



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA
SUPERIOR

UNIDAD DIDÁCTICA PARA EL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO QUÍMICO
IMPLEMENTADA EN UN GRUPO DE ESTUDIANTES DE LA EMS

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE: MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR (QUÍMICA)

PRESENTA

EL Q. DAVID TAPIA HERNÁNDEZ

TUTORA PRINCIPAL:

DRA. FLOR DE MARÍA REYES CÁRDENAS
FACULTAD DE QUÍMICA

CD. MX. A DICIEMBRE DE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Contenido

Agradecimientos.....	7
Resumen	8
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. Planteamiento y justificación del problema de investigación	15
1.1 Objetivo general.....	19
1.2 Objetivos particulares	19
2. Marco Teórico.....	20
2.1 Marco Curricular.....	20
2.1.1. Planes y programas del bachillerato.....	22
2.1.2 La importancia de la educación en contexto	28
2.2 Marco didáctico	31
2.2.1 El pensamiento químico.....	34
2.2.2 Uso de modelos en la enseñanza.....	39
2.3 Marco disciplinar: Reacción química	42
3. Metodología	48
3.1 Perspectiva metodológica	49
3.2 Unidad didáctica: Principios de diseño.....	50
3.1.1 Objetivo general de la unidad didáctica	51
3.1.2 Objetivos particulares de la unidad didáctica.....	52
3.3 Sujetos de investigación.....	52
3.4 Técnica de recolección de los datos y análisis.....	53
4. Resultados y análisis	57

4.1 Resultados y análisis de desarrollo con respecto a los objetivos didácticos (OD)	57
4.1.1 Análisis de Modelos a modelos.....	60
4.1.2 Análisis de El modelo de Clips.	62
4.1.3 Análisis de Manos a la obra.	63
4.1.4 Análisis de Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida.	66
4.2 Análisis de resultados de desarrollo de los ejes Pensamiento químico PQ y Modelo (M)	71
4.2.1 Nivel 1 de desarrollo	75
4.2.2 Nivel 2 de desarrollo	78
4.2.3 Nivel 3 de desarrollo	80
4.2.3 Nivel 4 de desarrollo	83
4.3 Análisis de resultados por entregable	87
4.3.1 Entregable Modelos a modelos	87
4.3.2 Entregable El modelo de Clips.....	92
4.3.3 Entregable Manos a la obra.....	95
4.3.4 Entregable <i>Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida</i>	102
4.3.5 Comparación entre entregables	106
5. Reflexiones finales	110
6. Conclusiones	111
Trabajos citados.....	114
Anexo 1.....	123

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Distintos subsistemas que integran la EMS. Imagen tomada de: Filosóficas UNAM (Morado, 2008).....	21
Ilustración 2. La asignatura de química es parte del campo disciplinar de ciencias experimentales y se imparte por tres semestres continuos. Información obtenida de los planes de estudio del Colegio de Bachilleres (Programa de Asignatura Química II, 2018).	24
Ilustración 3. Intereses del estudiante de Educación Media Superior	29
Ilustración 4. Pensamiento químico y desarrollo de habilidades consideradas importantes para los químicos profesionales.....	35
Ilustración 5. Bases de algunos currículos para la enseñanza de la química.....	36
Ilustración 6. Interpretación realizada de la Espiral inquisitiva de Talanquer y Pollard, 2010.	38
Ilustración 7. Tópicos necesarios para abordar reacción química.	44
Ilustración 8. Ejes relevantes para este trabajo de investigación.....	48
Ilustración 9. Actividades de la unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?”.....	50
Ilustración 10. Entregables asociados a cada una de las actividades de la unidad didáctica.	54
Ilustración 11. Modelos presentados por dos EQ, arriba modelo de reacción química propuesto por el EQ 5; abajo modelo del EQ 4 congruente con el conocimiento científico.	66
Ilustración 12. Relación entre el objetivo didáctico, la reacción química, el pensamiento químico y el desarrollo de modelos.....	71
Ilustración 13. Los niveles de desarrollo de los estudiantes que se plantean en las rúbricas	72
Ilustración 14. Planteamiento para la construcción de rúbricas para el análisis de los entregables.....	72
Ilustración 15. Entregable de nivel 1 de desarrollo.	76
Ilustración 16. Entregable de nivel 2 de desarrollo	79
Ilustración 17. Modelo para el E1 elaborado por el equipo 3 (E1-EQ3-M1).....	82
Ilustración 18. Respuesta de los estudiantes a la actividad 4 elaborado por el equipo 14 (E1-EQ14-M1).....	85

Ilustración 19. Reacciones químicas seleccionadas por los estudiantes.....	88
Ilustración 20. Entregable del equipo 4 para E1-EQ4-M1, sólo integran modelos macroscópico y simbólico de forma congruente. El nivel nanoscópico no es congruente con los otros dos modelos.	90
Ilustración 21. Modelo construido por el equipo 12.....	93
Ilustración 22. Modelo macroscópico del equipo 2 (izq.) y equipo 4 (der.).	98
Ilustración 23. Modelo nanoscópico realizados por los estudiantes del equipo 2 (izq.) y equipo 4 (der.).....	98
Ilustración 24. Modelo macroscópico y textos asociados.	99
Ilustración 25. Modelos nanoscópicos de los equipos 2 y 4 con los textos asociados.	99
Ilustración 26. Entregables de distintos equipos para M (Modelos)	103
Ilustración 27. Modelo nanoscópico de la reacción química representada por los equipos 5 y 14.	105
Ilustración 28. Modelos construidos del nivel macroscópico y nanoscópico del equipo 4	108

Índice de tablas

Tabla 1. Dificultades recopiladas por Kind (2004)	45
Tabla 2. Niveles de progresión y modelos asociados.	46
Tabla 3. Definiciones de sustancia y reacción química, con respecto al nivel de representación de la materia	47
Tabla 4. Objetivos didácticos de la unidad didáctica.	55
Tabla 5. Actividades asociadas a cada entregable	55
Tabla 6. Entregables a evaluar durante el análisis de desarrollo con respecto a los objetivos didácticos (OD).....	57
Tabla 7. Palabras claves para cada objetivo didáctico.....	58
Tabla 8. Actividades por equipos, entregables y objetivos didácticos por desarrollar.	58
Tabla 9. OD y niveles de desarrollo.	59
Tabla 10. Rúbrica de evaluación para modelo.	73
Tabla 11. Rúbrica de evaluación para PQ.	74
Tabla 12. Textos elaborados por los equipos para los niveles de representación.	94

Agradecimientos

A mi familia, por el apoyo que me han dado durante esta etapa.

A mi tutora la Dra. Flor de María Reyes Cárdenas, que me dio su confianza, paciencia, apoyo, amistad y ánimos durante todo este tiempo.

A mis sinodales, que me han brindado su tiempo y observaciones con el fin de enriquecer mi trabajo de tesis.

Resumen

En algunas ocasiones el docente busca la memorización de conceptos de reacción química sin promover la toma de decisiones conscientes por parte del estudiante de bachillerato en relación con los niveles macroscópico, simbólico y nanoscópico, por lo que la enseñanza de la química adquiere poca relevancia.

Es importante que en la educación química disminuya la memorización de conceptos y promueva el razonamiento, por lo que en el presente trabajo de investigación se propone como una alternativa desarrollar el pensamiento químico a través de una unidad didáctica que lo promueva de forma explícita para el aprendizaje de la reacción química.

La unidad didáctica se puede decir que es un instrumento de planificación educativa aplicado en el aula con la finalidad de lograr los objetivos planteados por el docente. Según Péfaur, et. al. (2016), una unidad didáctica es un instrumento de programación que permite una articulación entre las estrategias metodológicas en relación con los logros que se esperan obtener; previendo las necesidades de formación de los estudiantes, el conocimiento que se pretende abordar y los conocimientos previos requeridos. Algunos autores (Cárdenas, 2017; Corrales, 2010; Blasco y Mengual, s.f.) coinciden que la unidad didáctica es una planeación adecuada a la estructura del curriculum. Por lo que, en esta investigación de corte cualitativo, se documenta el grado de desarrollo de pensamiento químico que se logra al implementar una unidad didáctica piloto titulada “¿Cómo puedo explicar el fenómeno de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” implementada con estudiantes de Enseñanza Media Superior específicamente en un grupo de Química IV del turno matutino de la ENP plantel 6, llevadas a cabo durante 6 sesiones de 50 minutos cada una. Debido al confinamiento por la COVID-19, las sesiones se llevaron a cabo en línea incidiendo de forma introductoria en la Unidad 1. Litio: una fuente de energía alternativa, a través de la construcción de modelos.

Se entiende por pensamiento químico a las herramientas intelectuales y prácticas de la química que han desarrollado los profesionales de la química para generar modelos y técnicas para detectar, identificar, separar y cuantificar sustancias de interés. A partir de lo anterior, se obtienen las ideas centrales que guían el pensamiento químico en las áreas de análisis, síntesis, transformación y modelado en la Química. Estas ideas centrales, son consideradas

pensamientos químicos (PQ), que deben ir desarrollando los estudiantes a lo largo de su formación académica.

De los resultados más sobresalientes se encuentra que los estudiantes pueden reconocer el modelo nanoscópico y su relevancia para la construcción de explicaciones. A este respecto, la construcción de modelos por parte de los estudiantes debe realizarse promoviendo la congruencia entre los diferentes niveles de representación, lo que permite dar seguimiento a las explicaciones generadas por parte de los estudiantes. Además, al contrastar las explicaciones iniciales y finales generadas por los estudiantes se observa una mejoría, particularmente en que incorporan de mejor manera la información científica y hay menos ideas previas.

En este trabajo de investigación se logró documentar el grado de desarrollo de pensamiento químico en estudiantes de bachillerato. También, se pudo incidir en la construcción de conocimiento de reacción química a través de la exploración e identificación de modelos científicos, así como la utilización de los tres niveles de representación de la materia que permitieran generar explicaciones de fenómenos químicos. Los estudiantes reconocen que todas las sustancias tienen propiedades químicas que las hacen distintas entre sí y que al reaccionar entre ellas se obtienen nuevas sustancias.

Abstract

Introducción

Este capítulo presenta la problemática en la enseñanza de la química para la educación media superior (EMS), el plan de estudios de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) como promotor del aprendizaje centrado en el estudiante y se concluye con una breve reseña del abordaje educativo “Pensamiento químico” (Talanquer y Pollard, 2010), concepto medular de este trabajo de investigación.

Existen diversas causas asociadas a los obstáculos documentados en el aprendizaje de la química. Están las que los estudiantes pueden tener, como sus creencias, experiencias, nivel de conocimientos previos, ideas previas y los diferentes referentes sociales, culturales y de formación académica. También se encuentran las que pueden provenir del docente como, por ejemplo, un bajo desarrollo en las habilidades requeridas para impartir su clase, un alto conocimiento en la didáctica, pero con un nivel insuficiente del dominio disciplinar y una predisposición a pensar que los estudiantes no quieren estudiar o son malos alumnos. Y por último se encuentran las asociadas a la naturaleza de la asignatura, en este caso a la naturaleza de la química y la forma en que está se plasma en los programas de estudio

Considerando el aula como el lugar donde se lleva a cabo una gran parte de la educación y en donde el estudiante se desarrolla, interactúa y construye nuevos conocimientos, es relevante identificar los factores que influyen en su aprendizaje. Diversos autores han documentado los principales factores que se relacionan con problemáticas de aprendizaje:

(1) Contenido relacionado con la química.

Hay una gran cantidad de información que se le presenta al estudiante de bachillerato y buena parte del contenido es nuevo (Ordaz González y Mostue Maj, 2018). Como por ejemplo teorías, conceptos, principios, leyes y se pretende que recuerde toda esta información. También se encuentra el lenguaje de la química, que va desde símbolos químicos hasta representaciones moleculares los cuales son necesarios para que los estudiantes sepan utilizar para generar predicciones acerca de la materia tanto de la que existe como de la que no existe (Chamizo, 2005, pág. 24 y 25). Todo lo anterior se puede englobar como contenido específico de la química, esto puede incidir en un problema de enseñanza si se hace a un lado el hecho de que esta información requiere

de una demanda mental elevada (Raviolo y Martínez, 2005, pág. 162), por lo tanto, de didácticas específicas y de tiempos adecuados de interacción con los contenidos.

