



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

Entidad participante: Facultad de Química

Campo de conocimiento: Química

### PROPUESTA MULTIMODAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA ESTEQUIOMETRÍA EN EL BACHILLERATO

TESIS

Que para optar por el grado de Maestro en Docencia

PRESENTA:

CARLOS FRANCISCO DE LA MORA MONDRAGÓN

**Tutora:** Dra. Glinda Irazoque Palazuelos

Facultad de Química

**Comité tutor:**

Dra. Asunción López Manjón (Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid)

Dra. Ana María Sosa Reyes (Facultad de Medicina, UNAM)

Dra. Glinda Irazoque Palazuelos (Facultad de Química, UNAM)

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., abril 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta tesis fue realizada con el apoyo del Programa de Formación de Profesores para el Bachillerato Universitario, dirigido por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico y la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

### **Jurado asignado:**

Dra. Ana María Sosa Reyes

Facultad de Medicina (Química)

Dr. Adolfo Eduardo Obaya Valdivia

F. E. S. Cuautitlán (Educación)

Dra. Flor de María Reyes Cárdenas

Facultad de Química (Química)

Dr. Carlos Mauricio de la Cruz Castro Acuña

Facultad de Química (Química)

Dra. Glinda Irazoque Palazuelos

Facultad de Química (Química)

### **Asesora de práctica docente:**

M. en D. María Angelina Torres Ledesma

Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur.

---

Dra. Glinda Irazoque Palazuelos

**Tutora**

---

Quím. Carlos Francisco De la Mora Mondragón

**Sustentante**

# ***DEDICATORIA***

***A la Universidad***  
*por brindarme la oportunidad*  
*de innovar en mi práctica docente*

***A mis padres***  
*pues sin su guía para iluminar*  
*mi camino me hubiese perdido*  
*en el andar de la vida*

***A mis profesores***  
*que siempre conté con su invaluable*  
*apoyo para seguir adelante*

***A mis estudiantes***  
*gracias a su curiosidad y sus ganas*  
*de aprender, me animaron a*  
*ser un mejor profesor*

***A mis amigos***  
*por su incontable paciencia*  
*mientras realizaba esta investigación*

# Agradecimientos

A la Dirección General de Asuntos de Personal Académico y la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México por apoyarme a través del Programa de Formación de Profesores para el Bachillerato Universitario.

A mi tutora, Glinda Irazoque Palazuelos por todo el tiempo dedicado y la paciencia brindada durante la realización de este trabajo.

A los miembros del comité tutor, Asunción López Manjón y Ana María Sosa Reyes que con su tiempo, experiencia e ingenio aportaron valiosa información que me auxilió para hacer de este trabajo.

A mi asesora de práctica docente, María Angelina Torres Ledesma, de la cuál recibí retroalimentación y apoyo constante en la elaboración de las pruebas de la propuesta.

A los profesores que me apoyaron a través de su experiencia y de los cuáles aprendí tantas cosas en el transcurso de la maestría: Graciela Pérez Rivera, Diana Alcalá Mendizábal, Víctor Martiniano Arredondo Galván, Roxana Pastor Fasquelle, Luis Miguel Trejo Candelas, Víctor Hugo Méndez Aguirre, Plinio Sosa Fernández, Gisela Hernández Millán, Alejandra García Franco, Clara Rosa María Alvarado Zamorano, José Antonio Chamizo Guerrero, Andoni Garritz Ruiz†, Flor de María Reyes Cárdenas y Kira Padilla Martínez.

A mis compañeros y colegas de la maestría, juntos trabajamos y realizamos un gran equipo colegiado para continuar innovando en la práctica docente: Thalía Itzel Ferrera Velázquez, Eva María Simuta López, Anabel Moreno Gurrola, José Felipe Cabrera Martínez, Julio César González Hernández, Marco Antonio Obregón Mendoza, Juana Cerón Alvarado, Irma Elizabeth Bibian Ortiz, Samuel Padilla Trejo, Rufino Trinidad Velasco, Vyrginia Abigail Gálvez Juárez e Israel Lozano Quintanilla.

A todos los miembros del H. Comité Académico de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, sin los cuáles no se podría llevar a cabo este gran proyecto de posgrado.

## **Resumen**

El objetivo de este proyecto de tesis es desarrollar una estrategia multimodal para enseñar estequiometría en el bachillerato. Para el diseño de la propuesta, se analizaron los mapas curriculares y la bibliografía recomendada de cuatro sistemas de educación media superior.

La propuesta metodológica de este proyecto considera un enfoque de aprendizaje basado en el constructivismo social y el cambio representacional.

Se busca que los resultados de esta investigación proporcionen a los docentes de educación media superior una estrategia útil para que enseñen estequiometría considerando las habilidades de pensamiento científico y la secuenciación de contenidos.

## **Abstract**

The aim of this thesis project is to develop a multimodal strategy to teach stoichiometry at the high school level. For the design of the multimodal strategy, we analyzed the high school curriculum and the recommended bibliography and reading material of four different high schools.

The methodological approach of this project considers a learning approach based on the social constructivism and the representational change.

The outcomes of this research provide a useful strategy for high school professors to teach stoichiometry, considering scientific thinking abilities and contents sequencing.

## Índice:

<b>1.- Introducción.....</b>	<b>9</b>
<b>2.- Justificación. ....</b>	<b>10</b>
<b>3.- Objetivos. ....</b>	<b>11</b>
3.1.- Objetivo general. ....	11
3.2.- Objetivo específico. ....	12
<b>4.- Marco conceptual. ....</b>	<b>12</b>
4.1.- Visión del aprendizaje. ....	12
4.1.1.- Constructivismo social.....	12
4.1.2.- Cambio representacional.....	12
4.2.- Estequiometría. ....	13
4.3.- Multimodalidad ....	15
4.3.1.- Multimodalidad y habilidades de pensamiento científico. ....	18
4.3.2.- Multimodalidad y Secuencias de enseñanza y aprendizaje. ....	20
<b>5.- Pregunta de investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>6.- Diseño de la propuesta multimodal. ....</b>	<b>23</b>
6.1.- Modelos metodológicos.....	23
6.2.- Análisis curricular de los distintos sistemas de Educación Media Superior. ....	25
6.3.- Análisis de la bibliografía recomendada en los temarios de bachillerato.....	26
6.4.- Análisis de la demanda de aprendizaje.....	27
6.5.- Análisis para “entender qué es estequiometría”. ....	29
6.6.- Consideraciones éticas.....	30
<b>7.- Secuencia diseñada.....</b>	<b>31</b>
7.1.- Descripción y caracterización de las actividades ....	33
Actividad 1 .....	33
Actividad 2 .....	37
Actividad 3.....	39
7.2.- Prueba frente a grupo.....	42
<b>8.- Resultados y discusión .....</b>	<b>43</b>

Actividad 1.....	44
Actividad 2:.....	48
Actividad 3:.....	51
Sobre las habilidades de pensamiento científico. ....	57
Cuestionario final:.....	57
<b>9.- Conclusiones: .....</b>	<b>61</b>
9.1.- Sobre el diseño de la propuesta .....	61
9.2.- En relación con las actividades realizadas.....	62
9.3.- Nueva propuesta .....	63
Actividad 1: .....	66
Actividad 2: .....	69
Actividad 3: .....	70
Actividad 4: .....	71
Actividad 5: .....	71
Actividad 6: .....	71
9.4.- Modificación de las herramientas de evaluación.....	72
<b>10.- Trabajo futuro .....</b>	<b>77</b>
10.1.- Contribuciones de esta tesis.....	77
10.1.1.- Desarrollo de una propuesta desde una perspectiva multimodal basada en el constructivismo social y el cambio representacional .....	77
10.1.2.- Utilización de modelos metodológicos que permiten una continua evolución de la secuencia de enseñanza y aprendizaje propuesta. ....	77
10.1.3.- Resultados de análisis curricular de distintos sistemas de Educación Media Superior .....	78
10.1.4.- Resultados del análisis de la bibliografía recomendada en los temarios de bachillerato .....	78
10.1.5.- Resultados del análisis de la demanda de aprendizaje y entender “qué es estequiometría” .....	78
10.1.6.- Explicitar las consideraciones éticas sobre el trabajo de investigación.....	78
10.1.7.- Diseño de una secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre estequiometría ...	78
10.1.8.- Creación de herramientas de evaluación del tema.....	79
10.2.- Líneas de trabajo futuro.....	79

10.2.1.- Innovación de la secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre estequiometría	79
10.2.2.- Sugerencias y recomendaciones en el contenido curricular de los temarios de bachillerato relacionados con el tema .....	79
10.2.3.- Utilización de la secuencia y los instrumentos de evaluación como herramientas didácticas que apoyen la enseñanza y aprendizaje del concepto de estequiometría .....	79
<b>11.- Anexo: Herramientas de evaluación.....</b>	<b>80</b>
11.1.- Cuestionario final. ....	80
11.2.- Evaluación diagnóstica. ....	81
<b>12.- Fuentes consultadas .....</b>	<b>90</b>

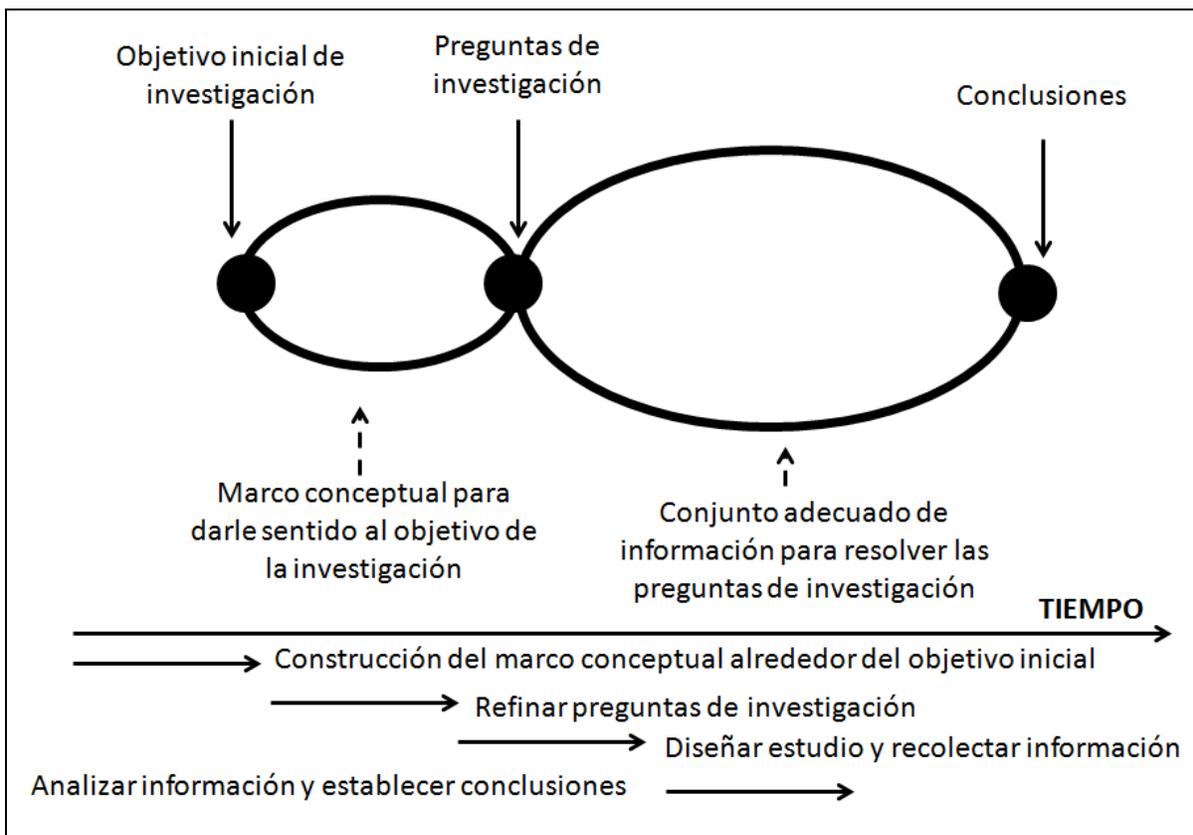
## 1.- Introducción.

Este trabajo se realizó con el objetivo de proponer una herramienta alternativa para la enseñanza del tema de estequiometría en el bachillerato, ya que es un tópico de difícil comprensión para los estudiantes.

La investigación se desarrolló en el transcurso de dos años, tiempo de duración de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS). Durante este periodo se creó una propuesta didáctica que integra distintas actividades respaldadas desde una postura constructivista del aprendizaje, perspectiva que se abordará en el capítulo 4.

Para realizar esta labor, se consideró la propuesta de Taber (Taber, 2013) sobre cómo elaborar una investigación a través de una metáfora visual con forma de lemniscata (**figura 1**), pues fue de utilidad para planear y emprender este estudio.

*Figura 1: Modelo de investigación propuesto por Taber que se utilizó para la realización de esta tesis.*



Al inicio se plantean los objetivos, después se lee en literatura especializada, acerca de lo que ya hay hecho para poder así formular la pregunta que guiará la investigación; posteriormente se lleva a cabo el diseño del estudio para recolectar información, discutir resultados y sacar conclusiones. El ancho de los óvalos de la lemniscata hace analogía con la cantidad de información relativa que se requiere para ejecutar exitosamente cada paso, si

se observa, la indagación posterior al planteamiento de la pregunta de investigación requiere un poco más de tiempo e información en comparación con el marco teórico. A su vez, los nodos de la lemniscata son los puntos focales de la investigación, ya que permiten guiarla al camino que se requiera para darle respuesta al problema planteado.

De acuerdo a lo anterior, la primera sección será la justificación sobre la realización de este trabajo, es decir, se planteará brevemente la trascendencia de la enseñanza de la ciencia y tecnología en el mundo, así como la importancia de la comprensión del concepto de estequiometría.

Posteriormente se proyectarán los objetivos que guiaron la tesis, es decir, el desarrollo de la propuesta, así como todo lo que se tomó en cuenta para realizarla. Después se describe el marco teórico que fue el fundamento para la investigación, éste incluye la postura pedagógica de la cual se está partiendo y una breve discusión de los conceptos que servirán para guiar la tesis. A continuación se establece la pregunta de investigación, pues siendo el centro focal de la tesis, funcionará para integrar todo el trabajo.

En la siguiente sección, se explica cómo se creó la propuesta multimodal y todos los supuestos que se incluyeron para diseñarla, desarrollarla, aplicarla y obtener información de ella.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos, su respectiva discusión, las conclusiones generales y se proponen posibles aplicaciones futuras de este trabajo.

Por último, se realizó una reflexión sobre la enseñanza del tema desde la postura pedagógica utilizada en la tesis, en relación con la propia experiencia docente.

## **2.- Justificación.**

Ya que la ciencia y la tecnología son factores clave para el desarrollo económico, la organización democrática de los países, la incorporación de normas y el patrimonio cultural de la humanidad (Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996); la huida prematura de los estudios científicos pone en riesgo el desarrollo general de los países con la consiguiente repercusión en la toma de decisiones en temas científicos-técnicos de interés social: salud, medio ambiente y uso eficiente de la energía (Vázquez & Manassero, 2005), y una variable que puede ser responsable de lo anterior se debe a que los estudiantes no comprenden bien las temáticas que se manejan desde el bachillerato (Huck, 2003).

Así, en el entorno del estudiante, para lograr una alfabetización científica (Fourez, 1997; Gil & Vilches, 2006) si no sólo se sabe “*qué*” es un fenómeno, sino también “*cómo*” se relaciona con otros eventos, y “*por qué*” es importante (Driver, Newton, & Osborne, 2000), el conocimiento científico les ayudará a tomar decisiones con respecto a situaciones sobre contaminación y sustentabilidad (UNESCO, 1999).

El concepto de estequiometría es uno de los más importantes en la enseñanza de la química, ya que es útil para conocer la cantidad de reactivos necesaria para obtener los productos que se requieren y también es una medida de la eficiencia o rendimiento de las reacciones químicas; es decir, es la parte cuantitativa de la química, conocimiento que es fundamental para la optimización de los procesos químicos.

También la estequiometría tiene una cercana relación con las matemáticas, desde las razones y proporciones, establecimiento de ecuaciones y uso de factores de conversión. Y ya que las matemáticas se consideran un poderoso medio de comunicación (Informe Cockcroft, 1985), qué mejor que demostrar que tienen aplicaciones en otras ciencias.

A pesar de ser un tema obligatorio en los currículos de Educación Media Superior de los Estados Unidos Mexicanos, la comprensión de los tópicos relacionados con la estequiometría ha presentado dificultades en los estudiantes, ya que cuando se les plantean problemas relacionados con este tema, la mayoría de los alumnos se enfocan únicamente en recordar algoritmos, lo cual resulta ser una resolución ineficiente, pues hay falta de comprensión sobre los conceptos químicos que deben ser utilizados (Nyachwaya, A., Roehrig, & Schneider, 2013; Gulacar, Eilks, & Bowman, 2014). Generalmente, los estudiantes son capaces de resolver los ejercicios que aparecen en los libros de texto, pero al aumentar el grado de dificultad de las preguntas o modificar el formato de presentación, tienen serios conflictos en la resolución de los mismos (Valderrama & González, 2010).

La investigación educativa indica que la instrucción tradicional, no ha podido subsanar los problemas de aprendizaje de los estudiantes en este tema, por ello es necesario proponer, diseñar, probar y evaluar, caminos didácticos novedosos que permitan identificar metodologías y herramientas de evaluación más eficientes en la enseñanza de este concepto.

Esta tesis está dirigida para la enseñanza de la estequiometría en el Sistema Nacional de Educación Media Superior que, aunque existen una gran cantidad de subsistemas de bachillerato, este estudio se centrará en las propuestas curriculares del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), el Colegio de Bachilleres (CoBach) y el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT), por ser éstos los de mayor demanda en la zona metropolitana.

### **3.- Objetivos.**

#### **3.1.- Objetivo general.**

Desarrollar una propuesta multimodal basada en el constructivismo social y el cambio representacional, que brinde a los profesores de bachillerato herramientas que sean de utilidad para propiciar la comprensión del concepto de estequiometría en sus estudiantes.

### **3.2.- Objetivo específico.**

Identificar, diseñar, implementar y evaluar un conjunto de actividades multimodales que constituyan una alternativa útil para el docente en la enseñanza de la estequiometría, y propicie que los estudiantes desarrollen las habilidades de pensamiento científico que permitan construir este concepto, considerando las dificultades de aprendizaje sobre el tema.

## **4.- Marco conceptual.**

### **4.1.- Visión del aprendizaje.**

Como en cualquier investigación sobre didáctica, es necesario hacer explícita la postura desde la cual se dirigirá el trabajo. En específico la tesis se guiará desde el constructivismo social y el cambio representacional.

#### **4.1.1.- Constructivismo social.**

En el constructivismo piagetiano figuraba que el conocimiento se construía por medio de una interacción activa del sujeto con el entorno, así como que lo nuevo se construye desde lo adquirido y lo trasciende. Sin embargo, no se consideraba los contenidos sino sólo la construcción de estructuras de pensamiento; así como, la interacción social (Gómez & Coll, 1994).

Lev Vygotsky es considerado el principal representante del constructivismo social debido a que argumentó que la vida del ser humano no sería posible si sólo se valiera de las manos y el cerebro sin los instrumentos que son un producto social (Vygotsky, 1995)

El constructivismo social es una postura pedagógica en la cual se considera que las personas crean el significado del mundo por medio de un proceso social situado en un contexto cultural e histórico (Cubero, 2005), además el proceso de conocer es activo, adaptativo y constantemente evoluciona (Llewellyn, 2013).

El contexto en el que las personas desarrollan sus actividades se pueden concebir como escenarios socioculturales en los que se guía qué se construye, para qué se construye y cómo se construye el conocimiento (Rodrigo, 1994).

Desde esta perspectiva, la propia interacción del individuo activo con su escenario sociocultural propiciará la construcción del conocimiento, provocando que se modifiquen sus representaciones mentales acerca de la realidad.

#### **4.1.2.- Cambio representacional.**

Este modelo es cercano al cambio conceptual mencionado por Posner y colaboradores (1982), el cual menciona que los conceptos comprendidos anteriormente son modificados por un nuevo concepto cuando es inteligible, plausible y fructífero.

El resultado de las investigaciones acerca de esta teoría han demostrado que no hay un cambio radical del concepto a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes, sino que más bien éste se acomoda para generar otra concepción acerca del mundo (Pozo, 1999), es decir, la representación mental acerca del mundo es modificada pero sin perder las raíces conceptuales que le dieron origen. Se han realizado diversos esfuerzos didácticos para superar las concepciones que tienen los estudiantes acerca del mundo y no ha habido aún una estrategia que logre que los alumnos asuman las teorías científicas y abandonen las creencias alternativas; debido a esta razón, se considera que no hay un cambio conceptual, sino sólo se modifica la representación mental del fenómeno observado.

En este sentido, el rol del docente será como guía que le da sentido a la información, mientras que el aprendiz se encargará de construir los modelos mentales que le ayuden a representar el mundo material (Moreno & Mayer, 2007).

#### **4.2.- Estequiometría.**

De acuerdo a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, 1996), la estequiometría se define como: *“relación que existe entre cantidades de sustancia que reaccionan entre sí en una reacción química particular y la cantidad de productos que se forman”*.

La comprensión de la estequiometría presenta serias dificultades de aprendizaje, en virtud de que está relacionada con conceptos que los alumnos no dominan, como son: cantidades molares, reactivo limitante, conservación de la materia, masas reaccionantes y coeficientes en una ecuación química; así como conceptos matemáticos de razones y proporciones (Kind, 2004; Fach, *et al.*, 2007).

Los estudiantes con frecuencia realizan cálculos o resuelven problemas algorítmicos sin razonar, fijándose solamente en características superficiales sin enfocarse en las leyes, teorías o principios que sustentan a los conceptos (Schmidt, *et al.*, 2003; Stamovlasis, *et al.*, 2005; Dahsah, *et al.*, 2007; Taasobshirazi, *et al.*, 2009; Valderrama, *et al.*, 2010; StClair-Thompson, *et al.*, 2012; Gulacar, *et al.*, 2013; Nyachwaya, *et al.*, 2013; Ye, *et al.*, 2014).

Aunque es importante mencionar que si no se entienden claramente las razones y proporciones, así como la utilización de las matemáticas en problemas de estequiometría será muy difícil que los estudiantes lleguen a la solución razonada (Scott, 2012; UACM, 2013).

En relación con las dificultades de aprendizaje, varios autores opinan que es necesario considerar que los estudiantes aprendan qué significa y para qué sirve la ecuación química (Laugier, *et al.*, 2004; Davidowitz, *et al.*, 2010), la noción de reactivo limitante (Gauchon & Mehéut, 2007), las relaciones molares entre las sustancias (Wood & Breyfogle, 2006) y la determinación de masas molares en reacciones químicas cuya relación no es 1:1 (Kousathana & Tsaparlis, 2002).

Fach y colaboradores (2007), realizaron una exhaustiva investigación, encontrando las principales dificultades de aprendizaje de este tema, las cuales son:

- Los estudiantes equiparan las relaciones de masa de los átomos en una molécula con las relaciones de número de esos átomos.
- Igualan la masa con la masa molar.
- Calculan la masa molar de una sustancia sumando las masas atómicas y entonces multiplican o dividen esta suma por el coeficiente de la sustancia en la ecuación química, en general no hay comprensión sobre el significado del coeficiente estequiométrico en una ecuación química.
- Confunden los conceptos de conservación de los átomos y la posible no conservación de las moléculas, frecuentemente no toman en cuenta la conservación de los átomos o la masa.
- No saben determinar el reactivo limitante cuando al menos uno de ellos se encuentra en exceso.
- Mezclan o no conocen las relaciones entre la estequiometría y las entidades elementales (Furió, Azcona, & Guisasola, 2002).

A su vez, Mathabathe y Potgieter (2014) proponen que para resolver problemas relacionados con estequiometría, los aprendices tienen que ser capaces de:

- Reconocer y entender qué se les está preguntando o que se espera de ellos.
- Identificar la estrategia más adecuada para aproximarse a la resolución del problema.
- Distinguir cuándo no es posible resolver el problema.
- Reflexionar sobre por qué no se puede resolver el problema y realizar los cambios para mejorar sus estrategias.

Por otro lado, en el estudio de Padilla y Garritz (2014) sobre el conocimiento didáctico del contenido de profesores que imparten estequiometría, se encontraron distintas maneras de enseñarla:

- Conceptual: Se refiere a la construcción holística del concepto a través del pensamiento crítico tanto deductivo como inductivo. Este conocimiento se relaciona con su uso en distintas formas de representación, principalmente la verbal, la gráfica y la simbólica.
- Contextual: Este tipo de enseñanza sugiere la importancia de la contextualización de los ejercicios y los trabajos prácticos para hacerlos motivadores e interesantes a los estudiantes. Las estrategias de este estilo de enseñanza, se relacionan con la vida cotidiana, la experiencia, la aplicación del concepto, la cooperación y la transferencia a nuevos contextos.

- Procedimental: Es aquella enseñanza que requiere el uso de procedimientos, generalmente memorizados, para resolver un problema. Aquí se enfatiza el uso dinámico de algoritmos o reglas en distintos tipos de representación.
- Representacional: Se relaciona con el uso de representaciones para la enseñanza desde diversos puntos de vista: histórico, analógico, visual, por medio de la experimentación y el uso de modelos.

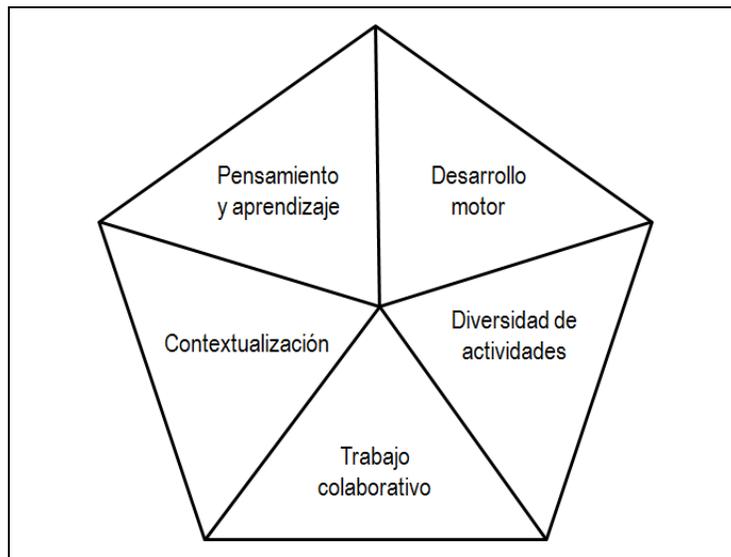
En esta investigación se retomaran estos estilos de enseñanza, para poder proponer una estrategia multimodal.

#### 4.3.- Multimodalidad

Desde la alfabetización científica en el aula de clases, la investigación en multimodalidad ejemplifica un esfuerzo contemporáneo por democratizar la educación, empoderando a los estudiantes (Klein & Kirkpatrick, 2010). La construcción del aprendizaje de un concepto, se puede lograr a través de actividades dinámicas, es decir, aquellas que fomentan el diálogo e intercambio de información (Lastres, Angelini, Landau, Sileo, & Torres, 1998), las cuales a su vez pueden ser multimodales.

