

CAMPO CONCEPTUAL ESTEQUIOMETRÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS. PARTE I: TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA EN UN CURSO UNIVERSITARIO

Artículo científico



Autores:

Nelson Martínez Castillo

Cátedra de Química.

Decanato de Ingeniería Civil.

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA)

Barquisimeto. Edo. Lara. Venezuela

E-mail: nelsonmartinez@ucla.edu.ve

Esmelkys Bonilla Alvarado.

Cátedra de didáctica de las Ciencias y fundamentos de Física.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador Luis Beltrán Prieto Figueroa (UPEL).

E-mail: eiba75@yahoo.es

Barquisimeto. Edo. Lara. Venezuela

RESUMEN

Enseñar química, conlleva además de hablar su lenguaje, desarrollar esquemas que se acerquen a la visión científica de la disciplina. Los avances en el campo de la didáctica de la química, invitan a replantear la actividad docente y la manera de diseñar, instruir y evaluar la acción pedagógica. El presente trabajo propone una serie de acciones que permiten diseñar secuencias de enseñanza referentes al tema estequiometría. La misma incluye una serie de tareas para delimitar y explicitar el contenido. Se identificaron tres tareas a tomar en cuenta para la definición desde la ciencia del campo conceptual; análisis científico, análisis didáctico, y el análisis de situaciones. Al respecto, se considera necesario producir una relación entre la didáctica de la química y su epistemología, con el propósito de secuenciar actividades de clase. El enfoque de este estudio, está encauzado hacia lo conceptual, toda vez que, resalte el aprendizaje progresivo de las ideas, conceptos y teoremas del estudiante. Esto con la intención de acoplar el trabajo didáctico a la perspectiva de la teoría de Vergnaud. Varias conclusiones positivas se han extraído de esta tarea, recomendando aplicar tanto la metodología, como la misma secuencia didáctica a los cursos de química universitarios.

Palabras claves: Estequiometría, Campos conceptuales, Transposición didáctica

CONCEPTUAL FIELD STOICHIOMETRY OF CHEMICAL REACTIONS. PART I: DIDACTIC TRANSPOSITION IN A COLLEGE COURSE

ABSTRACT

Teaching chemistry, it involves: besides speaking their language, develop schemes that approach the scientific view of the discipline. Advances in teaching chemistry lead to reconsider the teaching activity around how to design, to instruct and evaluate the pedagogical action. This paper proposes a series of actions that let to design sequences teaching concerning to stoichiometry field. It includes a series of tasks to define and explain the content. Three tasks identified a Take into account in the definition of the concept from science field; scientific analysis, didactic analysis and the analysis of situations. In this regard, it is considered necessary to produce a link between the teaching of chemistry and epistemology, in order to sequence activities class. The focus of this study is channeled to the conceptual, since, highlight the development of ideas, concepts and theorems of the student. The intention was coupling the teaching job with the prospect of the theory of Vergnaud. From this task are drawn several positive conclusions, recommending apply the methodology, as the teaching propose in college chemistry courses.

Keywords: Stoichiometry, Conceptual fields, Didactic transposition

Introducción

Actualmente existen diversas líneas de investigación en didáctica de las ciencias en las que pueden trabajar los docentes e investigadores. Particularmente en la enseñanza de la química, se debe destacar la gran importancia que en los últimos años se ha dado a la preparación e implementación de secuencias didácticas constructivistas (Caamaño, 2013), así como también, los aportes entre historia y epistemología de las ciencias (Garritz, 2010) y la construcción de conceptos y modelos en química (Raviolo, 2009; Chamizo, 2010). Estas tendencias temáticas han nacido bajo la premisa de que la educación en química normalmente está aislada de la vida cotidiana, de la sociedad, de la historia y la filosofía de la ciencia y, sobre todo, de la actual investigación en la enseñanza química.

Independientemente de su enfoque tanto teórico como didáctico, muchos de estos trabajos por lo general están direccionados a favorecer en los estudiantes desarrollos conceptuales que les apunte el fortalecimiento del aprendizaje de los fenómenos químicos. En suma, el desafío actual para las universidades consiste en proporcionar experiencias que mantengan el interés del estudiante y les faciliten el desarrollo de habilidades y competencias de orden superior.

Una forma de lograr este objetivo es a través de la aplicación de modelos de enseñanza-aprendizaje que motiven a los estudiantes para la construcción de los conceptos centrales del tema en estudio. A esta exigencia intenta responder el presente trabajo, el cual plantea que a través del establecimiento de puentes entre referenciales teóricos constructivistas centrados en el estudiante, como por ejemplo, la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (1990), y referenciales didácticos que puedan interpretar el conjunto de cambios que experimentan los contenidos en el momento de ser enseñados, como lo puede ser la teoría de la transposición didáctica de

Chevallard (1991), se pueden desarrollar secuencias y actividades en clase que permitan mejorar la calidad del proceso enseñanza - aprendizaje.

El presente trabajo, es el primero de dos artículos que enfocan el interés investigativo en evaluar el desarrollo conceptual de los estudiantes de la asignatura química de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, referente al campo conceptual *estequiometría de las reacciones químicas (CC-ERQ)*. Esta primera instancia surge del interés y la necesidad de los autores de adecuar aspectos de naturaleza teórica, metodológica y didácticas para llevar a cabo la estructuración de un tema de la asignatura, fundamentado a la luz de los contextos teóricos mencionados. Igualmente, dentro de sus objetivos se apunta a la integración de aportes de la investigación didáctica en una tarea habitual de los profesores: la preparación de su mediación en clase.

Aunque no se ha creído necesario el planteamiento de hipótesis en el sentido formal del término, se han considerado algunas cuestiones claves que se encuentran en el centro del debate de esta pesquisa referente al *CC-ERQ* y su transposición didáctica, las cuales son las siguientes:

- ¿Qué contenidos, en términos de conceptos y teoremas, se tendrían que enseñar?
- ¿Qué dificultades de aprendizaje comportan estos contenidos?
- ¿Cuál es el mejor contexto con que abordar los contenidos?
- ¿Qué pautas para la secuenciación de los contenidos será el más apropiado en cuanto a los referentes del trabajo?

Contexto teórico

Los Campos Conceptuales

La teoría de los campos conceptuales es una teoría del desarrollo cognitivo. Tiene fundamentalmente dos objetivos: (a) describir y analizar progresivamente la complejidad en el desarrollo conceptual de los estudiantes durante la instrucción, y (b) establecer una mejor conexión entre la forma operativa del conocimiento, que consiste en la acción en el mundo físico y social, y su forma predicativa, referente a las expresiones lingüísticas y simbólicas de ese conocimiento Vergnaud (2009). No obstante, Como se trata del desarrollo conceptual del alumno, se considera que este marco teórico es también útil para ayudar a los docentes a organizar situaciones e intervenciones didácticas que en definitiva mejoren el aprendizaje del estudiante.

En este enfoque, el desarrollo cognitivo depende de situaciones y conceptualizaciones. Para Vergnaud (1990), los problemas son los que atribuirán sentido a los conceptos, estos pueden progresivamente evolucionar en la medida en que se desarrolla un repertorio de esquemas, lo que permite al alumno enfrentar situaciones cada vez más complejas.

Pozo y Gómez-Crespo (1997), indican que la comprensión de conceptos requiere poner en marcha procesos cognitivos más complejos que la simple repetición de información. Por esto subrayan que para comprender esta premisa, bastaría con destacar la diferencia entre los hechos y los conceptos: Los hechos y datos se aprenden de modo literal, con lo cual, son de carácter todo o nada. Es decir, el estudiante sabe cuál es el símbolo del Hidrogeno o la fórmula del agua, o no lo sabe. En cambio, saber el concepto de sustancia pura o molécula química, puede entenderse a diferentes niveles.

En este sentido, el aprendizaje de conceptos según Vergnaud se caracteriza por ciertos matices interpretativos, es decir, no se trata tanto de que si el alumno lo comprende o no, sino cómo y en qué nivel lo comprende. Este será un

rasgo muy importante del aprendizaje de conceptos que se debe tomar en cuenta en estudios hechos con este referente teórico.

En el estudio de un campo conceptual se maneja una definición de concepto como un triplete de tres conjuntos $C = (S, I, R)$. Greca y Moreira (2000), interpretan estos tres conjuntos de elementos: a) el primero es un conjunto de situaciones que constituyen el *referente* del concepto y dan sentido al mismo; b) el segundo es un conjunto de *invariantes operatorios* (teoremas y conceptos-en-acción) que permiten actuar ante situaciones y dan el *significado* del concepto, y el tercero c) es un conjunto de representaciones simbólicas que componen su *significante* y permiten representar al concepto y a las propiedades asociadas al mismo. En cada situación o problema que afronta el estudiante, se ponen en acción algunos aspectos de estos elementos y se van desarrollando conceptualizaciones.

Como se ha destacado, los conceptos no son sólo etiquetas sino que adquieren su significado en la medida de su uso y su aplicación en diferentes situaciones o problemas. Por todo eso, es necesario hablar de *campos conceptuales*. Pero si los conceptos se tornan significativos a través de situaciones, resulta naturalmente que estas últimas constituyen la principal entrada en un campo conceptual. El resultado de esta deducción sería que con el progresivo dominio de un campo conceptual, los teoremas y conceptos -en-acción (TEA y CEA), ampliamente implícitos y propios del estudiante, se van aproximando a los teoremas y conceptos aceptados científicamente (proposiciones explícitas). Análogamente, a medida que el sujeto adquiere más conocimientos científicos sus representaciones se aproximan (en el sentido de que permiten dar significados científicamente aceptados) a los modelos científicos.

Se percibe entonces con estas bases, que el aprendizaje es progresivo y necesita una relación dialéctica entre la conceptualización y la resolución de situaciones

para el dominio de un campo conceptual. A medida que se va dominando más situaciones, en crecientes niveles de complejidad, más conceptualiza el sujeto y viceversa, cuanto más conceptualiza más situaciones domina, y en esa dialéctica los conceptos se quedan más elaborados, más ricos, más diferenciados y más capaces de dar significados a nuevos conocimientos.

De los anteriores planteamientos se deduce que es importante para este trabajo, la necesidad de volver a reflexionar sobre las definiciones de los conceptos básicos de la química, y sus respectivas implicaciones para su enseñanza. Para ello, es preciso tener en cuenta que las ideas científicas evolucionan en el alumno, durante un periodo de desarrollo cognitivo a través de una variedad de situaciones y actividades y que cualquier conocimiento formal y axiomatizado que el alumno presenta, puede ser la parte visible de un *iceberg* formado básicamente por conocimientos implícitos.