- (2) Ideas previas. Se entiende por este término a las concepciones construidas por los estudiantes que no han sido transformadas por la acción escolar y que “...muestran la gran diversidad de representaciones que los alumnos tienen en torno a los procesos naturales y a los conceptos que los describen y explican” (Flores-Camacho F. , 2014). Los estudiantes de bachillerato se integran a las instituciones educativas con diversas ideas previas que con frecuencia han sido reforzadas mediante la experimentación empírica (de la Mata, Álvarez, y Alda, 2011). Estas ideas previas sirven para que el individuo genere explicaciones acerca del mundo que le rodea y se alejan de las teorías aceptadas por la comunidad científica. Una buena forma de apoyar a los estudiantes y docentes en la identificación y trabajo con las ideas previas es generar explicaciones de fenómenos en clase de ciencias (Kind, 2004), ya que estas las ponen en evidencia de forma implícita.
- (3) Por último, el grado de preparación del docente para favorecer la construcción de conocimiento en el estudiante de Química. El docente debe tener a) un buen manejo de los contenidos; b) contar con herramientas para comunicarlos a los estudiantes; c) contextualizar la enseñanza en el lenguaje del estudiante. Por lo que no es suficiente tener una excelente preparación en Química, sino también debe saber cómo enseñar ese contenido de forma efectiva (Reyes, Garritz, & Vargas, 2005). También las creencias sobre su enseñanza y aprendizaje del docente pudieran generar un obstáculo en el aprendizaje, sobre todo cuando el docente evita el análisis de su práctica docente, lo que impedirá que reconozca sus defectos y habilidades (Schunk, 2012), por lo tanto, sin un proceso que le permita irse superando en las áreas de oportunidad identificadas. Un error común de los recién egresados de licenciaturas disciplinares y que carecen de una formación docente es que se comunican únicamente mediante un lenguaje técnico, que es alejado del estudiante (Ruiz y Palomeque, 2015) Y por lo general esto entorpece el aprendizaje de la química y la comunicación efectiva con los estudiantes.

En relación con lo anterior de acuerdo con Miranda (2018, p. 15) se han desarrollado y modificado los planes de estudio en la EMS, dentro del cual se encuentra el programa de

estudios de Química IV área I de la Escuela Nacional Preparatoria. Este se centra en el estudiante y tiene la finalidad de que se fomente la construcción de conocimientos, se desarrollen habilidades y actitudes; y esto permita tomar decisiones informadas y fomentar una cultura científica (Dirección General de la Escuela Nacional, Programa Química III, 2017). Con lo anterior se favorece el aprendizaje de los estudiantes de sexto año en la asignatura de Química IV, desde una perspectiva de construcción de conocimiento.

El programa de Química III, previo a Química IV se diferencia de “*otros enfoques basados en la transmisión pasiva de la información, la memorización, la realización mecánica de ejercicios numéricos y de lenguaje químico*” (Dirección General de la Escuela Nacional, 2017, pág. 2), por lo que esta propuesta se plantea al pensamiento químico como eje conductor de la construcción de conocimiento para así continuar favoreciendo “*en el estudiante el desarrollo de la capacidad de abstracción mediante la interrelación de los tres niveles de representación de la materia... también se espera que el alumno valore las implicaciones de la química en su vida cotidiana...*” (Dirección General de la Escuela Nacional, 2017, pág. 2), con lo cual es relevante trabajar con modelos que den cuenta de los niveles de representación de la materia.

En el presente trabajo se desarrolla una unidad didáctica que favorece el aprendizaje del estudiante de la reacción química tomando como eje al pensamiento químico y a la construcción de modelos. Esta propuesta es útil para el abordaje de los objetivos del programa de estudios para Química IV de la ENP (Dirección General de la Escuela Nacional, 2018, pág. 3). La base principal de este trabajo es el *pensamiento químico*, un abordaje educativo propuesto por Talanquer y Pollard (2010) que en palabras de los autores son: “*ideas centrales que... guían el pensamiento [del profesional] químico en las áreas de análisis, síntesis, transformación y modelado en Química*” y que “*son los tipos de ideas que residen en el corazón de la disciplina y que tienen un valor duradero más allá del aula de química*” (Talanquer y Pollard, 2010, pág. 77 y 78).

La unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” busca desarrollar el pensamiento químico como una herramienta para el estudiante y una alternativa a la memorización del tópico de reacción química. La unidad didáctica se construyó en torno a una problemática ambiental, en la que se integra la elaboración de

modelos, una sesión experimental y la aplicación del conocimiento adquirido mejorando la comprensión de la naturaleza que le rodea.

1. Planteamiento y justificación del problema de investigación

La enseñanza de la química en México se ha vuelto complicada con el paso de los años por diversos factores. El primero es que cada año aumenta la cantidad de estudiantes que ingresan a la enseñanza media superior (EMS), lo que conlleva a aulas con una población estudiantil mayor a la soportada por los planteles educativos. Aunado a lo anterior, se deben considerar las distintas características entre los alumnos de un grupo, las particularidades del desarrollo cognitivo y emocional que tienen los adolescentes a esa edad, por ejemplo: los conflictos de valores, identidad, desarrollo físico, entre otros.

El segundo factor consiste en la presentación de los contenidos por parte del docente de la asignatura de Química. Algunos docentes se centran en los contenidos quedando ausente la necesidad de graduar y promover la abstracción e imaginación que son necesarios para la explicación de los conocimientos impartidos (Ordaz y Mostue, 2018). Un ejemplo de esto son los conceptos de átomo, la ruptura y formación de enlaces, reestructuración de átomos, los cuales son conceptos totalmente abstractos. También están las actividades que desarrolla el docente, pues puede centrarse en la resolución de problemas algorítmicos y procedimentales, que no representan un reto para el estudiante, por lo que al final pierde el interés en la química (Pérez, 2016).

El tercer factor que contribuye a la dificultad del aprendizaje de la química es que el docente que imparte la asignatura es un profesional de su campo disciplinar, pero esto no significa que se encuentre capacitado para el campo de la enseñanza. Esto puede afectar la motivación del estudiante para construir su aprendizaje (Schunk, 2012). Adicionalmente F. Camacho, et. al. (2007) reportan que la mayoría de los docentes tienen como base de su enseñanza la transmisión conceptual apegada a una forma conductista, por lo que consideran al estudiante como un contenedor que acumula conocimientos proporcionados por el docente (Ordaz, Mostue, 2018). Esta estrategia tradicional empleada por el docente se centra en realizar actividades sin detenerse en la asimilación de los conceptos por parte de los estudiantes, evitando la construcción del conocimiento.

Cuarto, hay que añadir la percepción del estudiante por la química dentro del aula. Diversas investigaciones (Ordaz, Mostue, 2018; Schunk, 2012) han documentado que cuando los

estudiantes que han estado inmersos en situaciones de éxito en el aprendizaje escolar de la química estarán más dispuestos a abordar un tema nuevo de la disciplina, que algún alumno que no ha tenido éxito en ello.

El último factor se refiere a la postura de enseñanza tradicional en la que se busca que el estudiante memorice conceptos de reacción química sin promover la toma de decisiones conscientes en relación con los niveles macroscópico, simbólico y nanoscópico. Esta acción va en contra de la teoría de Ausubel, dado que el aprendizaje debe ser significativo, es decir, debe ser adquirido por el estudiante de forma consciente y el material debe ser potencialmente significativo para que pueda relacionarse con la estructura cognoscitiva (Chrobak, 2017). Por lo que el nuevo material debe presentarse de forma contextualizada, sistemática, con una relación de conceptos relevantes (Schunk, 2012; Monereo, Castelló, Clariana, Palma, y Pérez, 1999), de lo contrario aprender un nuevo contenido podría ser frustrante para el estudiante de EMS. Si el estudiante no concibe una relación entre el mundo observable (el nivel de representación macroscópico) con las explicaciones científicas que requieren los niveles de representación nanoscópico y simbólico, podría concluir incorrectamente que no tienen utilidad.

Así, que la educación química debe disminuir la forma tradicional de enseñanza (la memorización de conceptos para acreditar una asignatura) y por otro lado promover que el aprendizaje sea poder “transformar lo que se sabe” y no únicamente “decir lo que se sabe” (Barriga y Hernández, 2010). En ese sentido Galindo (2014) menciona la relevancia de la elaboración de progresiones de aprendizajes a una comprensión integrada, por lo que es necesario propiciar *“las ideas [para que] se conectan unas con otras de manera que permiten a los aprendices comprenderlas y usarlas para resolver problemas, plantearse nuevas preguntas y entender el mundo en el que viven”*. La construcción de modelos logra la progresión del aprendizaje ya que *“...un elemento central en el desarrollo de modelos es el paso de lo concreto a lo abstracto y viceversa, con la identificación de qué conexiones sistémicas pueden explicar los fenómenos”* (Galindo, 2014, pág. 103). La propuesta de este trabajo es el uso y construcción de modelos por parte de los estudiantes, pues son la representación construida por el sujeto la cual le será de utilidad para comprender, analizar, interpretar y compartir información de un fenómeno.

En este trabajo se propone una unidad didáctica (Anexo 1) para promover la comprensión de la reacción química, en la que se articula el pensamiento químico, relacionado con la construcción de modelos, en un contexto de un problema ambiental (lluvia ácida). Por tanto, esta unidad didáctica titulada “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” se centra en tres ejes:

a) Desarrollo de pensamiento químico.

Se debe considerar que el docente es un especialista en química y este abordaje de aprendizaje lo reta a reflexionar qué saberes son los más importantes dentro de los contenidos de la asignatura. Se esta manera este proyecto promueve enseñar tomando como eje al PQ que prioriza en enseñar cómo pensamos y no lo que sabemos. Dicha propuesta ha sido implementada en la Universidad de Arizona en el primer año de licenciatura (Talanquer, 2014).

b) Construcción de modelos

Se enfoca en la construcción de modelos. Se busca que el estudiante relacione, represente sus ideas y genere explicaciones. En un trabajo experimental puede plasmar sus resultados con modelos y estos pueden modificarse en medida que avanza su construcción de conocimiento, la aportación de nuevas ideas y con la guía del docente, puede ir acercando sus modelos a los aceptados por la comunidad científica.

c) Sesión experimental con la generación de posibles explicaciones a una problemática ambiental.

Se ha incorporado un experimento para que el estudiante pueda desarrollar y proveer de *una experiencia de laboratorio* en casa. Esto incide en la autonomía del estudiante, la búsqueda y puesta en práctica de posibles soluciones a un problema y la mejora de la comprensión de un fenómeno químico. Se espera que este tipo de actividad favorezca en la construcción de su conocimiento y que sea posible su aplicación en la vida cotidiana.

Con respecto al punto a) el pensamiento químico tiene una alta demanda cognitiva, por lo que, para los estudiantes de bachillerato se considera el programa de estudios de la ENP con la finalidad de adecuar el nivel necesario para construir las bases de un solo Pensamiento

Químico. Más adelante en el capítulo 2.2.1 El pensamiento químico se abordará la definición de pensamiento químico.

Es importante mencionar que el laboratorio desde épocas antiguas, es uno de los lugares en donde se da la comprensión de la química (Chang & Goldsby, 2013). Es ese lugar donde la teoría y la práctica se conjuntan para poder dar una explicación razonable a una parte de los fenómenos que rodea al investigador. Así, a pesar de que una sustancia tenga la misma apariencia física, el científico puede distinguir de una manera crítica que:

Todas las sustancias químicas tienen al menos una propiedad que las diferencia de las demás y define su identidad. Una vez que se identifica una característica diferenciadora para una sustancia determinada, podemos usarla para detectar, separar, identificar y cuantificar esta sustancia seleccionando los métodos apropiados para sondear esa propiedad, medir la respuesta a la sonda e interpretar los datos de medición para obtener la información deseada. (Talanquer y Pollard, 2010)

Este tipo de análisis que realiza el científico se pretende trasladar al aula, equivalente a una metodología de novato a experto donde el docente, como profesional de la química, toma el papel del experto, y el novato es el alumno, éste último aprende de las experiencias del docente en específico el tema de reacción química. Al final, el estudiante se convierte en el experto y puede motivar a sus compañeros de clase logrando que se involucren en la asignatura. Esta estudiado que el método de experto a novato es viable para el aprendizaje en el área de ciencias, porque los estudiantes *“construyen el conocimiento científico, así como las teorías implícitas y los procesos de razonamiento que utilizan durante la solución de problemas y el aprendizaje”* (Schunk, 2012).