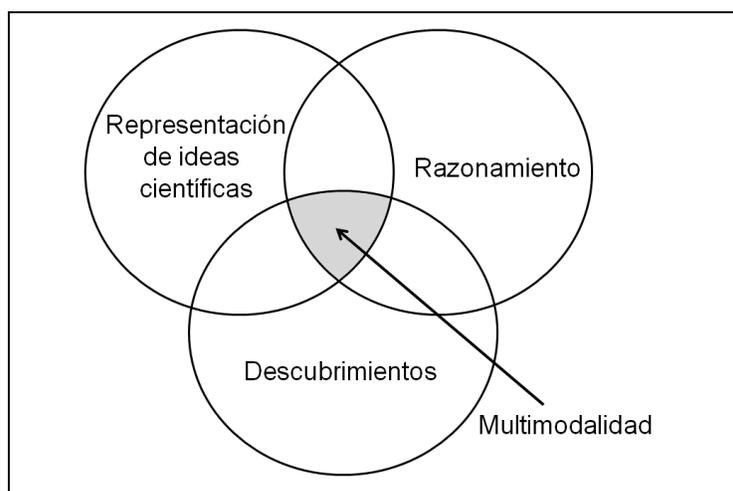
El trasfondo de la multimodalidad está relacionado con algunos principios de la práctica educativa de María Montessori (Seel, 2012), pues mencionan que, el desarrollo motor y la cognición están entrelazados y que ese movimiento físico propicia el pensamiento y el aprendizaje. También es necesario impartir a los estudiantes una gama de lecciones distintas y que ellos escojan la que más les funciona, además el contexto realza el interés personal de los alumnos y el trabajo colaborativo conduce al aprendizaje (Stoll-Lillard, 2005), ver **figura 2**.

*Figura 2: Metáfora visual de la sinergia entre la propuesta de Seel (2012) y la propuesta de Stoll-Lillard (2005) sobre multimodalidad.*



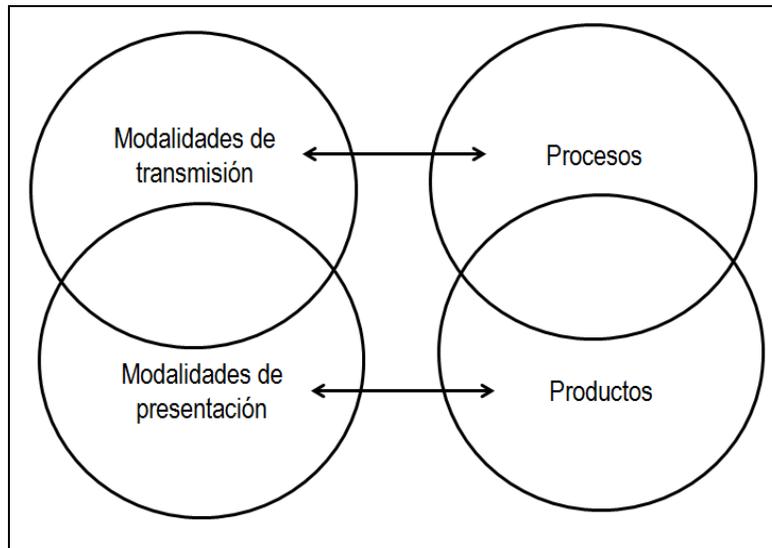
La multimodalidad se relaciona con el hecho de aprender con una o más actividades que integren diferentes modalidades sobre un mismo concepto, como la representación de las ideas científicas, el razonamiento y los descubrimientos (Prain & Waldrup, 2008), ver **figura 3**. Esta área ayuda a investigar cómo los estudiantes construyen el conocimiento científico a través del uso simultáneo de varias modalidades (Tang, Delgado, & Birr Moje, 2014).

**Figura 3:** Diagrama de Venn-Euler que funciona como metáfora visual de la propuesta de Prain y colaboradores (2008) sobre la multimodalidad.



Moreno y Mayer (2007) establecen dos tipos de modalidades en su modelo: las de transmisión, que se refieren a los medios de entrega de la información, y las de presentación que son las representaciones que se utilizan para expresar la información. El enfoque multimodal en la educación científica examina los procesos y los productos de los experimentos científicos (Anastopoulou, Sharples, & Baber, 2011). Así, los procesos serán las *modalidades de transmisión* y los productos las *modalidades de presentación* (**figura 4**).

*Figura 4: Metáfora visual que relaciona la propuesta de Moreno y Mayer (2007) con la de Anastopoulou y cols. (2011) sobre multimodalidad.*



Bos y colaboradores (2009), mencionan algunos principios de enseñanza en ambientes multimodales, éstos son:

- Actividad guiada: El aprendizaje se promueve si se persuade a que los aprendices empleen la selección, organización e integración de la información obtenida.
- Reflexión: Se promueve el aprendizaje cuando se lleva a cabo el proceso de creación de significado.
- Retroalimentación: Auxilia a los aprendices a utilizar la esquematización adecuada para modificar sus concepciones alternativas.
- Auto-estimulación: Los aprendices se permiten procesar “trozos” de información de complejidad apropiada.
- Pre-entrenamiento: Cuando se provee conocimiento relevante la nueva información se integra más fácilmente.

Los principios anteriores tienen una cercana relación con la teoría del cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982) ya que la integración de la nueva información debe ser plausible a través de la creación de significado; sin embargo, considerando el cambio representacional propuesto por Pozo (1999), la nueva información se integra a las representaciones mentales que ya posee el aprendiz hasta que se convierte en conocimiento relevante.

Con base en lo anterior, para que los estudiantes aprendan un concepto, es necesario que integren los elementos multimodales de las representaciones acordes a los convenios científicos, en un orden adecuado con el fin de construir el significado de los conceptos científicos aceptados (Tang & Birr Moje, 2010).

#### **4.3.1.- Multimodalidad y habilidades de pensamiento científico.**

Si se requiere que los estudiantes estén científicamente alfabetizados (Fourez, 1997; Gil & Vilches, 2006), deben de estar preparados para enfrentar los retos y temas que encarará la sociedad en las décadas siguientes, por lo tanto es necesario que entiendan y utilicen la información, no sólo que la recuerden. Glass (2013), propone que se deben desarrollar en los alumnos las habilidades para manejar la información accesible, proporcionar las oportunidades que propicien el incremento de las destrezas requeridas que les permitan valorar y descartar conocimiento de diversas fuentes de información, así como propiciar los hábitos mentales para que sean capaces de innovar. Es decir, se invita a que los estudiantes se enfrenten con problemas multimodales, propiciando el desarrollo de habilidades de pensamiento científico al tratar de resolver estos problemas de modos diversos y en consecuencia que haya una construcción más significativa del conocimiento.

El Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos de América (National Research Council, 1996), menciona que las habilidades de pensamiento científico son aquellas que promueven que los estudiantes propongan y lleven a cabo actividades de investigación para probar sus ideas, o en otras palabras, son las que permiten que se pueda realizar con mayor éxito la transposición didáctica propiciada por el profesor para llevar el conocimiento científico al salón de clases (Izquierdo, Sanmartí, & Espinet, 1999), generando un gran potencial para que se lleve a cabo el pensamiento científico (Heller, 2007).

También se les puede llamar así, a todas aquellas habilidades que se relacionan con los procedimientos, procesos y métodos que utilizan los científicos para construir el conocimiento (Etkina, y otros, 2010).

Los científicos han interiorizado estas habilidades y son los hábitos mentales que utilizan para resolver problemas, en cambio, estas habilidades aún no forman parte de la estructura cognitiva de los estudiantes y por lo tanto, requieren ser reflexivos y críticos (Etkina, y otros, 2010).

Las habilidades de pensamiento científico no son estáticas, ya que dependen de varios factores cognitivos y contextuales, cómo son: el interés y la motivación en ciencia, el entendimiento epistemológico del proceso científico, la familiaridad con que se domina el tema, el contexto de la actividad, el ambiente que apoya el tema y las actividades de comunicación (Zion, Michalsky, & Mevarech, 2005).

Estas habilidades, en un entorno de enseñanza en el aula, se pueden clasificar en dos ramas,: aquellas que son investigativas y las que son inferenciales. Las investigativas, implican diseñar experimentos que tienen el potencial para producir evidencia que sustente la teoría. En contraste, en las inferenciales se interpretan patrones y elucidan conclusiones (Kuhn & Pearsall, 2000). Las habilidades de resolución de problemas (StClair-Thompson, Overton, & Bugler, 2012) y experimentación (Al-Ahmadi & Oraif, 2009) son tanto investigativas como inferenciales.

A partir de la propuesta de Kuhn y Pearsall (2000) y la investigación de las distintas habilidades de pensamiento científico, considero útil la siguiente clasificación:

- Habilidades investigativas:
  - Utilizar representaciones para explicar los fenómenos<sup>[2]</sup>.
  - Construir gráficas<sup>[1]</sup>.
  - Medir<sup>[1]</sup>.
  - Identificar los componentes de una investigación<sup>[1]</sup>.
  - Comprender información<sup>[1]</sup>.
  - Comunicar ideas<sup>[4]</sup>.
- Habilidades inferenciales:
  - Interpretar gráficas<sup>[1]</sup>.
  - Elaborar conclusiones<sup>[1]</sup>.
  - Describir<sup>[3]</sup>.
  - Recolectar y analizar información<sup>[2]</sup>.
  - Idear explicaciones<sup>[2]</sup>.
  - Construir hipótesis<sup>[4]</sup>.
  - Clasificar<sup>[3]</sup>.
  - Observar<sup>[4]</sup>.

<sup>[1]</sup> Zion, *et al.*, 2005; <sup>[2]</sup> Etkina, *et al.*, 2010; <sup>[3]</sup> Kuhn, *et al.*, 2000; <sup>[4]</sup> Soucek, *et al.*, 1997.

Por otro lado, Kuhn y Pearsall (2000) clasificaron las habilidades de acuerdo a cómo son utilizadas para entender el conocimiento de un tema en particular, pero no consideraron otras habilidades que influyen durante el desarrollo del pensamiento científico, sobre todo aquellas que están relacionadas con el entorno social y motivacional. Por lo tanto, Tomcho y colaboradores (2008) realizaron una clasificación que incluye estos tópicos:

- Habilidades descriptivas:
  - Observación.
  - Medición.
  - Interpretación.
- Habilidades de conceptualización:
  - Reconocer y aplicar conceptos.
  - Reconocer y aplicar teorías.
  - Evaluar, sintetizar y generar teorías.
- Habilidades de resolución de problemas:
  - Reconocer, aplicar y generar métodos.
  - Reconocer, aplicar, evaluar o generar pensamiento estadístico.
  - Detección y manejo de sesgos.
- Habilidades de razonamiento ético:
  - Generar conciencia de los estándares éticos.
  - Evaluar prácticas éticas.

- Seguir los estándares éticos.
- Actitudes y valores científicos:
  - Entusiasmo por investigar.
  - Valorar objetividad vs subjetividad.
  - Parsimonia.
  - Escepticismo.
  - Tolerancia de la ambigüedad.
- Habilidades de comunicación:
  - Seleccionar recursos adecuados.
  - Proeza en argumentación.
  - Uso de expresiones convencionales.
- Habilidades de colaboración:
  - Completar proyectos.
  - Gestionar procesos.
  - Liderazgo.
  - Generar consenso.
  - Llevar a cabo reuniones creativas.
- Habilidades de autoevaluación:
  - Autorregulación.
  - Auto-reflexión.

Por ello, se propondrá un conjunto de actividades que propician el desarrollo de diversas habilidades de pensamiento y, en su conjunto, permiten al alumno construir el concepto de estequiometría.

#### **4.3.2.- Multimodalidad y Secuencias de enseñanza y aprendizaje.**

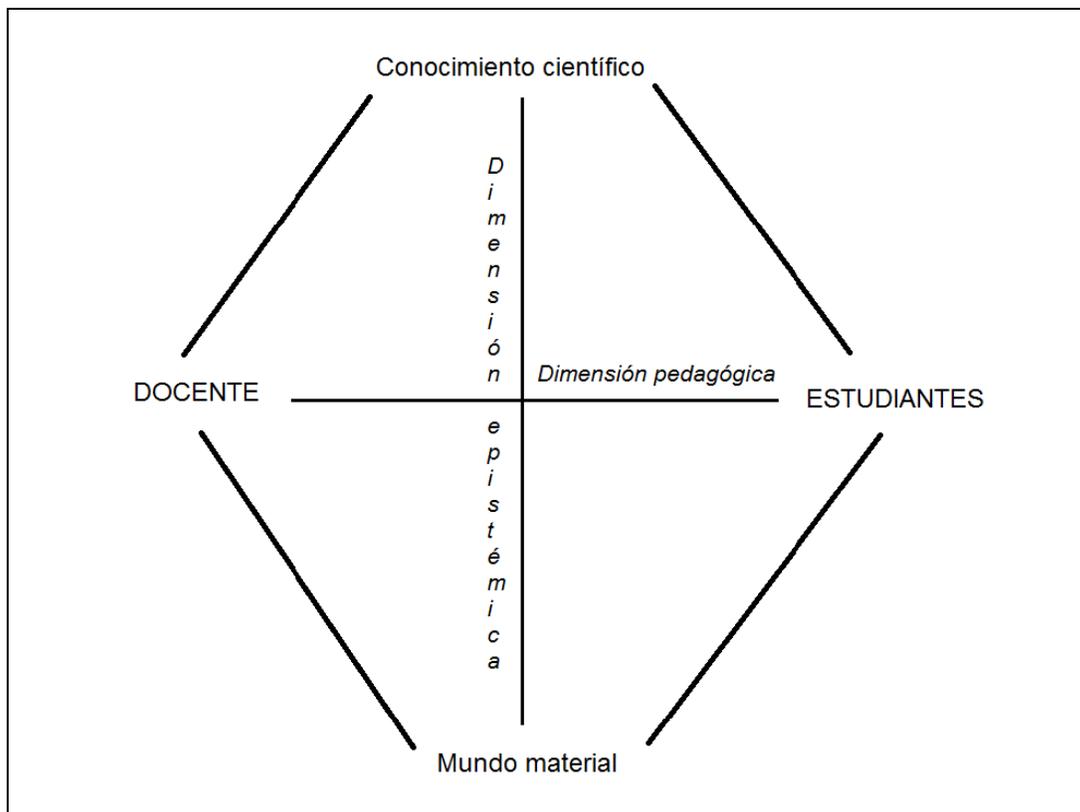
Las Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (SEA) consideran que la ciencia es una actividad en dónde el contenido científico debe ser tratado con tareas problemáticas (Psillos, 2004), y puesto que este tipo de tareas requieren diferentes maneras para ser resueltas, se le puede considerar a las SEA como instrumentos multimodales del aprendizaje.

Las SEA son herramientas didácticas que propician el aprendizaje de conceptos, a través de la representación de éstos (García & Garritz, 2006) para que sean comprensibles a los estudiantes y ayude a los docentes a tomar decisiones acerca de lo que se enseñará (Sanmartí, 2000), permitiendo establecer metas y objetivos a cumplir (Caamaño, 2013).

Leach y Scott (2002) comentan que la característica principal de las SEA es que las actividades de éstas van hiladas entre sí con un objetivo común para propiciar el aprendizaje por medio de la asistencia del profesor, siendo un proceso gradual que permite entrelazar el conocimiento científico con los estudiantes (Méheut & Psillos, 2004) y auxilia al maestro a relacionar el concepto de interés con los métodos para su aprendizaje (Duschl, Maeng, & Sezen, 2011).

Méheut (2005) describe las SEA a través de dos dimensiones, la epistémica y la pedagógica, resumiéndolo en una figura conocida como “rombo didáctico”, ver **figura 5**.

*Figura 5: Rombo didáctico propuesto por Méheut (2005), en donde se describen las dos dimensiones que forman parte de las SEA.*

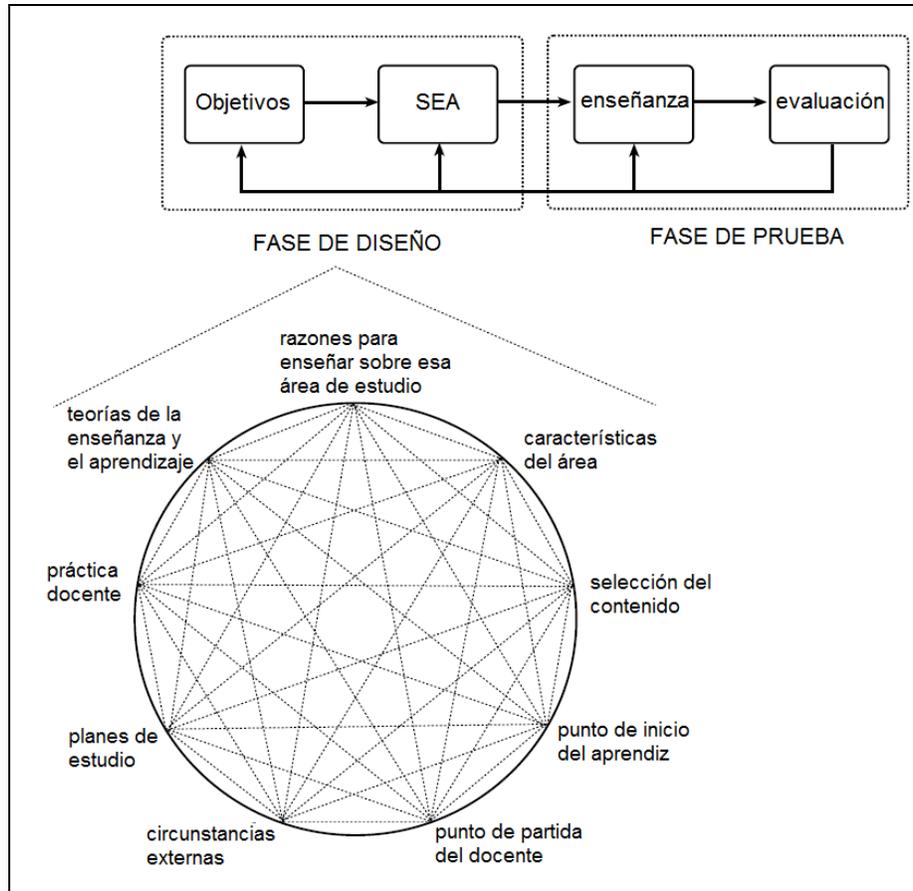


En el eje vertical se ubica cómo el conocimiento se relaciona con el mundo material, es decir, aquí se pueden encontrar los supuestos acerca de los métodos científicos, los procesos de elaboración y la validación del conocimiento científico. En el eje horizontal se encuentran los roles del docente; qué se espera de las relaciones entre estudiantes y los tipos de interacciones entre profesores y alumnos. El conflicto cognitivo se dará entre los estudiantes y el mundo material, mientras que los problemas epistémicos se presentarán en el camino para llegar al conocimiento científico desde el mundo material. En este segundo punto, la modelización será el eje que funcione para describir el mundo material desde el conocimiento científico.

Las SEA están diseñadas para enseñar tomando como base a las concepciones alternativas, mostrando evidencias que retengan a los aprendices para que sus representaciones mentales conduzcan a una disonancia cognitiva, que provoque una modificación en esta forma de representar al mundo (Duschl, Maeng, & Sezen, 2011) y por lo tanto se lleve a cabo un cambio representacional (Pozo, 1999).

Andersson y colaboradores (2005) proponen considerar los distintos aspectos para el desarrollo y estudio de las SEA, éstos se encuentran resumidos en la **figura 6**.

*Figura 6: Aspectos a considerar en una SEA (Andersson, et al., 2005)*



Besson y colaboradores (2010) plantean que para diseñar una SEA es adecuado realizar lo siguiente:

- Un análisis de la investigación didáctica acerca de las concepciones alternativas de los estudiantes y las SEA previas sobre el tema.
- Revisión del tratamiento usual del tópico: libros de texto y prácticas de enseñanza comunes.
- Análisis crítico del sujeto científico, incluyendo su desarrollo histórico, junto con sus aplicaciones prácticas.

A su vez, Furió y Furió (2009), sugieren que el docente debe poseer las siguientes competencias para poder desempeñar con cierto éxito las clases de ciencia, y por ende diseñar adecuadamente secuencias de enseñanza y aprendizaje:

- Conocer la historia y la epistemología de las teorías y conceptos a enseñar.
- Saber secuenciar los objetivos y contenidos del currículum según un hilo conductor.

- Tener en cuenta los intereses, ideas y argumentaciones cotidianas de los estudiantes en el dominio de enseñanza que se ha de desarrollar, así como sus principales dificultades y obstáculos.
- Aplicar estrategias de enseñanza que puedan ayudar de manera eficaz el proceso de aprendizaje.
- Saber preparar materiales adecuados para la implementación de la secuencia de enseñanza diseñada.
- Saber gestionar, en el sentido de saber dirigir, la implementación de la secuencia.
- Evaluar continuamente el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Esto se debe a que hay diversas decisiones que tomar cuando se diseñan SEA: el contenido que se va a enseñar, la estructura de sus aspectos principales, el orden en que serán introducidos, las estrategias metodológicas, el tipo de actividad escolar, los roles del docente y los estudiantes, los recursos de enseñanza, las posibilidades de organizar la clase y la duración aproximada de cada una de las actividades (Tiberghien, Vince, & Gaidioz, 2009).

Para evaluar qué tan efectivas son las SEA, generalmente se diseñan y utilizan pruebas específicas antes de la aplicación y después de que se llevan a cabo las SEA (Boersma, Goedhart, De Jong, & Eijkelhof, 2005), aunque también se comparan los resultados obtenidos con aquellos de cualquier otra práctica de enseñanza a través del uso de grupos control (Leach & Scott, 2002).

En cuanto a la calidad didáctica de las SEA, es prudente considerar cuál es el problema didáctico y cómo se resolverá, también si están diseñadas considerando procesos cercanos al contexto de los estudiantes y si el docente provee de suficiente espacio de construcción para los alumnos (Lijnse, 2004).

## **5.- Pregunta de investigación.**

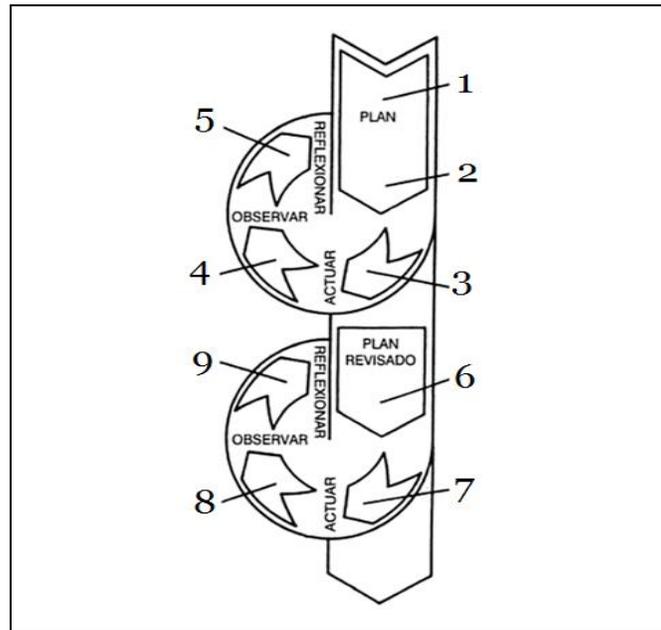
¿Una secuencia de enseñanza y aprendizaje diseñada con un conjunto de actividades multimodales será capaz de propiciar la construcción significativa del concepto de estequiometría en estudiantes de bachillerato?

## **6.- Diseño de la propuesta multimodal.**

### **6.1.- Modelos metodológicos**

Para la realización de la propuesta, se utilizó el modelo de Andersson y cols. (2005), descrito en la sección 4.3.2, también se consideró el modelo de ciclos de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001), el cual se muestra en la **figura 7**.

**Figura 7:** Modelo de ciclos de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001).



Con base en este modelo, el planteamiento seguido para el diseño de la propuesta fue:

- 1.- Primera etapa de la planeación: Investigación de las dificultades de aprendizaje, reportadas en la literatura especializada, relacionadas con el concepto de estequiometría. Revisión de los currículos de distintos subsistemas de Educación Media Superior. Análisis de los libros recomendados para la enseñanza del concepto. Análisis de la demanda de aprendizaje. Análisis de tareas específicas. Tomar en cuenta las consideraciones éticas para la realización del trabajo. Búsqueda de SEA sobre estequiometría que consideraran propuestas multimodales y el cambio representacional, sin embargo, no se encontró material con esas especificaciones.
- 2.- Segunda etapa de la planeación: a partir de las dificultades de aprendizaje identificadas, se seleccionó un conjunto de actividades multimodales que propician el desarrollo de diversas habilidades de pensamiento científico necesarias para la construcción del concepto. A su vez, se consideró la visión del aprendizaje para la propuesta y diseño de estas actividades desde el constructivismo social y el cambio representacional.
- 3.- Actuar: Se aplicó la propuesta diseñada a un grupo de estudiantes de bachillerato y se utilizaron dos herramientas de evaluación del aprendizaje; una de ellas se tomó de la literatura y la otra se diseñó ex profeso.
- 4.- Observar: Durante la aplicación de la propuesta, se observó el interés y compromiso de los estudiantes para la realización de las actividades.
- 5.- Reflexionar: Se analizaron los resultados obtenidos.
- 6.- Plan revisado: Sugerencia de modificaciones.

7.- Actuar: Rediseño de la propuesta.

8 y 9.- Observar y reflexionar: Estas etapas no se realizaron porque no se tuvo la oportunidad de probar la propuesta modificada.

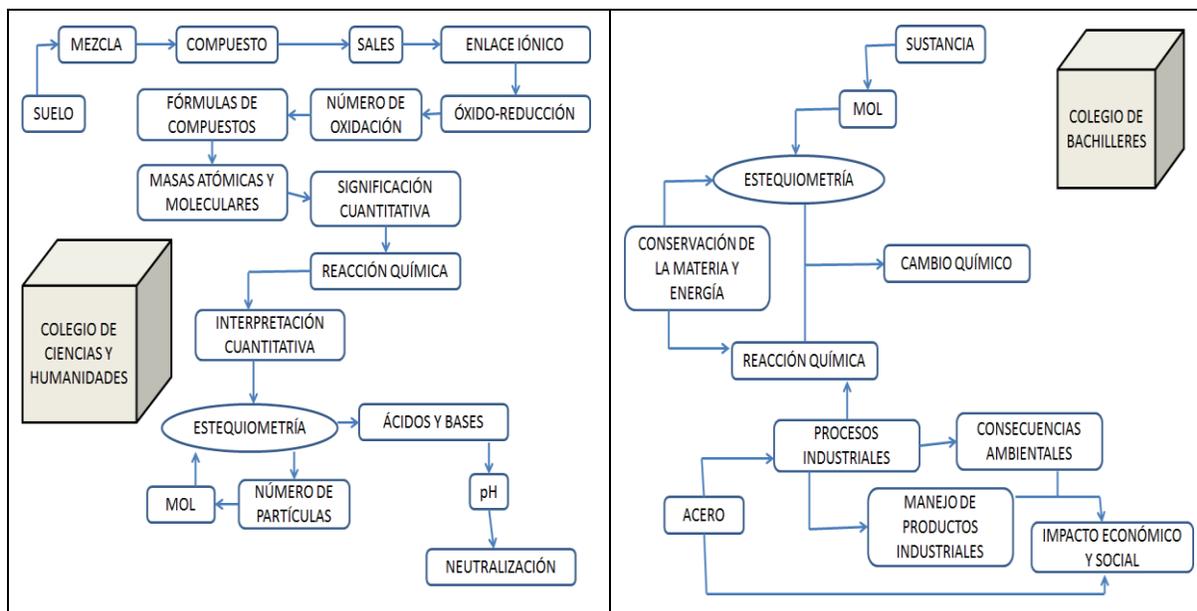
Las etapas de planeación del modelo de la Universidad de Deakin, coinciden con las etapas de diseño que proponen Andersson y cols.. A partir de la tercera etapa del modelo de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001), se constituye la fase de prueba de la propuesta de Andersson y cols. (2005).