Es por tanto que la enseñanza debe facilitar la transformación del conocimiento implícito en explícito, sin subestimarlos o desvalorizarlos. No se puede esperar que un alumno domine un campo conceptual como el de la *ERQ*, sin tomar en cuenta sus conocimientos implícitos y la conexión que suponen con los conocimientos explícitos de la ciencia. La perspectiva de los campos conceptuales como se ha dicho, debe ser progresiva y no sustitutiva. Sin embargo, por lo general en la práctica docente existe la creencia que la enseñanza consiste en la presentación organizada y clara del contenido, y que cuando eso está bien hecho, los alumnos aprenden. Por el contrario, el papel del profesor debe estar enmarcado en su actitud como mediador, proveedor de situaciones problemáticas fructíferas, estimuladoras de la interacción *sujeto-situación*, que conlleve a la ampliación y a la diversificación de sus esquemas de acción.

Como consecuencia pedagógica del referente teórico, secuenciar y estructurar el contenido de manera

lineal, no parece ser el mejor modo de atender a la complejidad del mismo, ni mucho menos a la de su aprendizaje. La organización del contenido debe incorporar otros matices, como los históricos, epistemológicos y didácticos.

Estequiometría de las reacciones Químicas (*ERQ*). Elementos para su transposición didáctica.

“Entre lo que pienso, lo que quiero decir, lo que creo decir, lo que digo, lo que quieres oír, lo que oyes, lo que crees entender, lo que quieres entender, lo que entiendes, existen nueve posibilidades de no entenderse. ...”

Frases para Móviles compartido en redes sociales. Autor: Anónimo.

El párrafo que introduce este apartado, habla de la riquísima complejidad de la comunicación. Cada vez que se intercambian significados, existe un complejo proceso donde lo que se dice y se escucha, está fundamentado por lo que se piensa y se siente, a su vez, coloreado por lo que se opina de sí mismo, del otro y del tema que les ocupa.

Este entramado puede llevar muchas veces a grandes malentendidos. No obstante, si los interlocutores en una conversación tienen claro lo que saben, piensan y sienten, con la utilización adecuada del lenguaje y recursos explicativos se da cuenta de un crisol de entendimientos que posibilitan un mensaje claro.

Así mismo, en el centro de toda investigación educativa se encuentra el objetivo de “mejorar” el aprendizaje de los estudiantes. Esto implica entender, que un problema propio de la didáctica de la química es seleccionar adecuadamente lo que se va a enseñar. Esto en perspectiva del docente, indicaría que por un lado, no se trata únicamente de la revisión exhaustiva de algunos problemas en los libros que tratan el tema, sino de comprender a fondo las múltiples implicaciones que tiene el aprendizaje de dicho contenido. Y por otro, no se trata sólo de aspectos sobre ese contenido científico, sino

también, sobre la aplicación del conocimiento didáctico que implican los conceptos a estudiar.

En este panorama, Grisales-Franco y González-Agudelo (2009), expresan que el saber que se va enseñar (didáctico- profesor) no es el mismo que el saber enseñado (aprendido-alumno) y el saber sabio (científico), lo cual demanda del docente conocimientos tanto en la disciplina científica como en la didáctica para seleccionar los contenidos y sus formas de enseñarlos.

En este sentido, reconocer la importancia de la transformación del objeto a enseñar en objeto de conocimiento para ser enseñado, implica que el primer paso en el diseño de cualquier propuesta de enseñanza de ciencias sea la reelaboración del conocimiento científico (delicado proceso de toma de decisiones para traducir el conocimiento experto formal en conocimiento asequible a los estudiantes).

Con respecto a la naturaleza de esta tarea, Chevallard (1991) llama transposición didáctica al trabajo que se realiza para transformar el conocimiento científico en conocimiento a enseñar. La traducción del objeto de saber científico al objeto de enseñanza, envuelve un análisis minucioso del conocimiento científico en cuestión y tenerlo continuamente como referente. Esta perspectiva asume que debería existir un componente adicional en las competencias docentes, el cual lo constituye la combinación de los conocimientos; disciplinares, Histórico-epistemológicos, psicopedagógicos y contextuales (Mora y Parga, 2008).

Una buena aproximación al concepto de transposición didáctica, es la que Talanquer (2004) presenta cuando dice que un buen profesor debe poseer competencias suficientes para:

- Identificar las ideas, conceptos y preguntas centrales asociados con un tema.
- Reconocer las probables dificultades

conceptuales de sus estudiantes.

- Reunir preguntas, problemas, experimentos o actividades que obliguen al estudiante a reconocer y cuestionar sus ideas previas, y permitan explorar conceptos centrales.
- Diseñar actividades de evaluación que permitan la aplicación de lo aprendido en la resolución de problemas en contextos realistas y variados.

De allí que plantear la docencia como actividad de mediación parece desprenderse de esta teoría como un aspecto fundamental. Desde el punto de vista didáctico, las explicaciones, actividades de resolución de problemas, analogías, esquemas o heurísticos y símbolos juegan un papel esencial en el proceso de conceptualización. Todo conlleva a otra derivación pedagógica del referente teórico, la cual tiene que ver con la organización y secuenciación del contenido, es decir la tarea del docente.

En este contexto, parece necesario que el proceso de “transposición” o “reconstrucción” didáctica, requiera de la profundización en los conocimientos científicos, así como la incorporación de hallazgos en la didáctica sobre ese conocimiento y, por supuesto, la propia experiencia del docente.

Contexto Metodológico

El trabajo se llevó a cabo en el contexto de un proyecto más amplio cuyo propósito es el diseño y evaluación de un sistema de secuencias didácticas para la enseñanza de las ciencias enmarcada en la teoría de los *Campos Conceptuales de Vergnaud*. La metodología de trabajo bajo esta perspectiva incluye identificar y clasificar situaciones de aprendizaje y, entonces, coleccionar datos sobre procedimientos y otras formas a través de las cuales los estudiantes expresan su raciocinio. Un ciclo de investigación se inicia con una primera fase que corresponde con la identificación de los conceptos en

acción, sus relaciones y los teoremas en acción. Continúa con la planificación de situaciones y materiales, y en su última fase la experimentación con alumnos. Completándose con la construcción de las representaciones de los estudiantes referentes al campo conceptual a través de la observación y el análisis de las diferentes respuestas, para entonces, empezar un nuevo ciclo que mejore el primero y, así, sucesivamente (Moreira, 2002).

El trabajo que se hará en adelante, corresponde con las primeras actividades metodológicas de la primera fase del ciclo de investigación planteado. Esta consiste en la delimitación del campo conceptual "*Estequiometría de las reacciones Químicas*", para ello se llevará a cabo un análisis minucioso que permita compendiar los conceptos y teorías que se relacionan con el mismo, y que son aceptados desde el punto de vista de la química. Por otro lado, se tomará en cuenta aportes en la enseñanza de la química que pudieran ser importantes para la transposición didáctica de ese contenido.

Es oportuno señalar aquí los obstáculos que dificultan la comprensión del campo conceptual, esto con el objetivo no solamente de buscar la coherencia de los conceptos según la lógica de la disciplina, sino, lograr la integración y una progresión adecuada del campo conceptual, que afecte positivamente la comprensión y el desarrollo conceptual del estudiante.

Caamaño (2013) expone que en los últimos años, han surgido una serie de artículos que buscan dar orientaciones para la elaboración de secuencias didácticas, que en general, implican como tarea fundamental la selección y organización de los contenidos que se enseñarán. Dentro de la diversidad encontrada en la elaboración de estas secuencias, los autores del presente trabajo, considera que los más ajustados al propósito del estudio, son los enfoques orientados a dar importancia al análisis científico de los contenidos y las dificultades de

aprendizaje.

Se ha resuelto que esta labor docente-metodológica, esté enmarcada en dos dimensiones principales; la dimensión didáctica, (que relaciona enseñanza-aprendizaje) y la dimensión epistemológica (que relaciona el conocimiento científico con las visiones de cómo es y cómo se genera o generó el conocimiento científico). Obviamente, el enfoque que en este estudio se dará a la secuencia de actividades, debe estar encauzado hacia lo conceptual, toda vez que este, resalte el aprendizaje progresivo de las ideas, conceptos y teoremas en acción del estudiante. Esto con la intención de acercar el trabajo didáctico a la perspectiva de la teoría de Vergnaud, que en última instancia, aporta también elementos innovadores y originales a la presente investigación.

En este sentido, en un trabajo pionero Sánchez y Valcárcel (1993) proponen una serie de acciones a llevar a cabo para el logro de este objetivo, dentro de las cuales, se encuentran dos a tomar en cuenta para la definición, desde la ciencia, del campo conceptual *ERQ*; A) El análisis científico (*AC*) y B) el análisis didáctico (*AD*), y tomando en cuenta que un campo conceptual es dominado en la medida que los estudiantes son capaces de enfrentar situaciones, cuanto más complejas, más desarrollados son sus esquemas. Para los autores, la última tarea a llevar a cabo para la delimitación del campo conceptual es o será, la de suministrar C) el análisis de situaciones o tareas para el aprendizaje (*AS*).

A continuación se detalla los elementos a llevar a cabo en cada acción metodológica:

A) El objetivo del *AC* es la estructuración del contenido, derivado de un proceso de consulta y reflexión acerca del propio conocimiento científico incluido en el campo conceptual. Puesto que el desarrollo de un campo conceptual sólo es posible mediante el establecimiento de relaciones entre conceptos-situaciones y la ampliación de

sus significados. Los criterios que en general se deben tener en cuenta en la selección del contenido, es que estos deben ser considerados como saberes no estáticos, ya acabados, sino problemas a los cuales enfrentarse en busca de una solución. El trabajo debe organizarse en preguntas más que en respuestas. Por ello, cabe pensar que para estructurar los contenidos, se debe hacer una profunda reflexión que permita definir claramente el esquema conceptual, donde aspectos como la propia historia de la ciencia desempeña un papel esencial en la organización y secuenciación de los contenidos. Para esta tarea se propone llevar a cabo lo siguiente:

- *Conocer en profundidad la historia y epistemología de las teorías y conceptos (HETC)*. La selección del contenido ha de ser coherente con las actuales concepciones sobre la naturaleza de la ciencia, por lo que es importante que se ha de enseñar (Furió-Mas y Furió-Gómez, 2009). En particular, el docente ha de conocer los principales problemas históricos que se presentaron y coadyuvieron en la construcción del campo conceptual. Este conocimiento de los problemas puede dar pistas sobre la posible secuencia de conceptos, y también, sobre obstáculos epistemológicos con los que puede encontrar el estudiante en el proceso de construcción conceptual (Bachelar, 1976).

