa de reactivo puro cada 100g de la muestra, y se debe hallar la cantidad química de reactivo disponible a partir de la masa de reactivo puro), pérdida mecánica de producto, existencia de reacciones no deseadas que consumen reactivo (Petrucci et al. 2011). Otra posibilidad es que la reacción no se haya completado en el momento que se realizan las mediciones o que sean reacciones que no se completan y que parecen detenerse una vez que se ha consumido una determinada proporción de reactivos. Estas situaciones pueden conducir a sistemas que alcanzan el equilibrio químico, son de gran importancia en el estudio de la química (Atkins y Jones, 2006), sus características deben ser analizadas en profundidad y como ya fue planteado, no se estudian en este trabajo.

## 2. Aspectos didácticos

Se ha explicitado anteriormente la importancia del tema para la construcción de conceptos químicos, lo que de alguna manera también fundamenta la relevancia de enseñar estos contenidos. El concepto de reacción química tiene un lugar destacado en la enseñanza de la química desde el nivel básico de enseñanza media hasta el nivel terciario. El resto de los conceptos de alguna u otra forma se relacionan con éste, ya sea por su importancia para comprender posteriormente la reacción química, porque se deban construir paralelamente con él; o requieren de éste para ser comprendidos (Hernández et al., 2016).

Las unidades curriculares de las distintas secciones del profesorado de Química tratan diferentes aspectos de las reacciones químicas, por lo tanto, es una temática que atraviesa toda la formación de los futuros profesores.

A la hora de enseñar, como ya se planteó antes, los conocimientos disciplinares son fundamentales, pero no son los únicos, ya que este conocimiento no será transferido directamente a la práctica (Mellado, 2011). Como docentes (y especialmente en este caso, docentes de futuros formadores) es un desafío transformar el conocimiento disciplinar, en el conocimiento pedagógico del contenido (Farré y Lorenzo, 2009), denominado también conocimiento didáctico del contenido por otros autores (Cañal, 2011; Mellado, 2011). Acorde a esto se debe realizar el proceso de transposición didáctica (incluido en el macroconcepto de contenido pedagógico del contenido (Farré y Lorenzo, 2009)), transformando y adecuando el conocimiento científico para ser enseñando (Liguori y Noste, 2012).

Es difícil pensar que pueda existir un modelo y una única forma de enseñar que pueda solucionar todos los problemas de aprendizaje (Liguori y Noste, 2012; Jiménez, 2000). Los modelos didácticos que adopte el docente de los futuros profesores pueden constituir modelos de referencia para éstos, siendo importante la coherencia entre la práctica docente del formador y el modelo que se pretende que los alumnos construyan (Liguori y Noste, 2012). Para los futuros profesores es importante lo que vivencian en clase, más tal vez, que lo que se plantea en el discurso (Mellado, 2011).

Con un enfoque constructivista, aprender y enseñar, implican transformar la mente de quien aprende, reconstruyendo a nivel personal los productos y procesos culturales con el fin de apropiarse de ellos (Pozo y Gómez Crespo, 2004). Se espera entonces, que los alumnos realicen un aprendizaje significativo, entendiéndolo como un aprendizaje profundo; opuesto al aprendizaje mecánico

y superficial. Entre ambos extremos se dará un gradiente de los aprendizajes. En el enfoque de aprendizajes por competencias, cuanto más significativo sea un aprendizaje, podrá ser aplicado en una mayor cantidad de situaciones, incrementando así su funcionalidad (Zabala y Arnau, 2014). Estos autores plantean una serie de condiciones para que se alcancen aprendizajes lo más significativos posible, una de ellas es tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes.