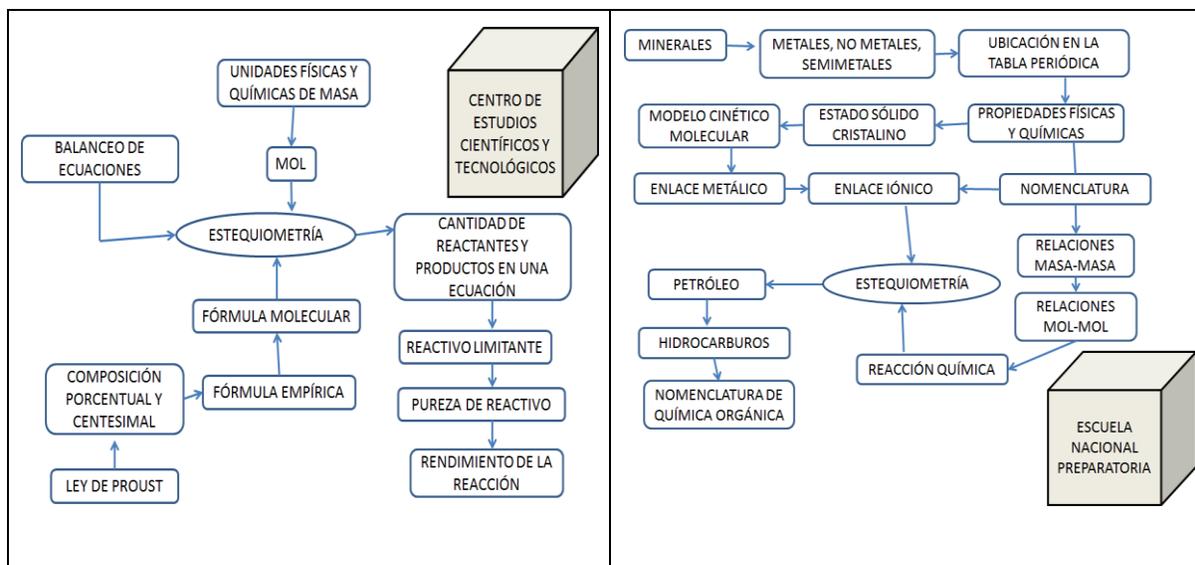
### 6.2.- Análisis curricular de los distintos sistemas de Educación Media Superior.

Los planes y programas de estudio son uno de los aspectos a considerar para el desarrollo de las secuencias de enseñanza y aprendizaje, ya que éstos son la visión institucional de la enseñanza (Andersson, Bach, Hagman, Orlander, & Wallin, 2005).

En este caso se revisaron los temarios de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), el Colegio de Bachilleres (ColBach) y el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT), todos los cursos corresponden al segundo año del bachillerato. En la **figura 8** se pueden observar diagramas que se elaboraron para demostrar cómo se relacionan otros contenidos del currículo escolar con la estequiometría.

**Figura 8:** Diagramas simplificados de los temarios del CCH, CECyT, ColBach y la ENP en donde se observa la relación de otros tópicos con el concepto de estequiometría.





Después de analizar los programas de las instituciones mencionadas, se identificaron tres ejes guía para el estudio de la estequiometría, que se presentan en la **tabla 1**.

**Tabla 1:** Ejes guía para el estudio de la estequiometría en diferentes sistemas de Educación Media Superior.

Ejes guía	Instituciones
Contextualización del estudio del tema de estequiometría en situaciones de ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTSA)	ENP, CCH y Col. Bach.
Estudio del tema de manera vertical y en correlación con otros tópicos del currículo.	CCH, Col. Bach. y CECyT
Identificación y explicitación de habilidades de pensamiento científico que se requieren para la construcción del conocimiento.	CCH, Col. Bach. y CECyT
<b>NOTA:</b> Los currículos revisados están actualizados hasta marzo del 2016 (CCH, 2013; CECyT, 2013; ColBach, 2012; ENP, 2016)	

Las propuestas curriculares revisadas, excepto la del CECyT, contextualizan el estudio del tema en situaciones CTSA. Por otro lado, y con excepción de la ENP, se identifican y explicitan las habilidades de pensamiento científico que se requieren para la construcción del concepto. En los temarios se observa que una vez que se estudia la estequiometría, se utiliza para el desarrollo de los temas siguientes, situación que no refleja el currículo de la ENP.

### 6.3.- Análisis de la bibliografía recomendada en los temarios de bachillerato.

Cada temario recomienda libros específicos para el estudio del tema de estequiometría. Se consideró importante el análisis de los textos, ya que éstos reflejan la visión de los expertos de la manera ideal de impartir el tema. Los libros estudiados y la definición de

estequiometría que proponen, se presentan en la **tabla 2**. Cabe mencionar que los libros de texto recomendados son de nivel licenciatura.

**Tabla 2:** Libros recomendados para el estudio del tema de estequiometría.

<b>Institución</b>	<b>Referencia</b>	<b>Definición (estequiometría)</b>
CCH	(Hill & Kolb, 1999)	<i>“Relación cuantitativa de masa, entre los reactivos y los productos de una reacción química, una ecuación química define esa relación en moles”.</i>
ColBach	(Brown, LeMay, Bursten, & Murphy, 2012) (Daub & Seese, 1996) (CNICE, 2005)	<i>“Área de estudio que examina la medición y las proporciones de las cantidades relativas, entre los reactivos consumidos y los productos generados, involucrados en una reacción química. La estequiometría se establece mediante la ecuación química”.</i>
ENP	(Hein & Arena, 2001) (Zumdahl & DeCoste, 2012)	<i>“Área de estudio de la química que estudia las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos por medio de una reacción química”.</i>
CECyT	(Whitten, Davis, Peck, & Stanley, 2007)	<i>“Describe las relaciones cuantitativas de los elementos en los compuestos (estequiometría de composición) y la cantidad de sustancia que es sometida a cambios químicos (estequiometría de reacción)”.</i>

En relación con las definiciones sobre estequiometría manejada por la bibliografía recomendada por cada uno de los sistemas de educación media superior, todas mencionan las relaciones cuantitativas en química. La bibliografía que recomiendan el ColBach y el CCH mencionan las proporciones entre reactivos y productos; pero sólo la que recomienda el ColBach menciona la utilización de la ecuación química.

#### **6.4.- Análisis de la demanda de aprendizaje.**

Considerar la demanda de aprendizaje como una herramienta para informar sobre el diseño y la evaluación de la SEA, es un camino que funciona para observar las diferencias entre el lenguaje de la ciencia escolar en comparación con el lenguaje cotidiano de los aprendices. La noción de este concepto, permite diferenciar el pensamiento cotidiano del científico a través de la información los estudiantes utilizan día a día, en comparación con el contenido científico que es formalmente introducido en la escuela. La importancia de la demanda de aprendizaje recae en su utilidad para identificar los retos de aprendizaje involucrados en dominios específicos de la ciencia (Leach & Scott, 2002; Viiri & Savinainen, 2008).

Tanto Leach y cols. (2002), como Viiri y cols. (2008), proponen que para realizar una SEA, es adecuado realizar un análisis de la demanda de aprendizaje, de acuerdo a los siguientes puntos:

- Identificar el concepto de estequiometría que va a ser enseñada desde el punto de vista de la ciencia escolar.
- Considerar cómo este tema es conceptualizado en el pensamiento cotidiano de los estudiantes.
- Identificar la demanda de aprendizaje tomando en cuenta la naturaleza de sus diferencias conceptuales, epistemológicas y ontológicas.
- Diseñar una secuencia de enseñanza para dirigir cada aspecto de la demanda de aprendizaje:
  - o Identificar los objetivos de enseñanza para cada fase de la secuencia.
  - o Planificar una secuencia de actividades dirigidas a objetivos específicos de enseñanza.
  - o Especificar cómo estas actividades de enseñanza se pueden relacionar con las formas apropiadas de la comunicación en el salón de clases.

Viiri y colaboradores (2008) mencionan que la demanda de aprendizaje se puede detectar indagando en las herramientas conceptuales, los fundamentos epistemológicos y los supuestos ontológicos que los estudiantes utilizan en su vida cotidiana, después éstos se comparan con los aspectos de la ciencia escolar que debe ser dirigida.

La demanda de aprendizaje conceptual surge cuando los estudiantes aplican las nociones cotidianas en vez de conceptos científicos, la epistemológica surge cuando los alumnos tienen dificultades para aplicar las herramientas conceptuales en varios contextos y la ontológica es creada en donde los estudiantes perciben una propiedad de un proceso como la propiedad del objeto (Viiri & Savinainen, 2008).

Con base en lo anterior se realizó el análisis de la demanda de aprendizaje del tema de estequiometría, que se presenta en la **tabla 3**.

*Tabla 3: Análisis de la demanda de aprendizaje del concepto de estequiometría.*

<i>Aspectos de la ciencia escolar que deben ser dirigidos</i>	<i>Concepciones típicas de los estudiantes derivadas de su vida cotidiana</i>
<b>Ontológico:</b> Los residuos en las reacciones químicas no sólo se deben a las impurezas de las materias primas, sino a que existe un reactivo limitante.	Todos los residuos que quedan después de reaccionar son impurezas del reactivo original.

<b>Conceptual:</b> Cuando los reactivos reaccionan, no necesariamente se encuentran en la proporción estequiométrica adecuada para reaccionar por completo. O sea, ninguna reacción química se lleva a cabo al 100%	Los reactivos al reaccionar siempre lo hacen por completo y por lo tanto no es posible que dejen residuos.
<b>Epistemológico:</b> La reacción química siempre conlleva una relación estequiométrica sin importar la cantidad de sustancia de los reactivos, incluso cuando la relación es 1:1.	La estequiometría no aplica a reacciones químicas en donde hay la cantidad “exacta” de reactivos.

### 6.5.- Análisis para “entender qué es estequiometría”.

Buty y colaboradores (2004) propusieron una herramienta que ayuda en el diseño de SEA, pues toma en cuenta los tres ejes que las constituyen: el conocimiento, el aprendizaje y la enseñanza. En particular este instrumento relaciona el conocimiento científico con aquello que se va a enseñar, es decir, realizar transposición didáctica (Izquierdo, Sanmartí, & Espinet, 1999). Para ello, se toma en cuenta tres ramas en relación con el conocimiento: lo que se enseñará, lo que los estudiantes saben derivado de su vida cotidiana para finalmente proponer la construcción del aprendizaje. A su vez, también se utilizan tres ejes que relacionan las teorías/ modelos con los objetos/eventos que se quieren desarrollar en la SEA, primero identificando cada uno de los universos y después la relación entre ellos.

Con base en estas directrices se realizó el análisis del concepto de estequiometría que se presenta en la **tabla 4**.

*Tabla 4: Análisis “entender qué es estequiometría”.*

	<i>Conocimiento (currícula)</i>	<i>Conocimiento (vida cotidiana)</i>	<i>A ser construido</i>
<i>Universo de las teorías o modelos</i>	Cantidad de sustancia.  Razones y proporciones.	Confusión entre la masa y la cantidad de sustancia.  Uso cotidiano en diversas áreas del conocimiento.	La estequiometría como la relación de cantidades de sustancia que reaccionan entre sí.
<i>Relación entre teorías/modelos y objetos/eventos</i>	Relación entre coeficientes estequiométricos y cantidad de sustancia.		Aplicaciones CTSA de la estequiometría (contextualización)

<i>Universo de objetos o eventos</i>	Expresión de ecuaciones químicas.	Reconocimiento de una ecuación química.	Utilizar las ecuaciones químicas para representar la estequiometría de una reacción química.
	Uso de nomenclatura.	Reconocimiento de símbolos químicos y su significado.	

Si se observa con detenimiento, no se encontró un conocimiento cotidiano de la relación entre modelos y objetos, esto puede ser una ventaja al momento de proponer SEA relacionadas con este tema.

### 6.6.- Consideraciones éticas.

En investigación relacionada con la enseñanza de la química, es necesario establecer algunas consideraciones éticas por tratar con personas y sustancias químicas (Taber, 2014).

Ya que la tesis se realizó con la ayuda de la información personal de estudiantes de educación media superior, se tomaron en cuenta las normas dispuestas por la Ley Federal de Protección de Datos Personales (CDEUM, 2010), particularmente lo indicado en los siguientes artículos:

- Artículo 7: “[...] En todo tratamiento de datos personales, se presume que existe la expectativa razonable de privacidad, entendida como la confianza que deposita cualquier persona en otra, respecto de que los datos personales proporcionados entre ellos serán tratados conforme a lo que acordaron las partes [...]”.
- Artículo 8: “Todo tratamiento de datos personales estará sujeto al consentimiento de su titular [...] El consentimiento será expreso cuando la voluntad se manifieste verbalmente, por escrito, por medios electrónicos, ópticos o cualquier otra tecnología, o por signos inequívocos [...]”.
- Artículo 11: “[...] Cuando los datos de carácter personal hayan dejado de ser necesarios para el cumplimiento de las finalidades previstas [...], deberán ser cancelados”.
- Artículo 15: “El responsable tendrá la obligación de informar a los titulares de los datos, la información que se recaba de ellos y con qué fines [...]”.
- Artículo 19: “Todo responsable que lleve a cabo tratamiento de datos personales deberá establecer y mantener medidas de seguridad administrativas, técnicas y físicas que permitan proteger los datos personales contra daño, pérdida, alteración, destrucción o el uso, acceso o tratamiento no autorizado [...]”.

También debido a que se efectuaron actividades experimentales con el uso de materiales químicos, se consideró desarrollarlas con medidas adecuadas de seguridad, higiene y protección al medio ambiente. Ya que la propuesta está dirigida para su trabajo en la

educación media superior, se investigó si había normatividad relacionada con el trabajo en laboratorios en instituciones educativas, lo que se encontró es cada escuela tiene su propio estatuto y todas las normas están basadas en el Reglamento Federal de Higiene, Seguridad y Medio Ambiente (STPS, 1997). Para ello se consideraron particularmente los siguientes artículos:

- Artículo 62: “[...] los materiales y sustancias químicas peligrosas se deberán identificar en función al tipo y grado de riesgo, comunicando [...] las medidas preventivas y correctivas que se deberá observar en su manejo, transporte y almacenamiento [...]”.
- Artículo 82: “En los centros de trabajo dónde se utilicen sustancias químicas, sólidas, líquidas o gaseosas, que debido a los procesos, operaciones, características físico-químicas y grado de riesgo, sean capaces de contaminar el ambiente de trabajo y alterar la salud de los trabajadores [...] se establecerán medidas de seguridad e higiene [...]”.
- Artículo 84: “[...] se establecerá el programa de seguridad e higiene que permita mejorar las condiciones del medio ambiente laborar y reducir la exposición de los trabajadores a las sustancias químicas contaminantes sólidas, líquidas o gaseosas [...]”.
- Artículo 101: “En los centros de trabajo donde existan agentes en el medio ambiente laboral, que puedan alterar la salud [...] se deberá de dotar a los trabajadores con el equipo de protección personal adecuado [...]”.
- Artículo 159: “No se podrá utilizar a personas de catorce a dieciséis años de edad, en labores peligrosas e insalubres [...]”.

## **7.- Secuencia diseñada**

En la fase de diseño de la propuesta se utilizó el modelo de Andersson y cols. (2005), descrito en la sección 4.3.2 “Multimodalidad y secuencias de enseñanza y aprendizaje”, las etapas que propone este modelo y que formaron parte de la planeación de esta propuesta son:

- Razones para enseñar estequiometría: Éstas se encuentran justificadas desde el principio de la tesis, las cuales incluyen no sólo la importancia para que los ciudadanos tomen decisiones de ciencia y tecnología, sino porque es uno de los conceptos fundamentales en la práctica de la química en el mundo. Además forma parte de los currículos del Sistema de Educación Media Superior de México como uno de los temas a enseñar en las materias de química.
- Características de la estequiometría: A parte de ser un concepto fundamental para la comprensión de la química, resulta ser un tema de difícil aprendizaje debido a la

gran carga conceptual de este tópico, este tema se trató en la sección 4.2 “Estequiometría” de esta tesis.

- Selección del contenido: Considerando las dificultades de aprendizaje del tema, los conceptos relacionados con la estequiometría que se eligieron para esta propuesta son:

- Proporciones de masa.
- Reactivo limitante.
- Conservación de la masa y de los átomos en una reacción química.
- La no conservación de las moléculas en una reacción química.
- Coeficientes estequiométricos y ecuación química como representación de la reacción química.

- Punto de inicio del aprendiz: En este caso, el grupo de estudiantes que participó en la aplicación de la propuesta nunca había visto este tema. Por ello, se consideraron las dificultades de aprendizaje del tema descritas anteriormente y los conceptos a construir desde el análisis de la demanda de aprendizaje y “entender qué es estequiometría” de las secciones 6.4 y 6.5 de este trabajo.

- Punto de partida del docente: No se realizó el estudio sobre el conocimiento didáctico del contenido (CDC) del autor de esta tesis, docente que diseñó y aplicó la propuesta. Sin embargo se consideraron los estilos de enseñanza derivados del CDC sobre estequiometría, obtenidos del texto escrito por Padilla y Garritz (2014), explicados más ampliamente en la sección 4.2 de esta investigación.

- Circunstancias externas: Para el diseño propio de la propuesta multimodal, sólo se consideró el tiempo, pues la investigación duró exactamente 2 años, periodo para cursar la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior.

- Práctica docente: Este punto se refiere principalmente a la propia experiencia del profesor impartiendo clases, si bien, es un profesor con pocos años de práctica, el respaldo teórico y la fundamentación impartida en la maestría le permitieron diseñar una propuesta multimodal para la enseñanza del concepto de estequiometría.

- Teorías de enseñanza y aprendizaje: Éstas se explicitan en el fundamento teórico, son aquellas que respaldan la realización de esta propuesta, es decir, desde el constructivismo social y el cambio representacional (secciones 4.1.1 y 4.1.2 respectivamente).

Es importante aclarar que el modelo de Andersson y cols. (2005) se utilizó para el diseño de la secuencia y el de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001) para su implementación y análisis.

## 7.1.- Descripción y caracterización de las actividades

### Actividad 1

En esta actividad se presenta a los alumnos una situación problemática (**figura 9**), con el objeto de que, después de analizarla, formulen hipótesis sobre los efectos que produce la ingesta de bicarbonato de sodio como remedio para la indigestión. Posteriormente se les pedirá que realicen una prueba experimental.

*Figura 9: Situación problemática de inicio de la actividad 1.*

<p><b>Midiendo eructos</b></p>  <p>Presenta: Carlos Francisco De la Mora Mondragón</p> <p><small>Este archivo tiene una licencia Creative Commons 4.0 Español Atribución-NoComercial-CompartirIgual</small></p>	<p>Un día el chavo del 8 se había despertado muy triste...</p>  <p>¡Hoy es mi cumpleaños y nadie se acordó de mí!</p>
<p>Cuando llegó Super Astro con una sorpresa...</p>  <p>¡No te preocupes chavito! Yo te preparé lo que tanto te gusta</p>	<p>Pero después de comerse tremenda torta, le dolió la panza...</p>  <p>¡Me siento como el Sr. Barriga!</p>
<p>Entonces el médico le recomendó:</p>  <p>Toma un poco de bicarbonato de sodio, eso te aliviará</p>	<p>Siguiendo la receta, rápidamente sucedió algo que el chavo no se esperaba...</p> 

Cuando la situación problemática ha sido comprendida por los estudiantes, se sugiere propiciar una “lluvia de ideas” con el objeto de que los alumnos construyan posibles

hipótesis de lo sucedido (**figura 10**). Con el fin de que no se pierda el objetivo de la actividad, se guía a los estudiantes para que identifiquen que el bicarbonato de sodio que el personaje principal ingirió para curar su indigestión, fue la causa de sus eructos. Con base en este hecho, los alumnos deberán identificar que el bicarbonato de sodio debió experimentar un cambio químico en el que se produjo el gas. Posteriormente y con base en sus conocimientos de biología, se propicia la reflexión para que los alumnos identifiquen que en el estómago hay ácido clorhídrico (HCl).

*Figura 10: ¿Qué sucedió?*



Entonces, se propone a los estudiantes que modelen experimentalmente lo sucedido. Para ello, se les facilita bicarbonato de sodio y vinagre por ser ésta una disolución de uso común y de fácil acceso para los alumnos. El procedimiento que se les propone a los estudiantes se describe en la **figura 11**.

**Figura 11:** Modelando el eructo con experimentos, propiciando que los alumnos predigan antes de realizar la actividad práctica.



Las preguntas que sirvieron de guía para esta actividad son las siguientes:

1.- *Dibuja y describe lo que pasará cuando interactúan el bicarbonato de sodio y el vinagre. ¿Cómo se verá? ¿Qué crees que ocurrirá con las partículas que forman a estos materiales? Explica todo lo que sepas acerca de este fenómeno.*

Esta pregunta se debe resolver individualmente primero y después llegar a un consenso con los integrantes de su equipo. Las propuestas había que entregarlas al profesor.

2.- *¿Qué experimento diseñarían para saber la máxima cantidad de bicarbonato de sodio que puede reaccionar con el vinagre, sin que quede un exceso de sólido en el fondo del recipiente?*

Al finalizar la discusión, cada equipo muestra sus propuestas al maestro para que éste dé su visto bueno a aquellas que pueden realizarse con éxito. Posteriormente el profesor les proporciona una bolsa pequeña con bicarbonato de sodio y un recipiente con vinagre y los invita a experimentar (**figura 12**).

**Figura 12:** La primera parte de la secuencia se acompañó con imágenes conocidas como “memes”, de uso popular por los estudiantes de bachillerato.



Una vez que los equipos realizan el experimento propuesto y responden las preguntas, se les presentan algunas más:

1. *Al realizar el experimento, ¿ocurrió exactamente lo que habían predicho? ¿Por qué?*
2. *¿Qué volumen de vinagre agregaron a su recipiente?*
3. *¿Cómo determinaron la máxima cantidad de bicarbonato que puede reaccionar con el volumen de vinagre que utilizaron?*
4. *¿Qué procedimiento realizaron para añadir el bicarbonato a la cantidad de vinagre que midieron? Describan todos los materiales que utilizaron y cómo realizaron cada paso.*
5. *¿Qué harán con los residuos? (figura 13).*

Las respuestas a estas preguntas guía se entregarán al profesor.

**Figura 13:** Invitación a reflexionar sobre la necesidad de tratar los residuos generados en la experimentación.

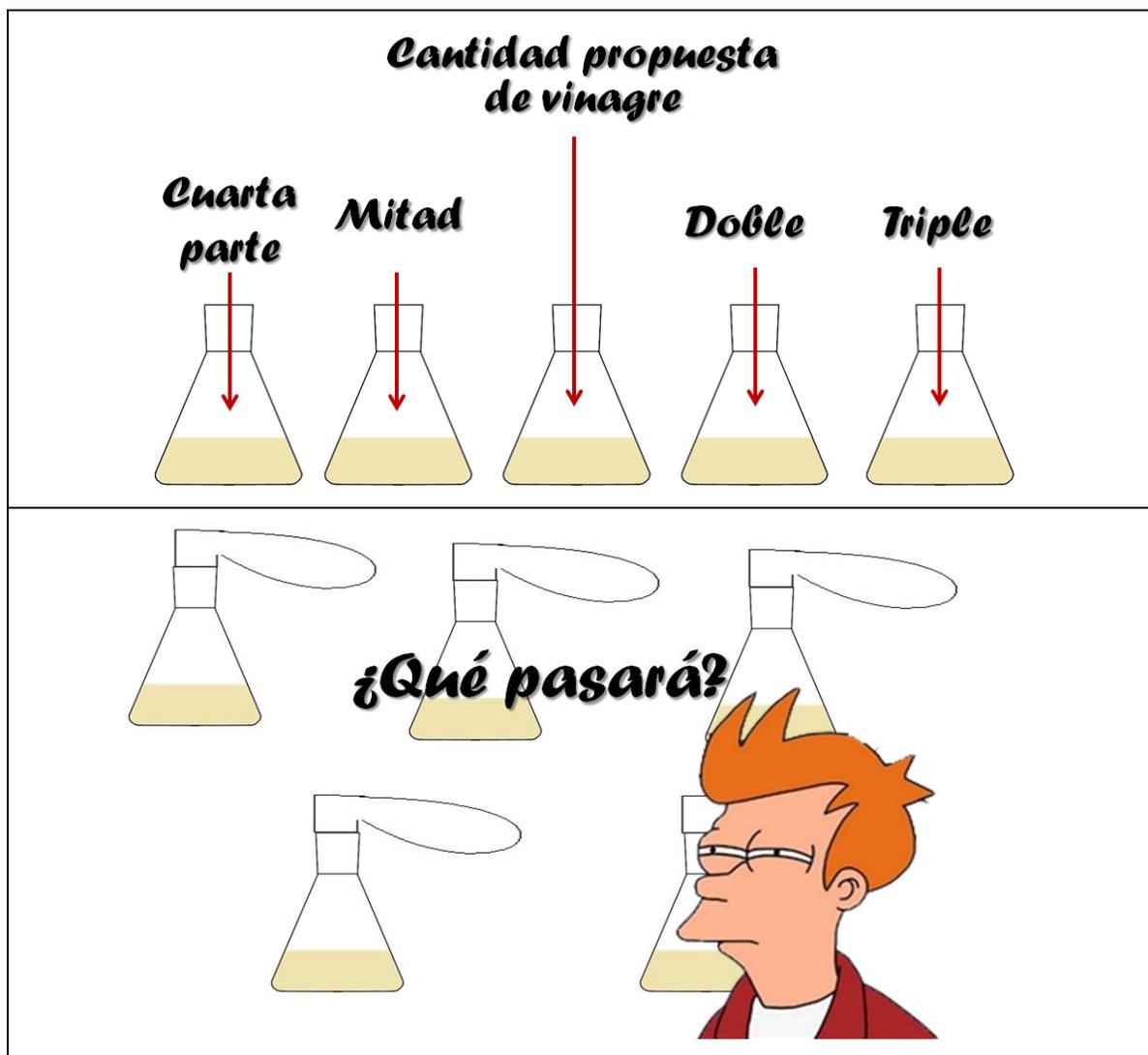


## Actividad 2

A cada uno de los equipos formados, se les da cinco recipientes y una cantidad determinada de vinagre. Se pide a los alumnos que numeren los recipientes, midan cierto volumen de vinagre y lo coloquen en el recipiente uno, en el dos la mitad del volumen elegido, en el tres la cuarta parte, en el cuatro el doble y en el cinco el triple. Después se les dan cinco globos y los alumnos deberán colocar dentro de cada uno de ellos la misma masa de bicarbonato de sodio y, con cuidado, tapar con ellos los recipientes donde se encuentra el vinagre (**figura 14**).