El trabajo básico es indagar acerca de los elementos y principios que dieron origen y se mantienen presentes en el campo conceptual de estudio, desarrollando un marco referencial basado en la historia y filosofía de la química. Según Quintanilla (2007), el estudio acerca de la naturaleza de las ciencias, sus métodos, lenguaje y el análisis intencionado de las relaciones teóricas que en ellas se tejen sistemáticamente, posibilitan mejorar su comprensión y su enseñanza.

- *Selección del contenido (SC)*. Incluir contenidos con coherencia de los conceptos según la lógica de la disciplina, lograr la integración y una progresión adecuada

del campo conceptual *ERQ*.

- *Explicitación del campo conceptual (ECC)*. Permite delimitar los conceptos y establecer las relaciones más relevantes entre dichos contenidos. Un esquema conceptual puede explicitarse mediante mapas de conceptos, redes de conceptos, diagramas de flujo y herramientas heurísticas entre otros recursos.

B) Una vez delimitado el campo conceptual desde la ciencia, se procura el *AD*. La finalidad del mismo es precisar el problema didáctico y delimitar los condicionantes del proceso de enseñanza-aprendizaje respecto al *CC-ERQ*. Para Garriz y Trinidad-Velasco (2004), este proceso debe incluir un entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje del campo conceptual en estudio. Dentro de los condicionantes del proceso, se podrían tomar en cuenta factores como: Las competencias profesionales del docente, los hábitos de trabajo de los alumnos, sus actitudes e intereses, el ambiente en el aula y los recursos utilizados. Sin embargo, no sería coherente con la concepción de aprendizaje subyacente en el referencial teórico de este trabajo, sino se tomará en cuenta para el análisis didáctico, la tarea fundamental de tener claro las preconcepciones de los estudiantes.

Si estas ideas previas son, como frecuentemente resultan, errores conceptuales, se requiere la distinción de un aspecto prioritario:

- *El análisis de las ideas de los estudiantes y las exigencias operatorias que demanda el campo conceptual (A-IO-EO)*. Esta actividad deriva de la actual investigación en la enseñanza química, y para ello, se requiere la revisión de los aportes de la literatura referente a los condicionamientos del proceso de aprendizaje que presentan los estudiantes con al campo conceptual. Considerar las exigencias cognitivas de los contenidos, define implicaciones importantes a tomar en cuenta para la enseñanza.

C) Definido el esquema conceptual, la próxima acción será la selección de las situaciones o tareas que guiarán el trabajo cognitivo. Estas situaciones junto con los conceptos y teoremas resultantes de la AC y AD, hacen corresponder posibles secuencias de enseñanzas coherentes con las necesidades de los estudiantes y con el adecuado desarrollo del campo conceptual.

Cada situación o problema, tendrá una intencionalidad que puede hacer que los conceptos se planteen con diferentes niveles de comprensión química, lo que hace que el estudiante con cada tarea desarrolle progresivamente sus esquemas cognitivos. En este sentido se debe responder a las siguientes preguntas:

-¿Qué clases de situaciones son las potencialmente significativas?

-¿Cómo jerarquizar y clasificar dichas situaciones? y

-¿Cómo y cuáles son los esquemas, conceptos y teoremas implícitos en dichas situaciones?

En la figura 1 se hace un resumen de las tareas a llevar a cabo para la delimitación del campo conceptual.

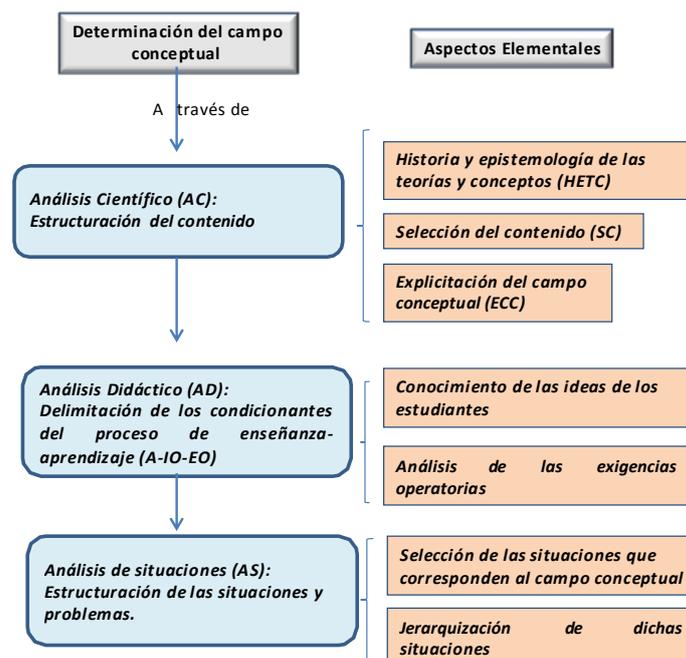


Figura 1. Tareas para la delimitación del campo conceptual. (Autor)

Determinación del Campo Conceptual. Resultados obtenidos de las acciones metodológicas

A) Análisis Científico del campo conceptual.

En la enseñanza de la química la importancia que implica el concepto de *Estequiometría* es incuestionable. Para esta ciencia la introducción de los cálculos de las cantidades de sustancias que intervienen en una reacción, supuso toda una revolución que permitiría cuantificar a las sustancias químicas, que hasta ese entonces, eran descritas en términos de principios esencialistas. Todas estas reformas, complementadas con el modelo atómico de Dalton abrió paso a la química moderna y unificó adecuadamente una gran diversidad de conceptos y leyes (sustancia química, formulas, reacción química, ecuación química, leyes ponderales, proporciones matemáticas, cantidad de sustancia, entre otros).

Introducción histórica y epistemológica del campo conceptual (HETC).

Se analizaron los elementos propios de la química que dieron origen al estudio de la estequiometría de reacción. Esto con el propósito de indagar en los conocimientos (principios, leyes, teorías, conceptos) que este campo conceptual admite para ser enseñado. Así poder lograr acometer el difícil trabajo de proponer una secuencia didáctica que permita, a partir de los referentes teóricos establecidos, el aprendizaje significativo de *CC-ERQ*.

En el caso particular del estudio de la estequiometría Niaz y Montes (2012), muestran que esta perspectiva debe desarrollarse en una evaluación crítica de la teoría atómica y las leyes ponderales que determinaron el eje conceptual de la estequiometría. Esto implica la construcción de una visión holística del contenido, para conseguir una completa y auténtica comprensión de los conceptos y las teorías (Padilla y Garritz, 2011). Se pretende entonces, hacer notar que todo aquello que fue y dejó de ser, aquello que en algún momento fue válido para una comunidad científica y que ahora se considera como disparates o errores del pasado; deben considerarse más bien, como una reconstrucción significativa y constante de conocimientos.

Para ejemplificar esta idea, se tiene que todas las observaciones se explicaban a través de un principio *esencialista*, en el caso de los cambios químicos existía un principio de inflamabilidad denominado “flogisto”. Los partidarios de esta teoría dirían, en el caso del cambio que ocurre cuando se calientan los metales, que el aire había absorbido del metal todo el flogisto que podía retener.

Para entonces el “principio portador de propiedades”, tal cual el flogisto, se podría reducir a: “*Si A tiene una característica C, entonces A contiene un principio P que es responsable de ella, y puede transmitirlo*”.

Estas ideas de cambio químico tienen su origen precisamente, en el significado que para el momento se da de sustancia. Este significado atiende al modelo dominante Aristotélico-escolástico, el cual, resume la visión sobre cómo se suponía que estaban formados los materiales ordinarios y en el cómo se conceptualiza la idea de sustancia. Las explicaciones que se daban a los hechos empíricos relativos a los referentes conceptuales que a partir del siglo XVII entraban en contradicción (modelo Escolástico y modelo atomista), se resumen en el siguiente cuadro.

Referente	Explicación según Modelos	
	Escolástico	Atomista
Noción de sustancia	Todos los cuerpos o sistemas materiales presentes en la naturaleza son <i>mixtos</i> , es decir, mezclas de elementos (aire, agua, tierra y fuego) y principios (azufre, mercurio y sal) representativos de algunas propiedades. En este modelo macroscópico, La diversidad de materiales se puede clasificar en: Materia <i>corpórea</i> (se podía tocar), materia <i>rara</i> (porque flotaban, tal cual gases y vapores). La materia es continua, es decir, se puede dividir infinitamente, y cada pedazo conserva sus propiedades. Si se divide un trozo de madera, cada parte seguirá teniendo las propiedades de la madera.	En este modelo microscópico, Cada elemento está formado por partículas muy pequeñas e indivisibles llamadas átomos (materia discontinua). Todos los átomos de un mismo elemento son iguales entre sí. Los átomos de elementos diferentes son diferentes. Una sustancia es compuesta si sus partículas están formadas por dos o más átomos iguales o diferentes. Cualquier sistema material ordinario puede catalogarse: Mezcla (de sustancia) y sustancias.
Transformación en la materia	Cualquier transformación se explica mediante la transmutación, producida a causa de una variación en la proporción de los elementos (cualidades). No hay diferencia categórica entre los cambios físicos y químicos solo de grado. El paso de líquido a vapor era denominado <i>rarefacción</i> , ya que consistía en una transmutación de un material del elemento agua al elemento aire a través del elemento fuego. Los cambios químicos se interpretan como violentos como la neutralización o la combustión.	Cuando ocurre un reacción química se produce una interacción entre las partículas de las sustancias reaccionantes, donde los átomos que las forman se agrupan de forma diferente, dando lugar a nuevas sustancias simples o compuestas, que forman las partículas obtenidas.
Principio de conservación	La proporción de cada uno de los elementos en un cuerpo, explicaba cualitativamente las propiedades del mismo. Ejemplo: el agua estaba formada por los elementos agua (mayoritariamente), aire (cuyo desprendimiento se observa cuando se calienta) y tierra (residuo que queda en un recipiente cuando toda el agua se ha evaporado).	La conservación del número de átomos de cada elemento, en el proceso químico explica la <i>ley de conservación</i> de la masa en todo el sistema.

Cuadro 1. Referentes teóricos y modelos en contraste para el siglo XVII. (Autores).