Por esta razón, como parte de la estrategia para favorecer el Pensamiento Químico, la propuesta de una sesión experimental busca que el estudiante pueda afianzar sus conocimientos mediante el desarrollo PQ4, la construcción de modelos y un problema ambiental relacionado con una reacción química. De tal manera, que se proponen metas para que los estudiantes razonen, deriven principios generales y los apliquen a situaciones nuevas.

Por lo que en este trabajo se considera la sesión experimental como una actividad en la cual no es exclusivamente necesario un laboratorio para poder lograr la comprensión de un

concepto. Se propone una experiencia que pueda ser utilizada tanto en el laboratorio como en el hogar del estudiante. Esta idea surgió a partir de los hechos que se han suscitado debido a la pandemia por COVID-19. Por la cual se ha realizado un confinamiento obligando a los docentes a modificar sus clases presenciales y trasladarlas a actividades en línea. Esta situación ha hecho que algunos docentes hagan esfuerzos titánicos para llevar a cabo las sesiones experimentales.

Con lo anterior, se espera que el estudiante pueda desarrollar pensamiento químico a la par de utilizar y comprender los tres niveles de representación de la química como lo propone el programa de estudios de la ENP de la UNAM para la asignatura de Química IV (Dirección General de la Escuela Nacional, 2018, pág. 2).

La finalidad es evitar que la química sea más misteriosa, abstracta y esotérica de lo necesario (Martínez, Valdés, Talanquer, y Chamizo, 2012). Con la propuesta de PQ4, construcción de modelos, la parte experimental y un problema ambiental, el estudiante utiliza sus conocimientos previos y los nuevos conocimientos para resolver problemáticas de carácter químico, poniendo en conflicto las ideas previas y generando un aprendizaje significativo en la interpretación de las interacciones de la estructura submicroscópica de las sustancias. Finalmente, se espera que el estudiante pueda reconocer que hay métodos para inducir y controlar las transformaciones físicas y químicas.

1.1 Objetivo general

Documentar el nivel de desarrollo de pensamiento químico que se logra al implementar una unidad didáctica que lo promueva de forma explícita para el aprendizaje de la reacción química.

1.2 Objetivos particulares

- Diseñar e implementar una unidad didáctica que promueva el desarrollo del pensamiento químico con base en la reacción química.
- Documentar el nivel de pensamiento químico y conocimiento de reacción química que desarrollan los estudiantes de EMS a través de la unidad didáctica.

2. Marco Teórico

A continuación, se presentan tres apartados que integran el marco teórico: el primero es el marco curricular, en el cual se abordan los planes y programas de estudio del bachillerato para la educación Química, la importancia de la educación en contexto y a partir del cual se selecciona un problema ambiental relacionado con la lluvia ácida para abordar el tema de reacción química. El segundo apartado corresponde al marco didáctico, en el cual se ahonda sobre el constructivismo como base de construcción de este trabajo de tesis y se integran los modelos y el pensamiento químico como complementos en la construcción de conocimiento en los estudiantes. Por último, el marco disciplinar, en el cual se aborda el concepto de reacción química.

2.1 Marco Curricular

La educación en México es un derecho fundamentado en el artículo 3° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el cual menciona que toda persona tiene derecho a la educación y es obligación de los mexicanos que sus hijas, hijos o pupilos menores de edad cursen la educación preescolar, la primaria, la secundaria y la media superior (Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2021). Es decir, el Estado no sólo debe proporcionar los insumos, espacios y materiales necesarios para el desarrollo de los estudiantes mexicanos, sino que también determinará los planes y programas de estudio de la educación en toda la República.

Hablando de la Educación Media Superior (EMS), hay siete grandes grupos de subsistemas educativos (ver Ilustración 1): los centralizados del gobierno federal, descentralizados de la federación, descentralizados en las entidades federativas, estatales, organismos del gobierno, autónomos y privados. Que a su vez se dividen en 24 distintos subsistemas de bachillerato con sus planes curriculares particulares.

Educación Media Superior			
Centralizados del Gobierno Federal	Centralizados (SEMS)	DGETI	CETIS, CBTIS
		DGETA	CBTA, CBTIF
		DGECyTM	CETMAR, CETAC
		DGB	CEB, PREFECOS, Prep. Fed. Lázaro Cárdenas
	Centralizados (SEP)	INBA	Bachillerato de Arte , Bachillerato Técnico de Arte
	Desconcentrado	IPN	CECYT, CET
Otras Secretarías	SEDENA	Bachillerato Militar	
	SEMAR, SAGARPA, PGR, ISSSTE, etc.	Bachillerato Tecnológico, Profesional Técnico y Técnico Básico	
Descentralizados de la Federación		CONALEP	Profesional Técnico-Bachiller
		CETI Guadalajara	Bachillerato Tecnológico
		COBACH México (DF)	Bachillerato General
Descentralizados de las Entidades Federativas	Coordinados por las Direcciones Generales de la SEMS (Federal-Estatal)	DGETI	CECYTE, EMSAD
		DGB	COBACH, BIC, EMSAD
Estatales	Coordinados por los Gobiernos Estatales (AEEs)		TELEBACH
			Preparatorias Estatales por Cooperación
			Bachillerato General y Tecnológico
			Profesional Técnico
Organismos del Gob. del D.F.	Coordinados por el Gob. del D.F.	Instituto de Educación Media Superior en el DF	Bachillerato General
Autónomos		UNAM	CCH, E.N. Preparatoria, Bachillerato a Distancia
		Universidades Autónomas Estatales	Bachillerato de las universidades (General y Tecnológico)
Privados			Preparatorias/Bachilleratos particulares incorporadas a la SEP-DGB
			Preparatorias/Bachilleratos particulares incorporadas a los Gobiernos Estatales (AEEs)
			Preparatorias/Bachilleratos particulares incorporadas a las Universidades Autónomas
			Preparatorias/Bachilleratos particulares no incorporadas

Nota: En este esquema no se incluye el Bachillerato Semiescolarizado, la Preparatoria Abierta ni la Capacitación para el Trabajo

Ilustración 1. Distintos subsistemas que integran la EMS. Imagen tomada de: Filósoficas UNAM (Morado, 2008)

2.1.1. Planes y programas del bachillerato

Según la información proporcionada por el portal de la Subsecretaría de Educación Media Superior (SEMS), esta fue creada el 22 de enero de 2005, precedida por el Departamento de Enseñanza Técnica Industrial y Comercial (1923), la Subsecretaría de Enseñanza Técnica y Superior (1958) y la Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológicas (SEIT) (1978) que desapareció en la reestructuración de la SEP en 2005.

Este organismo tiene como misión *“establecer las normas y políticas para la planeación, organización y evaluación académica y administrativa de la educación media superior en sus diferentes modalidades...”* (Secretaría de Educación Pública, 2021) y presentó una reforma a los planes de estudio en el año 2016 de la EMS que busca *“actualizar el sistema educativo, desde la legislación hasta las aulas”* y que considera la EMS como:

“un espacio para formar personas con conocimientos y habilidades que les permitan desarrollarse en sus estudios superiores o en el trabajo, y de forma más amplia, en la vida. Asimismo, los jóvenes adquieren actitudes y valores que tienen un impacto positivo en su comunidad y en la sociedad”. (Secretaría de Educación Pública, 2017, pág. 45).

En ese sentido, la SEMS reformuló sus planes de estudio para la EMS y así asegurar que los jóvenes tendrán una formación que les dé *“las habilidades mínimas necesarias para el empleo y la capacitación, así como para el acceso a niveles educativos superiores”* (Secretaría de Educación Pública, 2017, pág. 45).

Por otra parte, el artículo 3° en su fracción VII menciona que las universidades y las demás instituciones de educación superior a las que la ley otorgue autonomía tendrán la facultad y responsabilidad de determinar sus planteles y programas, por lo que la UNAM se maneja de manera independiente a la SEMS. Así, la oferta educativa a nivel bachillerato que proporciona la UNAM se centra en dos tipos de modelo educativo: Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), cada uno con un plan de estudios definido. De estos dos modelos educativos, este trabajo se centrará únicamente en

el modelo de la ENP, el cual reformó su plan de estudios en 1996, estableciendo el siguiente propósito:

“la formación integral del educando: aquella que le proporciona elementos cognoscitivos, metodológicos y afectivos que, en síntesis, le permitan profundizar de manera progresiva en la comprensión de su medio natural y social, desarrollar su personalidad, definir su participación crítica y constructiva en la sociedad en que se desenvuelve e introducirse en el análisis de las problemáticas que constituyen el objeto de estudio de las diferentes disciplinas científicas y tecnológicas, siempre con la perspectiva de la formación profesional universitaria” (DGENP-UNAM, 2021).

Es decir, se busca que el egresado de este *modelo educativo* (DGENP-UNAM, 2021) logre desarrollar una comprensión crítica y constructiva, útil para la sociedad. Al mismo tiempo, cumpla con los requerimientos que demandan los estudios superiores en general y los de cada área de formación académica.

Las reformas de los planes de estudio de estas dos perspectivas de EMS (la formación, integración al área laboral y continuación de estudios profesionales; y por otro, la formación y continuación de estudios profesionales) concuerdan en cubrir contenidos que sean actuales y de utilidad para el estudiante. Además, comparten el objetivo de generar egresados con habilidades, valores, actitudes y comprensión de su medio social y natural.

2.1.1.1 Programas de estudio para Química

Como se mencionó en el capítulo anterior, en México hay distintos modelos para el nivel bachillerato y los cambios efectuados en los planes de estudio han modificado la presentación de contenido de diferentes campos disciplinares y esto se refleja en los programas de estudio. Para fines de este trabajo se presentarán de manera general los programas de Química para bachillerato general y ENP.

El programa de asignaturas para el bachillerato general sigue la propuesta realizada por la SEMS la cual se apega a la estructura establecida en el Modelo Educativo, por lo que los planes y programas de estudio se centran en cinco campos disciplinares: comunicación, matemáticas, ciencias experimentales, ciencias sociales, humanidades y desarrollo humano. El programa de la asignatura de Química del Colegio de Bachilleres se encuentra en el campo

de las ciencias experimentales (ver Ilustración 2). La asignatura se imparte a lo largo de tres semestres: Química I, en el segundo semestre; Química II en el tercer semestre y Química III en el cuarto semestre.

CAMPOS	1er SEMESTRE			2o SEMESTRE			3er SEMESTRE			4o SEMESTRE			5o SEMESTRE			6o SEMESTRE					
	Asignatura	H	C	Asignatura	H	C	Asignatura	H	C	Asignatura	H	C	Asignatura	H	C	Asignatura	H	C			
ÁREA DE FORMACIÓN BÁSICA																					
Comunicación	Inglés I	3	6	Inglés II	3	6	Inglés III	3	6	Inglés IV	3	6	Inglés V	3	6	Inglés VI	3	6			
	Tecnologías de la Información y la Comunicación I	2	4	Tecnologías de la Información y la Comunicación II	2	4	Tecnologías de la Información y la Comunicación III	2	4	Tecnologías de la Información y la Comunicación IV	2	4									
	Lenguaje y Comunicación I	4	8	Lenguaje y Comunicación II	4	8	Lengua y Literatura I	3	6	Lengua y Literatura II	3	6	Taller de Análisis y Producción de Textos I	3	6	Taller de Análisis y Producción de Textos II	3	6			
Matemáticas	Matemáticas I	4	8	Matemáticas II	4	8	Matemáticas III	4	8	Matemáticas IV	4	8	Matemáticas V	4	8	Matemáticas VI	4	8			
Ciencias Experimentales	Física I	3	5	Física II	3	5	Física III	3	5												
				Química I	3	5	Química II	3	5	Química III	3	5									
							Geografía I	2	4	Geografía II	2	4									
Ciencias Sociales	Ciencias Sociales I	3	6	Ciencias Sociales II	3	6	Historia de México I	3	6	Historia de México II	3	6	Biología I	3	5	Biología II	3	5	Ecología	3	5
Humanidades	Introducción a la Filosofía	3	6	Ética	3	6															
Desarrollo Humano	Apreciación Artística I	2	4	Apreciación Artística II	2	4															
	Actividades Físicas y Deportivas I	2	4	Actividades Físicas y Deportivas II	2	4															
	Orientación I	2	4							Orientación II	2	4									

Ilustración 2. La asignatura de química es parte del campo disciplinar de ciencias experimentales y se imparte por tres semestres continuos. Información obtenida de los planes de estudio del Colegio de Bachilleres (Programa de Asignatura Química II, 2018).