El objetivo es que con los resultados de todo el grupo se construya el concepto de reactivo limitante. Este experimento fue tomado de un artículo del *Journal of Chemistry Education* (JCE, 1997).

Figura 14: Propuesta experimental para construir el concepto de reactivo limitante.



El volumen de vinagre del recipiente uno era diferente para cada uno de los equipos. Antes de poner en contacto a las sustancias, se pidió a los estudiantes que formularan propuestas sobre lo que pasaría en cada uno de los recipientes.

Posteriormente se les solicitó que realizarán el experimento y propusieran una forma de medir la cantidad de gas producido en cada recipiente (**figura 15**). Es importante mencionar que toda la reacción química debe realizarse sobre una balanza para observar la conservación de la masa.

Las preguntas que guiaron esta actividad fueron las siguientes:

1. *Discutan en equipo, dibujen y describan que pasará en los cinco matraces. ¿Cómo se verán? ¿Qué ocurrirá con las partículas?*

2. *¿Qué podrían hacer para medir cuánto gas se produce? Describan todos los materiales que utilizarán y cómo realizarán cada paso. No olviden mencionar qué hacer con los residuos.*
3. *¿Al realizar el experimento, ocurrió exactamente lo que habían predicho? ¿Por qué?*

**Figura 15:** *¿Cómo se podrá medir la cantidad de gas que se producirá?*

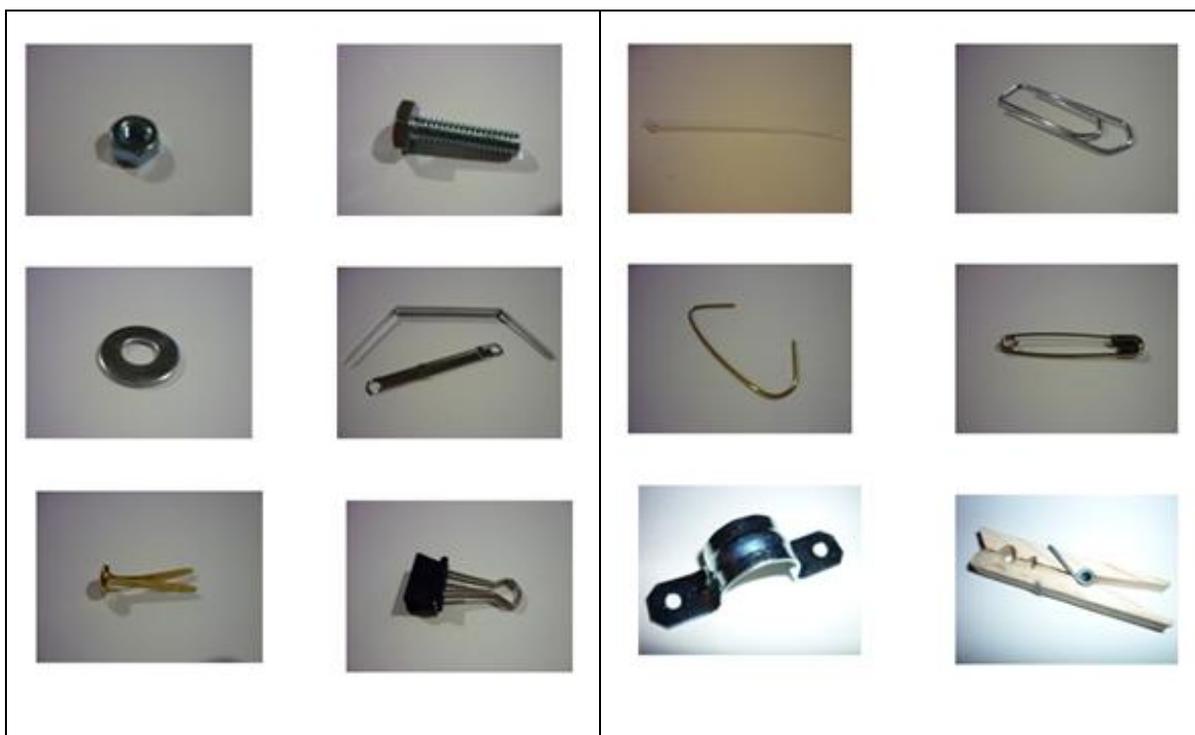


Para finalizar esta actividad, los alumnos deben realizar una gráfica de los volúmenes de gas producido contra el volumen de vinagre utilizado, con la integración de los resultados de todo el grupo.

### **Actividad 3.**

Con el fin de que los estudiantes realicen modelos de la reacción química estudiada en las dos actividades anteriores, se les proporciona una caja con diversos materiales de uso cotidiano (**figura 16**).

**Figura 16:** Objetos de uso común que se utilizaron para modelar la reacción química.



Los materiales que se usen, deben tener la característica de poder unirse entre sí de cualquier manera posible. La idea de construcción de modelos concretos con materiales cotidianos se tomó del trabajo de Castelán y colaboradores (2009).

Los objetos que se propone usen los alumnos son tuercas, tornillos, arandelas, cinchos de nailon, clips, broches, ganchos, seguros, guarda documentos, tubos omega y pinzas para colgar ropa.

Los estudiantes eligen qué material utilizarán para modelar la reacción química, cada objeto representará un átomo diferente y al armar los ensambles se formarán las moléculas.

Los modelos ya construidos, se relacionan con la ecuación de la reacción química para observar el uso de subíndices y coeficientes. Rumbo a la construcción del concepto de reactivo limitante, se les solicita a los alumnos desarmar los ensambles que representan a los reactivos para construir, con esos materiales, los productos.

Para guiar la actividad de los estudiantes, se les proporciona un cuestionario con las siguientes preguntas:

*1.- A continuación tienen una colección de distintos materiales, obsérvenlos y planteen cómo podrían modelar la reacción química de bicarbonato de sodio con el ácido acético. ¿Qué materiales elegiste? ¿Por qué? Dibuja y describe lo que hiciste para elegir los materiales y modelar la reacción química.*

2.- Con ese modelo que crearon, ¿cómo podrían determinar qué tanto por ciento hay de los diferentes tipos de materiales en un ensamble? Utiliza sólo un ensamble, que tenga al menos dos materiales distintos.

3.- ¿Cómo podrían balancear la reacción química usando el modelo que acaban de crear? Describan y dibujen los pasos que realizaron.

También se les propone a los estudiantes la resolución de otro ejercicio con los objetos de uso cotidiano, invitándolos a observar el balanceo de la ecuación química y la construcción de productos a partir de reactivos.

4.- Utilizando los materiales del ejercicio anterior, modelen la siguiente reacción química: el nitrato de potasio en contacto con azufre, produce dióxido de azufre, monóxido de potasio y óxido nítrico. Dibujen y describan lo que hicieron para elegir los materiales y modelar la reacción química.

Por último, se les pide a los alumnos que construyan conclusiones sobre las actividades realizadas. En particular, se desea observar la relación que establecen entre la reacción química observada y su representación a través de la ecuación química construida y modelada. Es importante también notar el uso de las proporciones de masa.

Al finalizar las actividades, se aplicó un cuestionario para saber cómo había sido su progreso después de la realización de las mismas (ver **Anexo I**).

Cada una de las actividades está diseñada para hacer frente a algunas de las dificultades de aprendizaje (sección 4.2 de este trabajo) del tema reportadas en la literatura y para propiciar el desarrollo de determinadas habilidades de pensamiento científico, así como avanzar en la construcción de los conceptos involucrados. En la **tabla 5** se resumen estas características.

**Tabla 5:** Caracterización didáctica de las actividades de la secuencia “Midiendo eructos” Secuencia realizada para propiciar el aprendizaje de la estequiometría.

<b>Secuencia: “Midiendo eructos”</b>	<b>Conceptos involucrados</b>	<b>Habilidades de pensamiento científico</b>	<b>Objetivos didácticos</b>
<b>Actividad 1:</b> Establecer cuánto bicarbonato de sodio y de qué manera se debe agregar a un volumen específico de vinagre.	- Proporciones de masa.	Describir. Observar. Interpretar. Construir explicaciones.	Que los alumnos observen la relación de masas entre los reactivos.

<p><b>Actividad 2:</b></p> <p>Explicar qué pasará al agregar la misma cantidad de bicarbonato de sodio a diferentes volúmenes de vinagre.</p>	<p>- Conservación de la masa.</p> <p>- Reactivo limitante.</p>	<p>Interpretar</p> <p>Construir explicaciones.</p>	<p>Identificar la ley de la conservación de la masa y construir el concepto de reactivo limitante.</p>
<p><b>Actividad 3:</b></p> <p>Modelar la reacción química estudiada, con diferentes objetos de uso cotidiano.</p>	<p>- Ecuación química.</p> <p>- Conservación de los átomos y la no conservación de las moléculas.</p>	<p>Utilizar representaciones para explicar fenómenos.</p> <p>Elaborar conclusiones.</p>	<p>La ecuación química como representación del cambio químico.</p> <p>Identificar las representaciones de los alumnos sobre el cambio químico observado.</p>

## 7.2.- Prueba frente a grupo

La puesta en práctica de la secuencia frente a grupo, corresponde a la tercera y cuarta etapas del modelo de ciclos de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001), discutido en la sección 6.1.

La secuencia multimodal se probó en el Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur con el grupo 528 durante el semestre 2015-I. El grupo constaba de 28 alumnos inscritos, pero durante la prueba la asistencia promedio fue de 20 estudiantes.

Las edades de los alumnos, oscilaban entre 17 y 18 años y estaban cursando el penúltimo semestre de bachillerato en la asignatura de Química III.

El cronograma planteado para realizar las actividades se presenta en la **tabla 6**.

**Tabla 6:** Cronograma planteado para la aplicación de la secuencia “Midiendo eructos”

<p>Sesión I (Duración: 2 horas)</p>
<p>Conformación de los equipos de trabajo.</p> <p>Grabar y fotografiar las actividades realizadas.</p> <p>Proyección de la presentación con diapositivas.</p> <p>Lluvia de ideas y construcción de hipótesis.</p> <p>Breve explicación sobre el uso del material de laboratorio para medir volúmenes.</p>

<p>Realización de la primera actividad experimental: medir proporciones de masa y volumen entre los reactivos, bicarbonato de sodio y vinagre.</p> <p>Resolución de preguntas guía y cuestionarios relacionados con las actividades.</p> <p>Reflexión sobre el tratamiento de los residuos generados durante la actividad experimental.</p>
<p>Sesión II (Duración: 1 hora)</p>
<p>Realización de la segunda actividad experimental: determinación del reactivo limitante con volúmenes de gas medidos y comprobación de la ley de conservación de la masa.</p> <p>Resolución de preguntas guía y cuestionarios relacionados con la segunda actividad experimental.</p> <p>Tratamiento de residuos generados durante el experimento.</p>
<p>Sesión III (Duración 1 hora)</p>
<p>Modelaje de la reacción química utilizando objetos de uso cotidiano.</p> <p>Resolución de preguntas guía, cuestionarios asociados a esta actividad y encuesta de evaluación final de la secuencia.</p>

## 8.- Resultados y discusión

Esta parte del trabajo corresponde a los pasos 5, 6 y 7 del modelo de ciclos de la Universidad de Deakin (McKernan, 2001), es decir, se presentarán los resultados, se analizarán y se sugerirán modificaciones rumbo al rediseño de la propuesta.

En el grupo experimental estaban inscritos 25 alumnos, sin embargo durante el desarrollo de la propuesta la asistencia fue aproximadamente de 20 estudiantes a lo largo del semestre y de éstos, sólo 15 asistieron a todas las sesiones en las que se desarrolló la propuesta.

El análisis de las actividades individuales se realizó con base en los resultados de los seis estudiantes seleccionados aleatoriamente de los quince que asistieron a todas las sesiones. El análisis de las actividades por equipo se realizó con base en los resultados de los únicos dos equipos cuyos integrantes no faltaron a clase. Es importante mencionar que de los seis alumnos que se eligieron para observar su desempeño en el conjunto de actividades, solo dos participaron en los equipos bajo estudio.

Para proteger la identidad de estos estudiantes, se les asignó el nombre de Adela, Adolfo, Ana, Antonio, Adriana y Armando. Cabe mencionar que Adela y Armando son los alumnos que quedaron formando parte de los equipos, ella en el equipo A y él en el B.

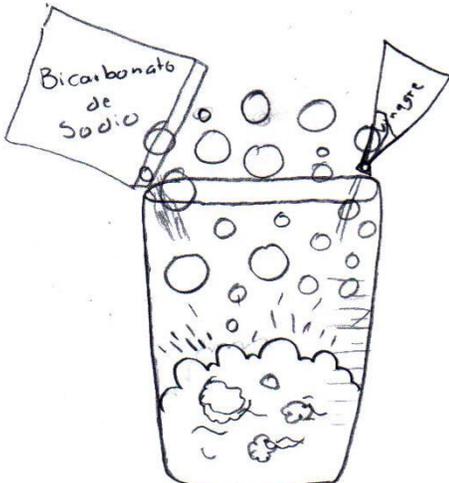
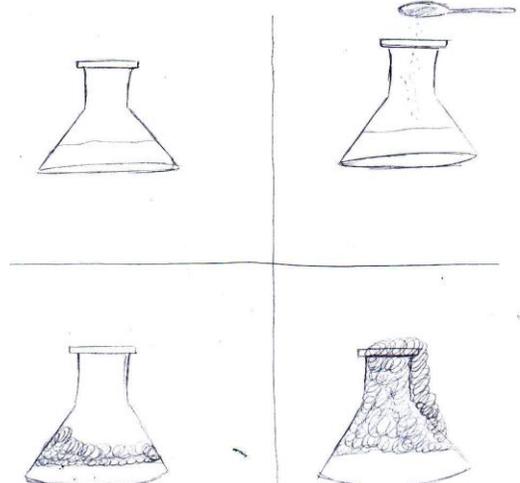
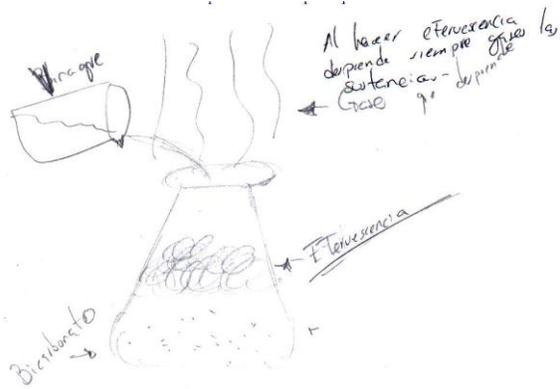
El objetivo es darle seguimiento a cada uno de los estudiantes para observar el avance obtenido en la construcción de los conceptos y por otro lado, comparar las respuestas entre

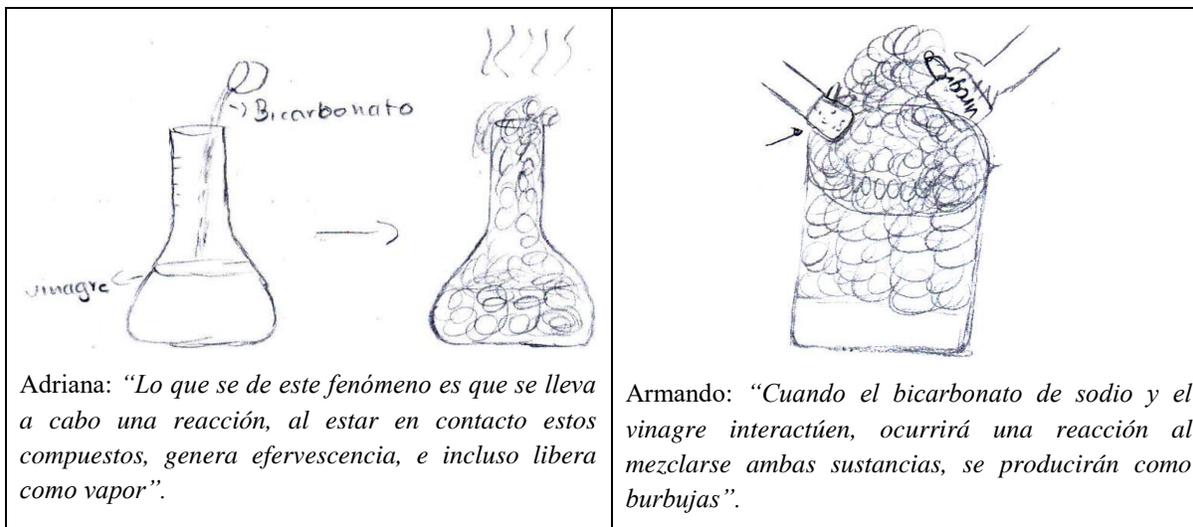
los equipos, con el fin de identificar las diferencias en las metodologías seguidas para resolver los problemas.

### Actividad 1

En la primera parte de esta actividad, los alumnos debían formular hipótesis sobre lo que pasaría al mezclar bicarbonato de sodio con vinagre. Se les pidió que describieran y dibujaran lo que ocurriría con las partículas que forman a estos materiales y que explicaran todo lo que sabían de este fenómeno. Esta tarea debían hacerla primero en forma individual (figura 17) y posteriormente en equipos de cuatro alumnos (cuadro 1), sin haber realizado la experimentación.

**Figura 17:** Explicaciones de los estudiantes (se transcribieron los textos para facilitar su lectura).

 <p>Adela: "Se verá como una reacción donde el bicarbonato y el vinagre, forman burbujas y explotan. Las partículas chocarán".</p>	 <p>Adolfo: "Al haber contacto entre ambos materiales se desatará una reacción de espuma blanca que sobresaldrá del instrumento (matraz)".</p>
 <p>Ana: "Al hacer efervescencia, desprende siempre gases la sustancia".</p>	 <p>Antonio: "El bicarbonato hará reacción con el vinagre, ya que es un ácido y genera efervescencia. Las moléculas reaccionarán".</p>



Como puede observarse, cinco de los seis estudiantes indican que se efectuará una reacción, pero no manifiestan con claridad el concepto de reacción química, pues a pesar de que mencionan que se producirá efervescencia, ninguno de ellos indica que es debido a la formación de nuevas sustancias.

Tampoco hacen uso del modelo corpuscular de la materia para formular sus explicaciones sobre la reacción química que están realizando. Las esferas que se observan en los dibujos, son las burbujas que produce la efervescencia cuando reacciona el bicarbonato de sodio con el vinagre. Sólo Adela menciona que las partículas chocan, pero no explicita la formación de nuevos enlaces o sustancias.

Posteriormente, se pidió que respondieran las mismas preguntas, pero ahora en equipos de cuatro integrantes. Las respuestas se presentan en el **cuadro 1**.

*Cuadro 1: Respuestas de los equipos.*

Equipo A: “Se verá una solución burbujeante color blanca y después de la efervescencia, transparente. Interaccionarán ambas partículas de los minerales haciendo unas pequeñas explosiones (burbujas)”.

Equipo B: “El bicarbonato de sodio y el vinagre reaccionan haciendo efervescencia y provocando “burbujeo”. Cambia de estado líquido (vinagre) y sólido (bicarbonato de sodio) a gaseoso, combinando así sus partículas”.

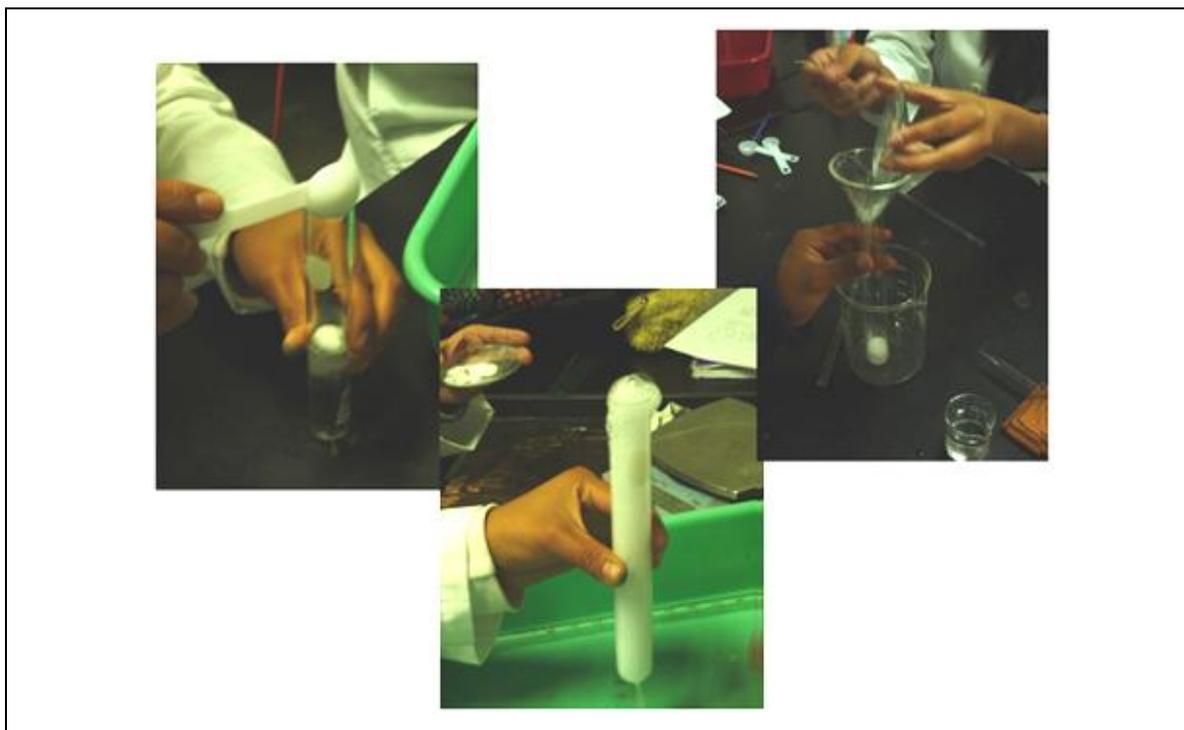
Se observa que ahora sí se especifica que se produce una nueva sustancia en estado gaseoso, sin embargo, el equipo B sigue sin manifestar con claridad el concepto de cambio químico, pues lo describen como una mezcla de un sólido y un líquido, que cuando se agrega el sólido (bicarbonato de sodio) al líquido (vinagre), el sólido se transforma en un gas.

En la descripción del equipo A se mencionan explosiones, pero no dicen si se refiere a que las partículas explotan al chocar, o bien, que las burbujas generadas en la reacción son las que explotan. Si fuese el primer caso, querría decir que aún no comprenden el modelo corpuscular de la materia y cómo se forman nuevos compuestos, esto se tendrá que analizar con las respuestas de las siguientes actividades.

La segunda parte de esta actividad es experimental por equipos. A cada equipo se le dio una bolsita con bicarbonato y un matraz Erlenmeyer con cierta cantidad de vinagre; distinta para cada equipo. Se les pidió a los alumnos que diseñaran una metodología experimental con la cual pudieran identificar la cantidad de bicarbonato necesaria para que reaccionara todo el vinagre.

Antes de efectuar el experimento (figura 18), los alumnos presentaron y discutieron con el profesor la pertinencia de su propuesta experimental.

*Figura 18: Algunas fotografías de los estudiantes realizando la primera actividad.*



Una vez realizado el experimento, los estudiantes contrastaron sus observaciones con sus predicciones y explicaron su metodología experimental (cuadro 2).

**Cuadro 2:** Explicaciones de los equipos para desarrollar cómo y cuánto agregarán de bicarbonato de sodio a un volumen de vinagre conocido.

<p>¿Al realizar el experimento, ocurrió exactamente lo que habían predicho? ¿Por qué?</p> <p>Equipo A: “Si, reaccionaron y sacaron burbujas”</p> <p>Equipo B: “Si, porque es algo que ya habíamos realizado, por lo que sabíamos el resultado”. (pasar a figura 18)</p>
<p>¿Qué cantidad de vinagre agregarán a su recipiente?</p> <p>Equipo A: “4.5 ml de vinagre, o sea, necesitamos 0.45 g de bicarbonato de sodio”.</p> <p>Equipo B: “8.0 ml”.</p>
<p>¿Qué harán para saber cuánto bicarbonato hay que agregar hasta la desaparición de las burbujas?</p> <p>Equipo A: “Dependiendo de cuánto vinagre, se va agregando el bicarbonato de sodio”.</p> <p>Equipo B: “Hay que agregar 0.2 g”.</p>
<p>¿Qué procedimiento realizarán para añadir el bicarbonato a la cantidad de vinagre que midieron? Describan todos los materiales que utilizarán y cómo realizarán cada paso:</p> <p>Equipo A:</p> <p>“Mediremos el vinagre con la probeta, después la pasaremos por la pipeta para tener un volumen exacto, para pasarla después al vaso de precipitados o tubo de ensayo, dependiendo la cantidad, con ayuda del embudo.</p> <p>Para agregar el bicarbonato, primero lo pesaremos en la balanza digital, agregándolo con ayuda de la espátula, antes de pesarlo, pesamos el vidrio de reloj.</p> <p>Después de pesar el vidrio de reloj y ya haber pesado el bicarbonato, se pasa el bicarbonato al vidrio de reloj”</p> <p>Equipo B:</p>

En relación con las cantidades de bicarbonato de sodio que hay que agregar, no se les solicitó que hicieran cálculos, sólo que mencionaran cómo determinarían esa cantidad experimentalmente. El equipo A escribió el desarrollo que seguirían y el B decidió dibujarlo.

El equipo A menciona que agregarán el bicarbonato poco a poco, pero no explicitan cómo conocerán la masa necesaria. El equipo B, por su parte, especifica que la conocerán haciendo la diferencia entre la masa inicial (5.6 g) y la final, después de agregar cierta cantidad al vinagre, de esta forma calculan que necesitarán 0.2 g de bicarbonato.

### Actividad 2:

Esta actividad es experimental y se realizó por equipos. Primero se le solicitó a cada grupo que predijeran que pasaría al agregar la misma masa de bicarbonato de sodio a distintos volúmenes de vinagre contenidos en un recipiente cerrado herméticamente por un condón (figura 17).