La existencia de un número elevado de concepciones alternativas de los estudiantes da lugar a diversas dificultades en el aprendizaje de la química, las que pueden atribuirse a dificultades intrínsecas y terminológicas de la propia disciplina, al pensamiento y procesos de razonamiento de los estudiantes y al proceso de instrucción recibido (Caamaño y Oñorbe, 2004). El hecho que los estudiantes deban moverse entre los distintos niveles de descripción de la materia utilizando el lenguaje de un modo que no siempre diferencia explícitamente el nivel que se está analizando, ha sido señalado como una de las causas de las dificultades intrínsecas de la química de (Caamaño, 2003; Caamaño y Oñorbe, 2004); así como también, en algunas ocasiones, la ausencia del término apropiado para un nivel estructural determinado, provoca que se evite nombrar determinadas entidades o se realice un cambio en el nivel descriptivo al leer las ecuaciones químicas (Caamaño, 2003). También constituye una dificultad para la comprensión, la falta de criterios tanto de la dimensión fenomenológica como teórica para distinguir un proceso químico de físico (Domínguez 2004, citado por Furió y Domínguez 2007). Estos autores, proponen como una de las formas de superar los problemas de aprendizaje del cambio químico (y de sustancia como prerequisite), introducir los conceptos teniendo en cuenta cómo se presentaron históricamente los problemas, de esa forma se plantearía el estudio fenomenológico del cambio químico, introduciendo los correspondientes conceptos macroscópicos, para luego explicarlo con las conceptualizaciones teóricas de la teoría atómica. De esa manera conocer la epistemología de la ciencia, comprender el prerequisite conceptual sustancia química, tanto en la dimensión fenomenológica como teórica, y estudiar los conceptos de cambio y reacción química relacionándolos con el concepto de sustancia, resultaría útil para buscar estrategias que faciliten superar las dificultades que se les presenten a los alumnos (Furió y Domínguez, 2007).

Para resolver situaciones problemáticas relacionadas con estequiometría es necesario comprender conceptos como: fórmula química, reacción química, ecuación química, reactivos y productos, subíndices y coeficientes estequiométricos

(Raviolo y Lerzo, 2016). También es necesaria la comprensión del concepto cantidad química o cantidad de sustancia y de su unidad, mol, considerado como uno de los principales obstáculos conceptuales en el aprendizaje de la química (Furió et al., 2000). Raviolo y Lerzo (2016) sostienen que los alumnos presentan dificultades que van más allá de cuestiones matemáticas y mantienen concepciones alternativas luego de la enseñanza, dada la complejidad de la temática.

Se suma otra dificultad que radica en la polisemia de muchos de los términos utilizados en las clases y que, en el lenguaje cotidiano, tienen otro significado, por ejemplo, elemento, compuesto, sustancia, síntesis, reacción (Galiano y Sevillano, 2015; Caamaño y Irazoque, 2011). La recuperación de los conocimientos previos de los alumnos servirá como anclaje para el aprendizaje de los nuevos contenidos (Lorenzo, 2017). En este sentido Zabala y Arnau (2014), señalan que uno de los retos que plantea una enseñanza de competencias para la vida, es la necesidad de que los nuevos contenidos de aprendizaje (ya sean conocimientos, habilidades o actitudes) estén relacionados con los ámbitos personal, interpersonal y social y también, que sean aprendidos de manera funcional. Proponen que no es necesario crear una nueva metodología para la enseñanza de las competencias, sino actualizar los métodos existentes. Entre ellos se consideran adecuados para el tratamiento de este bloque temático, la enseñanza a través de la resolución de problemas ya que es considerada una metodología eficaz que promueve un aprendizaje constructivo en los alumnos y facilita el desarrollo de las competencias (Laborde, en prensa), así como también el aprendizaje basado en analogías (Raviolo y Lerzo, 2016; Zabala y Arnau, 2014).

Al diseñarse las estrategias metodológicas se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: planteo de situaciones problema a resolver (cuestiones, problemas y ejercicios, abordando las nociones a enseñar), enseñanza orientadora (profesor como facilitador) y aprendizaje cooperativo (efectiva interdependencia entre integrantes del grupo). Será importante que las actividades a desarrollar presenten las siguientes características: que permitan explorar los conocimientos previos de los alumnos, que los contenidos involucrados sean significativos y funcionales, que representen un reto abordable por los alumnos, que provoquen un conflicto cognitivo, que sean motivadoras, estimulen la autoestima y promuevan la autonomía de los alumnos en sus aprendizajes, ayudándolo a adquirir habilidades relacionadas con el aprender a aprender (Zabala y Arnau, 2014; Laborde, en prensa).