El tópico de reacción química es parte del programa de Química II del Colegio de Bachilleres (Programa de Asignatura Química II, 2018) dentro de este programa se establecen los aprendizajes esperados, aquí solo se resaltan los de interés para este trabajo de investigación:

- Interpreta al cambio químico como un proceso en el que a partir de ciertas sustancias iniciales se producen otras, debido a la ruptura y formación de enlaces,
- Resuelve problemas de reacciones conocidas utilizando su descripción a través de la ecuación química correspondiente, destacando lo que éstas representan, y
- Diferencia los ácidos de las bases utilizando ejemplos de la vida cotidiana.

Por otro lado, el plan de estudios de la ENP (Plan de Estudios 1996 Preparatoria, 1997) está diseñado en programas anuales con una organización curricular que contempla: a) las líneas

de orientación curricular; b) los campos de conocimiento (ejes de formación); y c) etapas de formación.

Las líneas de orientación curricular se relacionan con los campos de conocimiento y se dividen en dos: competencias y dimensiones relacionales. Las competencias son las que deben construirse durante proceso de enseñanza-aprendizaje y se centran en:

1. análisis (pensamiento divergente-sintético),
2. comunicación (indagación, lectura, expresión, redacción),
3. creatividad, y
4. autonomía e individuación.

Las dimensiones relacionales son el vínculo del proceso gradual de la enseñanza-aprendizaje que corresponde a cada etapa de formación de los estudiantes y se centra en:

1. ciencia y medio ambiente,
2. cultura y sociedad, y
3. tecnología e informática.

Con respecto a los campos de conocimiento, corresponden a cuatro campos:

1. matemáticas,
2. ciencias naturales,
3. historia-social, y
4. lenguaje, comunicación y cultura.

En cada uno de los campos existe un eje principal que establece la coherencia y congruencia, define contenidos, antecedentes y consecuencias.

Las etapas formativas se proponen para construir de manera progresiva y congruente los campos de conocimiento, así las etapas de formación son: etapa I se centra en la introducción al campo de conocimientos (4° año), la etapa II en profundización (5° año) y la etapa III (6° año) en orientación propedéutica.

El programa de estudios de la asignatura de Química se ubica en las etapas formativas II y III. Química III, se imparte a partir del segundo año de bachillerato (etapa de profundización)

y Química IV que se imparte en el último año de bachillerato (etapa de orientación propedéutica). Para el último año de bachillerato al ser orientación propedéutica, sólo se imparte para las áreas I y II que corresponden a Fisicomatemáticas y de las Ingenierías y Ciencias Biológicas y de la Salud respectivamente.

2.1.1.2 Reacción Química y el plan de estudios de la ENP

Uno de los paradigmas educativos en los currículos de química a nivel medio superior, incluyendo a la ENP, es desarrollar un pensamiento crítico en química que considere la interrelación de los tres niveles de representación de la materia (Ordaz y Mostue, 2018). Además, de la construcción de saberes de carácter científico, para que el estudiante pueda desarrollar un pensamiento crítico (Dirección General de la Escuela Nacional, Plan de estudios. Química IV Área I, 2018).

Específicamente en la asignatura de Química, el programa de estudios propone que la comprensión de fenómenos sea a través de los tres niveles de representación de la materia propuestos por Johnston: nanoscópico y macroscópicos en un lenguaje químico (simbólico) (Plan de Estudios Programa Química III, 2017). Además, busca favorecer la curiosidad del estudiante mediante la presentación del contenido contextualizado en problemas sociales favoreciendo una cultura científica.

Esta representación de la materia se puede abordar en el contenido de reacción química, dado que se define como “...un proceso en el que una sustancia (o sustancias) cambia para formar una o más sustancias nuevas” (Chang & Goldsby, 2013). El fenómeno de estudio se puede analizar desde una reacción química en la que se involucra una sustancia inicial que el estudiante puede observar (macroscópico), y hacer un seguimiento visual a través de la transformación que se lleva a cabo. Este proceso se puede explicar a través del nivel de representación nanoscópico, construyendo modelos congruentes con la información científica que expliquen la formación de la nueva sustancia, mientras que la representación simbólica (de las sustancias iniciales a las nuevas), puede apoyar a la comprensión del fenómeno, pues es necesario escribir con el lenguaje químico adecuado qué ocurrió durante el fenómeno.

Los tres niveles de representación de la química pueden ser integrados en el triángulo planteado por Johnstone (1993). Este facilita la comprensión de la interrelación entre los niveles de representación, en particular para la reacción química, que puede ser utilizado para analizar desde diferentes puntos de vista los cambios que sufren las sustancias originales para transformarse en otras sustancias con diferentes propiedades físicas y diferentes composiciones (Chang & Goldsby, 2013). Por lo que es necesario que el estudiante tenga en cuenta las tres representaciones de la materia (macroscópico, nanoscópico y simbólico) al momento de abordar un fenómeno. Para los estudiantes relacionar estos niveles es un reto, Vos y Verdonk (1985) y Casado y Raviolo (2005) documentaron la dificultad de los estudiantes para relacionar los diferentes niveles de representación de la materia y encuentran que los estudiantes no logran relacionar los cambios macroscópicos con la representación nanoscópica que involucra tipos de enlaces, distancia de enlace, nuevos enlaces formados con los representados de manera simbólica (Ordonez, Arellano, *et al.*, 2014, pág. 51).

Otra dificultad que atañe a la implementación del triángulo de los niveles representación planteado por Johnstone es el uso de los términos. Ordonez *et al.* (2014) mencionan que hay una falta de homologación en la terminología, es decir, *“hay una diversidad de términos para referirse a los tres niveles de la materia”*. Por lo que el modelo de Johnstone como estrategia de enseñanza utilizada por los docentes, puede tener complicaciones generando un aprendizaje carente de significado y como resultado la pérdida de la construcción de conocimientos.

En este trabajo se propone que en la unidad didáctica se promueva la discusión, obtención e integración de la información, aunado al desarrollo de pensamiento químico con la finalidad de que el estudiante de bachillerato pueda tener una mejor comprensión de la reacción química.

En esta investigación se toma el programa de Química IV para área I cuyo propósito es que el alumno *“desarrolle la capacidad de abstracción mediante la comprensión de los tres niveles de representación de la materia: el macroscópico, el nanoscópico y el simbólico; refuerce el lenguaje propio de la disciplina, que adquirió en el curso de Química III de una manera transversal durante el desarrollo de las tres unidades y que valore el avance tecnológico relacionado con la química y su vida cotidiana, así como el uso adecuado de los*

recursos energéticos y el manejo responsable de los residuos” (Plan de estudios. Química IV Área I, 2018, pág. 2).

El tópico de reacción química se aborda en la Unidad 1, los contenidos conceptuales y procedimentales cuyo objetivo general es que el estudiante integre los conceptos de química aprendidos en el curso anterior y su impacto en el ambiente. Esto *“mediante el análisis de textos científicos en español y otro idioma, la resolución de problemas, la realización de cálculos e interpretación de datos apoyados en las TIC, para que profundice su conocimiento y comprenda la problemática en la sociedad actual, asumiendo una postura crítica y responsable dentro de su entorno, mediante el desarrollo de valores” (Plan de estudios. Química IV Área I, 2018, pág. 3).*

2.1.2 La importancia de la educación en contexto

De acuerdo con la Secretaría de Educación Pública en la encuesta anual del Perfil de Alumnos de EMS año 2019, reveló que los temas que más leen los estudiantes son de música, animales y salud. En la Ilustración 3 se muestra que para los estudiantes su mayor interés está en cuidado del ambiente, alimentación saludable y estrategias de estudio (Secretaría de Educación Pública, SEP, 2019).



Ilustración 3. Intereses del estudiante de Educación Media Superior

Con el fin de presentar un escenario interesante a los estudiantes se seleccionó un problema ambiental como eje de la unidad didáctica que cumple con dos características: (1) que permita modelar adecuadamente la reacción química para que los estudiantes pueden construir el concepto y (2) que sea relevante para el estudiante considerando los tópicos que más le interesan al estudiante de EMS.

Dado que los estudiantes tienen interés por temas relacionados con la salud y el ambiente, se espera que al elegir uno de ellos para presentar contenidos y escenarios educativos a los estudiantes, se favorecerá el aprendizaje. Por lo anterior, esta propuesta se centra en la construcción de una unidad didáctica llamada “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” Esta unidad se basa en tres ejes: pensamiento químico, modelo y una problemática ambiental con la cual se pretende abordar la temática de reacción química.

El revisar el programa de Química IV del programa de la ENP, se decidió poner en marcha en la Unidad 1. Litio: una fuente de energía alternativa, como preámbulo a Reacciones de oxidación-reducción: determinación del estado de oxidación, balanceo redox, agente oxidante y reductor. Estequiometría masa-masa, mol-mol. Así la unidad didáctica presentada en este trabajo es una introducción que permite revisar los aspectos de reacción química,

balanceo de reacciones y principios de estequiometría. Esta decisión fue tomada en conjunto con el asesor docente asignado y posterior a ella se abordó de forma más eficiente el tema RedOx.

Así, se toma el problema ambiental de la lluvia ácida para captar el interés del estudiante y dar pie a la introducción del tema de reacción química, ya que para los estudiantes es más atractivo un tema referente al cuidado del medio ambiente. La lluvia ácida como enganche de los estudiantes ha sido abordada por diversos autores (Manfredi, 2018, Basso, 2018, Avelino, 2019, Oros, 2021) si bien las distintas perspectivas de cada autor van centradas en la relación de problemas ambientales, reacción química y conciencia social, en este trabajo se buscó que la sesión experimental fuera congruente con la problemática ambiental y al mismo tiempo, se pudiera realizar la sesión experimental desde casa. Por lo que la lluvia ácida es el medio para alcanzar el interés del estudiante y guiarlo hacia el tema de reacción química.

Desde el aspecto funcionalista, dentro del laboratorio, el científico químico va desarrollando habilidades, hábitos, técnicas y propuestas de decisiones para solucionar problemas específicos. Los profesionistas de la química coinciden en que *“los químicos piensan con las manos”* (Jeffrey, 2015) Para esta propuesta se integra una sesión experimental, ya que el laboratorio se convierte en un *“espacio educativo”* (Reyes-Cárdenas, Cafaggi Lemus, & Et al , 2019, pág. 80) para desarrollar el pensamiento químico mediante la experimentación, al mismo tiempo que va contrastando sus conocimientos, con los hallazgos, con el conocimiento de sus pares y de las teorías científicas. En este sentido para el químico el laboratorio se vuelve parte de su vida,

En este trabajo se considera que el aprendizaje no es meramente estructuralista, por lo que una sesión experimental permitirá una asociación de las experiencias que pueden ser adquiridas para fomentar la formación y cambio de hábitos (de un aprendizaje conductista a una construcción del conocimiento) que le servirán al estudiante para que se desarrolle en el ambiente de la química, como lo podrá notar en la temática de reacción química y que podrá observar en el laboratorio. De manera indirecta estas observaciones las aborda Talanquer, 2010 considerando que los cursos de química deben ayudar al estudiante a desarrollar el

entendimiento de los modelos químicos y dar sentido a los resultados de uno o más experimentos (Martínez, Valdés, Talanquer, Chamizo, 2012).