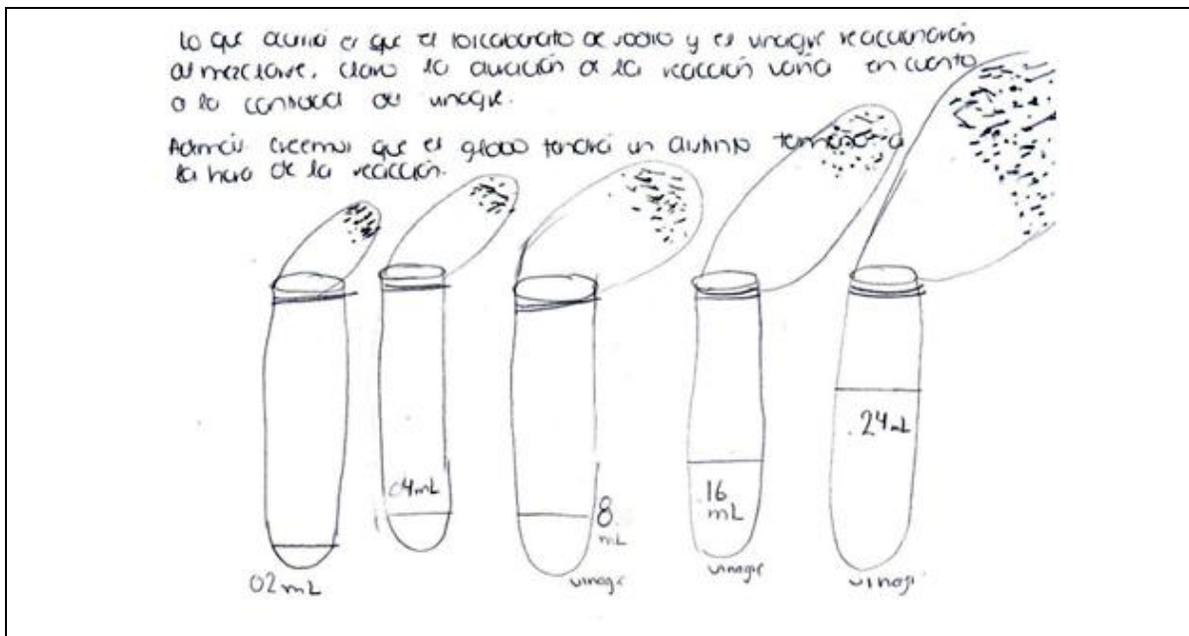
**Figura 17:** Predicción de los estudiantes al mencionarles que se agregará la misma masa de bicarbonato de sodio a distintos volúmenes de vinagre.

Equipo A:

Creemos que lo que ocurrirá con las partículas es que reaccionaron y a la reaccionar saltaran o liberaran como aire para que este infle los condones.

En el primero solo se levantaba muy poco. En el segundo se infla un poco más que en el primero. En este creemos que se infla por completo o más. En el tercero creemos que para lo mismo que en el segundo. Y en este creemos que se repetirá lo mismo que en el segundo pero no se infla tanto.

Equipo B:



El equipo A sugiere que se llevará a cabo una reacción química y se producirá un gas “como aire”, lo cual indica que desconocen el producto de la reacción química a pesar de ser un experimento que previamente conocían. Aunque proponen que se generarán diferentes volúmenes del gas producido, no mencionan en qué se están basando para esa predicción, llama la atención que indican un máximo con el sistema que tiene un volumen intermedio, sugiriendo que al aumentar el volumen de vinagre añadido después de ese punto permitiera la menor generación de gas.

Por otro lado, el equipo B plantea que el volumen de gas producido aumenta conforme se agrega más vinagre, sin mencionar si habrá un límite de producción de gas. También es notable en el dibujo la idea de que el gas producido no se difunde uniformemente en todo el globo, sino que parece acumularse en la punta de éste, jalando el globo hacia arriba. A su vez, denota el desconocimiento del gas producido, pues el dióxido de carbono es más denso que el aire, lo cual evitaría que el globo se elevara.

En esta actividad los alumnos sugirieron utilizar condones en vez de globos, se les permitió esa modificación al experimento, lo cual los motivó en la realización de las actividades (figura 18).

**Figura 18:** Algunas fotografías de los estudiantes realizando la segunda actividad.



Después de la predicción, los estudiantes propusieron la forma en que medirían el gas producido por la reacción química (**figura 19**).

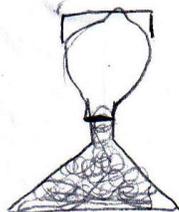
**Figura 19:** Propuestas para medir el volumen de gas producido por la reacción química del vinagre con el bicarbonato de sodio.

Equipo A:

- Vamos a medir el gas con el calibrador Vernier.
- 1: Vamos utilizar la espátula para echar el bicarbonato en el vidrio de reloj y poder pesar el bicarbonato en la vascula digital
  - 2: Con la misma espátula le agregaremos el bicarbonato que hemos pesado al condón
  - 3: Colocaremos el condón en la boquilla del tubo de ensayo y lo amarraremos muy bien con la liga. Lo voltearemos y veremos cuando infla, y cuando infla por completo mediremos la inflación del condón con el calibrador de Vernier.
  - 4: Con los residuos experimentaremos.

Equipo B:

Con la ayuda del vernier mediremos el diámetro del condón y calcularemos su volumen.



Para la medición del volumen, los equipos sugirieron que se utilizara un calibrador Vernier para medir el diámetro de los condones y a partir de ahí realizar los cálculos pertinentes para determinar el volumen de gas contenido, para ello consideraron que eran cilindros llenos de gas. En el equipo A, además describen paso a paso cómo realizarán la reacción química en este sistema cerrado e indican que al final “experimentarán con los residuos”, al preguntarles a qué se referían, mencionaron que no querían dejar vinagre sin reaccionar y desecharlo en la tarja.

Después de que realizaron la prueba experimental se les solicitó a los equipos que explicaran qué sucedió y si coincidía con lo que habían predicho (**figura 20**).

*Figura 20: Respuestas de los equipos al preguntarles si lo que había sucedido en el experimento coincidía con su predicción.*

Equipo A:

No, porque habíamos predicho que el primero y segundo no iban a inflarse mucho y el 3 no se infló mucho pero hasta el cuarto donde se infla más, por que el quinto tampoco infló mucho.

Equipo B:

Sí, porque al terminar observamos que el de mayor mililitros de vinagre se infló más y iba disminuyendo conforme el vinagre disminuía.

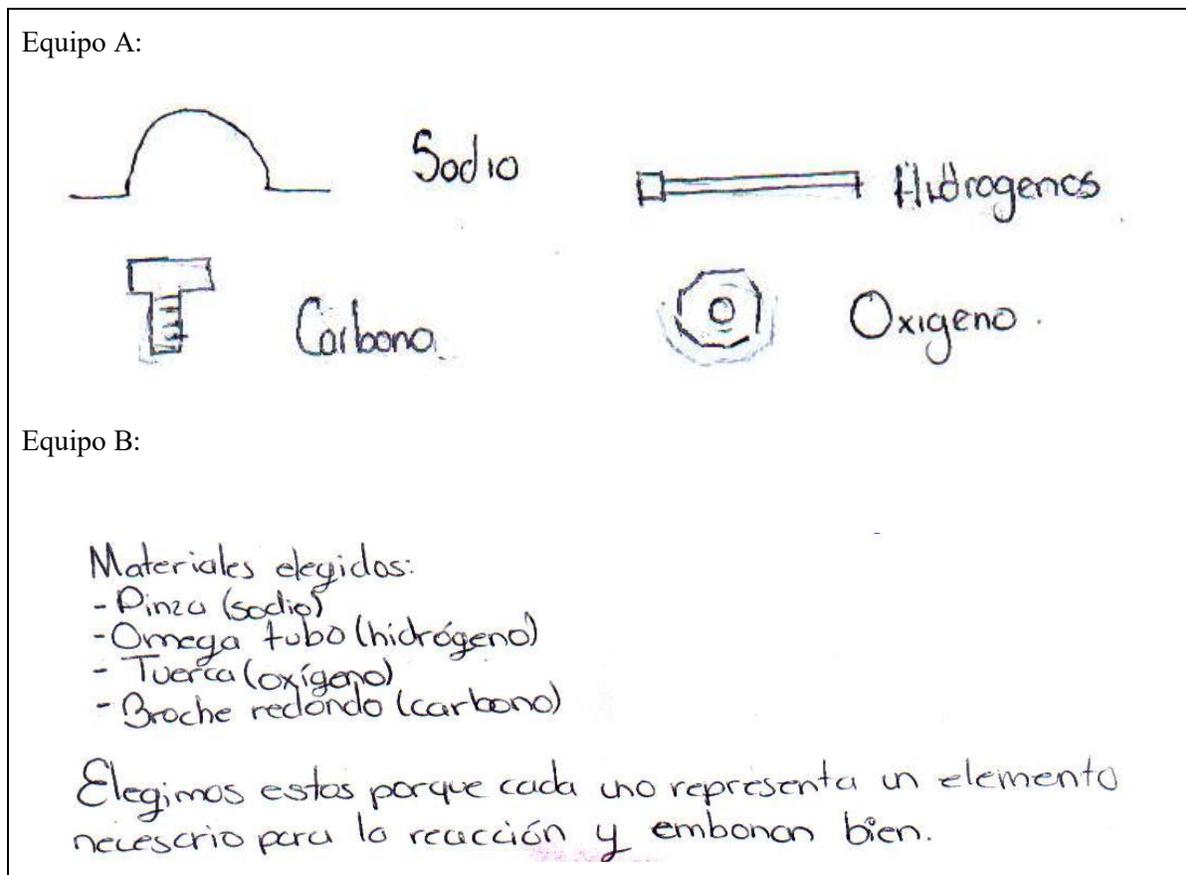
En la respuesta del equipo A, confirmaron que su predicción no fue la más adecuada, sin embargo, los resultados parecen indicar algún error experimental porque se esperaría que aquellos sistemas con mayor volumen de vinagre generaran más gas hasta llegar al límite de producción provocado por la masa de bicarbonato de sodio agregado. La respuesta del equipo B indica que su predicción fue acertada en relación a que mientras mayor volumen de vinagre hay, se genera más gas, indicador de que no llegaron a detectar el reactivo limitante.

### Actividad 3:

En esta actividad se recurrió al uso de material didáctico y cada equipo de estudiantes modeló la reacción química utilizando los materiales proporcionados, que se mencionaron en la sección 7.1.2.

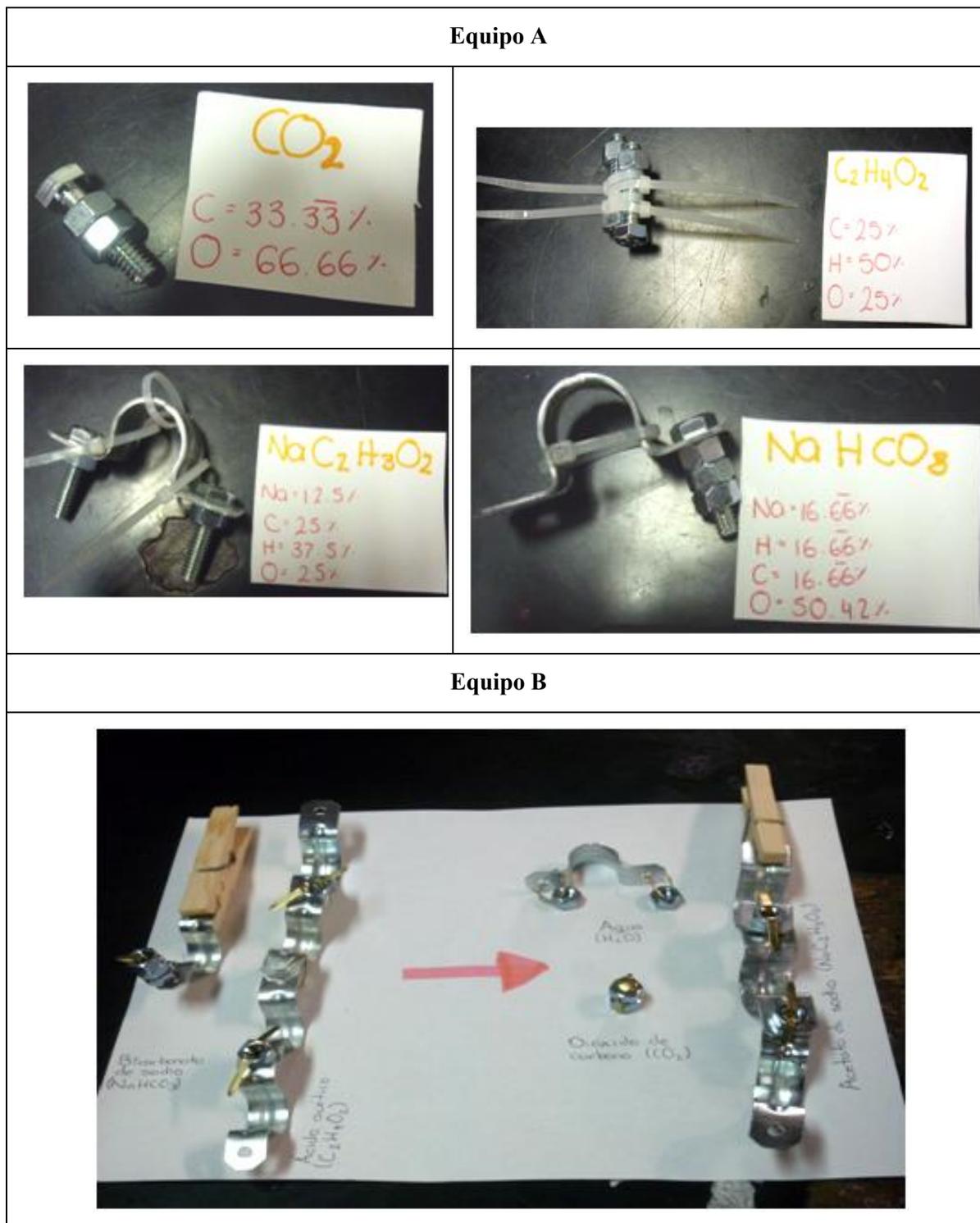
Primero se les solicitó que caracterizaran los materiales, que consideraran necesarios para modelar la reacción química del bicarbonato de sodio con el ácido acético (**figura 21**).

**Figura 21:** Caracterización de los materiales elegidos por los estudiantes para modelar la reacción química del bicarbonato de sodio con el ácido acético.



Se les sugirió a los estudiantes construir los ensambles que representaban a los reactivos y luego desarmarlos para montar los modelos materiales de los productos. También se les preguntó cómo calcularían el porcentaje que había de cada elemento utilizando el modelo que ensamblaron. Cada equipo eligió los materiales que quiso y hubo distintas maneras de representar al mismo compuesto (**figura 22**).

**Figura 22:** Ensamblados modelados por los estudiantes para representar productos y reactivos de la reacción química del bicarbonato de sodio con el ácido acético.



El equipo A eligió el siguiente código de objetos para representar la reacción química del bicarbonato de sodio con el ácido acético: tubo omega-sodio, tornillo-carbono, tuerca-oxígeno y cincho-hidrógeno. Se observa que la proporción de elementos en su ensamble coincide con los átomos que debe tener cada molécula de los compuestos involucrados en la reacción química.

Este equipo sólo muestra los resultados, el cálculo de los elementos en el dióxido de carbono lo multiplicaron por 10 en vez de 100, parece ser un error de dedo porque el resto de los resultados son correctos.

En el caso del equipo B, no dan los resultados, sin embargo, explican cómo determinar el porcentaje de las partes de cada ensamble. Su código de objetos fue distinto: pinza-sodio, broche redondo-carbono, tuerca-oxígeno y tubo omega-hidrógeno. En la fotografía se observa que construyeron adecuadamente el bicarbonato de sodio, el ácido acético y el acetato de sodio, sin embargo el modelo del agua es inadecuado pues confunden los hidrógenos con el oxígeno además de usar un material extra que no estaba considerado en la propuesta inicial del equipo.

**Figura 23:** Determinación de porcentaje de los elementos químicos en cada compuesto, utilizando los ensambles que sirvieron para modelar la reacción química.

Equipo A:



De

- 1: Bicarbonato de sodio  $\text{NaHCO}_3$  100 = 6
- 2: Acido Acetico  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
- 3: Dioxido de carbono  $\text{CO}_2$  C = 3.333% O<sub>2</sub> = 6.666%
- 4: Acetato de Sodio  $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$
- 5: Agua  $\text{H}_2\text{O}$  H<sub>2</sub> = 66.6% O = 33.3%

1- Na = 16.6%	C = 16.6%
H = 16.6%	O <sub>3</sub> = 50%
2- C <sub>2</sub> = 25%	O <sub>2</sub> = 25%
H <sub>4</sub> = 50%	

Equipo B:

Ejemplo: En un ensamble tengo un tubo de omega con 2 broches redondos y una tuerca, es decir estoy usando 3 materiales de los 12 que tengo, por lo que:

$$12 - 100\%$$

$$3 - \underline{25\%} //$$

← Es el porcentaje de tipos de materiales que estoy usando

Estos equipos realizaron los ensambles adecuadamente, es decir, utilizando el código que eligieron, sin embargo, cabe mencionar que no sucedió así en todos los equipos de estudiantes, sólo el 67% del grupo modeló respetando el código elegido, el resto de los equipos usaban piezas al azar, sin relacionar productos con reactivos, por ejemplo, en los productos pudieron haber simbolizado el hidrógeno con una rondana y en los reactivos aparecía como un tornillo.

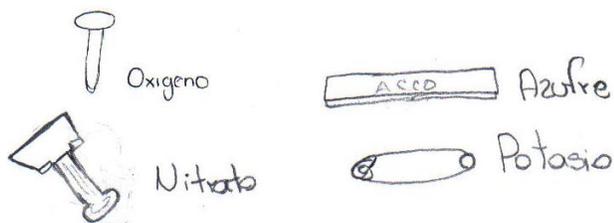
Sin embargo, aunque algunos equipos no respetaban el código elegido, si mantenían el número de átomos iguales en cada compuesto, es decir, representaban la conservación de la materia en la reacción química.

También, es necesario mencionar que todos los equipos tenían el mismo número de objetos a elegir, diez de cada pieza exceptuando los guarda documentos, pinzas y tubos omega de los cuales sólo tenían cinco de cada uno.

Finalmente, se describió la reacción química del nitrato de potasio con el azufre para producir dióxido de azufre, monóxido de potasio y óxido nítrico, y se solicitó que la modelaran y balancearan utilizando los mismos objetos de la actividad pasada (**figura 24**).

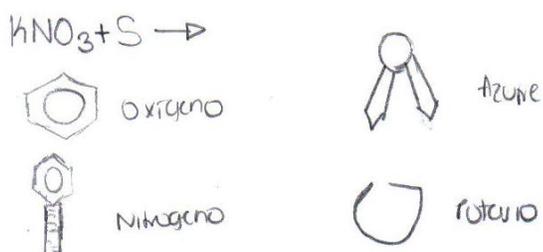
**Figura 24:** Resolución del balanceo de una ecuación química utilizando los modelos armados con objetos de uso cotidiano.

Equipo A:



Primero tendríamos que ver cuántos elementos hay en cada lado y conforme estos hacer un balance por tanteo, pero a este se le agregaron los modelos que hemos hecho hasta que logremos el balance de ambos lados

Equipo B:



Lo que hicimos para elegir la materia es que cada uno representó un elemento y pudieran unirse o empujarse entre sí.

Usando el mismo material para cada lado.

Para balancear contamos las piezas que pusimos en cada compuesto e intentamos tener el mismo número en la reacción y en el producto sin deshacer los ensambles.

A pesar de haber construido sus modelos, el equipo A prefirió primero hacer el balanceo de la ecuación química por el método de tanteo y luego usar los ensambles que habían armado. En cambio el equipo B menciona que hará el balanceo de la ecuación química aprovechando sus ensambles hasta que haya las mismas piezas de ambos lados sin desarmarlos.

### Sobre las habilidades de pensamiento científico.

En relación con las habilidades de pensamiento científico que se busca propiciar en los estudiantes al diseñar estas actividades, se pueden mencionar las siguientes:

- Observación: se favoreció al solicitarles a los estudiantes que pusieran atención durante la realización de las pruebas experimentales.
- Formulación de hipótesis: antes de cada actividad, se les solicitó que predijeran lo que pasaría.
- Descripción: se les solicitó que describieran sobre lo que había pasado y si coincidía con lo que esperaban que sucediera.
- Interpretación: al cuestionarles sobre lo que había pasado, se ayudó a que desarrollaran una interpretación de los resultados observados.
- Construcción de explicaciones: fue necesario que explicaran las diferencias entre su predicción y lo que había sucedido.
- Uso de representaciones en la explicación de fenómenos: esta habilidad de pensamiento se favoreció principalmente en la tercera actividad, en donde utilizaron objetos de uso cotidiano como modelos para representar la reacción química observada.
- Elaboración de conclusiones: después de sus explicaciones con base en las actividades realizadas, se les incitó a que arribaran a conclusiones durante la resolución del cuestionario final.

### Cuestionario final:

Se realizó una encuesta al final de la propuesta didáctica, para saber a qué conclusiones llegaron los alumnos. Las respuestas a cada una de las preguntas de la encuesta, se presentan en los siguientes cuadros. Nuevamente se eligieron las de los alumnos seleccionados para el análisis de los resultados de las actividades.

En la primera pregunta, se les solicitó que narraran cómo determinarían experimentalmente la proporción que hay entre reactivos y productos en una reacción química (**cuadro 3**).

*Cuadro 3: Respuestas de los estudiantes acerca de ¿cómo determinarían experimentalmente las proporciones entre reactivos y productos? Se transcribieron los textos para facilitar su lectura.*

Adela: <i>“Midiendo el resultado final de cuánto agregué de las sustancias”</i>	Adolfo: <i>“Dependiendo del material usado se busca la fórmula y se realiza la división”</i>
--	---

Ana: <i>“Midiendo los productos químicos”</i>	Antonio: <i>“De forma experimental podemos utilizar la observación, dándonos así una idea de cuáles son los reactivos y cuáles los productos, de manera que podemos balancear las proporciones de cada elemento”</i>
Adriana: <i>“Llevando a cabo el balanceo de las reacciones químicas”</i>	Armando: <i>“Contando la cantidad de material que se ha utilizado para cada parte, además haciendo uso de cálculos para sacar la proporción”</i>

Adela y Ana explican que para poder hacer una determinación experimental es necesario saber cuánto hay de las sustancias a utilizar, pues proponen que se tenga que medir. Adriana y Antonio proponen que para poder determinar las proporciones entre reactivos y productos se necesita balancear la ecuación química. A su vez, Armando y Adolfo proponen realizar cálculos.

La segunda pregunta les cuestiona sobre ¿cómo podrían saber la proporción de reactivos y productos en una ecuación química? (**cuadro 4**).

**Cuadro 4:** Respuestas de los estudiantes acerca de ¿cómo sabrían la proporción de reactivos y productos en una ecuación química? Se transcribieron los textos para facilitar su lectura.

Adela: <i>“De los reactivos y productos calcularía cada aspecto, después balancearía de ambos lados”</i>	Adolfo: <i>“Se buscan sus fórmulas y se realiza una operación para la búsqueda de cada elemento”</i>
Ana: <i>“Balanceando la ecuación y sabría cuántas moléculas necesitaría de cada lado”</i>	Antonio: <i>“Que los reactivos y los productos fueran equivalentes para obtener las mismas cantidades tanto de uno como del otro”</i>
Adriana: <i>“Dependiendo de los coeficientes que tenga cada reactivo y producto”</i>	Armando: <i>“Sacando el 100% y contando la cantidad de material que se está utilizando”</i>

Adela y Ana mencionan que para saber la proporción adecuada entre reactivos y productos es necesario balancear la ecuación química, a su vez, Adriana destaca la importancia de conocer los coeficientes lo que implica que la ecuación debe estar balanceada. Adolfo indica la realización de operaciones, aunque no dice cuál será el resultado o cómo se harán esos cálculos. Antonio sugiere que la única manera en que se puede conocer la proporción

entre reactivos y productos en una ecuación química, es que las cantidades sean iguales, desafortunadamente no indica si se refiere a masa o cantidad de sustancia. Los únicos ejemplos en donde se puede comprobar esta afirmación es en las relaciones molares de las reacciones cuya proporción estequiométrica es 1:1.

Por otro lado, Armando propone contar, esto podría ser consecuencia del material didáctico utilizado para determinar el porcentaje de elementos que puede tener un compuesto, pero no responde la pregunta planteada. Ana relaciona los coeficientes estequiométricos con número de moléculas, pero como no es posible contar moléculas, falta la relación con la masa para resolver el problema.

La tercera pregunta hace referencia a ¿cómo sabrían empíricamente cuánto de producto obtendrían en una reacción química, si supieran cuánto hay de cada reactivo? (**cuadro 5**).

**Cuadro 5:** Respuestas de los estudiantes acerca de ¿cómo sabrían cuánto producto obtendrían en una reacción química si supieran cuánto hay de cada reactivo? Se transcribieron los textos para facilitar su lectura.

Adela: <i>“De cada reactivo, viendo su peso, masa y volumen. Al introducirlos al final vería su proporción”</i>	Adolfo: <i>“Se realiza un balance con cada reactivo”</i>
Ana: <i>“Sumando todos los reactivos, así sabría cómo cuánto produce o cuánto se desecha”</i>	Antonio: <i>“Si tengo el conocimiento de cuánto vale una sustancia podría saber cuánto tengo de reactivo”</i>
Adriana: <i>“Observando la cantidad de átomos en los reactivos, ya que sabemos que se conserva la cantidad de éstos, sólo se mezclan o reaccionan con otros elementos”</i>	Armando: <i>“Lo haría creando compuestos y elaborando la reacción paso a paso”</i>

Adela propone medir la masa de los reactivos y hacerlos reaccionar para que se obtengan productos, posteriormente indica que con los productos obtenidos se podrá saber la proporción entre las sustancias reaccionantes.

Adriana menciona que sabiendo el número de átomos, se podría saber cuánto de producto se obtiene, ya que enuncia en su razonamiento la ley de la conservación de la masa en una reacción química. Aunque no es factible contar los átomos, su reflexión se acerca más a una respuesta correcta, sólo habría que añadir el concepto de cantidad de sustancia.

Las respuestas de Ana, Adolfo, Antonio y Armando no son lo suficientemente explicativas para interpretar lo que quisieron decir, aunque parece que hacen referencia a determinar

masa (Ana), balancear (Adolfo), calcular la masa molar de las sustancias (Antonio) y hacer una prueba experimental (Armando).

En la pregunta seis se les plantea a los estudiantes ¿cómo podrían saber cuánto se produce si conocieran las cantidades iniciales de reactivos, así como la ecuación química de la reacción? (**cuadro 6**).

**Cuadro 6:** *Respuestas de los estudiantes acerca de ¿cómo sabrían cuánto producto obtendrían en una reacción química si supieran cuánto hay de cada reactivo y conocieran la ecuación química? Se transcribieron los textos para facilitar su lectura.*

Adela: <i>“Haciendo los cálculos, balancearía ya sabiendo su ecuación”</i>	Adolfo: <i>“Saber qué cantidad de cada elemento tiene cada compuesto para después ser igualado”</i>
Ana: <i>“Lo sabría observando cuánto necesito y cuánto deseo conseguir”</i>	Antonio: <i>“Utilizando las fórmulas que nos han explicado en clase podría utilizar alguna que me dé el número de reactivos que tengo en una reacción con el balance”</i>
Adriana: <i>“Llevando a cabo el balanceo”</i>	Armando: <i>“Sólo es cuestión de sacar lo que hay en cada compuesto de esa reacción química”</i>

Como se observa, Adriana, Antonio y Adela mencionan que es necesario balancear la ecuación química para poder saber qué cantidad de productos obtendrán, sin embargo no mencionan la necesidad de conocer la proporción estequiométrica reactivo/productos y así resolver el problema planteado. A su vez, Adela propone que se realicen cálculos, pero no dice qué tipo de cálculos se deben de realizar para poder obtener el resultado.

Adolfo propone conocer la cantidad de elementos en cada compuesto, lo que está lejos de la respuesta correcta. Armando menciona que con saber cuánto hay de cada compuesto en la reacción química se podría responder la pregunta, sin embargo no especifica cómo saber cuánto hay.

Para finalizar, se les preguntó ¿cómo sabrían qué porcentaje hay de cada elemento en un compuesto si conocieran su fórmula química? (**cuadro 7**).