La introducción de la balanza como instrumento para estudiar las transformaciones químicas, produce un cambio en el centro de interés en el modelo o tipo de sustancia objeto de estudio; desde los cuerpos terrestres, vapores y espíritus propios del modelo escolástico, hacia los átomos y compuestos del modelo atomista emergente para el momento. A partir de aquí, la actividad del químico estuvo pautada por el estudio de las masas involucradas en un cambio químico y un enfoque experimental, ausente de conjeturas y falsas expectativas. Esta última observación merece comentarse brevemente.

Las proporciones fijas en la interacción química es una regla bien conocida en la actualidad, pero para ese entonces, la llegada de las mediciones de masa, permitió al químico seguir la pista de los elementos, cuestión que, dotará a la química de una teoría atómica propia, y el abandono de esos principios portadores, para dar paso al principio “componente”.

“Si A y B reaccionan para formar AB o si AB se descompone en A y B, AB se compone de A y B”.

Para Asimov (1998) estos nuevos principios suponían una completa racionalización de la química. En el futuro solamente interesarían a los químicos los materiales que pudieran pesarse o medirse. Tras establecer esta base, Lavoisier comenzó a levantar la superestructura llamada ciencias químicas, cuyo centro de estudio mantuvo que la masa no se creaba ni se destruía, sino que simplemente cambiaba de unas sustancias a otras.

No obstante, para empezar esta aventura científica, había que generar un modelo y lenguaje propio que diera cohesión y significado a las estructuras químicas. En otras palabras, había que imaginar una unidad de estructura que fuera compatible con la composición (los elementos y las proporciones de estos en un compuesto) y que justificara la manera de estos compuestos al reaccionar para producir otras sustancias.

Unos de los referentes teóricos utilizados en la época para explicar estos cambios cuantitativos era la teoría atómica de John Dalton (1766 – 1844). Este científico a partir de su hipótesis atómica, explica la constitución de las sustancias simples y compuestas, así como el significado de reacción química y las leyes de la conservación de la masa y de las proporciones definidas de Proust. Desde este punto de vista, la masa de una sustancia viene dada en función del número de entidades elementales que contiene y de la masa de cada una de ellas.

A partir de allí, apenas en el siglo XVII con Jeremias Benjamin Richter (1762-1807), se propuso la estequiometría como rama de la química que se encargaba de estudiar las relaciones cuantitativas de las sustancias que participan en un cambio químico. En general, los químicos de esa época estudiaban básicamente la composición en peso de las sustancias compuestas y los cambios cuantitativos de las proporciones en peso de la materia al ocurrir los cambios químicos, admitiendo tácitamente que los cuerpos tienen composición bien definida. De esta manera estaba bien aceptada la ley de la conservación de la materia y la ley de las proporciones definidas y múltiples. Así, la tradición de las sustancias, como paradigma insurgente para esa época, requirió nuevos conceptos tales como elementos, átomos indivisibles y masas que se conservan.

ERQ. Conceptos y teorías aceptados desde la ciencia (SC)

El desarrollo histórico del CC-ERQ muestra que su estudio comienza por entender el significado de cambio químico. En la transformación radical de modelo explicativo Flogisto-Oxígeno, evolucionan todos los elementos del cuerpo conceptual inicial, y se presenta un cambio metodológico e instrumental asociado al uso de la balanza y a los métodos cuantitativos, y una evolución ontológica al pasar de los elementos y principios tal

cualidad aristotélica, a los elementos simples producto del análisis químico bajo una mirada atomista de los procesos.

Hacer ver que el atomismo (microscópico) químico de Dalton está relacionado con la lectura simbólica de las ecuaciones y las fórmulas químicas modernas, también genera la relación existente entre la composición de los reactivos y la de los productos de una reacción química, y, en general todas las consecuencias que pueden deducirse de las leyes de proporciones constantes, múltiples y recíprocas.

Históricamente hablando, el aporte que da al CC-ERQ la magnitud moderna de cantidad de sustancia (mol), da paso a la interpretación macroscópica de las fórmulas químicas, haciendo un puente para con el mundo microscópico en términos de átomos, moléculas y partículas asociadas. Así, en la actualidad se realiza fácilmente la transición entre el mundo microscópico, macroscópico y lo simbólico de la química (Johnstone, 1991), que a principios del siglo XIX era desconocido.

En general es necesario intentar sistematizar la estructura conceptual de la temática en estudio atendiendo a los conceptos que hacen referencia a las entidades materiales (partículas), a las interacciones, a los procesos (cambios) que estas entidades sufren y a las propiedades asociadas a cada una de estas entidades o procesos (Caamaño, 2014). Se considera entonces, que los conceptos enmarcados en el campo conceptual ERQ se pueden organizar en torno a tres núcleos o esquemas conceptuales, (Pozo y Gómez-Crespo 1997): Interacción (naturaleza de la materia), conservación y cuantificación (ver cuadro 2).

Principio conceptual ERQ

Interacción

Este núcleo conceptual está condicionado por la concepción que se tenga de la naturaleza de la materia y su

Característica

Microscópicamente; basado en un modelo, la teoría atómica. Se considera que las sustancias (simples o compuestas) interaccionan entre sí, pudiendo agruparse o reagruparse las partículas.

discontinuidad. Comprendiendo que, más allá de su apariencia visible o de los diferentes estados en que se puede representar, la materia está formada por átomos (pequeñas partículas que presentan propiedades características que las diferencian de las demás) que pueden combinarse para dar lugar a sustancias más complejas. Las interacciones entre las partículas (átomos de Dalton), provocan asociaciones que son responsables de los cambios en la materia.

Conservación

La interpretación en términos de interacción entre partículas o sistemas, conlleva a la conservación de propiedades no observables. Es decir, las sustancias cambian su identidad conservando los elementos que las forman.

Relaciones cuantitativas

La predicción de las masas de combinación de las sustancias químicas en las reacciones, implica en qué proporción ponderal se combinaban los elementos que forman los compuestos y están conectadas con numerosos conceptos y leyes.

Una ecuación química matemáticamente es la relación de igualdad entre dos proporciones. Un cambio en un miembro de la proporción se puede compensar con un cambio en el otro miembro sin que

la igualdad entre los dos razones se rompa.

A *nivel simbólico*; estas reacciones químicas están representadas por ecuaciones químicas, en las que intervienen fórmulas para las sustancias iniciales y finales. A *nivel macroscópico*; un cambio químico es un proceso de transformación de una sustancia en otra, se exhiben evidencias (Cambios de color, temperatura entre otros) que dan cuenta que estos cambios ocurren.

Se conserva el número e identidad de los átomos, por tanto las cantidades (masa, volumen y mol) de todos los elementos del sistema.

Se conservan las cantidades de sustancia. Las proporciones permiten cuantificar las relaciones entre dos magnitudes, ya sean la parte y el todo, o dos partes entre sí. La relación de proporcionalidad entre la composición de los reactivos y la de los productos de una reacción química, pueden deducirse a nivel macroscópico con las leyes de proporciones constantes, de proporciones múltiples y de proporciones recíprocas. A nivel microscópico a partir de los coeficientes de una ecuación ajustada y los subíndices de las fórmulas moleculares.

Cuadro 2. Núcleos conceptuales enmarcados en el campo conceptual ERQ. (Autores).

Explicitación del campo conceptual (ECC).

Una vez explorados los conceptos fundamentales de campo conceptual a partir del análisis del contenido científico, la explicitación del esquema conceptual permite construir dichos conceptos y las relaciones más relevantes en la ERQ. Para comprender estas relaciones se hace necesario conocer los conceptos de átomo, molécula y cantidad de sustancia; además, examinar las leyes de las proporciones múltiples y las proporciones definidas, al igual que las ecuaciones químicas entre otras. La figura 1 muestra el mapa conceptual que resume la interacción de estos conceptos que enmarcan el campo conceptual ERQ.

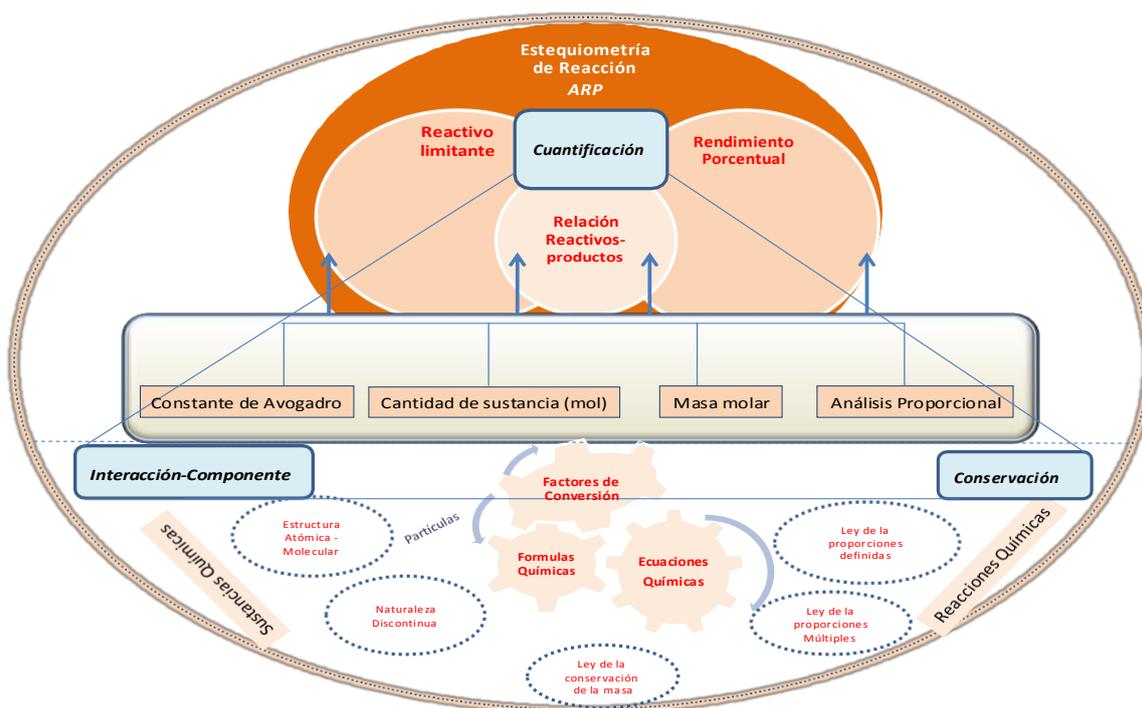


Figura 1. Mapa conceptual del campo conceptual ERQ. (Autores)

Los fenómenos químicos son complejos, y sería muy cuesta arriba avanzar en el estudio del CC-ERQ sin un modelo adecuado acerca de la idea de átomo y la comprensión del carácter eminentemente cuantitativo del modelo atómico-molecular planteado en este trabajo: “el átomo constituiría una unidad discreta de materia fundamental, que arrastra su masa a lo largo de todos los cambios en los que interviene”. En un cambio físico, la identidad de la sustancia permanece ya que las mismas no cambian su estructura microscópica, y solo hay un cambio en el estado de agregación que implica una mayor o menor interacción entre las partículas. Por el contrario, en un cambio químico se pierde dicha identidad debido a la interacción que genera el reordenamiento de los átomos para producir sustancias diferentes. Pero, aunque en este último no hay conservación en la naturaleza de las sustancias, en ambos casos, la cantidad de partículas y por consiguiente su masa, se conserva.