Para Garritz (2010), hay algunos aspectos a considerar en la educación química del siglo XXI: química de frontera (los profesores han de estar lo más al

día posible en los conocimientos disciplinarios); analogías; incertidumbre (es momento de hablar de incertidumbre en la clase de química); competencias; indagación; modelos y modelaje; naturaleza, historia y filosofía de la química; riesgo (por ejemplo, el diagnóstico y tratamiento del cambio climático plantean una crisis, implicando un riesgo y una oportunidad, que pueden promover una situación de aprendizaje general importante); las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (la información visual tiene un papel importante en la enseñanza de la química) y afectividad. El autor, para poner en evidencia la importancia de considerar los aspectos afectivos en la enseñanza, cita la siguiente frase de Baltasar Gracián (1601-1658): “*De nada sirve que el entendimiento se adelante si el corazón se queda*”.

A continuación, se pretende resumir algunos aspectos de la planificación de la unidad didáctica. Antes de presentar los contenidos de enseñanza e indicadores de aprendizaje respecto al tema de este trabajo, se plantean los objetivos generales de enseñanza sintéticamente, en respuesta a la pregunta ¿qué se quiere enseñar a los alumnos?

Se quiere enseñar: a valorar la importancia de las reacciones químicas, a diferenciar el concepto de cambio químico y reacción química desde las diferentes dimensiones de análisis, a representar los procesos químicos, a reconocer las regularidades que se cumplen y las teorías que subyacen, a plantear ecuaciones químicas, interpretarlas y analizarlas desde la dimensión fenomenológica y teórica, a realizar una lectura cualitativa y cuantitativa de las ecuaciones químicas, a valorar la importancia de la estequiometría.

Se proponen los siguientes contenidos de enseñanza e indicadores de aprendizaje, presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Contenidos de enseñanza e indicadores de aprendizaje**

	Contenidos de enseñanza	Indicadores de aprendizaje
Dimensión Conceptual	Reacción química	Describe y explica los conceptos de reacción química y cambio química, establece la caracterización teórica y fenomenológica.
	Cambio químico	
	Ecuación química	Relaciona dichos conceptos con el de ecuación química.
	Estequiometría	
	Reactivo limitante	Utiliza los conceptos ecuación química, estequiometría, reactivo limitante, reactivo en exceso, rendimiento de reacción para resolver situaciones problema.
	Reactivo en exceso	
Rendimiento de reacción		

	Contenidos de enseñanza	Indicadores de aprendizaje
Dimensión Metodológica	<p>Diferenciación de reacción y cambio químico.</p> <p>Búsqueda y selección de información confiable y relevante.</p> <p>Elaboración de modelos que representen distintos momentos del sistema reaccionante.</p> <p>Representación e interpretación de ecuaciones química, teniendo en cuenta las diferentes dimensiones de análisis.</p> <p>Diseño de actividades experimentales.</p> <p>Recolección, organización y análisis de datos experimentales.</p> <p>Utilización de medidas de seguridad en el laboratorio.</p> <p>Utilización de relaciones matemáticas.</p> <p>Comunicación de procedimientos y conclusiones.</p>	<p>Analiza la diferencia entre reacción y cambio químico.</p> <p>Selecciona y analiza la información disponible.</p> <p>Utiliza modelos para representar el sistema reaccionante.</p> <p>Representa e interpreta ecuaciones químicas desde diferentes dimensiones de análisis, reconoce planteos que no estén adecuadamente presentados.</p> <p>Diseña actividades experimentales, las lleva a cabo, recoge y organiza datos experimentales.</p> <p>Utiliza medidas de seguridad.</p> <p>Realiza cálculos, utilizando relaciones matemáticas.</p> <p>Escribe y comunica oralmente en forma fundamentada conclusiones.</p>
Dimensión Actitudinal	<p>Valoración de la importancia de las reacciones químicas en la vida cotidiana.</p> <p>Valoración de la importancia de los cálculos estequiométricos en la vida cotidiana.</p> <p>Motivación respecto a la información, argumentos y procedimientos científicos.</p> <p>Valoración positiva del trabajo colaborativo.</p> <p>Fomento de la autonomía personal, del sentido crítico y una postura “aprender a aprender”.</p>	<p>Valora positivamente los conocimientos relacionados con las reacciones químicas, el cambio químico y los cálculos estequiométricos reconociendo la vinculación con la vida cotidiana.</p> <p>Valora las distintas fuentes de información.</p> <p>Valora la importancia del trabajo en equipo y de la autoevaluación.</p>

A modo de ejemplo, se mencionan algunas actividades a realizar durante el desarrollo de la unidad didáctica:

**“Las reacciones químicas de hoy y de siempre.”** (propósito: relacionar el tema a abordar con las reacciones químicas cotidianas, analizar la evolución histórica del concepto de reacción química, estudio particular de las reacciones de combustión por su importancia).