La revisión realizada de los programas de la asignatura de química permitió que se determinaran las coincidencias tanto conceptuales, competencias y habilidades que pretenden desarrollar cada programa y plan de estudios. Por lo que se diseñó una unidad didáctica que pueda ser implementada tanto para bachillerato general como para ENP, que construya saberes científicos a través del pensamiento químico. Vicente Talanquer menciona que los especialistas químicos han desarrollado soluciones a problemáticas del área química a partir de las *herramientas intelectuales* que ha ido perfeccionando (desarrollo de modelos, técnicas para detectar, identificar, separar y cuantificar diferentes sustancias) (Talanquer & Pollard, 2010, pág. 76) y no únicamente del contenido de la Química (asignatura), por lo tanto, estas herramientas pueden ser enseñadas al estudiante de química para la comprensión de fenómenos que ocurren dentro y fuera del laboratorio. Como se ha venido mencionando la temática de reacción química es difícil de abordar en el aula, así pues, en el presente trabajo se abordará esta temática a partir de una problemática ambiental en dos ejes: pensamiento químico y desarrollo de modelos.

Así, se espera que esta unidad sea una herramienta para el docente que se encuentre en cualquier subsistema educativo y pueda abordar los contenidos para lograr los objetivos planteados en cada programa.

2.2 Marco didáctico

Dado que el objetivo principal de este trabajo es que el estudiante sea quien construya su conocimiento con otros, se toma como referente a la teoría constructivista social de Vygotsky, en la cual destaca que la interacción de los factores interpersonales (sociales), los histórico-culturales y los individuales son la clave del desarrollo humano (Schunk, 2012), pues la interacción con otros individuos del entorno estimula los procesos de desarrollo y crecimiento cognoscitivo. Para Vygotsky la utilidad de las interacciones permite transformar las experiencias basadas en su conocimiento y características del individuo, de la misma manera que reorganiza sus estructuras mentales. En la teoría de Vygotsky se puede englobar en cuatro ideas principales (Schunk, 2012):

- “las interacciones sociales son fundamentales; el conocimiento se construye entre dos o más personas,
- la autorregulación se desarrolla mediante la internalización (desarrollando una representación interna) de las acciones y de las operaciones mentales que ocurren en las interacciones sociales”,
- el desarrollo humano ocurre a través de la transmisión cultural de herramientas (lenguaje y símbolos”,
- el lenguaje es la herramienta más importante; su desarrollo va desde el discurso social y el discurso privado, hasta el discurso cubierto (internos)”, y
- La zona de desarrollo próximo (ZDP) es la diferencia entre lo que los niños pueden hacer por sí mismos y lo que pueden hacer con ayuda de otros. Las interacciones con los adultos y los pares en la ZDP fomentan el desarrollo cognoscitivo”.

La propuesta de este trabajo pretende que el estudiante construya conocimiento mediante la guía del docente, el pensamiento químico, la construcción de modelos y el aprendizaje activo con el apoyo de un micro-experimento, así el estudiante puede resolver problemas evitando la memorización de conceptos que no tienen sentido para él.

A continuación, se presentan algunas investigaciones centradas en la enseñanza de la química y la temática de reacción química.

La enseñanza de la química ha cambiado en los últimos 20 años, gracias a la investigación educativa, por ejemplo, Mijangos *et. al.* (2016), realizaron un artículo llamado *Diseño de un modelo didáctico para la enseñanza de las ciencias en Química* cuyo objetivo fue “*Diseñar un modelo didáctico para la enseñanza de las ciencias en Química para el tema <Balanceo de Ecuaciones> bajo el enfoque educativo por competencias y evaluar su eficacia en la ganancia de aprendizaje en estudiantes universitarios*” (Mijangos, 2016). Las metas más relevantes de esta investigación son contribuir a la mejora de la práctica docente en enseñanza de las ciencias a nivel universitario y lograr una mejor comprensión de los temas de Química. La metodología empleada fue un instrumento aplicado, levantamiento en campo de grabaciones sobre el comportamiento de los profesores en aula, testimonios derivados de la aplicación de la entrevista estructurada a los profesores y cuestionarios sobre su práctica

docente. Esto se llevó a cabo en una muestra donde la población estaba constituida por 80 estudiantes próximos al egreso y cuya edad se encuentra en el rango de 23 a 25 años. Esta investigación coincide con lo planteado en este marco didáctico, pues concluye que la enseñanza de la química debe promover la aplicación del trabajo en equipo, la validación del conocimiento entre alumnos y la guía del docente para facilitar la comprensión de los temas. Además, hace hincapié en la reflexión por parte del estudiante sobre su experiencia de aprendizaje y sobre el conocimiento adquirido, por lo cual el conocimiento puede invocarse de la memoria con mayor facilidad. Con respecto al modelo didáctico propuesto por los autores, concluyen que un modelo didáctico planificado para la enseñanza de las ciencias logra mayores beneficios en las pruebas por competencias en comparación de modelos didácticos tradicionales.

Los modelos didácticos tradicionales que se pueden considerar en la enseñanza de la química pueden venir incluidos en los planes de estudios y programas. Ordaz y Mostue (2018), en su artículo de *Los caminos hacia una enseñanza no tradicional de la química*, mencionan algunas dificultades relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje de la química: las preconcepciones del estudiante, los currículos académicos y que los medios de comunicación promueven una reputación falsa de la disciplina. La idea central de los autores radica en la dificultad para la enseñanza de la química, considerando que la institución, el plan de estudios, el docente y los alumnos, desenvueltos en una sociedad, no son actores aislados, todos participan en el papel de enseñanza y aprendizaje.

Por su parte Talanquer y Pollard, 2010 en su artículo titulado *Let's teach how we think instead of what we know. Chemistry*, proponen un programa de estudios para la asignatura Química con base en lo que denominan Pensamiento Químico, el cual se propone a partir de la forma de pensar de los profesionales químicos. Esta es una propuesta didáctica que se abordará más adelante en el capítulo 2.2.1 El pensamiento químico.

Hasta ahora se han presentado en este texto investigaciones centradas en cómo enseñar química y la importancia de un plan o programa de estudios centrados en el desarrollo de pensamiento químico, pero falta la evaluación de los conocimientos construidos por los estudiantes dentro del laboratorio. A este respecto, Reyes-Cárdenas, Cafaggi, y Llano (2019) publicaron el artículo *Evaluación y aprendizaje basado en habilidades de pensamiento en un*

curso de laboratorio de química general que tenía como objetivo la elaboración de un instrumento de aprendizaje y evaluación para contextos educativos en el laboratorio de química. El instrumento está dirigido para incidir en la mejora de la formación de los futuros profesionistas de la licenciatura en Química y tiene por nombre “Inventario de Habilidades para el Trabajo en Laboratorio de Química”. Los autores concluyen que los laboratorios son sitios distintos al aula que pueden ser aprovechados al máximo para favorecer la construcción y desarrollo de habilidades.

2.2.1 El pensamiento químico

La didáctica de la química ha pasado por varias etapas, Melanie Cooper destaca en su artículo *Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice* (Cooper, 2018) que la investigación en educación química tiene relativamente pocos años. A principios del siglo XX la literatura en educación química se centraba en manuales de prácticas de laboratorio y perspectivas personales de profesores de química. Por lo que Cooper dedica este artículo a retratar el desarrollo de la investigación educativa en química a través de los años.

Para Cooper el corte más actual tiene que ver con el énfasis en el desarrollo de habilidades y menciona al pensamiento químico propuesto (Talanquer, 2014) que se puede abordar por los estudiantes a través de “*progresiones de aprendizaje*”. Esta se refiere a “... *las vías de aprendizaje a través de las cuales las ideas y formas de pensar de los estudiantes sobre la síntesis, el análisis y la transformación (es decir, su pensamiento químico) se desarrollan a través de la educación formal, en el contexto de enfoques pedagógicos que involucran investigación, diseño y evaluación*” (Sevian y Talanquer, 2014, pág 13). El pensamiento químico se basa en la forma de trabajar de los químicos profesionales y cómo se puede trasladar estas actividades a los estudiantes.

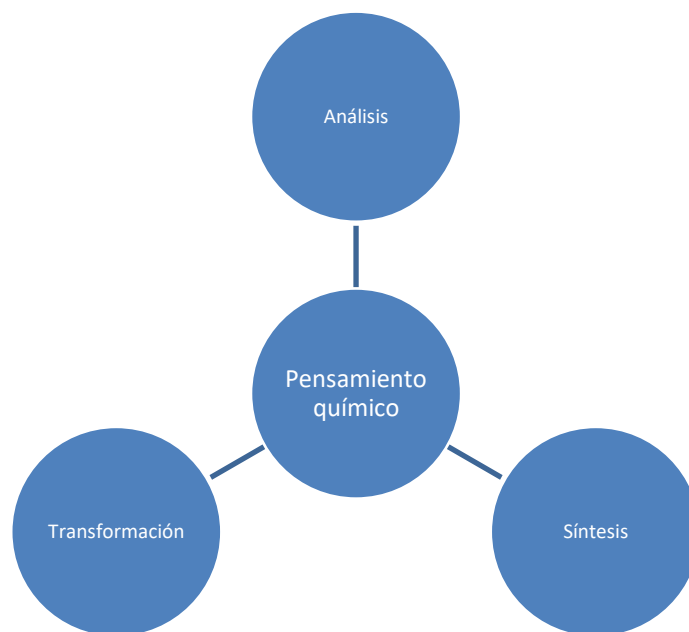


Ilustración 4. Pensamiento químico y desarrollo de habilidades consideradas importantes para los químicos profesionales.

El pensamiento químico es el eje central de un curso basado en promover la comprensión de las prácticas realizadas por los químicos modernos hacia estudiantes. Como se puede observar en la Ilustración 4, las habilidades más importantes son: análisis (“desarrollo y aplicación de estrategias para la detección, identificación, separación y cuantificación de sustancias químicas”), síntesis (“diseño de nuevas sustancias a partir de rutas sintéticas”) y transformación (“controlar el proceso químico con fines no sintéticos, como el aprovechamiento de la energía química”). Esta organización de conocimientos difiere de otros planes mencionados por Cooper en su artículo, pues pretende desarrollar el conocimiento en los estudiantes, uso y generación de prácticas productivas y auténticas.

Talanquer en su artículo *Let's teach how we think instead of what we know* (2010) presenta su propuesta de Pensamiento químico como una alternativa de enseñanza de la química modificando el currículo para estudiantes de nivel superior. En este artículo presenta una reflexión de los currículos de enseñanza de la química y los agrupa en tres bloques (Ilustración 5):

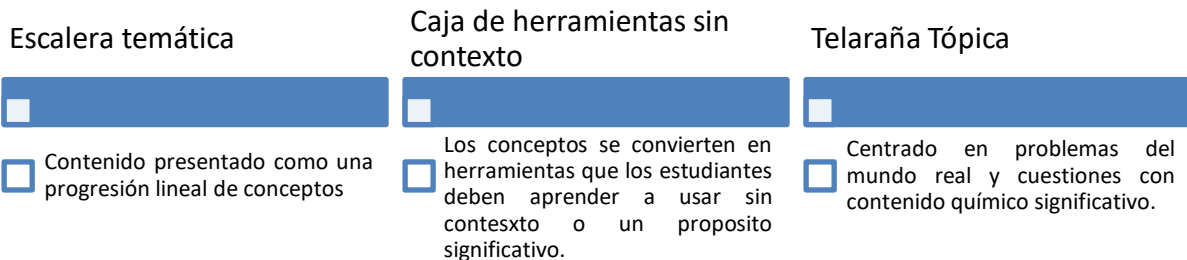


Ilustración 5. Bases de algunos currículos para la enseñanza de la química.

Con el fin de evitar una ampliación de conocimientos y aumentar la profundidad de estos la propuesta de Talanquer se centra en *“cómo piensan los profesionistas de la química y cómo estas formas de razonamiento químico pueden ser útiles para resolver problemas importantes y relevantes en muchas áreas”*.