**Cuadro 7:** Respuestas de los estudiantes sobre ¿cómo determinarían el porcentaje de cada elemento en los compuestos si conocieran su fórmula química? Se transcribieron los textos para facilitar su lectura.

<p>Adela:</p> <p><i>“Al conocer la fórmula, cada uno de los elementos se multiplica por un tanto por ciento”</i></p>	<p>Adolfo:</p> <p><i>“El total de la fórmula es el 100%, entonces sólo se divide con la cantidad que ocupa cada elemento”</i></p>
<p>Ana:</p> <p><i>“Por la nomenclatura, así sabría cómo”</i></p>	<p>Antonio:</p> <p><i>“Observando cuántos compuestos y componentes existen, determinar el 100% y darle a cada cantidad un tanto por ciento, determinando cuál tiene el mayor número de elementos”</i></p>
<p>Adriana:</p> <p><i>“Calcular la masa de todo el compuesto, y sacar el tanto por ciento de cada elemento utilizando regla de tres”</i></p>	<p>Armando:</p> <p><i>“Sólo es cuestión de sacar lo que hay en cada compuesto de esa reacción química”</i></p>

Antonio, Adela y Adolfo establecen que el total de la masa, o bien, del número de elementos en cada compuesto (fórmula química) es el 100% y de ahí determinan qué tanto hay de cada elemento en un compuesto.

Armando nuevamente repite la respuesta del inciso anterior, lo que refleja falta de entendimiento, ya sea de lo que se debe realizar o de lo que se le está preguntando.

Ana propone que se requiere saber la fórmula química para poder hacerlo, pero no explica cómo realizar el cálculo.

Por último, Adriana es quien provee de la respuesta más acertada, pues propone que determinando la masa y sabiendo los elementos que hay en la sustancia que se está analizando, se puede realizar la determinación del porcentaje.

## 9.- Conclusiones:

### 9.1.- Sobre el diseño de la propuesta

Como docente en México, siempre es necesario tomar en cuenta los currículos que propone la Secretaría de Educación Pública (SEP), o en su caso, los que proponen las instituciones que se encargan de enseñar en este nivel educativo. Conocer la forma de organización, así como la bibliografía recomendada, no sólo es una guía para el diseño de propuestas didácticas, sino también para identificar los conceptos que las Instituciones consideran importantes de impartir en las aulas de bachillerato del país.

Los libros de texto recomendados por los currículos escolares, orientan sobre la forma de enseñar los conceptos, además también focalizan las ideas a considerar durante la enseñanza de un tema específico.

Además, el análisis de la demanda de aprendizaje es una propuesta de investigadores educativos como Leach y Scott (2002) o Viiri y Savinainen (2008), que permite la identificación de los retos de aprendizaje en el dominio de un tema. De la misma manera, el análisis para entender qué es estequiometría, es una propuesta de la investigación educativa, que permite que se reconozcan las dificultades de enseñanza y de aprendizaje del tema.

También, es indudable que si tratamos con personas, se requiere tomar en cuenta las consideraciones éticas, pues al final es una de las características que nos identifica como seres humanos: el respeto entre todos.

La propuesta didáctica contextualizada desde una situación problemática ayudó a que los estudiantes se interesaran en la realización de la tarea, pues se consideró una situación cercana y real. También, la utilización de personajes populares conocidos, así como el uso de memes, aumentó el interés y compromiso de los alumnos hacia la realización de las actividades, ya que se mostraban más participativos y atentos a las instrucciones.

La utilización de material de uso cotidiano les pareció a los estudiantes algo innovador en comparación con la recurrida metodología expositiva que se realiza comúnmente en las aulas del sistema educativo mexicano, gracias a ello mostraron un mayor interés por el aprendizaje de la estequiometría.

Considerar las habilidades de pensamiento científico durante la realización de las actividades, permite que el docente haga explícitas lo que busca desarrollar en sus alumnos, para que posean las herramientas necesarias cuando se enfrenten al concepto de estequiometría la identificación por parte del profesor permite guiar a los estudiantes en la construcción del concepto.

Si bien, las condiciones de trabajo no fueron las más adecuadas, debido a situaciones fuera de nuestro control, tal como movimientos estudiantiles en relación con la desaparición de normalistas de Ayotzinapa y las festividades tradicionales del mes de noviembre en México, lo que provocó la ausencia de alumnos en las sesiones y distracción de éstos, por lo que sucedía alrededor, considero que el tiempo utilizado fue de provecho para lograr desarrollar una la secuencia de enseñanza y aprendizaje con actividades diversas que permitan construir el concepto de estequiometría.

## **9.2.- En relación con las actividades realizadas.**

La propuesta de realizar las actividades por equipo fue ideada a partir de la postura pedagógica que respalda este trabajo, pues en el constructivismo social se destaca la interacción comunicativa entre los individuos como una forma de propiciar el aprendizaje de conceptos.

Solicitarles a los alumnos que realizarán representaciones (dibujos) de lo hecho en las actividades, no sólo propició el observar con detenimiento, sino le permitió al docente identificar algunas de las ideas que tienen los alumnos sobre el tema.

El uso de condones en la actividad 2, si bien fue motivador, considero que tuvo un efecto distractor en la realización de las actividades. El manejo de situaciones lúdicas tiene que ser tomado con precaución, pues aunque para algunos estudiantes es algo innovador e interesante, otros lo verán como un juego y no pondrán atención.

La reacción química escogida del bicarbonato de sodio con vinagre es un cambio químico conocido por los alumnos, ya que es un experimento recurrente en cursos anteriores. Sin embargo, en la actividad 2 se les pide medir el volumen de gas producido lo cual les resultó muy complicado. A su vez, la medición de la masa del sistema constituido por el matraz y el globo durante la reacción, se observa por efecto de flotación que pareciera que la masa cambiara, lo que puede derivar en un problema conceptual.

La utilización de objetos de uso cotidiano para modelar la reacción química, considero que es una manera de aminorar lo abstracto del concepto de estequiometría y llevarlo a algo más concreto.

Con las respuestas observadas en el cuestionario final (pág. 80) y su comparación con las ideas plasmadas antes de las actividades, se puede concluir que si hay una mayor comprensión de que entre reactivos debe haber cierta proporción para obtener una cantidad específica de productos, y que además la reacción química implicada se representa a través de una ecuación. Sin embargo, aún no se observa un avance en la construcción del modelo cinético corpuscular de la materia ni en la comprensión de los conceptos de cantidad de sustancia y reactivo limitante, lo cual es necesario para poder realizar una transposición didáctica adecuada con los modelos científicos actuales sobre la naturaleza de la materia.

### **9.3.- Nueva propuesta**

Debido a las dificultades experimentales identificadas con la reacción de bicarbonato de sodio y vinagre, se decidió rediseñar la propuesta y considerar una reacción química que no generara gases y fuera más sencillo el control de variables y la medición de las mismas, y que a su vez, el planteamiento del problema se contextualizara en una situación común a los estudiantes.

También se agregaron actividades ya que se consideró que las que estaban planteadas no eran suficientes para hacer el enlace entre el nivel macroscópico y el simbólico en el tema de estequiometría.

La nueva propuesta sugerida, se presenta en la siguiente tabla:

*Tabla 7: Segunda propuesta de secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre el concepto de estequiometría.*

Secuencia: “¿Qué le pasa a mi champú?”	Conceptos involucrados	Habilidades de pensamiento científico	Objetivos didácticos
<p><b>Actividad 1:</b> Determinar experimentalmente si una muestra de agua contiene <math>\text{CaCl}_2</math> agregando <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>.</p>	<p>Uso de proporciones de masa.</p>	<p>Describir. Observar. Interpretar.</p>	<p>Qué los estudiantes observen la relación de masas entre los reactivos.</p>
<p><b>Actividad 2:</b> Agregar el mismo volumen de una disolución acuosa de <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math> de concentración conocida a diferentes volúmenes de una disolución de <math>\text{CaCl}_2</math> (también de concentración conocida).</p>	<p>Reactivo limitante. Conservación de la masa.</p>	<p>Observar. Interpretar. Construir explicaciones.</p>	<p>Identificar la ley de conservación de la masa y construir el concepto de reactivo limitante.</p>
<p><b>Actividad 3:</b> Utilizando objetos de uso cotidiano determinar sus masas relativas.</p>	<p>Utilización de masas relativas.</p>	<p>Observar. Interpretar. Construir explicaciones.</p>	<p>Reconocer y definir el concepto de masa relativa.</p>
<p><b>Actividad 4:</b> Modelar la reacción química con objetos de uso común.</p>	<p>Ecuación química. Conservación de los átomos y la no conservación de las moléculas.</p>	<p>Utilizar modelos para explicar los fenómenos.</p>	<p>Reconocer la ecuación química como la representación del cambio químico. Identificar las representaciones de los alumnos sobre el cambio químico observado.</p>

<p><b>Actividad 5:</b></p> <p>Usar muestras constituidas por mezclas que tengan NaCl y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Tomar la misma masa de distintas mezclas y hacerlas reaccionar con el mismo volumen de una disolución de CaCl<sub>2</sub> de concentración conocida.</p>	<p>Rendimiento de reacciones químicas.</p>	<p>Observar. Describir. Construir explicaciones.</p>	<p>Reconocer que el rendimiento de una reacción química depende de qué tanto reactivo contiene los materiales que reaccionarán.</p>
<p><b>Actividad 6:</b></p> <p>Determinar la cantidad de sales de calcio de una muestra de agua dura de concentración desconocida.</p>	<p>Entendimiento sobre cómo obtener experimentalmente la cantidad de sustancia de las muestras problema en relación con los productos obtenidos y su respectiva ecuación química.</p>	<p>Construir explicaciones. Construir hipótesis. Reconocer y aplicar conceptos. Elaborar conclusiones.</p>	<p>Aplicación de los conceptos tratados en la secuencia de enseñanza y aprendizaje para resolver un problema real.</p>

De acuerdo con el resumen de la segunda propuesta que se observa en la **tabla 7**, el planteamiento sería el siguiente (**figura 25**):

## Actividad 1:

Figura 25: Contextualización y problema planteado en la segunda secuencia propuesta.



Después de la pregunta ¿por qué no hace espuma el champú de Justin?, por medio de una lluvia de ideas, se buscaría responder qué es lo que provocó que no saliera espuma del champú, hay dos posibles responsables: el agua o el champú.

Se les dirá a los estudiantes que se les proporcionará una muestra de agua del hotel en donde se hospedaron Taylor y Justin (se investigó en una revista de jóvenes cuáles eran los artistas populares del momento), así como el champú que usó Justin para lavarse el pelo. Con esta información, los alumnos deberán elaborar hipótesis sobre los motivos que provocaron la situación planteada.

Las muestras de agua que se les darán son: agua destilada y una disolución acuosa de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), cuya concentración sólo conocerá el profesor.

Antes de realizar la prueba experimental, se proyectará el mismo meme utilizado en la figura 12 para invitar a la reflexión sobre el desecho adecuado de los residuos que se generen durante la experimentación.

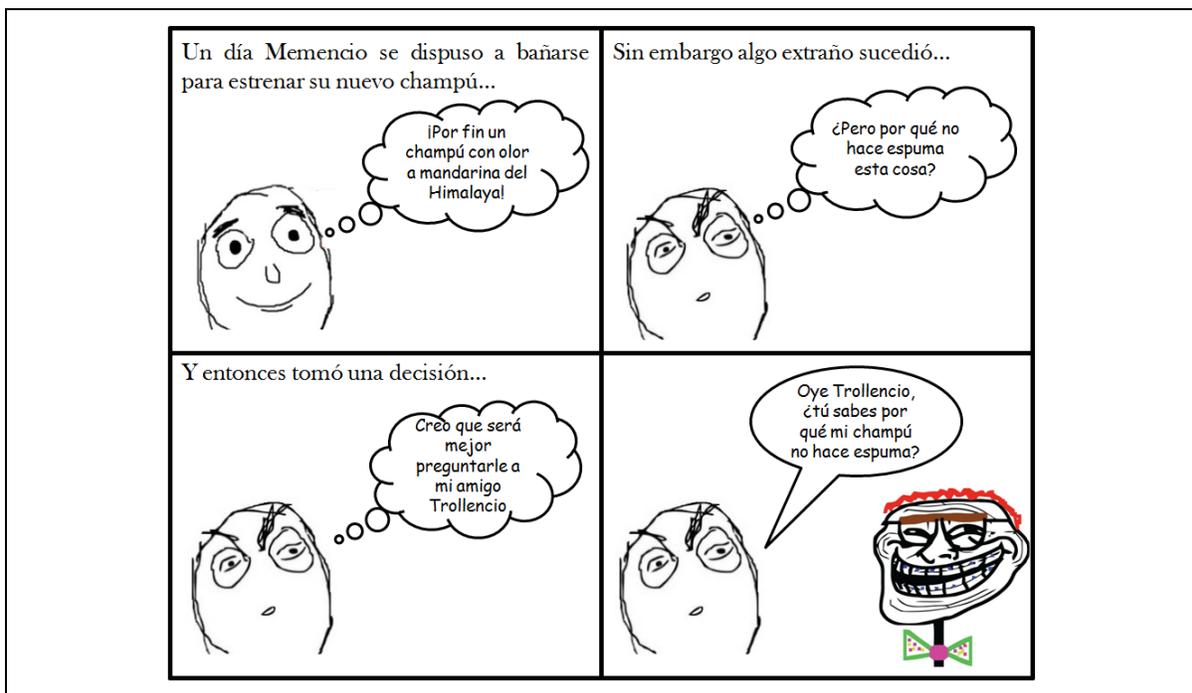
Ya que se les hayan realizado la prueba experimental para observar la diferencia al agregar champú a dos distintas muestras de agua, se les proporciona un par de pistas más (**figura 26**)

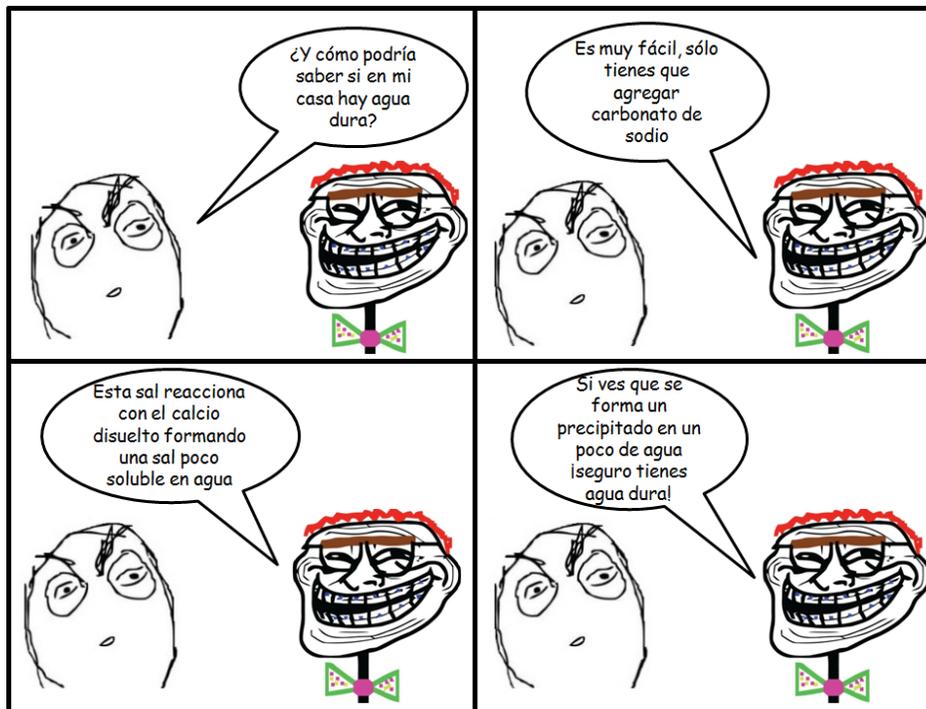
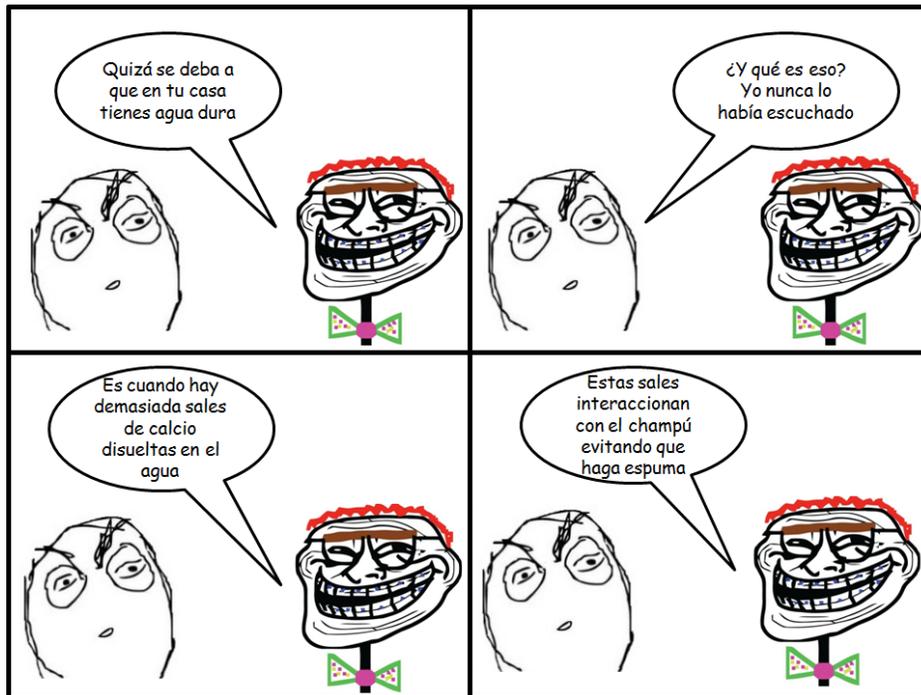
**Figura 26:** Pistas añadidas para complementar la información que poseen los estudiantes sobre por qué no hace espuma el champú.

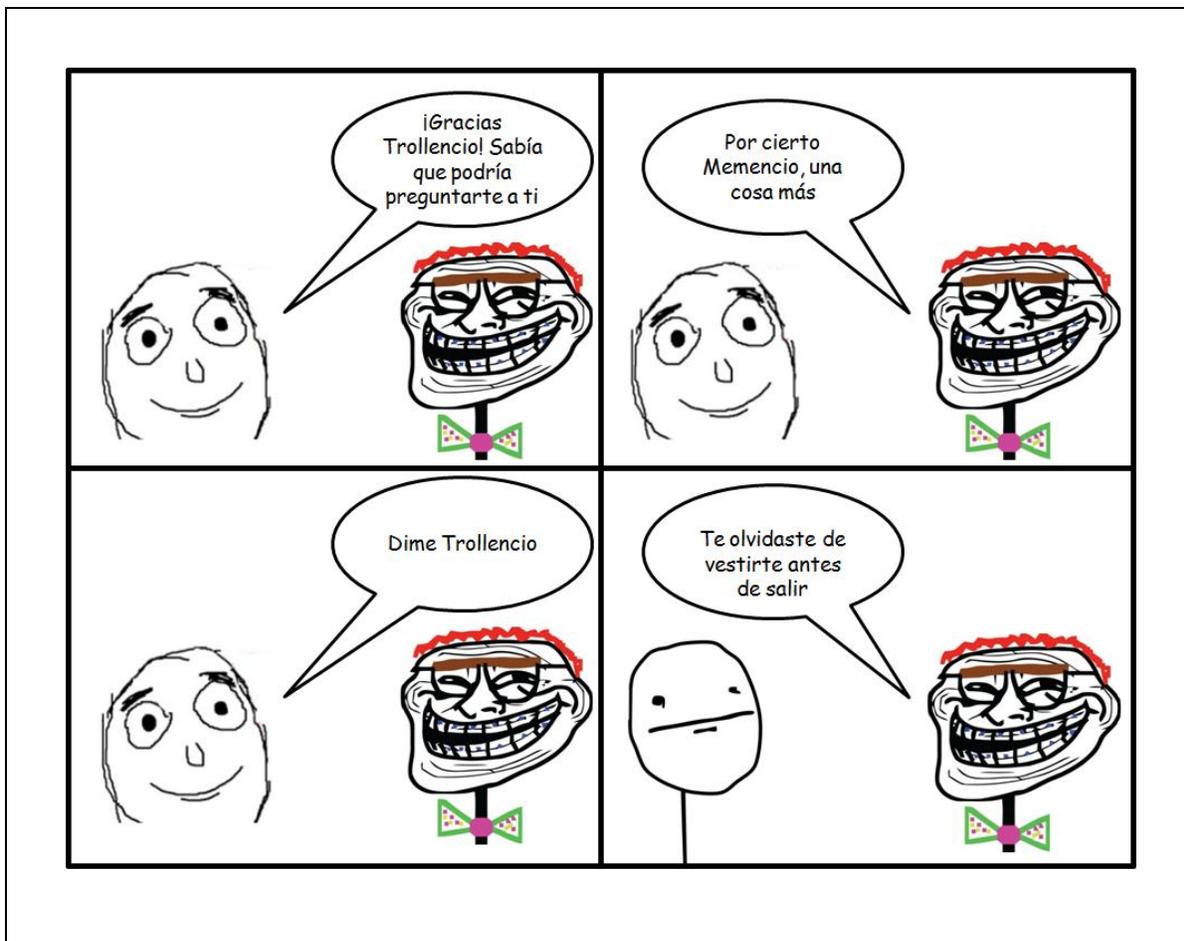


Esta información sugiere que la razón por la cual el champú no hace espuma es el agua, a continuación se les proporcionará a los estudiantes un cómic que informe sobre qué es el agua dura (**figura 27**).

**Figura 27:** Cómic que explica un poco sobre el agua dura. Los personajes son memes muy populares en internet.





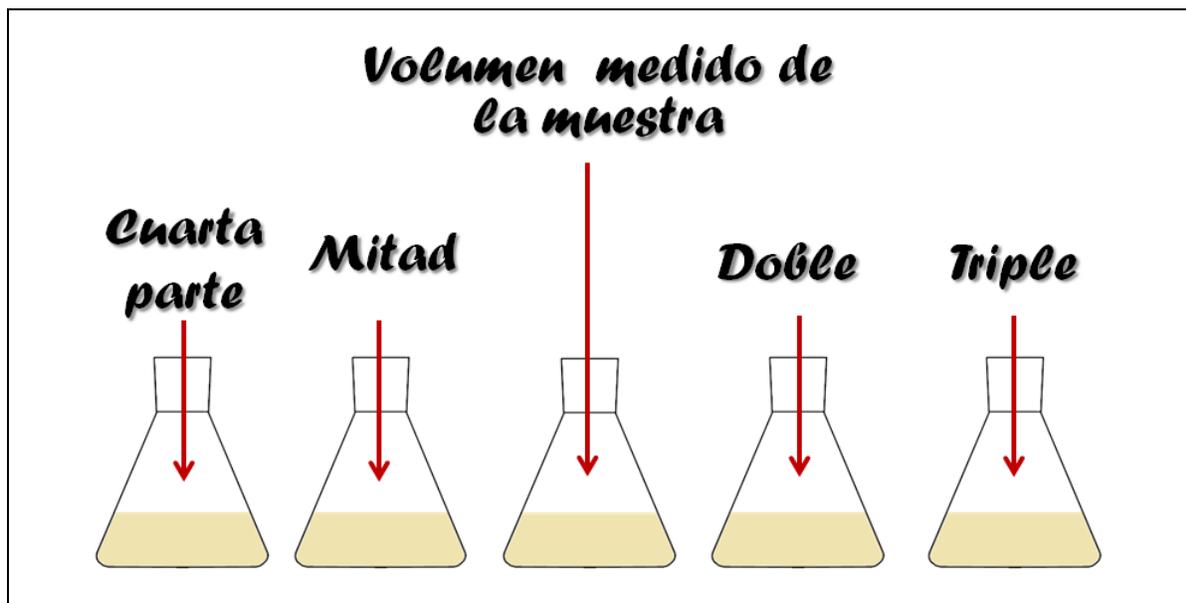


Después de que los alumnos hayan leído el cómic, se les solicitaría que propusieran una metodología para saber cuánto calcio disuelto tendrían en una muestra, se utilizará la misma disolución del inicio de la actividad. Antes de experimentar, los estudiantes deberán plasmar la metodología experimental que sugieren seguir con dibujos, descripciones o diagramas.

### Actividad 2:

Ya que los estudiantes hayan propuesto cómo determinar cuánto calcio hay disuelto en una muestra de agua dura, se les repartirá por equipo el mismo volumen de disolución acuosa de  $\text{CaCl}_2$ , pero cada equipo tendrá una disolución con distinta concentración, sólo conocidas por el profesor. A continuación se les solicitará a los estudiantes que coloquen diferentes volúmenes de la disolución en cinco recipientes distintos y que a cada uno se le agregará la misma masa de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La masa a agregar será igual para todos los equipos, la idea es que se pueda observar el reactivo limitante cuando ya no se produzca más precipitado (**figura 28**).

**Figura 28:** Propuesta sobre cuánto volumen de disolución de cloruro de calcio colocar en cinco recipientes distintos.

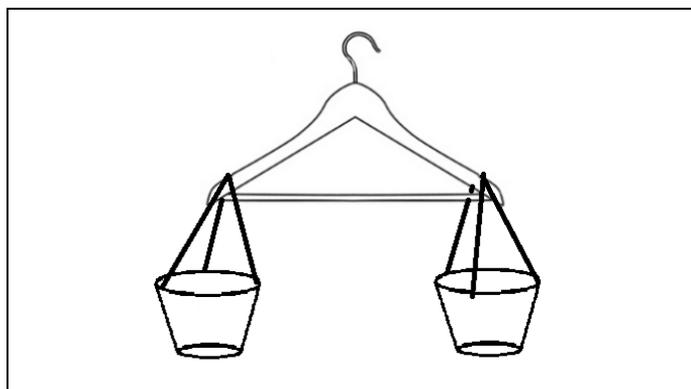


Posteriormente y con los datos de cada uno de los equipos, se trazará un gráfico de masa de precipitado vs volumen de disolución, para identificar en dónde se encuentra el reactivo limitante.

### Actividad 3:

Después con los objetos de uso común descritos anteriormente en la figura 15, se les preguntará a los estudiantes sobre su masa relativa, para este punto, los estudiantes pueden crear su propia balanza de dos platillos utilizando un gancho para ropa, dos vasos de plástico y cordel (**figura 29**).

**Figura 29:** Modelo que muestra una balanza de dos platillos construida con materiales de uso común.

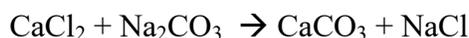


Antes de utilizar la balanza es necesario revisar que esté equilibrada, después se les preguntará a los estudiantes cuál es el objeto que tiene menos masa. A continuación se les solicitará que hagan una tabla considerando el objeto que tiene menos masa como la unidad mínima de medida.

A continuación con ayuda de una balanza granataria, se medirá la masa del mismo número de objetos de tal manera que se pueda extrapolar a la idea de cantidad de sustancia, es decir, a qué se refiere cuando se habla de “mol”.