**“Análisis de la presentación del tema en diferentes libros de texto.”** (propósito: analizar en forma crítica el abordaje del tema en la bibliografía).

**“¿Cumplirá su función el agua oxigenada que tenemos en el botiquín?”** (propósito: discusión, propuesta y ejecución de una actividad experimental que permita responder a la pregunta planteada y entrega de informe grupal).

Con respecto a la evaluación, se acuerda con lo planteado con Sanmartí (2007) en el sentido que enseñar, aprender y evaluar son tres procesos que no se pueden separar. Según esta autora la evaluación es el motor del aprendizaje; su finalidad principal es la regulación tanto de la enseñanza como del aprendizaje; la función calificadora también es importante (sus resultados dependen en parte de la calidad de la evaluación-regulación realizada en los procesos de enseñanza y de aprendizaje); pero si es solamente calificadora no motiva. La evaluación es una ocasión para conocer la calidad de los procesos y una oportunidad para su reformulación y mejora (Pérez Gómez, 2007).

Para la evaluación del bloque temático presentado en este trabajo se propone la realización de un portafolio de evidencias ya que tiene una función estructurante, y organizadora del aprendizaje y estimula los procesos de desarrollo personal (Ramírez y Santander, 2003), siendo un instrumento adecuado para realizar una evaluación formativa continua y cualitativa de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. El portafolio de evidencias, que puede ser en papel o en formato digital debe estar bien organizado, tener el título del bloque temático y un índice. Las diferentes evidencias se presentarán clasificadas: actividades de clase en base a fichas de trabajo (discriminadas en individuales y grupales), actividades de trabajo experimental, trabajo realizado autónomo (por ejemplo, descripción de bibliografía leída) (Sanmartí, 2007). Los estudiantes deben seleccionar las actividades a colocar en el portafolio, y cada evidencia incorporada debe estar acompañada de una reflexión. Estas evidencias dan cuenta del proceso personal seguido por el alumno, posibilitando la autorreflexión y la autogestión y permite al profesorado mejorar su actividad docente (Monllor et al., 2012).

Por último, al finalizar el bloque temático se propone realizar una actividad de evaluación sumativa escrita, a partir de una propuesta que para su resolución exija movilizar conocimientos para aplicarlos en el análisis de una determinada

situación. La corrección de la misma, promoverá la reflexión personal y colectiva de manera de favorecer los procesos relacionados con la metacognición.

## Referencias bibliográficas

- Angelini, M, Bulwik, M., Lastres Flores, L., Sileo, M., Baumgartner, E., Crubellati, R.,.....Servant, R. (2016). *Temas de Química General*. Bs. As., Argentina: Eudeba.
- Atkins, P. y Jones, L. (2006). *Principios de Química. Los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.
- Azcona, R.; Furió, C.; Socorro, I.; Álvarez, A. (2004) ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos. *Alambique*, 40, 7-17.
- Borsese, A. y Esteban, S. (1998). Los cambios de la materia, ¿deben presentarse diferenciados en químicos y físicos? *Alambique*, 17, 85-92.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En: M. Jiménez Aleixandre, (Coord), *Enseñar ciencias* (pp. 203-240). Barcelona, España: GRAÓ.
- Caamaño, A. (2014). La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas. *Alambique*, 78, 7-20.
- Caamaño, A.(2017). Formas y niveles de representación de las reacciones químicas. *Alambique*, 90, 8-16.
- Caamaño, A. y Irazoque, G. (2011). La enseñanza y el aprendizaje de la terminología físico-química: magnitudes y símbolos. En: A. Caamaño (Coord.), *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas* (pp. 171-190). Barcelona: GRAÓ.
- Caamaño, A. y Oñorbe, A. (2004) La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique*, 41, 68-81.
- Cabrera C., H. y García A., E. (2014). Historia de la ciencias en la enseñanza de la ciencias: el caso de la reacción química. *Revista Brasileira de Historia de la Ciencias*, 7(2), 298-313. Recuperado de [https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID\\_ARQUIVO=1963](https://www.sbh.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=1963).
- Cañal, P. (2011). Competencia científica y competencia profesional en la enseñanza de las ciencias. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la Física y de la Química* (pp. 35-55). Barcelona, España: GRAÓ.
- Cutrera, G. y Stipcich, S. (2016). El triplete químico. Estado de situación de una idea central en la enseñanza de la Química. *Revista Electrónica sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación en Iberoamérica* 3 (6). Recuperado de <http://www.cagi.org.mx/index.php/CAGI/article/view/103/142>