Talanquer propone que las preguntas esenciales y actividades principales de los químicos profesiones son: ¿Qué es? (análisis), ¿cómo lo hago? (síntesis), ¿cómo lo cambio? (transformación) y ¿cómo lo explico (modelado). Estas preguntas forman parte del razonamiento que han desarrollado los químicos profesionales. Así en palabras de Talanquer y Pollard (2010):

“Los químicos han desarrollado una variedad de modelos y técnicas para detectar, identificar, separar y cuantificar la cantidad de las diferentes sustancias presentes en un sistema de interés, desde el aire que nos rodea hasta nuestro cuerpo interno. Las herramientas intelectuales y prácticas de la química nos permiten responder preguntas esenciales como: ¿De qué está hecho esto? ¿Esta sustancia está presente? ¿Cómo lo aislamos? ¿Cuánto de eso tenemos? en una variedad de contextos cruciales y relevantes para la sociedad moderna...”

A partir de este análisis se propone un enfoque curricular novedoso que en palabras de Talanquer se basa en que:

- *“desvía la atención del aprendizaje de la química con un cuerpo de conocimiento para centrarse en la comprensión de la química como una forma de pensar,*
- *promueve una comprensión conceptual más profunda de un núcleo mínimo de ideas fundamentales en lugar de una cobertura superficial de múltiples temas,*
- *conecta ideas centrales entre unidades del curso siguiendo progresiones de aprendizaje bien definidas”*,

- *tiene en cuenta resultados de la investigación en educación científica y química sobre cómo aprenden las personas para desarrollar una secuencia curricular sólida y las actividades de aprendizaje asociadas,*
- *introduce a los estudiantes a las formas modernas de pensar, modelar, tomar decisiones y resolver problemas que se utilizan en química, e*
- *involucra a los estudiantes en actividades realistas de toma de decisiones y resolución de problemas en áreas de interés para la ciencia y la tecnología del siglo XXI sin perder el rigor intelectual”.*

En la propuesta de Talanquer se extraen las ideas centrales que guían el desarrollo del pensamiento químico en las áreas de análisis, síntesis, transformación y modelado en química. Estas ideas centrales se transforman en los Pensamientos Químicos que guiarán el desarrollo de los estudiantes durante su formación escolar y que están presentes en el nuevo plan de estudios. Los pensamientos químicos propuestos son cinco (Talanquer y Pollard, 2010, pág. 77):

- ❖ La identidad de una sustancia química está determinada por su estructura submicroscópica. Los tipos específicos, el número y la disposición de los átomos o iones que comprenden sus moléculas o la red iónica, metálica o molecular subyacente determinan las propiedades físicas y químicas de la sustancia.
- ❖ La estructura submicroscópica de una sustancia química determina la naturaleza de sus interacciones. Las interacciones entre los componentes submicroscópicos de diferentes sustancias o con diferentes formas de radiación electromagnética pueden inducir reordenamientos atómicos o moleculares que cambian las propiedades de la sustancia o conducen a la formación de nuevas sustancias.
- ❖ Explorar y modelar cómo las propiedades de las sustancias están relacionadas con la estructura, las interacciones y la dinámica de sus componentes submicroscópicos ayuda a diseñar métodos para separar, detectar, identificar y cuantificar las sustancias, así como procedimientos para sintetizarlas o transformarlas.
- ❖ Explorar y modelar los efectos de diferentes tipos de interacciones en la estructura submicroscópica de las sustancias, así como los mecanismos a través de los cuales

pueden ocurrir cambios estructurales, ayudan a diseñar métodos para inducir y controlar las transformaciones físicas y químicas.

- ❖ Para sintetizar o transformar una sustancia química, debemos identificar los factores intrínsecos (estructura) y extrínsecos (ambiente) que pueden influir en su estabilidad termodinámica y cinética. La identificación de disposiciones atómicas y electrónicas características a nivel molecular nos ayuda a hacer predicciones sobre la reactividad química y las posibles vías de reacción.

Otro aporte importante de estos autores es una “espiral inquisitiva”¹ (Talanquer y Pollard, 2010, pág. 78) que comienza y termina con el análisis de las propiedades macroscópicas de sustancias y materiales químicos (ver Ilustración 6).

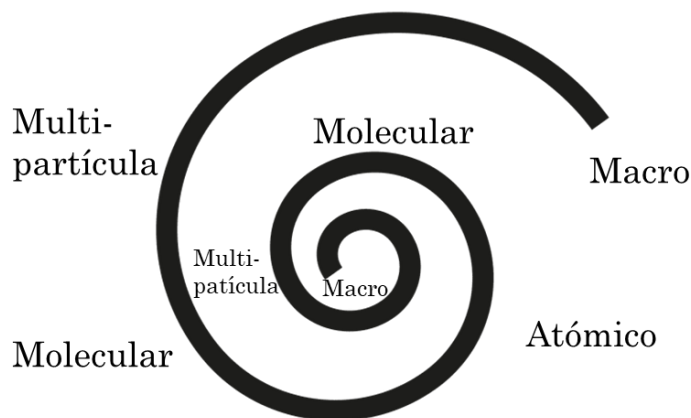


Ilustración 6. Interpretación realizada de la Espiral inquisitiva de Talanquer y Pollard, 2010.

Esta espiral consiste en explorar y reconocer las diferencias de un material o sustancia desde sus propiedades físicas. Este primer paso crea la necesidad de desarrollar modelos que puedan utilizarse para justificar y predecir estas diferencias. La primera aproximación es la generación de un modelo dinámico o *múltiples partículas*, la espiral inquisitiva busca la interrelación desde el nivel macroscópico hasta el nivel multipartícula (interacciones entre partículas). Según Talanquer, esto favorece el desarrollo de habilidades para describir,

¹Traducción directa de ‘inquisitive spiral’.

explicar y predecir, pues son cruciales para la comprensión de conceptos centrales como la transición de fase y el equilibrio químico.

Con respecto a los modelos, estos son representaciones mentales basadas en analogías que guardan cierta relación con el mundo que representan. Por lo que la construcción de modelos por parte del estudiante es de gran relevancia para el desarrollo del pensamiento químico. En palabras de Martínez, Valdés *et al.* (2012, pág. 364):

“Aprender a utilizar los conceptos, las ideas y los modelos de la química para responder preguntas de interés requiere tener una idea clara de cómo se generan las ideas y los modelos, lo que nos lleva a discutir el rol... [del]... modelaje ...”.

Los autores se refieren al modelaje como la construcción de un modelo basado en analogías (Martínez, Valdés, Talanquer, y Chamizo, 2012, pág. 363). La elaboración del modelo es enriquecedora para el aprendizaje, pues la información puede ser comparada con los datos empíricos y de no coincidir el modelo, este puede ser ampliado y corregido. En otras palabras, el desarrollo de los modelos se obtiene de un proceso iterativo de evidencia empírica que permite revisar y modificar los presupuestos básicos de los mismos.

Así que, los docentes deben darles oportunidad a los estudiantes de construir su propio conocimiento basado en el análisis y discusión de resultados experimentales y la construcción de modelos que permitan explicarlos, pues *“los modelos juegan el papel de herramientas intelectuales útiles para resolver problemas y hacer predicciones* (Martínez, Valdés, Talanquer, y Chamizo, 2012)”.

2.2.2 Uso de modelos en la enseñanza

En la enseñanza de la química los docentes hacen uso de diversos modelos que faciliten la comprensión de los estudiantes en los temas abordados. Sin embargo, en muchas de las ocasiones esta comprensión se limita a pedir a los estudiantes la reproducción de los modelos científicos sin un análisis adecuado para la asimilación del conocimiento.

Para lograr un cambio, es de suma importancia que los docentes reconozcan las principales ideas previas y problemas asociados que tienen los estudiantes y, considerando esta información, generen modelos escolares asequibles para sus estudiantes, de tal forma que ellos mismos puedan construir sus propios modelos. De ser posible, es conveniente que se revisen las aportaciones de cada modelo presentado con el fin de que los participantes puedan contrastar las aportaciones que tiene cada uno de ellos con respecto a lo que sabe acerca de la química.

Una forma de aproximarse a esto es que el docente podría comparar el modelo científico, con el modelo escolar y algunos modelos de sus estudiantes logrados en el aula, generando así estrategias de metacognición. Según Schunk (2012) la metacognición es cuando el individuo realiza de manera controlada y deliberada la actividad cognoscitiva. En otras palabras, “*se llama metacognición porque su principal significado es ‘cognición acerca de la cognición’*”. Existe la creencia de que las habilidades metacognitivas están en diversas actividades cognoscitivas, por ejemplo, comunicación oral de información; persuasión y comprensión oral; comprensión de lectura y escritura; apropiación del lenguaje; percepción, atención y memoria; solución de problemas; cognición social y diversas formas de auto instrucción y auto control (Schunk, 2012, pág. 286).

Un modelo es una representación construida por el sujeto que sirve para comprender, analizar, interpretar y compartir información (Sesto y García-Rodeja, 2017, pág. 522) La construcción de un modelo no es trivial, requiere de un análisis y comprensión de un tema. El uso de modelos para la enseñanza de la ciencia ha cobrado relevancia (Ordones, Arellano, y *et al.*, 2014; Adúriz-Bravo, 2010; Reyes-Cardénas, Ruiz-Herrera, Llano, *et al.*, 2021; Adúriz-Bravo, 2012) ya que el uso de modelos en el aprendizaje se puede hacer a partir de un fenómeno o fenómenos experimentados con los sentidos y para la construcción del modelo se deben seleccionar ciertas características teóricas o empíricas.

Específicamente en la enseñanza de la química, estas representaciones pueden hacer alusión a la representación de la materia. En este sentido, Ordones (2014) logra identificar a partir de varias investigaciones de la literatura, tres tipos de representaciones que realizan los estudiantes:

1. Representaciones fenomenológicas. Representaciones experimentadas con los sentidos
2. Representaciones modélicas. Explicación cualitativa de los fenómenos
3. Representaciones simbólicas. Apoyar una explicación cuantitativa de los fenómenos

Es decir, las representaciones de los estudiantes se pueden dividir en representaciones según sea el uso y explicación del modelo.

Con respecto al uso y explicación de los modelos Adúriz (2012) realiza la categorización de puntos clave que pueden ser relevantes para la educación química. De esta forma se debe considerar que los modelos científicos se pueden clasificar según distintos criterios,

- son modelos a-partir-de,
- se construyen para unas determinadas finalidades y valores,
- son analógicos respecto a la realidad,
- son construcciones teóricas, y
- median entre teoría y realidad.

Existe una relación entre los modelos que construyen los estudiantes y los modelos científicos, pues los modelos deben dar sentido al funcionamiento del mundo que rodea al sujeto. Por lo que se pueden trasladar estas características que componen a los modelos científicos y convertirlos en componentes de los modelos escolares. De esta manera, la construcción de modelos escolares con características específicas permitirá a los estudiantes tener una mayor comprensión de la química.

Cabe aclarar en este punto que los modelos científicos, son diferentes de los modelos escolares, ya que en estos últimos se modela la construcción esperada de los conceptos para cada nivel educativo; a su vez, cada estudiante podrá hacer una construcción personal sobre el mismo concepto o fenómeno en estudio.

Para la enseñanza de la química es necesario que los estudiantes generen explicaciones que no sólo faciliten la comprensión de los temas, sino que demuestren la apropiación del nuevo conocimiento. Por ello, Adúriz Bravo (2010) resaltó el trabajo de Ronald Giere (1992) en el cual definió el modelo teórico. Para Giere un modelo se puede considerar como “...cualquier

representación que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema estudiado”, también puede ser “...*las maquetas, las imágenes, las tablas, las redes, las analogías... siempre que habiliten a describir, explicar, predecir e intervenir*” (Adúriz-Bravo, 2010). Así que el estudiante para lograr la construcción de un modelo necesita realizar la explicitación y posteriormente la interpretación de sus ideas.