Sin embargo, como se discutió anteriormente, la introducción de un modelo atómico-molecular permite interpretar estos fenómenos químicos a nivel microscópico en función de los átomos y moléculas que intervienen, sin necesidad de conocer los procesos energéticos que intervienen. De tal forma, si se pretende interpretar las relaciones cuantitativas en una reacción química, puede ser factible un modelo de materia con mayor dominio de validez al respecto, tal como el modelo atómico-molecular.

En este sentido, el estudio de la química requiere comprender la conservación más allá de la apariencia y de lo no observable. Es decir, el estudiante necesita relacionar de forma cuantitativa las dimensiones macroscópicas del mundo real con el nivel microscópico en el que interpreta los procesos y establece las teorías y conceptos en acción sobre la materia. En el caso de la conservación de las cantidades (masa, volumen, cantidad de sustancia y número de partículas), implican la comprensión de ciertas leyes y conceptos que en general conforman el *CC-ERQ*.

Entre las principales aplicaciones cuantitativas en el campo conceptual, el estudiante necesita por ejemplo, relacionar la masa con el número de moléculas de una sustancia que interviene en una reacción, las masas de los elementos que conforman un compuesto con su fórmula química y las cantidades de sustancias implicadas. La figura 2, muestra estos conceptos relacionados con los niveles de representación de la materia, así se da una idea del nivel de abstracción del contenido en estudio.

La necesidad de introducir los conceptos de cantidad de sustancia y de su unidad, el mol, dentro del contexto químico de la teoría atómica de la materia se deriva de las explicaciones que allí se dan a los conceptos de *sustancia química* (formadas por partículas) y al de *reacción química* como redistribución de átomos. Furió y otros (1993), destacan que al introducir estos conceptos, se debería tener presente dos sistemas de referencia epistemológica reseñados por la psicología cognitiva:

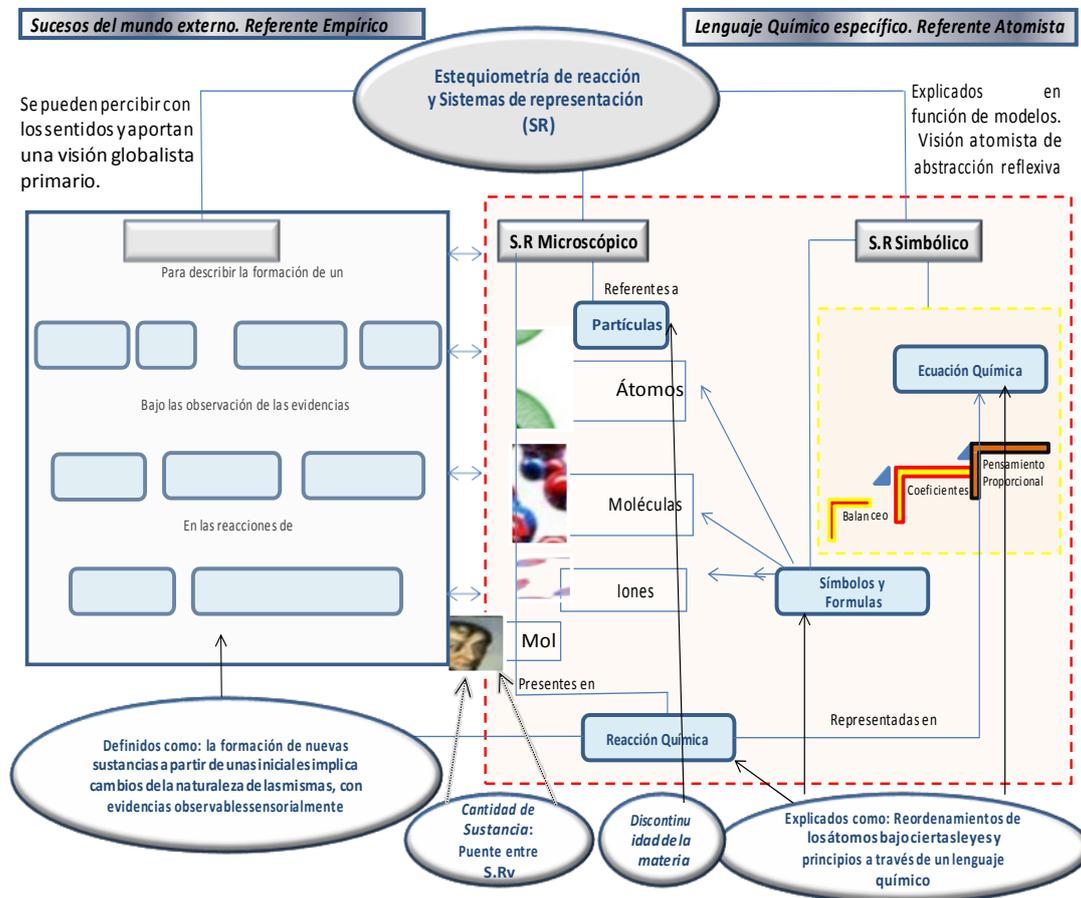


Figura 2. Mapa conceptual ERQ-SR. (Autores)

1.- **Referente empírico:** visión macroscópica, centrada en aquellas propiedades de las sustancias vistas como un todo común (sin partes) y que se sintetizan en conceptos como la *masa*, el *peso* o el *volumen*. Lo cual, es bastante asimiladas por los estudiantes a través de procesos de generalización inductiva. Se puede entender como un pensamiento *global o globalismo* que aporta una idea primaria del fenómeno.

2.- **Referente atomista:** visión microscópica que explica los procesos químicos con conceptos como la *cantidad de átomos*, mediante procesos de abstracción reflexiva a partir de un modelo teórico. No obstante, la imposibilidad material de contar estos átomos directamente, representa un obstáculo que implica la necesidad de establecer relaciones entre los dos referentes. Es aquí, donde la introducción de la idea de cantidad de sustancia, permite apelar a una magnitud macroscópica para comparar cantidades de partículas en porciones de sustancias diferentes.

De manera que, el significado principal de la magnitud cantidad de sustancia en el contexto del campo conceptual, será el de *porción de sustancia que contiene un número de conjuntos de partículas*. En una aproximación cualitativa, en el caso que se perciban prioritariamente las sustancias como un todo y, en consecuencia, se asocie preferentemente la idea de cantidad de sustancia con la de masa o volumen, se deducirá que predomina un perfil *globalista* primario. De otro modo, si se establece que la asociación de ideas se lleva a cabo entre cantidad de sustancia y cantidad de partículas, este significado es propio de una visión atomista del campo conceptual.

Puede conseguirse una conceptualización inicial en relación con el campo conceptual *ERQ*, a partir de un enfoque que permita interpretar microscópicamente la

interacción- conservación de las partículas en algunos de los conceptos involucrados, y así, hacer una aproximación que deje abierto el camino para integrar el núcleo conceptual cuantificación. En todos los casos, la habilidad matemática para realizar los cálculos químicos, tienen que ver con la aplicación y comprensión del razonamiento proporcional.

Este razonamiento se deriva de las relaciones cuantitativas de una reacción química: a partir de los coeficientes de una ecuación balanceada, y los subíndices de las fórmulas, se pueden establecer relaciones de proporcionalidad que cumplan con las leyes ponderales. A nivel macroscópico, aplicándose a las masas y volúmenes dados, y a nivel microscópico, entre el número de moléculas de cada sustancia o el número átomos de cada elemento que participa en el proceso químico.

Muchas investigaciones han mostrado que aún alumnos con un nivel de desarrollo cognitivo adecuado, tienen dificultades para aprender un concepto o modelo científico determinado, dado que es necesario considerar además la influencia del conocimiento previo en relación con el tema. A continuación se delimitan los condicionantes del proceso de enseñanza-aprendizaje a través de la tarea de análisis didáctico del campo conceptual.

B) Análisis Didáctico

Entre los estudios acerca de las dificultades en el aprendizaje de la química, muchos investigadores concuerdan que esta asignatura es una de las disciplinas científicas más complicada de aprender. Estos problemas son atribuidos por una parte al estudiante, que cuentan con sus propios puntos de vista, lenguaje y explicaciones que les impide comprender y manejar los conceptos aceptados científicamente. Por otro lado, a la inapropiada enseñanza y a las exigencias operatorias que requieren los contenidos de química (Pozo y Gómez-Crespo, 1997)

En relación a estas exigencias operatorias generales, el estudiante debe enfrentarse a un gran número de leyes y conceptos fuertemente abstractos, necesita establecer conexiones entre ellos y los fenómenos estudiados y, por si fuera poco, hacer frente a la necesidad de utilizar un lenguaje altamente simbólico y formal, junto a modelos de representación que le permitan comprender lo que no puede observar a simple vista.

Respecto al *CC-ERQ*, los estudiantes deben considerar las reacciones químicas como una conversión de unas sustancias en otras donde se conserva la masa, más no, la identidad de las sustancias. Adicionalmente, también deben aprender su significado en términos de reordenamientos de partículas y su representación simbólica en ecuaciones químicas (palabras, dibujos icónicos, fórmulas, gráficos). Ésta combinación de representaciones apunta a la complejidad de la naturaleza de la química. Gabel (1999), infiere que las dificultades encontradas en esta área pueden tener su origen didáctico en el énfasis puesto sobre el nivel simbólico y la resolución de problemas algorítmicos, a expensas de los niveles macro y micro y la falta de conexiones entre las tres representaciones.

Para apoyar este argumento, Casado y Raviolo (2005) indican que en lo relativo al nivel simbólico, se observa que la mayoría de los estudiantes tienen inconvenientes en escribir una ecuación química partiendo del fenómeno macroscópico o de representaciones microscópicas. En términos generales, existe la carencia asociada a una concepción realista del conocimiento (visión globalista).