- de Pro, A. (2011). Conocimiento científico, ciencia escolar y enseñanza de las ciencias en la Educación Secundaria. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la Física y de la Química* (pp. 13-33). Barcelona, España: GRAÓ.
- Farré, A. y Lorenzo, M.G. (2009). Conocimiento pedagógico del contenido: Una definición desde la química. *Educación en la Química* 15(2), 103-113. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/283997354ConocimientoPedagogico\\_del\\_Contenido\\_Una\\_definicion\\_quimica](https://www.researchgate.net/publication/283997354ConocimientoPedagogico_del_Contenido_Una_definicion_quimica).
- Furió, C. y Domínguez, M. (2007). Deficiencias en la enseñanza habitual de los conceptos macroscópicos de sustancia y cambio químico. *Educación en Ciencias*, 8(2), 84-92.
- Furió, C., Domínguez, C., Azcona, R. y Guisasola, J. (2000). En F. Perales y P. Cañal (Coord.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 421-448). Alcoy, España: Marfil.
- Furió, C. y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11(3), pp.300-308. Recuperado de [https://rodas5.us.es/file/9ea0c662-b500-306c-5a5a-942a4a004642/2/texto3\\_SCORM.zip/files/texto3\\_examen.pdf](https://rodas5.us.es/file/9ea0c662-b500-306c-5a5a-942a4a004642/2/texto3_SCORM.zip/files/texto3_examen.pdf)
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 30-35.
- Galagovsky, L., Di Giacomo, M.A. y Alí, S. (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. *Ciência y Educação (Bauru)*, 21(2), 351-360. doi.org/10.1590/1516-731320150020006.
- Galiano, J.E. y Sevillano G., M.A. (2015). Estrategias de enseñanza de la Química en la formación inicial del Profesorado Universitario. *Educatio Siglo XXI*, 33 (1), pp. 215-234. doi.org/10.6018/j/222571.
- Gallego B., R., Gallego T., A. y Pérez M., R. (2012). El Congreso de Karlsruhe: Los inicios de una comunidad científica. *Educación química*, 23(2), 280-283. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2012000600006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2012000600006&lng=es&tlng=es).
- García Becerril, M. (2011). *Química II. Enfoque por competencias*. México, D.F., México: Mc. Graw Hill.
- Garritz, A. (2007). Química: ¿Tiene que ver con sustancias o con procesos? Un inventario valioso para los profesores de química. Recuperado de [https://uruguayeduca.anep.edu.uy/sites/default/files/inline-files/Definicion\\_Quimica.pdf](https://uruguayeduca.anep.edu.uy/sites/default/files/inline-files/Definicion_Quimica.pdf).
- Garritz, A., Gasque, L. y Martínez, A. (2005). *Química universitaria*. Naucaplán de Juárez, México: Pearson Educación, S.A.
- Garritz, A. (2010). La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI, caracterizada por la incertidumbre. *Educación Química*, 21(1), 2-15.