El uso de clips como modelo de representación en el tópico de reacción química ha sido utilizado por diversos autores (Garritz et al., 2005a, 2005b, 2006, Gamboa, 2009, López Carrillo, 2018, Ferrera Velázquez, Méndez Vargas, & Sosa Fernández, 2018). Estos autores coinciden en que este modelo favorece en la comprensión de distintos conceptos como: átomo, elementos y compuestos, símbolos y fórmulas, reacción y ecuación química, balanceo de ecuaciones y ley de conservación de la masa. Si bien, este modelo es útil para representar moléculas, deja de lado el tipo de enlace o consideraciones geométrico-estructurales (Gamboa, 2009). Su utilidad radica en facilitar la abstracción de aspectos nanoscópicos al momento de representar una reacción química. Por lo que, en este trabajo de investigación se empleara esta propuesta como recurso para el desarrollo de modelos de reacción química centrados en el nivel nanoscópico.

2.3 Marco disciplinar: Reacción química

Reacción química (RQ) es uno de los tópicos necesarios en la formación de los estudiantes de Educación Media Superior dado que es uno de los componentes esenciales para comprender la obtención de nuevas sustancias. Esta temática se integra en todos los programas de estudio para todo el país y es deseable que todos los estudiantes comprendan que es una RQ y cuáles son los constituyentes que la forman.

Es importante recordar que la Química tiene su propio lenguaje “*que rotula cada uno de los objetos, símbolos o acontecimientos que ocurren dentro, así como fuera del laboratorio y que tienen un significado de gran importancia para la comprensión de los fenómenos.*” (Chamizo J. A., 2007). En reacción química se abarca una gran cantidad de conceptos que son nuevos para el estudiante o que tiene poca experiencia en utilizarlos. Un ejemplo de ello es la comunicación de una reacción química en el lenguaje correcto, ya que es necesario que el estudiante aprenda a escribir una ecuación química que se define como la “*utilización de*

símbolos químicos para mostrar qué sucede durante una reacción química” (Chang & Goldsby, 2013). Así mediante ecuaciones químicas se representa el cambio de sustancias originales a nuevas sustancias con diferentes propiedades físicas y diferentes composiciones (Timberlake, 2008).

La enseñanza de RQ representa un gran reto para los docentes y varios autores (Reyes-Cardénas, Ruiz-Herrera, Llano, *et al.*, 2021; de la Mata, Álvarez, y Alda, 2011; Raviolo, Garritz, y Sosa, 2011) dan cuenta de algunas dificultades que tienen los docentes al entrar al tópico de RQ. Es necesario establecer el nivel adecuado del curso considerando los conocimientos previos del estudiante, los planes y programas de estudio, la formación profesional del docente y los métodos de enseñanza que emplea. Por lo que el tema de RQ en los últimos años ha sido un área importante en la investigación educativa en ciencias.

Según los programas de estudio y específicamente el de la ENP, la enseñanza de la química y por ende RQ, debe estar enfocada en los niveles de representación de la química propuestos por Johnston (Dirección General de la Escuela Nacional, 2018) así los estudiantes podrán representar una RQ en los niveles macroscópico y submicroscópico para finalmente trasladarlos a representaciones simbólicas. Por lo que, los docentes tienen que construir la comprensión de estas representaciones para sí mismo, y luego diseñar actividades que logren ese tránsito para que el estudiante pueda moverse de manera sencilla en los tres niveles de representación.

Es importante detallar que las representaciones que el docente toma como referencia para el trabajo con sus estudiantes son representaciones basadas en modelos científicos adecuados al nivel de desarrollo esperado para el nivel escolar. y pretende que el estudiante pueda utilizarlo para construir explicaciones basadas en esos modelos. Sin embargo, en la *praxis* esto no ocurre pues los estudiantes tienen sus propias creencias y explicaciones de fenómenos centrados en RQ que, si bien tienen un sentido lógico, son generalmente alejadas del marco científico. Así lo menciona Ordonez, Arellano, *et al.* (2014) al proponer la construcción de representaciones de la materia, los estudiantes basan sus explicaciones desde el nivel macroscópico con dificultad de conectar con el nivel submicroscópico. Ordonez *et al.* (2014) resalta que esta dificultad puede deberse a que la construcción del nivel submicroscópico está acompañada de una carga conceptual referente a la materia y que no es fácil de integrar a las

explicaciones generadas por los estudiantes. Para los estudiantes es más fácil explicar lo que ven que explicar lo que no pueden ver ni tocar.

A este respecto, la enseñanza de RQ requiere de conceptos previos bien contruidos en los estudiantes. Reyes y Garritz (2006) realizaron una investigación con el objetivo de documentar el conocimiento pedagógico de contenido (CPC) en docentes universitarios para la temática de RQ. La metodología empleada para esta investigación se basó en la representación del contenido, la recopilación de información se realizó mediante la entrevista y grabación de clase. En la entrevista se solicitó a los docentes que describieran las ideas centrales para la enseñanza de la RQ, entre ellas resaltan temas necesarios para la construcción de RQ. Algunos conceptos clave se muestran en la Ilustración 7

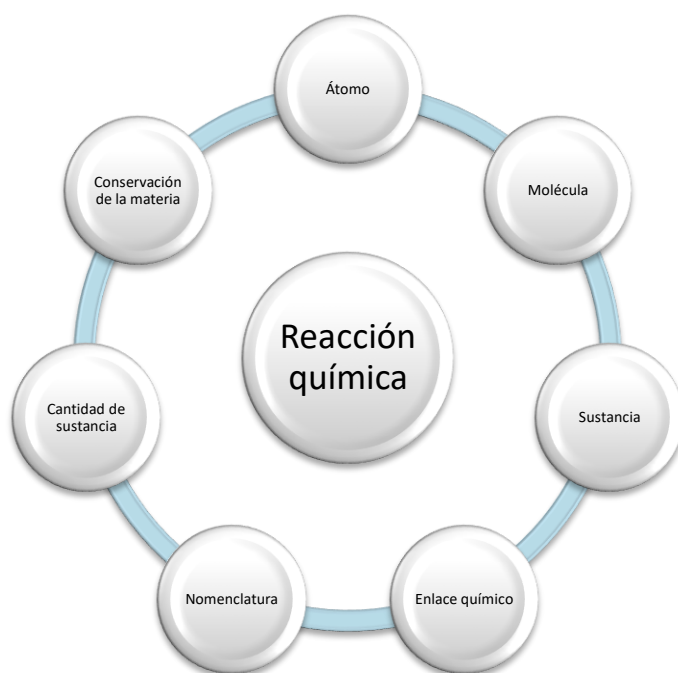


Ilustración 7. Tópicos necesarios para abordar reacción química.

RQ es un tópico no sólo complicado, sino complejo por la carga conceptual previa que debe tener el estudiante. Lo que nos lleva a las ideas previas que tiene el estudiante.

Con respecto a las ideas previas éstas son las más difíciles de tratar, así como lo menciona Bello (2004, pág. 210) “*Uno de los grandes problemas al que se enfrenta la enseñanza de las ciencias es la existencia en los alumnos de fuertes... [ideas previas] a los conceptos científicos, que resultan muy difíciles de modificar y, en algunos casos, sobreviven a largos años de instrucción científica.*” Las ideas previas son difíciles de erradicar, ya que son construcciones que realiza el sujeto para formar explicaciones del mundo que lo rodea. Estas construcciones se forman a partir de las experiencias, época, sociedad (Municio, 2004) y que han sido funcionales para el sujeto lo que las hace más complicadas de erradicar. Una de las vías para tratar estas ideas previas es confrontarlas, de tal manera que dejen de ser funcionales en la formación de explicaciones. Por ello ha sido necesario generar un banco de ideas previas que tienen los estudiantes y Kind (2004) atiende esta misión para diversos temas para la enseñanza de la química. Esta misma autora recopiló las dificultades más comunes que propician las ideas previas en los estudiantes, algunas de éstas se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1. Dificultades recopiladas por Kind (2004)

Dificultad	Causa
El pensamiento del estudiante no se consolida	La baja consolidación del estudiante para cada tema, es decir, la práctica docente no permite que se solidifique el nuevo conocimiento antes de abordar un nivel superior
Razonar sobre las reacciones donde no se involucra partículas	Los estudiantes consideran que las propiedades de las partículas son las mismas que las propiedades macroscópicas de las sustancias.
A menudo se piensa que los cambios de estado son reacciones químicas	Confusión entre cambios de estado y disoluciones con reacciones químicas.
El idioma de la química causa confusión	El uso de términos químicos que tienen diferentes contextos.

Uno de los tratamientos que propone Kind para las ideas previas es el uso de imágenes que faciliten al estudiante visualizar con lo que verbaliza el profesor. A estas imágenes se les

puede denominar modelos, pues son representaciones que permiten pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad (Adúriz-Bravo, 2010).

En sentido, la construcción de modelos para favorecer en la construcción de explicaciones generadas por los estudiantes. Sesto (2017) en su artículo *Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4° de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión*, cuyo objetivo fue analizar la evolución de modelos mentales en estudiantes de secundaria con respecto a la reacción de combustión, resalta la importancia de los modelos mentales desde la perspectiva del uso que le da el sujeto, ya que éste los construye para explicar, predecir y describir fenómenos. Estos modelos que utiliza el sujeto están basados en la interacción de los sujetos, percepción o experiencias, esto los hace útiles ya que pueden ser ampliados y mejorados en medida de la información que vaya incorporando. Por parte de la metodología empleada proponen una clasificación basada en la progresión del estudiante con respecto a los modelos empleados por los mismos. En la tabla 2 se presenta una interpretación elaborada para esta tesis de los niveles de progresión.

Tabla 2. Niveles de progresión y modelos asociados.

Niveles de progresión	Tipo de modelo
Nivel 1	Desaparición. Los estudiantes se basan en el nivel macroscópico o submicroscópico haciendo alusión que los átomos o la materia desaparece.
Nivel 2	Modificación. Los estudiantes creen que las sustancias siguen siendo las mismas y que el cambio es únicamente a nivel macroscópico como color, tamaño, forma; con respecto al nivel submicroscópico los átomos pueden sufrir los mismos cambios que el nivel macroscópico. Transmutación. Aquí los estudiantes se basan en explicar el cambio de una sustancia a otra diferente, como en calor o energía; la conservación de la materia no existe; a nivel submicroscópico los átomos pueden cambiarse por otros diferentes.
Nivel 3	Reacción química. los estudiantes se basan en explicar el cambio de una sustancia en la interacción de los reactivos y formación de productos, éstos se generan por una reestructuración de átomos o iones dando pie a nuevas estructuras.

Los autores concluyen que la implementación de modelos mentales puede ser una herramienta útil en el aprendizaje de los estudiantes, siempre y cuando estos sean nutridos, discutidos y puestos a prueba. Las coincidencias expuestas en este trabajo de investigación

dan pie a investigaciones futuras centradas en el desarrollo de modelos, que faciliten la evolución de modelos más cercanos al conocimiento científico.

Por otro lado, la carga conceptual es importante. Raviolo, Garritz, y Sosa (2011) discuten los conceptos como sustancia y reacción química como conceptos centrales en química en el artículo titulado *Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica* publicada en el año 2011. Estos autores realizan una ardua investigación de diversos textos centrados en la enseñanza de la química y cómo los conceptos de sustancia y reacción química cobran relevancia. De esta manera los autores ofrecen definiciones (ver Tabla 3) que consideran los niveles de representación de la materia, así como la distinción entre palabras para evitar la confusión en el estudiante.

Tabla 3. Definiciones de sustancia y reacción química, con respecto al nivel de representación de la materia

Concepto	Definición propuesta en el artículo de Raviolo, Garritz, y Sosa, 2011	
	Nivel Macroscópico	Nivel Nanoscópico
Sustancia	Una sustancia es una forma de materia homogénea de composición elemental fija que posee propiedades específicas que la diferencia de otras.	Una sustancia es un tipo de materia homogénea formada por partículas (átomos, moléculas, iones) iguales, en una proporción única.
Reacción química	Una reacción química es un proceso en el cual una sustancia o varias sustancias se forman a partir de otra u otras.	En una reacción química hay una redistribución de los átomos o iones, formándose otras estructuras (moléculas, o redes) diferentes.