Por otra parte, muchas de las dificultades encontradas podrían atribuirse a falencias conceptuales que no pueden omitirse en ningún tipo de propuesta de enseñanza. Pozo y Gómez-Crespo (1997), resumen algunas de los inconvenientes de aprendizaje que se presentan en el estudio de la química, de aquí,

destacaremos problemas como; a) concepción continua y estática de la materia, b) poca comprensión y utilización del concepto cantidad de sustancia y número de partículas entre otros, c) definiciones basadas en el aspecto físico de las sustancias implicadas a la hora de establecer las conservaciones tras un cambio de la materia y d) problemas para interpretar el significado de una ecuación química balanceada. Estos errores se presentan en aspectos básicos del campo conceptual y se pueden organizar a los torno a tres núcleos o conceptos estructurantes antes señalados (interacción, conservación y cuantificación).

Por último, para los alumnos la demanda conceptual de pasar a lo largo de los tres dominios de significados en un campo conceptual como la *ERQ* puede ser abrumadora. No obstante, este aspecto del tránsito macro-micro-simbólico es uno de los objetivos más importantes de la educación química, de ahí la trascendencia de que los profesores conozcan las concepciones estudiantiles y las dificultades en la enseñanza de este tema (Ordenes y otros, 2014).

C) Análisis de las situaciones (AS)

Las situaciones seleccionadas, requieren que el estudiante pueda aplicar las cantidades estequiométricamente equivalentes en las ecuaciones químicas. Para ello debe: 1) Identificar los reactivos y productos a partir de la relación diagrama - ecuación química balanceada. 2) Convertir diagramas microscópicos en ecuaciones químicas. 3) resolver problemas estequiométricos presentando un diagrama microscópico antes de calcular cantidades de reactivos y productos y 4) resolver problemas estequiométricos donde se pudiera aplicar el análisis proporcional como herramienta matemática.

Desde el referencial de Vergnaud (1990) aprender el *CC-ERQ* implica el dominio consciente de un conjunto de clases de situaciones establecidas en un campo

conceptual cónsone con el programa del curso. Para efectos de este trabajo, se hizo necesario establecer el alcance del significado del concepto de *ERQ* en atención a lo establecido desde lo científico y didáctico. Para ello se desglosó el *CC* considerando los elementos que lo conforman enmarcado desde el contenido programático de la asignatura: Los tipos de situaciones, el conjunto de conocimientos; los niveles de representación; las habilidades matemáticas, y las exigencias operatorias e *IO* que demanda el campo conceptual, todo lo cual, se resumen en el siguiente cuadro.

Contenido	Tipos de Situaciones	Conocimientos, Conceptos y Teoremas	Representación	Pensamiento proporcional	Exigencias operatorias y IO que demanda el CC
Situaciones A -Principios del cambio químico -Reacción química, Ecuación química. -Balanceo de una ecuación química (coeficientes) -Ley de conservación de la masa (LCM) y ley de las proporciones definidas (LPD) -Relaciones cualitativas y cuantitativas (proporciones molares) en las reacciones químicas	A1) Dado sistema inicial formado por átomos aislados o moléculas de elementos iguales o diferentes, Las sustancias se combinaban en proporciones definidas. Los átomos se reordenan para formar compuestos diferentes a los iniciales. A2)A2a) Dada una ecuación química, Identificar reactivos, productos y la ecuación química. A2b) Establecer las relaciones estequiométricas a través de los coeficientes en la ecuación Balanceada (LCM). A3) Dada una ecuación química, determine las cantidades de reactivos y productos. Se proporciona la cantidad de un reactivo y se supone que hay suficiente cantidad del otro. A3a) nivel micro y A3b) nivel macro unidades de masa, volumen y número de partículas.	- Una ecuación química es un enunciado en fórmulas que expresan las identidades y cantidades de las sustancias presentes en el cambio químico (reacción química). Se debe tener presente que en estos cambios siempre está presente un reordenamiento en la manera en que los átomos se agrupan. La composición de las sustancias varía a saltos (naturaleza discontinua), no va cambiando ininterrumpidamente (continua). - Debe cumplir con la (LCM), es decir la misma cantidad y tipos de átomos de los reactivos debe ser la misma de los productos. Estos pueden ajustarse a través de coeficientes, los cuales son números enteros (ecuación balanceada). -la identidad (formulas) de los compuestos nunca podrían ser cambiadas en la ecuación química balanceada. (LPD) - Interpretar cuantitativamente un proceso químico implica la necesidad de contar las partículas intervinientes de las distintas sustancias, independientemente de sus masas específicas. - Al cociente entre dos coeficientes estequiométricos se le denomina razón estequiométrica, y es un parámetro constante y universal para cada par de participantes en una reacción. - La estequiometría se basa en que existen relaciones fijas de masa: La cantidad de una sustancia en una reacción está relacionada, o es equivalente estequímicamente (EEq), con la de cualquiera de las demás y sus cantidades. El término EEq significa que una cantidad (gramos, moles o partículas) definida de una sustancia se forma, produce o reacciona con una cantidad definida de otra.	Cuando se expresa una reacción en términos de moles, el cambio macroscópico (molar) debe corresponder al cambio microscópico (molecular) y debe mostrarse ambos cambios en la ecuación química balanceada. Es decir los coeficientes en una ecuación química balanceada, representan tanto el número de átomos, moléculas o iones, así como el número de mol de reactivos o productos. Nivel Simbólico: representación de una reacción química a través de una ecuación.	- Derivado del principio componente <i>Si A y B reaccionan para formar AB o si AB se descompone en A y B, AB se compone de A y B</i> operativamente surge la siguiente generalización: - Los coeficientes en una ecuación química balanceada definen las relaciones matemáticas entre los reactivos y productos. Por ejemplo: al explicar la formación de una sustancia <i>AB</i> a partir de los elementos <i>A</i> y <i>B</i> , se supone que la proporción en masa $m(A)/m(B)$ se puede expresar en función de la proporción del número de entidades elementales respectivas $N(A)/N(B)$ y de la proporción de las masas de las entidades $ma(A)/ma(B)$ entoces: $m(A) \cdot lm(B) = N(A) \cdot N(B) \times ma(A) \cdot ma(B)$	• IO de los estudiantes: - El estudiante no tiene claro la definición de cambio químico. Lo que implica una comprensión incorrecta de la estructura de la materia necesaria para la posterior comprensión de las reacciones químicas. (Mata y otros, 2011) - Poca capacidad para pasar de las representaciones de una reacción de su forma macroscópica, a la microscópica y a la de símbolos y fórmulas Balocchi y otros (2005). La escasa movilidad entre los diferentes niveles que representan una transformación química, es una consecuencia del insuficiente manejo del nivel microscópico Ben-Zvi y otros (1987) - Dificultad para establecer el puente entre los dos referentes, asociadas al concepto de mol CS . Furió y otros (1993). Tienden a creer que la relación del número de moléculas es idéntica que la relación de masas en una reacción química, o que la relación de masas molares los reactivos es igual que su relación de masas. (Schmidt, 1997). También existen serias problemas para hacer una conexión entre el nivel simbólico que describe el proceso químico abstracto, y la información cuantitativa que suministra las formulas y la ecuación química (relaciones estequiométricas) Dori y Hameiri (2003) - Fach y otros (2007), y Gauchon y Martínez (2007), resumen dificultades generales de la literatura: A) Dificultades cuando la proporción estequiométrica (cantidad de sustancia) en una reacción no es 1:1.se inclinan siempre cualitativa y cuantitativamente a utilizar proporciones igual a uno entre las cantidades de reactivos. B) no entiende el significado de los coeficientes. Calculan la masa molar de una sustancia y luego la multiplican o dividen por el coeficiente que posee en la ecuación química. C) no tienen en cuenta la conservación de los átomos o masas en absoluto. D) no pueden determinar el RL cuando se añade una sustancia en exceso.

Cuadro 2. Definición del Campo Conceptual: Estequiometría de reacción Química.

Contenido	Tipos de Situaciones	Conocimientos, Conceptos y Teoremas	Representación	Pensamiento proporcional	Exigencias operatorias y IO que demanda el CC
<p>Situaciones B</p> <p>- Reactivo limitante (RL) y reactivo en exceso (RE)</p> <p>Situaciones C</p> <p>- Rendimiento teórico (RT), Real (RR), y porcentaje de rendimiento (%r) de una reacción.</p>	<p>B1. Dada una ecuación química determine las cantidades de reactivos y productos necesarios para llevar a cabo una reacción. Se proporciona las cantidades de dos o más reactivos, es decir, los reactivos no se encuentran en cantidades estequiométricas exactas. Identificar quien es el RL y el RE (B1a) Nivel Micro. (B1b) nivel macro.</p> <p>C2. Determinar una el %r a partir de una ecuación con RL.</p>	<p>- El reactivo que se consume primero en una reacción química se denomina RL. Este determina la cantidad máxima de productos que se formará en la reacción química.</p> <p>- El RE es o son los reactivos que se encuentran en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad de RL.</p> <p>- la cantidad de producto que se obtendrá si reacciona totalmente el RL se denomina RT de una reacción y corresponde a la razón molar EEq en la ecuación balanceada.</p> <p>- Se denomina RR de una reacción química a la cantidad de producto real o experimental que se obtiene en una reacción. Raramente el RR coincide con el RT.</p> <p>- La mayoría de las reacciones no reaccionan totalmente, ya que se establece un sistema químico en equilibrio. La eficiencia de la reacción se puede calcular a través de %r. el cual es el RR expresado como un porcentaje de RT</p>	<p>Macroscópico-Microscópico:</p> <p>Los coeficientes en una ecuación química balanceada, representan tanto el número de átomos, moléculas o iones, así como el número de mol de reactivos o productos.</p> <p>Nivel Simbólico:</p> <p>representación de una reacción química a través de una ecuación.</p>	<p>- Existen dos maneras generales para identificar el reactivo limitante: se asume que cada reactivo es el limitante, y se calcula la cantidad de producto que origina cada uno. Se elige el reactivo que rinda la menor cantidad de producto como RL. Se determina la cantidad de cada reactivo que se requiere para reaccionar entre sí. El reactivo que presente la menor relación molar es el RL.</p> <p>- el %r se calcula dividiendo el RR entre el RT y el resultado se multiplica por 100 para generar el porcentaje.</p>	<p>• Dificultades didácticas:</p> <p>- <i>Predominio de visión macroscópica globalista</i> más que una visión atomista de abstracción reflexiva. Fija su atención en aquellas propiedades de las sustancias vistas como un todo (sin partes) y que se concretan bastante interiorizadas (muchas veces, no diferenciadas).</p> <p>- La mayoría de los alumnos resuelven los ejercicios tradicionales, pero, al aumentar el grado de dificultad de las preguntas o al cambiar el formato de presentación del problema, tienen serias dificultades (Wood y Breyfogle, 2006; Sanger, 2005). La mayor fuente de dificultades de lectocomprensión se origina en deficiencias de conocimientos previos sobre estequiometría. (Martínez y Lia De Longhi, 2013)</p> <p>- Pocos estudiantes son capaces de resolver preguntas conceptuales de estequiometría, y la gran mayoría de ellos puede entender conceptos básicos como la determinación de coeficientes estequiométricos y balance de ecuaciones, pero encuentran muy difícil de entender los conceptos como el de reactivo limitante (Wood y Breyfogle, 2006). Los estudiantes buscan resolverlos situaciones como un mero ejercicio matemático (Chandrasegaran y otros, 2009).</p>

Cuadro 2. (continuación). Definición del Campo Conceptual: Estequiometría de reacción Química.