#### **Actividad 4:**

Con los mismos objetos de uso cotidiano, se modelará la reacción química tal y como se hizo en la actividad 3 de la primera propuesta de secuencia (ver página 42). Se les dirá a los estudiantes que el principal componente del agua dura en sus muestras es el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), y se les planteará la siguiente ecuación química:



Armarán los ensambles correspondientes a los reactivos, para lo que deberán indicar los elementos que están representando con las piezas que elijan. Después desarmarán los ensambles de los reactivos para armar los correspondientes a los productos y verificar cuántas piezas necesitan y cuántos ensambles para a continuación balancear la ecuación química.

#### **Actividad 5:**

Se realizarán mezclas de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) con carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), ya que físicamente ambos compuestos son iguales a simple vista. Las proporciones de las mezclas sólo las conocerá el profesor.

Utilizando los conceptos de las actividades anteriores: masa relativa, ecuación química, balanceo, reactivo limitante y cantidad de sustancia, los alumnos deberán proponer cómo podrían conocer la masa de precipitado que obtendrán al hacer reaccionar cierta masa de un reactivo que contiene  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  con  $\text{CaCl}_2$ .

A continuación se les solicitará a los estudiantes que lleven a cabo la prueba experimental y midan la masa final con las mezclas que les proporcionará el profesor.

Después de haber realizado el experimento compararán la masa obtenida con la esperada y determinarán el rendimiento de la reacción química.

#### **Actividad 6:**

El profesor les repartirá una muestra de agua dura de concentración desconocida y los alumnos tendrán que diseñar el experimento por medio del cual conocer la cantidad de calcio que contiene.

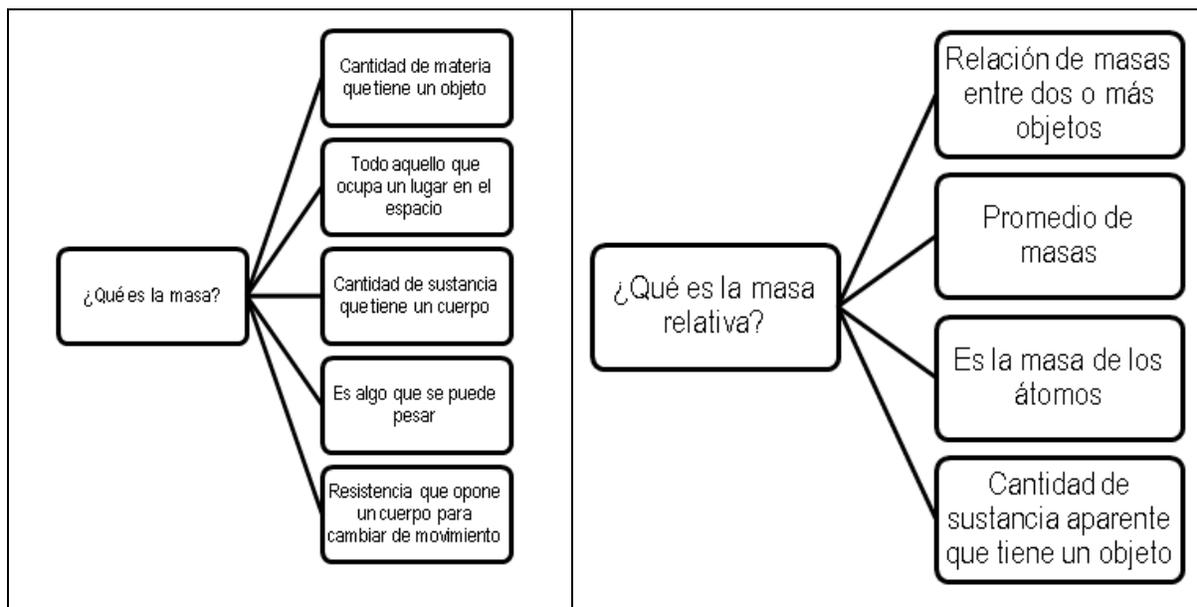
#### 9.4.- Modificación de las herramientas de evaluación

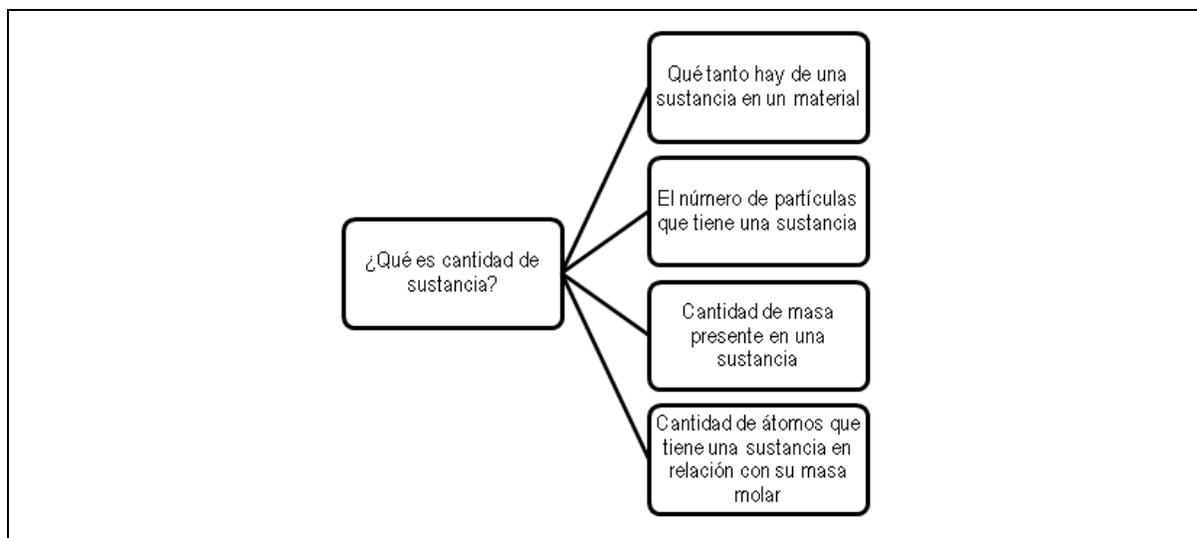
Se determinó que las herramientas de evaluación utilizadas al inicio no fueron las más adecuadas para obtener información sobre el aprendizaje de los alumnos, ya que al cuestionarlos no se les solicitaron las unidades en que se quería que se reportaran los resultados.

Si bien, se pudo obtener información con estos instrumentos de evaluación, fue después de un análisis meramente cualitativo, estas herramientas se describen en la sección 7.1: “Descripción y caracterización de las actividades” (pág. 33).

Por este motivo se realizó una investigación bibliográfica en la literatura especializada y se identificaron algunas propuestas ya probadas (Wood & Breyfogle, 2006; Agung & Schwartz, 2007; Castelán, 2012; Sadler & Schwartz, 2013), con base en las cuales se generó una evaluación para esta nueva secuencia (ver Anexo I en la página 81). Para el análisis de las preguntas abiertas se construyeron redes sistémicas (Jorba & Sanmartí, 1996) según las respuestas que escribieron los estudiantes. Estas redes se encuentran representadas en la **figura 30**.

*Figura 30: Redes sistémicas construidas para el análisis de las preguntas abiertas de las nuevas herramientas de evaluación.*

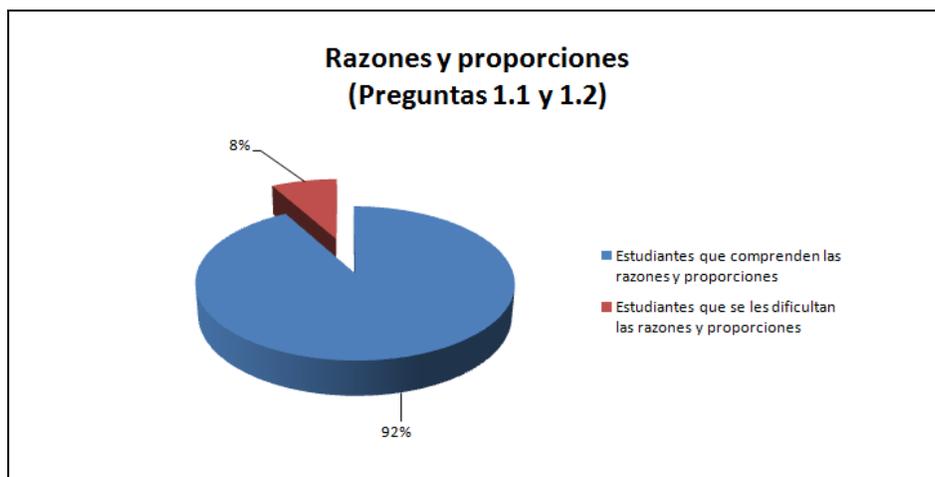




La Dra. Ana Sosa (miembro de mi Comité Tutor) nos permitió aplicar la herramienta de evaluación ya modificada en el grupo 2101 de Química General I que imparte en la Licenciatura de Ciencias Forenses de la UNAM. El grupo estaba formado por 25 alumnos del primer semestre (tronco común). Los resultados obtenidos son los siguientes:

En la primera parte de la evaluación, se pregunta sobre el uso de razones y proporciones, pues es un conocimiento antecedente al concepto de estequiometría. En este caso la mayoría de los estudiantes (92%) muestra una comprensión adecuada del tema (**gráfico 1**).

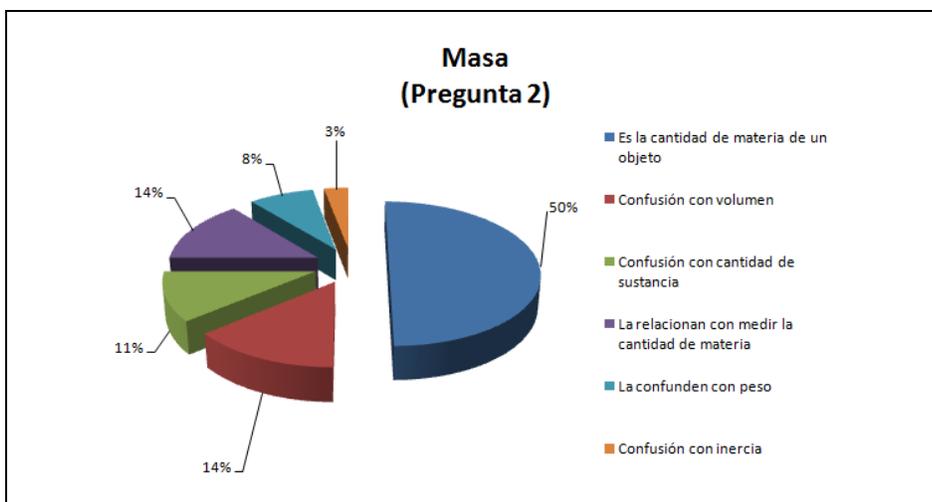
*Gráfico 1: Relación de estudiantes que comprenden sobre razones y proporciones.*



Cuando a los estudiantes se les solicitó que definieran el concepto de masa, las respuestas fueron variadas, sin embargo, se pudieron clasificar en diferentes secciones (**gráfico 2**). La mitad de los alumnos definieron la masa como “cantidad de materia de un objeto”, sin embargo hubo varios estudiantes que confundían este concepto con el volumen (14%) o con la cantidad de sustancia (11%). Hubo un grupo de alumnos que sólo explicó la manera

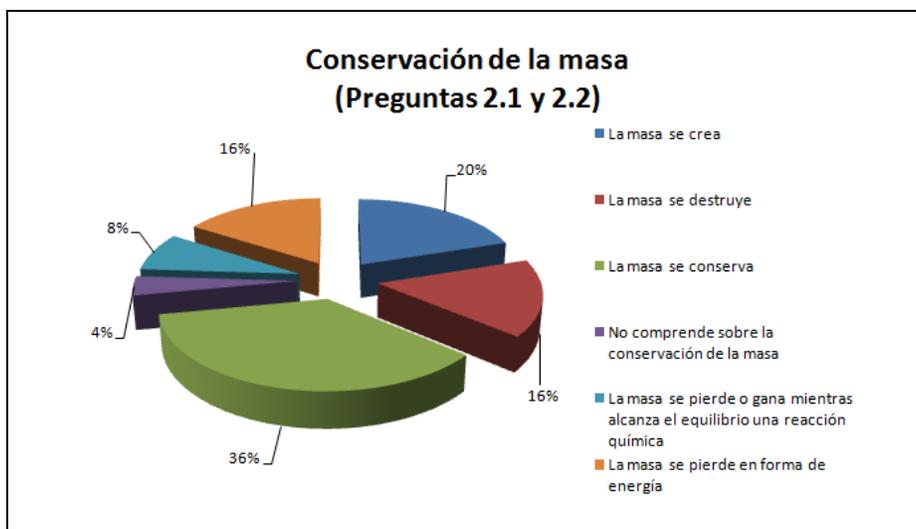
de medir la masa (14%). Una pequeña proporción de alumnos confunde el término con peso (8%) e inercia (3%).

**Gráfico 2:** Concepción acerca de la masa por los estudiantes.



Las preguntas 2.1 y 2.2 del cuestionario diagnóstico están dirigidos a identificar si los estudiantes comprenden la conservación de la masa cuando se lleva a cabo una reacción química (**gráfico 3**). Como se observa, poco más de una tercera parte de los alumnos (36%) pudo determinar que la masa se conserva, sin embargo, un alto porcentaje no lo hace; un 20% piensa que la masa se crea, un 16% que se destruye y otro tanto piensa que se transforma en energía. El 8% de los estudiantes consideran que hay cambios de masa en sistemas cerrados cuando se lleva a cabo una reacción química.

**Gráfico 3:** Concepciones de los estudiantes acerca de la conservación de la masa.



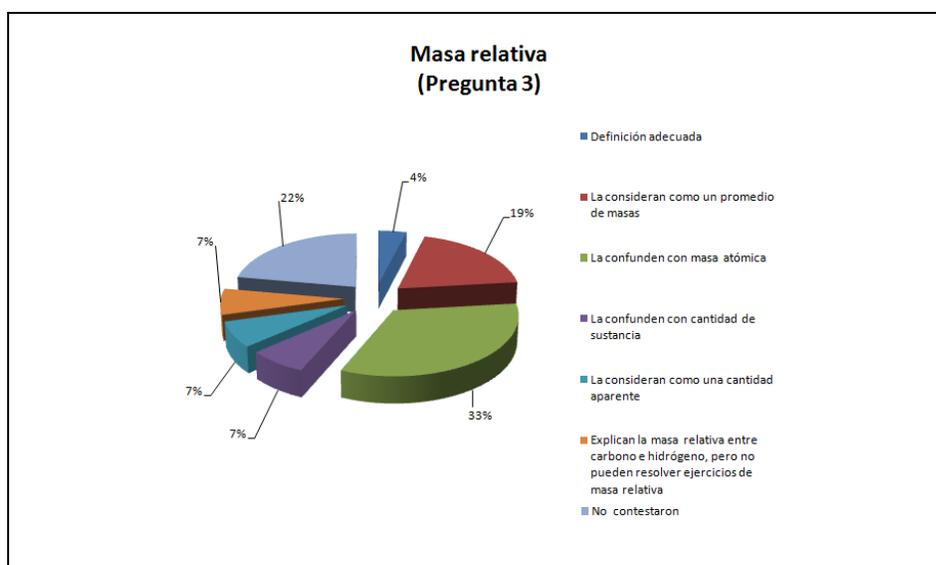
Respecto a la masa relativa (**gráfico 4**), una minoría de estudiantes la define adecuadamente (4%), la gran mayoría la confunde con la masa atómica (33%), o bien, la

establecen como un promedio de masas (19%). Se observa confusión entre este concepto y el de cantidad de sustancia (7%). También la consideran como una cantidad aparente (7%), es decir, se confirma la concepción de que la masa no se conserva.

Por último, pueden explicar un ejemplo que comúnmente se encuentra en los libros de texto acerca de la masa relativa, sin embargo no pueden resolver ejercicios con este concepto (7%).

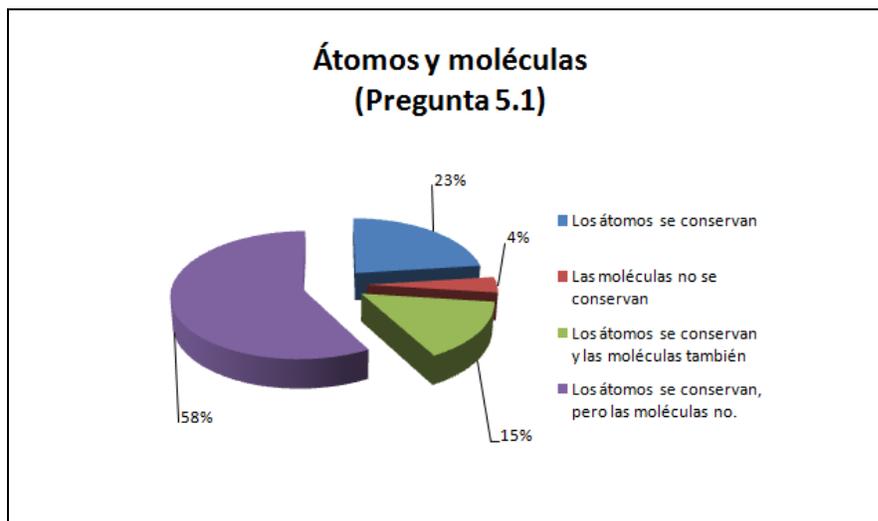
En el tema de ecuación química, prácticamente todos los estudiantes supieron diferenciar los coeficientes de los subíndices y lo que éstos representan. Sin embargo hay un 8% que multiplican los coeficientes y subíndices, lo que indica que no distinguen el significado de esos números en la fórmula y la ecuación químicas.

**Gráfico 4:** Concepción de los estudiantes acerca de la masa relativa.



El análisis de la pregunta 5.1 arroja que si bien, los estudiantes pudieron diferenciar entre átomos y moléculas, no los enlazan adecuadamente (68%). Por otro lado, cuando se lleva a cabo una reacción química, la mayoría de los alumnos, por medio de representaciones gráficas, expresaron que los átomos se conservan, pero las moléculas no (58%), sin embargo hay quienes consideraron que las moléculas si se conservan durante un cambio químico (15%). Por último, algunos estudiantes identificaron la conservación de los átomos y la no conservación de las moléculas, pero no lograron relacionar ambos fenómenos en una misma reacción química (**gráfico 5**).

**Gráfico 5:** Concepción acerca de la conservación de átomos y moléculas en una reacción química.

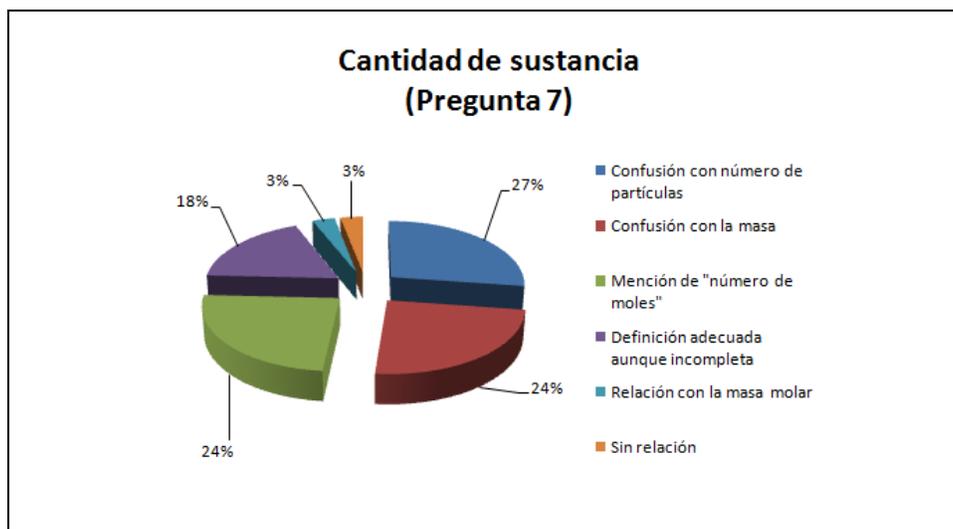


Con el diagnóstico en balanceo de ecuaciones (pregunta 6) todos utilizaron el método por tanteo y los pocos que se llegaron a equivocar (12%) se debió a que fallaron al momento de contar elementos químicos.

Sobre la concepción de cantidad de sustancia (pregunta 7), sólo el 18% de los estudiantes logró definirla, aunque de manera incompleta; la mayoría de los alumnos presenta confusión de este concepto, pues la definen a partir de la masa (24%) y el número de partículas (18%) solamente sin considerar que se relacionan entre sí. Es importante aclarar a los alumnos que conceptualmente es inadecuado mencionar “número de moles”, porque el mol se relaciona con la unidad de cantidad de sustancia, y aún así el 24% de los estudiantes lo mencionaron (**gráfico 6**), considero que este error es producto de la instrucción. Por otra parte, sólo una cuarta parte de los alumnos definen mol como la unidad de cantidad de sustancia, mientras otro porcentaje igual lo considera como unidad de masa.

Por último, la mayoría de los estudiantes no conciben que hay un cambio en la cantidad de sustancia durante una reacción química (63%), esto se debe a que creen que la cantidad de sustancia se conserva (pregunta 7).

*Gráfico 6: Concepción de los estudiantes sobre cantidad de sustancia.*



Para concluir sobre las herramientas de evaluación, es importante mencionar que estos instrumentos con modificaciones los considero más adecuados pues se puede hacer una interpretación cuantitativa de los resultados. Además el uso de las redes sistémicas permite observar los conocimientos previos y concepciones alternativas que tienen los estudiantes acerca de un concepto.

## **10.- Trabajo futuro**

### **10.1.- Contribuciones de esta tesis**

Como punto de partida sobre el trabajo futuro que se puede realizar, conviene recordar las contribuciones que se lograron durante la investigación de esta tesis

#### **10.1.1.- Desarrollo de una propuesta desde una perspectiva multimodal basada en el constructivismo social y el cambio representacional**

Se buscó desarrollar una secuencia de enseñanza y aprendizaje con una postura ecléctica del aprendizaje. Por lo que se utilizaron las posturas pedagógicas del constructivismo social y el cambio representacional. Como resultado de considerar las ideas que se manejan en estas posturas, se construyó una herramienta didáctica multimodal que puede ser utilizada por los docentes de Educación Media Superior.

#### **10.1.2.- Utilización de modelos metodológicos que permiten una continua evolución de la secuencia de enseñanza y aprendizaje propuesta.**

El modelo de ciclos de la Universidad de Deakin que se utilizó para desarrollar la herramienta didáctica resultante de este trabajo de investigación, permite que la secuencia de enseñanza y aprendizaje continuamente se renueve adaptándose al contexto del docente y los estudiantes que la utilicen.

### **10.1.3.- Resultados de análisis curricular de distintos sistemas de Educación Media Superior**

Se analizó el currículo de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP), el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), el Colegio de Bachilleres (CoBach) y el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT). Como resultados, se observó que los temarios del CCH y del CoBach cumplen los tres ejes guía identificados en las posturas pedagógicas de esta tesis: contextualización del tema, correlación con otros tópicos del currículo e identificación de las habilidades de pensamiento científico relacionadas. En relación con el contenido del CECyT, solo no contextualizan el tema y la ENP sólo cumple con a contextualización pero no con los otros dos ejes guías identificados.

Gracias a este análisis, se pueden sugerir algunas modificaciones en el contenido a discreción del docente que imparta el tema, y considere retomar los ejes guías que se identificaron en este trabajo de investigación.

### **10.1.4.- Resultados del análisis de la bibliografía recomendada en los temarios de bachillerato**

En la bibliografía sugerida por los temarios de bachillerato, no hay una definición de estequiometría que sea igual en cada uno de los libros. Sin embargo se mencionan algunos conceptos relacionados con el tema: ecuación química, reacción química, cantidad de sustancia y proporciones. A su vez, destacar que los temarios recomiendan libros de educación superior en vez de algunos destinados para bachillerato.

### **10.1.5.- Resultados del análisis de la demanda de aprendizaje y entender “qué es estequiometría”**

Con el aporte de la demanda de aprendizaje y el entendimiento sobre “qué es estequiometría” se puede relacionar los aspectos que deben ser dirigidos en la ciencia escolar y relacionarlos con las concepciones cotidianas de los estudiantes acerca del tema.

### **10.1.6.- Explicitar las consideraciones éticas sobre el trabajo de investigación**

Si bien, el establecimiento de consideraciones éticas debe ser siempre una base sobre la cual sostener cualquier trabajo de investigación, el hacerlas explícitas sugiere mayor concientización sobre las medidas a tomar.

### **10.1.7.- Diseño de una secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre estequiometría**

Sin lugar a dudas, la aportación central de esta tesis es la creación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje del tema que puede ser utilizada por cualquier docente de Educación Media Superior que requiera apoyar el aprendizaje del concepto por parte de sus estudiantes. Si bien, es una secuencia y se sugiere que se sigan las actividades en cierto orden, también algunas tareas pueden ser aisladas y realizadas para ver un concepto previo o posterior muy particular que esté relacionado con la estequiometría.

### **10.1.8.- Creación de herramientas de evaluación del tema**

Debido a que la evaluación tiene como propósito determinar qué tanto se están cumpliendo las metas de aprendizaje que se espera que logren los estudiantes. La herramienta diagnóstica propuesta en este trabajo de investigación es un instrumento útil para la valoración de la comprensión del tema y los conceptos asociados a éste.

### **10.2.- Líneas de trabajo futuro**

Retomando las contribuciones de la tesis mencionadas en la sección anterior, se pueden establecer las siguientes líneas de trabajo futuro:

#### **10.2.1.- Innovación de la secuencia de enseñanza y aprendizaje sobre estequiometría**

Considerando las posturas pedagógicas que respaldan la investigación de esta tesis y los modelos metodológicos se puede continuar actualizando y adaptando las actividades para perfeccionar el proceder de la enseñanza y aprendizaje de la estequiometría.

#### **10.2.2.- Sugerencias y recomendaciones en el contenido curricular de los temarios de bachillerato relacionados con el tema**

Debido al análisis realizado como punto de partida sobre la situación actual del concepto de estequiometría se puede investigar más a fondo sobre los temarios de diversos sistemas de Educación Media Superior y sugerir algunas modificaciones que guíen hacia las metas de aprendizaje propuestas por la Secretaría de Educación Pública.

#### **10.2.3.- Utilización de la secuencia y los instrumentos de evaluación como herramientas didácticas que apoyen la enseñanza y aprendizaje del concepto de estequiometría**

La propuesta que resultó de este trabajo de investigación queda como un apoyo para la utilización en clases de química de bachillerato en México. Sin embargo, como una herramienta que se adapta y modifica a las circunstancias, se puede poner a juicio con diversas pruebas y verificar su función como instrumento de apoyo para la enseñanza y aprendizaje de la estequiometría.

## 11.- Anexo: Herramientas de evaluación.

### 11.1.- Cuestionario final.

Actividad: “Midiendo eructos”, **Cuestionario final**

Nombre: \_\_\_\_\_



a) **Narra** cómo sabrías **experimentalmente** cuál es la proporción entre reactivos y productos en una **reacción química**:

b) **Describe** cómo sabrías cuál es la proporción entre reactivos y productos en una **ecuación química**:

c) **Explica** cómo determinarías **empíricamente** qué cantidad se produciría de una sustancia, si conocieras cuánto tienes de cada reactivo.

d) **Justifica** cómo determinarías qué cantidad se produciría de una sustancia, si conoces la **ecuación química** de la reacción, además de saber cuánto tienes de algún reactivo.

e) **Relata** cómo puedes determinar qué tanto por ciento hay de un elemento en un compuesto, si conoces la **fórmula química** de esa sustancia.