- Garritz, A. y Sosa Fernández, P. (2016). Química, sustancia y reacción química. En: Bello, S (Coord), *Didáctica de la Química Universitaria* (pp. 1-30). UNAM. México. Recuperado de: <http://depa.fquim.unam.mx/sieq/didactica.pdf>
- Hernández M., G., López V., N, Nieto C., E y Reyes C., F. (2016). En: Bello, S (Coord), *Didáctica de la Química Universitaria* (pp. 59-97). UNAM. México. Recuperado de <http://depa.fquim.unam.mx/sieq/didactica.pdf>
- International Union of Pure and Applied Chemistry Compendium of Chemical Terminology Gold Book Version 2.3.3 2014-02-24. Recuperado de <https://goldbook.iupac.org/pdf/goldbook.pdf>.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. Perales y P. Cañal (Coord.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Alcoy, España: Marfil.
- Jiménez, M.P. (2000). Modelos didácticos. En F. Perales y P. Cañal (Coord.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 165-186). Alcoy, España: Marfil.
- Johnstone, A. (2000). Chemical Education Research: Where from here? *University Chemistry Education* 4 (1), 34-38. Recuperado de <https://www.physics.utoronto.ca/~key/PHY1600/PER%20Papers/Chemical%20Education%20Research.pdf>
- Labarca, M. (2009). Acerca de la naturaleza de la química: algunos comentarios. *Educación en la Química* 15(2), 89-102.
- Laborde, G. (2003a). Introducción a la Química. Material de apoyo al Curso de Química General I. Instituto de Profesores Artigas. Montevideo, Uruguay.
- Laborde, G. (2003b). Las reacciones químicas. Material de apoyo al Curso de Química General I. Instituto de Profesores Artigas. Montevideo, Uruguay.
- Laborde, G. (en prensa). *Las competencias, un nuevo modelo para intentar resolver problemas viejos. El desarrollo de la competencia científica.*
- Liguori, L. y Noste, M.I. (2012). *Didáctica de las ciencias naturales. Enseñar a enseñar ciencias naturales*. Rosario, Argentina: Homo Sapiens.
- Lorenzo, G. (2017). Los contenidos de ciencias naturales en la enseñanza universitaria: Especificidad, abstracción y orientación profesional. Recuperado de: [biblioteca-virtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/AulaUniversitaria/.../10486/](http://biblioteca-virtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/AulaUniversitaria/.../10486/)
- Martín del Pozo, R. (1995). El conocimiento escolar y profesional sobre cambio químico en el diseño curricular Investigando Nuestro Mundo. *Investigación en la escuela*, 27, 39-48.
- Mellado, V. (2011). Formación del profesorado de ciencias y buenas prácticas: el lugar de la innovación y la investigación didáctica. En: A. Caamaño (Coord.), *Física y Química. Investigación, innovación y buenas prácticas* (pp. 11-30). Barcelona: GRAÓ.

- Monllor S., D., Barceló, I., Lana V., T., Bonete, P. y Gómez R. (2012). Evaluación formativa de las competencias en Química-Física: el portafolio competencial. Recuperado de <https://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes-2012/documentos/posters/246184.pdf>
- Nieto, C., E., Garritz, A. y Reyes-Cárdenas, F. (2007). ¿Cuál es el conocimiento básico que los profesores necesitan para ser más efectivos en sus clases? El caso del concepto Reacción química. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 22, 32-48. Recuperado de [revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/download/376/379](http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/download/376/379)
- Ordenes, R, Arellano, M.; Jara, R. y Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química* 25(1).
- Pérez Gómez, A. (2007). La naturaleza de las competencias básicas y sus aplicaciones pedagógicas. *Cuadernos de Educación de Cantabria 1*. Recuperado de: [https://www.educantabria.es/docs/info\\_institucional/publicaciones/2007/Cuadernos\\_Educacion\\_1](https://www.educantabria.es/docs/info_institucional/publicaciones/2007/Cuadernos_Educacion_1).
- Petrucci, R.H.; Herring, F.H.; Madura, J.D. y Bissonnette, C. (2011). *Química General. Principios y aplicaciones modernas*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (2004). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, España: Morata.
- Ramírez J. y Santander E. (2003). Instrumentos de evaluación a través de competencias. Material del Diploma en Evaluación de Aprendizajes. Curso 2014. UCU-DAL. Recuperado de <https://blogfcbc.files.wordpress.com/2011/06/ramirez-y-santander-instrumentos-de-evaluacion-3b3n.pdf>
- Raviolo, A.; Garritz, A. y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (3), 240-254.
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. *Educación Química*, 27, 195-204. doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003
- Sanmartí, N. (2007). Evaluar para aprender. Recuperado de: <http://www.xtec.cat/~ilopez15/materials/ambitpedagogic/avaluacio/evaluarparaaprender.pdf>
- Silberberg, M. (2002). *Química. La naturaleza molecular del cambio y la materia*. México, D.F., México: Mc. Graw Hill.
- Taber, K. (2009). Learning at the Symbolic Level. In: J. Gilbert y D. Treagust (Eds.), *Models and Modeling Science Education. Multiple representations in Chemical Education* (pp. 75-108). DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Zabala, A. y Arnau, L. (2014). *Métodos para la enseñanza de las competencias*. Barcelona, España.