Producto esperado. Secuencia de actividades didácticas para enseñanza de la estequiometría de las reacciones químicas

En los marcos de las observaciones anteriores, la propuesta didáctica enmarcada en este trabajo se concreta en favorecer el desarrollo de los conceptos en el *CC-ERQ* a través del paulatino progreso de los conceptos subyacentes en diferentes tipos de situaciones, problemas o tareas. Se propone que el estudiante comprenda la información implícita en una ecuación química (macroscópica, microscópica y simbólicamente), desde el balanceo de la ecuación, los conceptos y leyes estequiométricas, hasta el razonamiento proporcional necesario para resolver un problema.

En el marco del referente teórico campos conceptuales, didácticamente se debe tener en cuenta que ante una *nueva situación*, el individuo no logra activar en la estructura de conocimientos, un esquema de solución que se adecue directamente, por lo que se requiere de la construcción de uno nuevo a partir de los existentes, como resultado de una fase de reflexión y duda. En estos casos la situación debe ser abordada con un modelo químico (atómico-molecular), el cual evoluciona hasta alcanzar su funcionalidad. Estos modelos (implícitos) son transitorios, pero parecen contener elementos del tipo invariante operatorio (*TEA* y *CEA*) que se mantienen, y que son los que determinan la identificación de la información pertinente y la producción de predicciones e inferencias necesarias para la producción y aplicación de una secuencia de acciones.

En este proceso de elaboración recursiva del conocimiento químico, previo al establecimiento de un esquema, puede intervenir factores externos como: la interacción social con los pares o el docente, la obtención de información desde otras fuentes, y otras que enriquecen progresivamente los invariantes operatorios, y así

acercarlos al conocimiento científico explícito. Tradicionalmente la enseñanza de estos conceptos se ha enfocado en el nivel simbólico de representación repitiendo constantemente algoritmos para resolver varios tipos de problemas. En este sentido, los autores proponen el uso de diagramas microscópicos que tienen la intención pedagógica de promover la discusión y la comprensión conceptual, para desarrollar la construcción de las ideas químicas, al momento en que el estudiante explicita sus *TEA* y *CEA*.

Las situaciones se seleccionaron y adaptaron, para luego ser clasificadas y jerarquizadas de acuerdo al nivel conceptual que se quiere desarrollar. Cada una de ellas se resolvía con un conjunto particular de conceptos y sus relaciones pertinentes (ver cuadro 2). Las situaciones intentan apartarse de aquellas que se proponen de modo usual en clase, para eludir una respuesta “de memoria” o “aprendida”. Algunas de estas situaciones se presentan en un plano abstracto al no indicarse la identidad de los átomos, representando el nivel microscópico a partir de diagramas de partículas.

A continuación se describen algunas de las actividades realizadas, las situaciones y el conjunto de conocimientos requeridos desde la química para su solución.

Actividad 1: Se propone una lectura donde se analiza el desarrollo histórico del concepto de *cambio químico* en el paso de la teoría del flogisto de Stalh a la teoría del oxígeno de Lavoisier. Al analizar fenómenos tales como la combustión y la calcinación, se busca detectar ideas generales del estudiante acerca de los conceptos y leyes asociado a la noción de cambio químico. Se analiza la falta de argumentos científicos a la hora de establecer las explicaciones acerca de la combustión respondiendo las siguientes preguntas: 1. ¿Pueden ser la combustión y el enmohecimiento de los metales parte del mismo proceso?, explica desde tus conocimientos la causa de estos

fenómenos (Leyes o principios). Nombra otros fenómenos (cambios) químicos de la vida diaria que tu hayas observado donde ocurre una combustión? 2. Si en la actualidad todavía se defendiera esta teoría, explique la validez de las afirmaciones de Stahl acerca de a) la pérdida o ganancia del peso de las sustancias que ardían y b) el papel del aire en la combustión. ¿Qué conceptos o principios se conocen hoy día que expliquen lo ocurrido? 3. los flogistonistas nunca pudieron explicar por qué un metal enmohecido (oxidado) pesaba más que el metal puro antes del proceso. ¿Qué explicación actual podrías darle a

este
¿Cómo reaccionan las sustancias para formar nuevos compuestos?
La figura 1 es la representación del estado inicial de un sistema, donde los círculos representan átomos de elementos diferentes. Suponiendo que ocurra una **reacción espontánea**, ¿cuál o cuáles de las siguientes figuras (a, b o c) crees que sería la representación final del mismo? considere que Átomos de Elemento (X)  Átomos del elemento Y  fenómeno?. Da un

ejemplo de

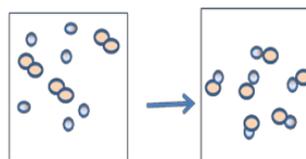


esta reacción
a través de una
ecuación
química.

a		las sustancias se combinaban en proporciones indeterminadas, dependiendo exclusivamente de las cantidades de las sustancias que se someten a reacción. Se debería obtener compuestos cuya composición variase gradualmente. No hay precisión en la composición del producto final.
b		las sustancias se combinaban en proporciones cuantitativas definidas, que dependen de la naturaleza de las primeras y no necesariamente de las condiciones al que haya sido sometido el sistema. A partir de dos elementos cualesquiera, se forman unos cuantos compuestos que diferirían notablemente en su composición.
c		las sustancias se combinaban en proporciones indeterminadas y variables, dependiendo exclusivamente de las cantidades de las sustancias y las condiciones a las que se someten a reacción, se debería obtener una serie de compuestos cuya composición variase gradualmente. No hay precisión en la composición del producto final.

Actividad 2: Situaciones que tienen como objetivo determinar las ideas de los alumnos sobre el estado final que alcanza espontáneamente en un cambio químico, un sistema formado inicialmente por átomos aislados de elementos diferentes, para ello debe explicitar ideas acerca de la naturaleza discontinua de la materia y las leyes que rigen los procesos de cambio químico. Los principios y conceptos necesarios para responder adecuadamente esta situación son: *En un cambio químico siempre está presente un reordenamiento en la manera en que los átomos se agrupan. La composición de las sustancias varía a saltos (naturaleza discontinua), no va cambiando ininterrumpidamente (continua), por lo tanto la composición de cualquier sustancia dada se debería considerar absolutamente definida e independiente del método de su obtención indicando precisión en su composición.*

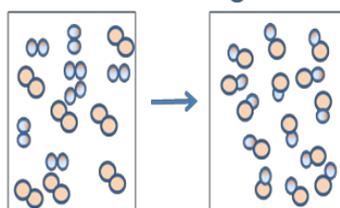
1. El diagrama siguiente muestra a A reaccionando con B₂.



B1a) Escriba la ecuación balanceada para esta reacción.

B1b) Indique la relación molar estequiométrica entre reactivos y productos

2. Los diagramas siguientes representan una reacción química entre dos moléculas monoatómicas formadas por los elementos A () y B ()



B1a) ¿Cuál de las siguientes expresiones representa mejor la ecuación balanceada para esa reacción?

- (a) $2A + 2B \rightarrow A_2 + B_2$
 (b) $2AB + B_2 \rightarrow A_2 + 2B_2$
 (c) $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$
 (d) $4A_2 + 4B_2 \rightarrow 8A + 8B$

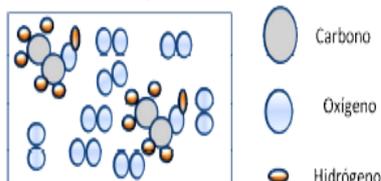
B1b) ¿Cómo es que se aplica la ley de la conservación de la Masa en esta reacción?

Química: La naturaleza molecular del cambio y la materia
Silberberg, 1era Edición, 2002, pag.128

Actividad 3: Se indaga acerca de los conceptos fundamentales en una ecuación química y la información, que de ella, se puede obtener. Se quiere saber si el estudiante logra relacionar el nivel simbólico (ecuación química balanceada) con el nivel microscópico representado por un diagrama de partículas. Los conceptos y teoremas necesarios para esta situación corresponden: *Una ecuación química es un enunciado en fórmulas que expresan las identidades y cantidades de las sustancias presentes en el cambio químico (reacción química). Información cualitativa y cuantitativa de ecuaciones químicas. Ley de la conservación de la masa.*

Siempre se debe tener como variante que son sistemas hipotéticos y el estudiante debe cumplir con la **(LCM)**, es decir *la misma cantidad de átomos de los reactivos debe ser la misma de los productos. Estos pueden ajustarse a través de coeficientes, los cuales son números enteros en la ecuación balanceada.*

6.- El etanol (C_2H_5O) conocido también como alcohol etílico, Además de usarse con fines culinarios (bebida alcohólica), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso del alcohol antiséptico 70º GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes). Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante. Se emplea también como combustible industrial y doméstico, que al combinarse con el oxígeno en una reacción química conocida como de combustión, produce óxido de carbono (IV) y agua.



1) Considere la mezcla de etanol y oxígeno en el diagrama de la izquierda, luego que esta mezcla reaccione tanto como sea posible, dibuje cómo se vería el producto final de dicha reacción:

2) Escriba la ecuación química de este ejemplo

3) El reactivo limitante y el reactivo en exceso son respectivamente:

(a) H_2O y C_2H_5OH , (b) C_2H_5OH y O_2 , c) O_2 y C_2H_5OH , (d) No hay reactivo limitante.

4) Si se ponen a reaccionar 150g de etanol con igual masa de oxígeno.