## 11.2.- Evaluación diagnóstica.

(Creada a partir de diversas fuentes: Wood & Breyfogle, 2006; Agung & Schwartz, 2007; Castelán, 2012; Sadler & Schwartz, 2013)

### EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA SOBRE ESTEQUIOMETRÍA

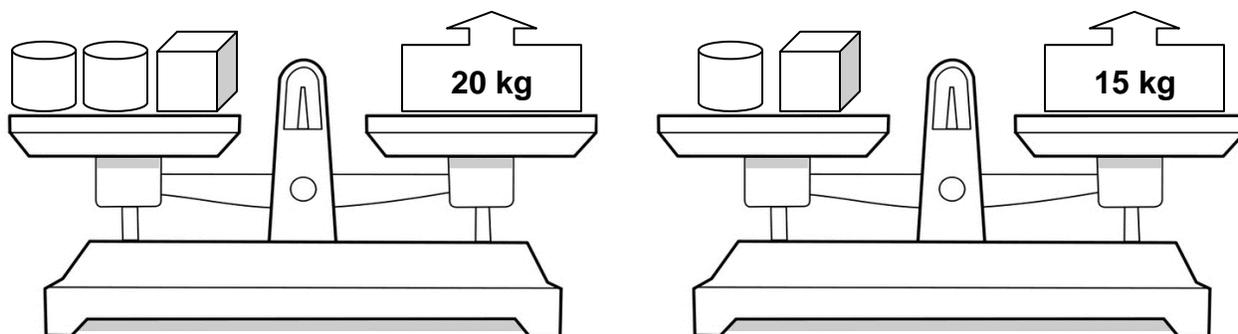
Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_ / \_\_\_ /20\_\_

Grupo: \_\_\_\_\_

**Recomendaciones:** Es muy importante que resuelvas esta prueba individualmente y que lo hagas con honestidad. Si algo no lo sabes, no te detengas y sigue adelante ¡Tú puedes!

#### 1.- RAZONES Y PROPORCIONES

Observa las siguientes balanzas, las cuales se encuentran en equilibrio:



1.1.- ¿Cuál es la masa del cubo?

- A) 7.5 kg    B) 5 kg    **C) 10 kg**    D) 8 kg    E) 8.5 kg

1.2.- Seis cubos pequeños tienen la misma masa que siete cilindros. Siete cilindros tienen la misma masa que tres cubos grandes. Dos cubos grandes tienen la misma masa que un chocolate de 200g.

¿Cuál es la masa del cubo pequeño?

- A) 100 g    **B) 50 g**    C) 200 g    D) 70 g    E) 150 g

## 2.- MASA

Escribe con tus palabras que entiendes por **masa**:

---

---

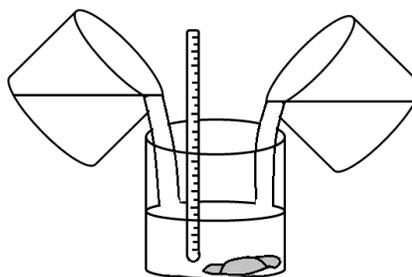
---

---

---

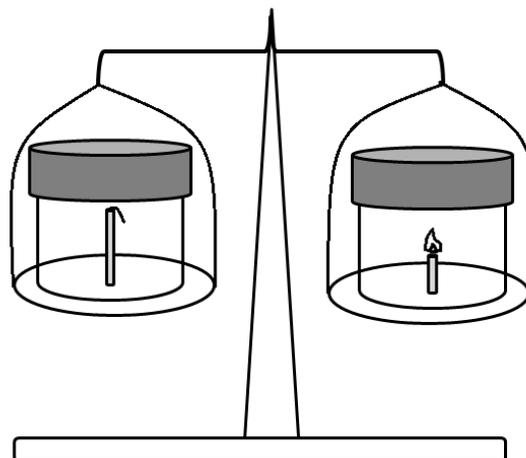
2.1.- Lee con atención lo siguiente, observa las imágenes y selecciona la opción que creas es la que mejor explica lo que se te pregunta:

Imagina que dos líquidos distintos y traslúcidos, son mezclados en su totalidad dentro de un recipiente. La temperatura en el recipiente aumenta y se forma un precipitado de color azul. La cantidad de materia que existe ahora en el recipiente es:



- A) Mayor que al principio porque se formó una nueva sustancia.
- B) Menor que al inicio porque se destruyó materia.
- C) Menor que al principio, porque algo de materia se transformó en energía.
- D) La misma que al inicio.**
- E) Es imposible determinar la respuesta con la información que se está brindando.

2.3.- Un estudiante del CCH logró equilibrar una balanza con dos contenedores cerrados. En uno de los contenedores colocó una vela apagada y en el otro una vela encendida. Cuando la vela encendida se haya apagado después de haberse consumido un poco, ¿qué pasará con el platillo que soporta el contenedor con esta vela?



- A) El platillo se moverá hacia arriba.
- B) El platillo no se moverá.**
- C) El platillo se moverá hacia abajo.

D) El platillo primero se moverá hacia arriba y luego hacia abajo.

E) El platillo primero se moverá hacia abajo y luego hacia arriba.

### 3.- MASA RELATIVA

Escribe con tus palabras que entiendes por **masa relativa**:

---

---

---

---

---

3.1.- ¿Cuál será la masa relativa de los objetos que se enlistan a continuación?

Objeto	Masa de un objeto	Masa relativa
Motocicleta	500 kg	
Automóvil	1000 kg	
Tanque militar	4000 kg	

### 4.- ECUACIONES QUÍMICAS

4.a.- Considere la siguiente ecuación química genérica, se utilizará para responder las preguntas 4.1, 4.2 y 4.3:



¿Cuál de las siguientes frases describe mejor lo que está representando la ecuación química anterior?

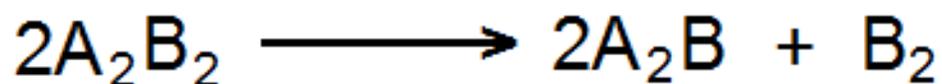
A) Dos moles del elemento **A** reaccionan con un mol del elemento **B** para producir dos moles del compuesto **A<sub>2</sub>B**.

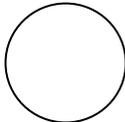
B) Cuatro moles del elemento **A** reaccionan con dos moles del elemento **B** para producir cuatro moles del compuesto **A<sub>2</sub>B**.

C) Cuatro moles del elemento **A** reaccionan con un mol del elemento **B** para producir dos moles del compuesto **A<sub>2</sub>B**.

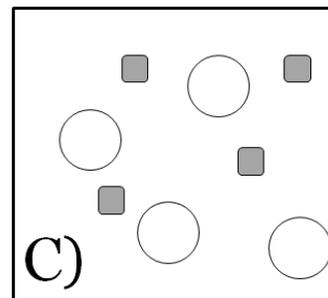
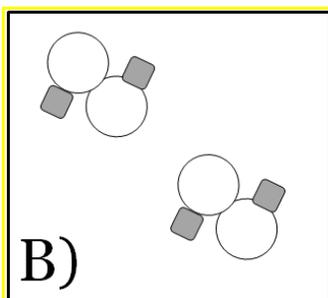
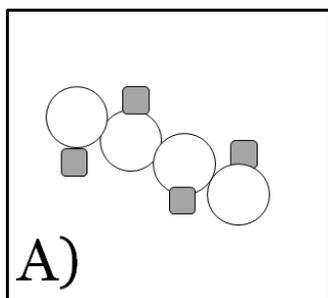
D) Dos moles del elemento **A** reaccionan con dos moles del elemento **B** para producir dos moles del compuesto **A<sub>2</sub>B**.

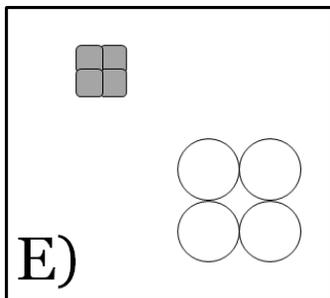
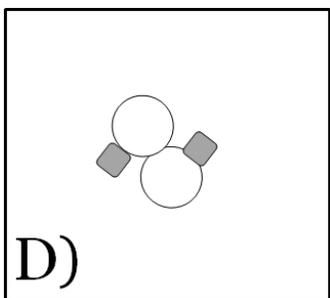
4.b.- Considera la siguiente ecuación química genérica y observa sus representaciones gráficas, se utilizará para responder las preguntas 4.4 y 4.5:



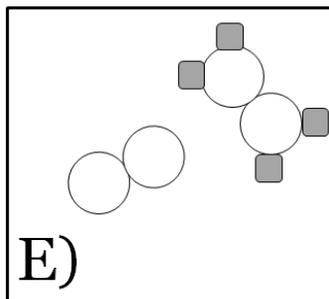
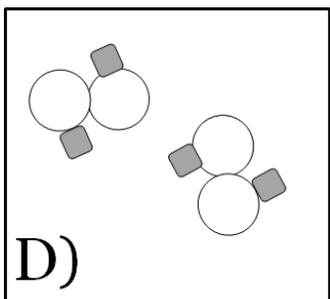
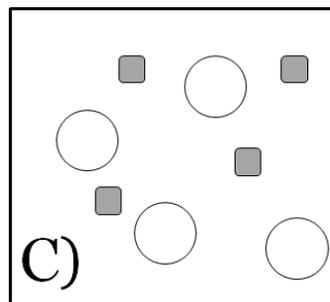
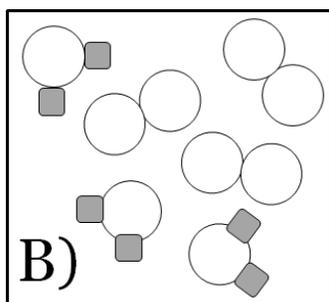
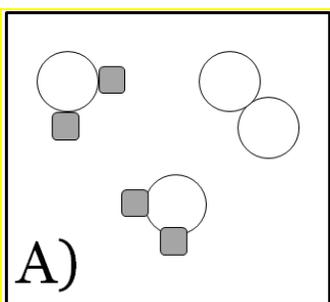
Símbolo	Representación gráfica
<b>A</b>	
<b>B</b>	

4.2.- ¿Cuál de los siguientes diagramas representa mejor al reactivo de la ecuación química anterior?



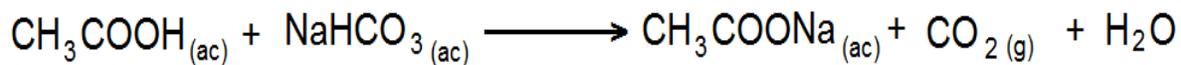


4.3.- ¿Cuál de los siguientes diagramas representa mejor a los productos de la ecuación química anterior?



## 5.- ÁTOMOS Y MOLÉCULAS

El ácido acético y el bicarbonato de sodio en disolución reaccionan de acuerdo a la siguiente ecuación química, se utilizará para resolver las preguntas 5.1 y 5.2:



5.1.- ¿Cuál(es) de las siguientes frases describe mejor la reacción química representada en la ecuación anterior? (*Puedes elegir más de una*)

A) En la reacción química hay la misma cantidad de átomos en los reactivos que en los productos.

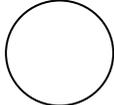
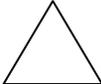
B) En la reacción química hay diferente cantidad de átomos en los reactivos que en los productos.

C) En la reacción química hay la misma cantidad de moléculas en los reactivos que en los productos.

D) En la reacción química hay diferente cantidad de moléculas en los reactivos que en los productos.

E) En la reacción química hay la misma cantidad de átomos que de moléculas.

5.2.- Observa la representación gráfica de los símbolos en la ecuación química anterior:

Símbolo	Representación gráfica
<b>C</b>	
<b>O</b>	
<b>H</b>	
<b>Na</b>	



**6.1.-** ¿Qué coeficientes balancean la ecuación química?

Utiliza este espacio para describir el proceso de balanceo de la ecuación:

**7.- CANTIDAD DE SUSTANCIA**

Escribe con tus palabras que entiendes por **cantidad de sustancia**

---

---

---

---

---

**7.1.-** Escribe con tus palabras que entiendes por **mol**

---

---

---

---

---

7.2.- Imagina que se tienen dos tanques contenedores de gas, en uno de ellos hay hidrógeno ( $H_2$ ) y en el otro hay cloro ( $Cl_2$ ). Por medio de una reacción química con catalizador, se llena otro tanque que contiene cloruro de hidrógeno ( $HCl$ ). Tal como se observa en la figura.



Si reaccionan la misma cantidad de hidrógeno y cloro, sin que ésta vacíe los tanques ¿Cuál(es) de las siguientes afirmaciones describen mejor el fenómeno? (*Puedes elegir más de una*).

A) La cantidad de hidrógeno y de cloro será menor en comparación a la que había antes de que se produjera cloruro de hidrógeno.

B) La cantidad de cloruro de hidrógeno será mayor en comparación a la que había antes de que reaccionaran el hidrógeno y el cloro.

C) La cantidad de hidrógeno y de cloro será mayor en comparación a la que había antes de que se produjera cloruro de hidrógeno.

D) La cantidad de cloruro de hidrógeno será menor en comparación a la que había antes de que reaccionaran el hidrógeno y el cloro.

E) Tanto la cantidad de hidrógeno, cloro y cloruro de hidrógeno serán iguales en todo momento.

## 12.- Fuentes consultadas

- Agung, S., & Schwartz, M. (2007). Students' Understanding of Conservation Matter, Stoichiometry and Balancing Equations in Indonesia. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1679-1702.
- Al-Ahmadi, F., & Oraif, F. (2009). Working memory capacity, confidence and scientific thinking. *Research in Science & Technological Education*, 27(2), 225-243.
- Anastopoulou, S., Sharples, M., & Baber, C. (2011). An evaluation of multimodal interactions while learning science concepts. *British Journal of Educational Technology*, 42(2), 266-290.
- Andersson, B., Bach, F., Hagman, M., Orlander, C., & Wallin, A. (2005). Discussing a research programme for the improvement of science teaching. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof, *Research and the Quality of Science Education* (p. 233). Springer.
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A Three-Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32(10), 1289-1313.
- Boersma, K., Goedhart, M., De Jong, O., & Eijkelhof, H. (2005). *Research and the Quality of Science Education*. Springer.
- Bos, F., Terlouw, C., & Pilot, A. (2009). The effect of a pretest in an interactive, multimodal pretraining system for learning science concepts. *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, 15(6), 571-590.
- Brown, T., LeMay, E., Bursten, B., & Murphy, C. (2012). *Chemistry. The central science* (12th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. (2004). Learning hypotheses and a associated tool to design and to analyze teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.
- Caamaño, A. (2013). Hacer unidades didácticas: una tarea fundamental en la planificación de las clases de ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 74, 5-11.
- Castelán, M. (2012). Unidad didáctica para abordar el tema de estequiometría con alumnos de bachillerato. *tesis para optar por el grado de Maestra en Docencia para la Educación Media Superior*. Ciudad de México, México: Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castelán, M., & Hernández, G. (2009). Estrategia didáctica para apoyar la comprensión de la estequiometría a partir del uso de analogías. *X Congreso Nacional de*

*Investigación Educativa, Educación y conocimientos disciplinares.* Veracruz, Veracruz, México.

- CCH. (2013). *Programas de Estudio de Química I a IV.* Revisado 2016, 29-marzo de Colegio de Ciencias y Humanidades: [http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/plan\\_estudio/mapa\\_quimica.pdf](http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/plan_estudio/mapa_quimica.pdf)
- CDEUM. (2010). *Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares.* Revisado 2015, 3-enero de Cámara de Diputados de los Estados Unidos Mexicanos, H. Congreso de la Unión, LXII Legislatura: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf>
- CECyT. (2013). *Guía de Química I, II, III, IV.* Revisado 2016, 29-marzo de Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos: [www.cecyt1.ipn.mx/Documents/Formatos/Quimica%20TV.pdf](http://www.cecyt1.ipn.mx/Documents/Formatos/Quimica%20TV.pdf)
- CNICE. (2005). *Recursos Educativos para la Educación Secundaria Obligatoria. Iniciación Interactiva a la Materia. La estequiometría en las reacciones químicas.* Revisado 2014, 9-octubre de Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa del Ministerio de Educación y Ciencia de España: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/35\\_las\\_reacciones\\_quimicas/curso/lrq\\_est\\_01.html](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/35_las_reacciones_quimicas/curso/lrq_est_01.html)
- ColBach. (2012). *Química III. Química en la Industria. Sexto Semestre.* Revisado 2016, 29-marzo de Colegio de Bachilleres: [http://www.cbachilleres.edu.mx/cb/comunidad/docentes/pdf/Reforma\\_curricular/Documentos/sextosemestre2009/AFB/Quimica\\_III.pdf](http://www.cbachilleres.edu.mx/cb/comunidad/docentes/pdf/Reforma_curricular/Documentos/sextosemestre2009/AFB/Quimica_III.pdf)
- Cubero, R. (2005). Elementos básicos para un constructivismo social. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 23, 43-61.
- Dahsah, C., & Coll, R. (2007). Thai Grade 10 and 11 students' conceptual understanding and ability to solve stoichiometry problems. *Research in Science & Technological Education*, 25(2), 227-241.
- Daub, W., & Seese, W. (1996). *Química* (7ma ed.). Pearson Educación.
- Davidowitz, B., Chittleborough, G., & Murray, E. (2010). Student-generated submicro diagrams: a useful tool for teaching and learning chemical equations and stoichiometry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 11, 154-164.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young's people image of science.* Open University Press.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.

- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
- ENP. (2016). Programa de estudios de la asignatura de: *Química III*. Revisado 2016, 29-marzo de Escuela Nacional Preparatoria: <http://dgenp.unam.mx/planesdeestudio/quinto/1501.pdf>
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. (2010). Design and Reflection Help Students Develop Scientific Abilities: Learning in Introductory Physics Laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.
- Fach, M., de Boer, T., & Parchmann, I. (2007). Results of an interview study as basis for the development of stepped supporting tools for stoichiometric problems. *Chemistry Education: Research and Practice*, 8(1), 13-31.
- Fourez, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica*. Colihue, Colección Nuevos Caminos.
- Furió, C., & Furió, C. (2009). ¿Cómo diseñar una secuencia de enseñanza de ciencias con una orientación socioconstructivista? *Educación Química, Conferencias Plenarias*, 246-251.
- Furió, C., Azcona, R., & Guisasola, J. (2002). The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of the literature. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(3), 277-292.
- García, A., & Garritz, A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 111-124.
- Gauchon, L., & Mehéut, M. (2007). Learning about stoichiometry: from students' preconceptions to the concept of limiting reactant. *Chemistry Education: Research and Practice*, 8(4), 362-375.
- Gil, D., & Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, 31-53.
- Glass, R. (2013). Tacit Beginnings Towards a Model of Scientific Thinking. *Science & Education*, 22, 2709-2725.
- Gómez, C., & Coll, C. (1994). De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo. *Cuadernos de pedagogía*, 221, 8-10.
- Gulacar, O., Eilks, I., & Bowman, C. (2014). Differences in General Cognitive Abilities and Domain-Specific Skills of Higher- and Lower-Achieving Students in Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 14, 507-515.

- Gulacar, O., Overton, T., Bowman, C., & Fynewever, H. (2013). A novel code system for revealing sources of students' difficulties with stoichiometry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 14, 507-515.
- Hein, M., & Arena, S. (2001). *Fundamentos de Química* (10ma ed.). Thomson Learning.
- Heller, K. (2007). Scientific ability and creativity. *High Ability Studies*, 18(2), 209-234.
- Hill, J., & Kolb, D. (1999). *Química para el Nuevo milenio* (8va ed.). Prentice Hall Hispanoamericana.
- Huck, G. (2003). La ciencia y el porqué los jóvenes pierden interés en ella. *Monografía finalista de la beca del Instituto Balseiro para alumnos de escuelas de enseñanza media*. Insituto Balseiro.
- Informe Cockcroft. (1985). *Las matemáticas si cuentan*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia. Subdirección General de Perfeccionamiento del Profesorado.
- IUPAC. (1996). *IUPAC Goldbook (stoichiometry)*. Retrieved 2014 йил 18-febrero from International Union of Pure and Applied Chemistry: <http://goldbook.iupac.org/S06026.html>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- JCE. (1997). How Big Is the Balloon? Stoichiometry Using Baking Soda and Vinegar. *Journal of Chemical Education*, 74(11), 1328A-1328B.
- Jorba, J., & Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua*. Madrid: MEC (anexo II).
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias, ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. Santillana.
- Klein, P., & Kirkpatrick, L. (2010). Multimodal Literacies in Science: Currency, Coherence and Focus. *Research in Science Education*, 40, 87-92.
- Kousathana, M., & Tsapalis, G. (2002). Student's errors in solving numerical chemical-equilibrium problems. *Chemistry Education: Research and Practice*, 3(1), 5-17.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000). Developmental Origins of Scientific Thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113-129.
- Lastres, L., Angelini, M., Landau, L., Sileo, M., & Torres, N. (1998). Utilización de demostraciones experimentales como un recurso didáctico. Primera parte. *Educación Química*, 9(2), 73-79.

- Laugier, A., & Dumon, A. (2004). The equation of reaction: A cluster of obstacles which are difficult to overcome. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5(3), 327-342.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38, 115-142.
- Lijnse, P. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- Llewellyn, D. (2013). *Teaching High School Science Through Inquiry and Argumentation* (segunda edición ed.). SAGE:Corwin.
- Mathabathe, K., & Potgieter, M. (2014). Metacognitive monitoring and learning gain in foundation chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 15, 94-104.
- McKernan, J. (2001). *Investigación-acción y currículum* (2da ed.). Morata.
- Méheut, M. (2005). Teaching learning-sequence tools for learning and/or research. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof, *Research and the Quality of Science Education* (p. 196). Springer.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive Multimodal Learning Environments. *Educational Psychology Review*(19), 309-326.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. National Academic Press.
- Nyachwaya, J., A., W., Roehrig, G., & Schneider, J. (2013). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education: Research and Practice*, 15, 81-93.
- Padilla, K., & Garritz, A. (2014). Stoichiometry's PCK of university chemistry professors. In D. Sunal, C. Szymanski-Sunal, E. Wright, C. Mason, & Z. D., *Research based in undergraduate science teaching* (pp. 499-523). Charlotte NC: Information Age Publishers.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Pozo, I. (1999). Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520.

- Prain, V., & Waldrip, B. (2008). A Study of Teachers' Perspectives About Using Multimodal Representations of Concepts to Enhance Science Learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 8(1), 5-24.
- Psillos, D. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactic activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555-578.
- Rodrigo, M. (1994). Etapas, contextos, dominios y teorías implícitas en el conocimiento social. In M. Rodrigo, *Contexto y desarrollo social*. Madrid: Síntesis.
- Sadler, P., & Schwartz, M. (2013). Conservation of Matter Questionnaire. Cambridge / Arlington, MA / Texas, USA: Harvard Smithsonian Center for Astrophysics, Science Education Department & University of Texas: Arlington.
- Sanmartí, N. (2000). *Didáctica de las ciencias experimentales: El diseño de unidades didácticas*. Marfil.
- Schmidt, H., & Jignéus, C. (2003). Students' strategies in solving algorithmic stoichiometry problems. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(3), 305-317.
- Scott, F. (2012). Is mathematics to blame? An investigation into high school students' difficulty in performing calculations in chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 13, 330-336.
- Seel, N. (2012). *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer Science and Business Media.
- Soucek, R., & Meier, M. (1997). Teaching Information Literacy and Scientific Skills. An Integrated Approach. *College Teaching*, 45(4), 128-131.
- Stamovlasis, D., Tsaparlis, G., Kamilatos, C., Papaoikonomou, D., & Zarotiadou, E. (2005). Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chemistry Education: Research and Practice*, 6(22), 104-118.
- StClair-Thompson, H., Overton, T., & Bugler, M. (2012). Mental capacity and working memory in chemistry: algorithmic versus open-ended problem solving. *Chemistry Education: Research and Practice*(13), 484-489.
- Stoll-Lillard, A. (2005). *Montessori: The science behind the genius*. Oxford University Press.
- STPS. (1997). *Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente en el Trabajo*. Revisado 2015, 3-enero de Secretaría del Trabajo y Previsión Social: [http://www.stps.gob.mx/02\\_sub\\_trabajo/01\\_dgaj/r\\_seguridad.pdf](http://www.stps.gob.mx/02_sub_trabajo/01_dgaj/r_seguridad.pdf)

- Taasoobshirazi, G., & Glynn, S. (2009). College Students Solving Chemistry Problems: A Theoretical Model of Expertise. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(10), 1070-1089.
- Taber, K. (2013). *Classroom-based Research and Evidence-based Practice: An Introduction*. London: Sage.
- Taber, K. (2014). Ethical considerations of chemistry education research involving 'human subjects'. *Chemistry education: Research and Practice*, 15, 109-113.
- Tang, K., & Birr Moje, E. (2010). Relating Multimodal Representations to the Literacies of Science. *Research in Science Education*, 40, 81-85.
- Tang, K., Delgado, C., & Birr Moje, E. (2014). An Integrative Framework for the Analysis of Multiple and Multimodal Representations for Meaning-Making in Science Education. *Science Education*, 98(2), 305-326.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314.
- Tomcho, T., Foels, R., Rice, D., Johnson, J., Moses, T., Warner, D., . . . Amalfi, T. (2008). Review of ToP Teaching Strategies: Links to Students' Scientific Inquiry Skills Development. *Teaching of Psychology*, 35(3), 149-159.
- UACM. (2013). *¿Por qué es importante saber razones y proporciones?* Revisado 2013, 5-diciembre de Universidad Autónoma de la Ciudad de México: <http://expresauacm.org/blog/2013/11/26/por-que-es-importante-saber-razones-y-proporciones>
- UNESCO. (1999). *Declaración sobre ciencia y el uso del saber científico*. Revisado 2014, 27-diciembre de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: [http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion\\_s.htm](http://www.unesco.org/science/wcs/esp/declaracion_s.htm)
- Valderrama, A., & González, P. (2010). En busca de alternativas para facilitar la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría. *Revista sobre Docencia Universitaria: en blanco & negro*, 1(1), 1-8.
- Vázquez, A., & Manassero, M. (2005). La ciencia escolar vista por los estudiantes. *Bordón*, 57(5), 125-143.
- Viiri, J., & Savinainen, A. (2008). Teaching-learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(2), 80-86.
- Vygotsky, L. (1995). *Pensamiento y Lenguaje. Teoría del desarrollo cultural de las funciones psíquicas*. Ediciones Fausto.

- Whitten, K., Davis, R., Peck, L., & Stanley, G. (2007). *Chemistry* (8th ed.). Thomson Brooks/Cole.
- Wood, C., & Breyfogle, B. (2006). Interactive Demonstrations for Mole Ratios and Limiting Reagents. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 741-748.
- Ye, L., & Lewis, S. (2014). Looking for links: examining students responses in creative exercises for evidence of linking chemistry concepts. *Chemistry Education: Research and Practice*(15), 576-586.
- Zion, M., Michalsky, T., & Mevarech, Z. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957-983.
- Zumdahl, S., & DeCoste, D. (2012). *Principios de Química* (7ma ed.). CENGAGE Learning.