I) El reactivo limitante y el reactivo en exceso son respectivamente:

(a) H_2O y C_2H_5OH , (b) C_2H_5OH y O_2 , c) O_2 y C_2H_5OH , (d) No hay reactivo en exceso.

II) Indique la cantidad en moléculas de reactivo en exceso.

III) Si la reacción se lleva a cabo con un rendimiento del 85%, cual será la cantidad de CO_2 producido.

Analiza tu desempeño al resolver las situaciones correspondiente de la 9 al 14:

-Indique si es posible, los problemas que considera se presentaron en la resolución de cada problema.

-Si considera que hay falta de información en los enunciados, indique ¿en cuáles problemas y que tipo de información hizo falta?

-¿Qué conceptos, teorías o principios consideras te hacen falta para resolver correctamente las situaciones planteadas?. Es importante que indiques en situaciones particularmente.

Actividad 4: El estudiante debe establecer las relaciones estequiométricas a través de los coeficientes en la ecuación Balanceada. Aquí el estudiante además de aplicar todos los conceptos y principios antes señalados, se debe conocer que: *En una ecuación química donde se proporcionan las cantidades de dos o más reactivos, y estos no se encuentran en cantidades estequiométricas exactas; El reactivo que se consume primero se denomina **Reactivo Limitante (RL)**. Este determina la cantidad máxima de productos que se formará. El **Reactivo en Exceso (RE)** es o son los que se encuentran en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad de **RL**. Además, La mayoría de las reacciones no se consumen o reaccionan totalmente, ya que se establece un sistema químico en equilibrio que depende de ciertos factores. La eficiencia de la reacción se puede calcular a través del %, a partir del **Rendimiento Real** expresado como un porcentaje del **Rendimiento Teórico**. Esto con el propósito de que antes de subir de jerarquía en la situación, relacionen los niveles simbólicos y microscópicos del problema, para luego, en un nivel microscópico, determine el RL y RE. Lo mismo en el nivel macroscópico. La última cuestión III, se debe determinar el % r a partir de una situación con **RL**.*

Conclusiones y Recomendaciones

Se ha introducido una serie de acciones que permite diseñar secuencias de enseñanza para el *CC-ERQ* en un curso de química universitaria. La misma no es una tarea mecánica de tendencia lineal, sino que incluye utilizar un cierto número de fuentes de la investigación y tareas para delimitar, y explicitar el contenido y las actividades de clase.

Se identificaron tres tareas a tomar en cuenta para la definición, desde la ciencia, del campo conceptual; el análisis científico el análisis didáctico, y el análisis de situaciones para el aprendizaje. Al respecto, los autores consideran que se puede producir una relación fructífera entre la didáctica de la química y la epistemología de la ciencia, con el propósito de secuenciar contenidos y actividades en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Seguir el devenir de los problemas históricos permitiría avanzar hipótesis didácticas sobre posibles dificultades de aprendizaje. Así por ejemplo, al igual que sucedió en su momento, la comprensión del *CC-ERQ* tanto a escala macroscópica como microscópica y simbólica, depende de un modelo atómico-molecular adecuado para que los estudiantes alcancen a comprender el significado los cambios químicos.

La implicación didáctica que esto conlleva, es que los conceptos deben introducirse y relacionarse partiendo de situaciones o problemas. Se recomienda que primeramente desde el punto de vista macroscópico para que los estudiantes se apropien de referentes empíricos, una vez asimilado, la enseñanza ha de ayudar a que los estudiantes puedan emitir hipótesis atómicas que expliquen microscópicamente el comportamiento químico (macroscópico) de las sustancias en las reacciones químicas. Se considera que la profundidad del desarrollo conceptual se dará en la medida en que el estudiante, logre ir dominando cada situación acercando sus ideas progresivamente a las consideradas científicamente dentro

del campo conceptual.

Por último se recomienda conveniente para los primeros cursos de química universitarios, aplicar esta secuencia de actividades. Los diagramas de partículas de la materia, podrían ser muy útiles si se presentan en forma progresiva. De esta manera, la idea de reacción química, y sus cálculos cuantitativos, sería gradualmente construida desde proposiciones, imágenes y modelos químicos adecuados.

Referencias

- Asimov, I. (1998). *Breve Historia de la Química*. Libro de bolsillo. Alianza Editorial: Madrid-España.
- Bachelard, G (1976). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo Veintiuno Editores S.A.
- BEN-ZVI, R., EYLON, B y SILBERSTEIN, J. (1987). "Students' visualisation of a chemical reaction" en *Education Chemical*. (24): p.117-120.
- BALOCCHI, E. y otros. (2005). «Aprendizaje cooperativo del concepto "cantidad de sustancia" con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte II: Concepciones alternativas de "reacción química"» en *Educación Química*. 16 (4) p. 550-567.
- CAAMAÑO, A. (2014). "La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas" en *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. (78) p. 7-20
- CAAMAÑO, A. (2013). "Hacer Unidades didácticas: una tarea fundamental en la planificación de las clases de ciencias" en *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. (74) p.5-11
- CASADO, G. y RAVIOLO, A. (2005). "Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química" en *Universitas Scientiarum*. 10 (1) p.35-43.
- CHAMIZO, J. (2010). "Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias" en *Revista Eureka. Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 7 (1) p. 26-41.
- CHANDRASEGARANA, A. TREAGUST, D y WALDRIPB, B. (2009). "Students' dilemmas in

- reaction stoichiometry problem solving: deducing the limiting reagent in chemical reactions” en *Chemical Education Research and Practice*. 10 (15) p.14-23.
- CHEVALLARD, Y (1991). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Argentina: Aique Grupo Editor S.A.
- DORI, J. y HAMEIR, Y. (2003). “Multidimensional analysis system for quantitative chemistry problems: Symbol, macro, micro and process aspects” in *Journal of Research in Science Teaching*. Volume 40 (3) p. 278-302.
- FACH, M., DE BOER, T y PARCHMANN, I. (2007). “Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems” en *Chemical Education Research and Practice*. 8 (1) p.13-31.
- FURIÓ, C., AZCONA, R., GUIASOLA, G. y MUJICA, E. (1993). “Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud “olvidada” en la enseñanza de la química: la cantidad de sustancia” en *Enseñanza de las Ciencias*. 11 (2) p.107-114.
- Furió-Mas, C y Furió-Gómez, C. (2009). *¿Cómo diseñar una secuencia de enseñanza de ciencias con una orientación socio constructivista?*. Ponencia presentada en la 8va convención nacional y 1era internacional de profesores de ciencias naturales. Zucatecas, México.
- GABEL, D. (1999). “Improving teaching and learning through Chemistry Education Research: a look to the future” en *Journal of Chemical Education*. 76 (4) p.548-554.
- GARRITZ, A. y TRINIDAD-VELASCO, R. (2004). “El conocimiento pedagógico del contenido” en *Educación Química*. 15(2) p.3-6.
- GARRITZ, A (2010). “La historia como una herramienta para promover el aprendizaje”. *Educación Química*. 21(4) p. 266-269
- GAUCHON, L y MARTINE, M. (2007). “Learning about stoichiometry: from students’ preconceptions to the concept of limiting reactant” en *Chemistry Education Research and Practice*. 8 (4) p. 362-402.
- GRECA, I. MOREIRA, M (2000) “Integrando modelos mentales y esquemas de asimilación. ¿Un referencial posible para la investigación en enseñanza de las ciencias?”. *Conferencia presentada en el I encuentro iberoamericano sobre investigación básica en educación en ciencias*. Burgos. Universidad de Burgos.
- GRISALES-FRANCO, L. GONZÁLEZ-AGUDELO, E (2009) “El saber sabio y el saber enseñado: un problema para la didáctica universitaria” *Educación y Educadores*, vol. 12, núm. 2. pp. 77-86
- JOHNSTONE, A H. (1991). “Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem” en *Journal of Computer Assisted Learning*. Vol.7 No 2. pp.75–83.
- MATA, C ÁLVAREZ, J Y ALDA, E (2011) “Ideas alternativas en las reacciones químicas”. *Revista Didácticas Específicas* 5 P. 123-141
- MARTINEZ, M. y LIA DE LONGHI, A. (2013). “Identificación y categorización de dificultades de lectocomprensión en enunciados de problemas de lápiz y papel de estequiometría” en *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 10(2) p.136-147.
- MORA, W. y PARGA, D. (2008). “El conocimiento didáctico del contenido en química: Integración de las tramas de contenido histórico-epistemológico con las tramas de contexto-aprendizaje” en *Tecné, Episteme y Didaxis*. (24) p. 57-81.
- MOREIRA, M. A. (2002). “La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área” en *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. 7, 1, p.3-6.
- Niaz, M. Montes, M. (2012). *Understanding stoichiometry: Towards a history and philosophy of chemistry*. Educ. quím. Disponible en: [http://www.if.ufrgs.br/asr].
- ORDENES, R., ARELLANO, M., JARA, R. y MERINO, C. (2014). “Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia” en *Educación en Química*. 25, 1, p.46-55.
- Padilla, K. Garritz, A (2011) *The pedagogical content knowledge of university chemistry professors teaching stoichiometry*. NARST Annual Meeting. USA
- Pozo, J.I. y Gómez-Crespo, M. (1997). *Aprender y enseñar ciencias del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Visor: Madrid 1997.
- QUINTANILLA, M. (2007). “Historia de las ciencias, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista y pragmática de la enseñanza de las ciencias” en *Educación y pedagogía XVIII*. (45) p.11-23.

- RAVILOLO, A. (2009). “Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química” en *Educación Química*. 20, 1, p. 55-60.
- SÁNCHEZ-BLANCO, G. y VALCARCEL, M. V. (1993). “Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales” en *Enseñanza de las Ciencias*. 1, 11, 33-44.
- SANGER, M. (2005). “Evaluating students’ conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing” en *Journal of Chemical Education*. 82, p. 131-134.
- SCHMIDT, H.J. (1997). “An alternative path to stoichiometric problem solving” en *Research Science Education*. 27, p. 237-249.
- TALANQUER, V. (2004). “Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química?” en *Educación Química*. 15, 1, p.52-58.
- VERGNAUD, G (1990) “La teoría de los campos conceptuales”. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 2 (10) p.133-170
- VERGNAUD, G. (2009). “The Theory of Conceptual Fields” en *Human Development*. 52, p. 83-94.
- WOOD, C. y BREYFOGLE, B. (2006). “Interactive demonstrations for mole ratios and limiting reagents” en *Journal of Chemical Education*, (8