Lo anterior permite abrir una discusión acerca del nivel de representación de la materia al cual estamos abordando en clases. La distinción de cada nivel de representación evita que el docente se refiera a una reacción química desde puntos macroscópicos y nanoscópicos de forma indistinta. Si bien, el docente puede realizar este viaje sin dificultad, para el estudiante es complicado y poco puede hacer para comprender estos niveles.

3. Metodología

En este apartado se detalla la construcción de la investigación realizada, así como la construcción de la unidad didáctica.

La Ilustración 8 presenta los ejes para la construcción de este trabajo de investigación que corresponden al campo disciplinar de Química específicamente en reacción química; la didáctica específica del pensamiento químico y la construcción de modelos; finalmente se considera una problemática ambiental que involucre al estudiante.



Ilustración 8. Ejes relevantes para este trabajo de investigación.

Este trabajo de investigación toma como base una unidad didáctica para el aprendizaje y tiene como objetivo:

Documentar el nivel de desarrollo de pensamiento químico que se logra al implementar una unidad didáctica que lo promueva de forma explícita para el aprendizaje de la reacción química.

A continuación, se aborda la una unidad didáctica: “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?”.

3.1 Perspectiva metodológica

La perspectiva metodológica que se ha seguido en este trabajo es de corte cualitativo. Permite obtener información a partir de instrumentos organizados y estructurados en los cuales es necesario la intervención del investigador, para su posterior análisis descriptivo.

Este tipo de investigación está basada en múltiples prácticas interpretativas que pueden incidir en la transformación del mundo, es decir, lo convierten en una serie de representaciones que incluyen, entrevistas, conversaciones, audios, fotografías, videos, notas de campo y memorias (Rodríguez y Valldeoriola, 2009), y esto a su vez regresa información a los participantes y a la sociedad.

Las metodologías cualitativas se utilizan para comprender situaciones particulares; se interesan por la “*vivencia concreta en su contexto natural y en su contexto histórico*” (Rodríguez y Valldeoriola, 2009, pág. 49). Es decir, buscan darles significado y sentido a los hechos, vivencias y experiencias proporcionadas por los individuos o grupos sociales que se investigan.

Para la metodología cualitativa hay una diversidad de modelos de investigación válidas, puesto que este tipo de investigaciones son flexibles y se adaptan al escenario de la investigación. La investigación cualitativa “*es abierta, y huye de cualquier acción uniformadora que intente imponer [un] único enfoque*” (Rodríguez y Valldeoriola, 2009). De acuerdo con estos autores este tipo de metodología permite al investigador cualitativo regresar al escenario y recabar nueva información sobre algún tema que un primer momento no logró notar.

El análisis de datos de la investigación cualitativa consiste en darle sentido a una gran cantidad de información que fue recogida en el escenario de la investigación. Requiere que el investigador organice los datos para que estos sean manejables y al mismo tiempo analiza unidades de información que sean relevantes. El proceso de análisis de la metodología cualitativa se denomina “*espiral de comprensión*” (Rodríguez y Valldeoriola, 2009), por lo que cada investigador desarrolla el proceso más adecuado que le permita procesar los datos.

Para este trabajo de investigación se ha seleccionado este método de investigación porque permite documentar y analizar la construcción de los estudiantes en torno a la reacción química, el pensamiento químico y los modelos correspondientes.

3.2 Unidad didáctica: Principios de diseño

En este apartado se presentan las directrices de la unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” que se encuentran representados en la Ilustración 9.

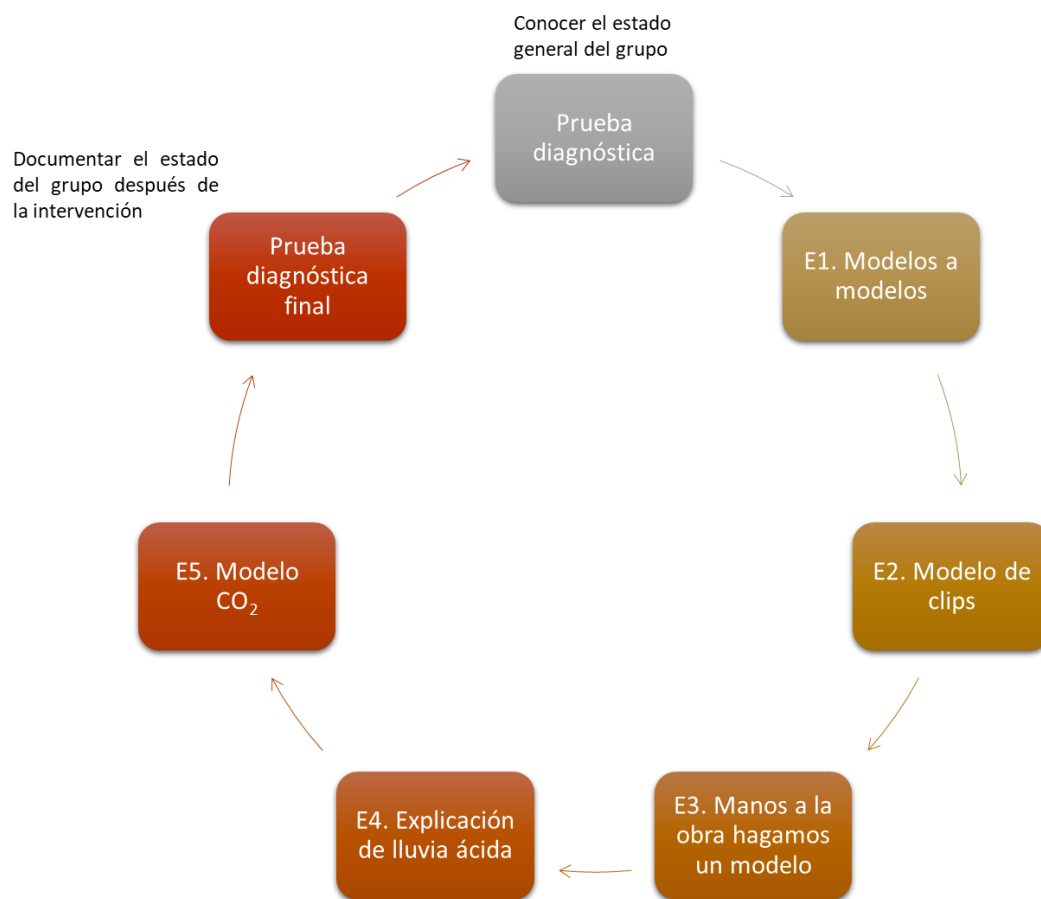


Ilustración 9. Actividades de la unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?”.

Para la construcción de esta unidad, se consideró como primera directriz al estudiante como protagonista de su aprendizaje desde la perspectiva constructivista. En ese sentido la unidad

se diseñó con la finalidad de promover la autogestión, autocontrol y responsabilidad del estudiante en su aprendizaje; esta es una propuesta alternativa a los trabajos más cercanos al conductismo en el que se considera al estudiante como un receptor del conocimiento.

Una segunda directriz es el desarrollo del Pensamiento Químico, y con el fin de acotar el alcance se ha seleccionado al enunciado 4 al que denominamos PQ4 propuesto por el Dr. Talanquer y Pollard (2010):

Pensamiento químico 4 (PQ4). “Explorar y modelar los efectos de diferentes interacciones en la estructura nanoscópica de las sustancias, así como los mecanismos a través de los cuales pueden ocurrir cambios estructurales, ayudan a diseñar métodos para inducir y controlar las transformaciones físicas y químicas.”

Ya que los enunciados propuestos para el Pensamiento Químico por Talanquer y Pollard tienen un alto alcance y están diseñados para abordar los niveles superiores. Para esta unidad didáctica enfocada al bachillerato se extrajeron y ajustaron las ideas del PQ4 a un nivel acorde el posible desarrollo de los estudiantes y se presentan en los objetivos particulares de la unidad didáctica.

3.1.1 Objetivo general de la unidad didáctica

Promover el desarrollo de pensamiento químico y el aprendizaje de reacción química en estudiantes de la Educación Media Superior.

Para los objetivos particulares de la unidad se consideró como eje fundamental el PQ4:

“Explorar y modelar los efectos de diferentes tipos de interacciones en la estructura submicroscópica de las sustancias, así como los mecanismos a través de los cuales pueden ocurrir cambios estructurales, ayudan a diseñar métodos para inducir y controlar las transformaciones físicas y químicas” (Talanquer y Pollard, 2010).

En este trabajo de investigación, el PQ4 es considerado como una gran idea, sin embargo, esta requiere de una gran demanda cognitiva. Así que, para lograr que los estudiantes pudieran construir las bases de este PQ4 se consideraron los objetivos curriculares propuestos

en el programa de Química de la ENP así como el PQ4 en la construcción de los siguientes objetivos particulares.

3.1.2 Objetivos particulares de la unidad didáctica

Al completar la unidad didáctica el estudiante podrá:

- Explorar e identificar modelos científicos favoreciendo la construcción de conocimientos significativos y su aplicación en una reacción química.
- Reconocer y utilizar los tres niveles de representación de la materia como distintos modelos que pueden ser usados para la explicación de fenómenos químicos y por lo tanto promueven el pensamiento químico.
- Distinguir que las sustancias tienen propiedades químicas que las hacen diferentes de otras. Revisar específicamente la acidez y el pH como medida de la misma.
- Reconocer que en una reacción química se pueden obtener sustancias nuevas a partir de las iniciales.

La unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” se encuentra en el anexo 1.

3.3 Sujetos de investigación

La implementación de la unidad didáctica se llevó a cabo en la Escuela Nacional Preparatoria Plantel 6 “Antonio Caso”. Para esta aplicación de esta unidad se necesitaron 6 sesiones, cada sesión constó de 50 minutos de clase. Los alumnos participantes pertenecían a un grupo del último grado de bachillerato de área I (físico matemáticas). En este estudio participaron 42 de los 44 estudiantes que constituyen al grupo y cuentan con edades entre los 16 a 18 años, de los cuales 29 son del sexo masculino y 13 del femenino.

Al pertenecer al último grado de bachillerato, para los estudiantes es el segundo acercamiento en la ENP a la asignatura de Química. En un sondeo inicial con el grupo se observó que la mayoría de los estudiantes relaciona experiencias positivas en el área de ciencias y sus

objetivos universitarios están centrados al área de las ingenierías. Lo que es de esperarse en estudiantes que eligieron el área I.

La conformación del grupo corresponde al área que han seleccionado (área I) para posteriormente continuar con su licenciatura, por lo anterior, los alumnos en este año se encuentran en su nuevo grupo. Adicionalmente, debido al confinamiento que se llevó a cabo desde marzo de 2020, la mayoría se conoce sólo de vista, pero sin entablar una relación de amistad. Para la etapa en que se implementó esta unidad didáctica, ya se contaba con el trabajo en línea y los alumnos establecieron comunicaciones mediante mensajería instantánea en redes sociales.

El desarrollo del aula se llevó a cabo de manera sincrónica a través de la plataforma Zoom. Para las actividades realizadas se solicitó que completaran cuestionarios, tareas, ejercicios, y elaboraran informes, que se entregaron de manera asincrónica en la plataforma Google Classroom con tiempos límites acordados en la sesión sincrónica.

La mayoría de los estudiantes cuenta con un dispositivo con conexión a internet, pero no todos tienen cámara integrada. El contexto del estudiante se desarrolla en diversas partes de la ciudad de México, aunque la mayoría proviene del sur de la ciudad.

3.4 Técnica de recolección de los datos y análisis

Este estudio tiene un corte cualitativo, para lo cual se utilizaron seis entregables de recopilación de datos. Cabe mencionar que uno de ellos se implementó en dos ocasiones: uno al inicio y otro al final. Una vez documentadas las respuestas de los estudiantes, los datos fueron procesados para establecer las categorías de análisis y la graduación de desarrollo de cada una de ellas.

Esta tesis tiene como objetivo: Documentar el nivel de desarrollo de pensamiento químico que se logra al implementar una unidad didáctica que lo promueva de forma explícita a un grupo de estudiantes de la EMS.

Para lo anterior, se elaboró e implementó la unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” (Anexo 1) que tiene por objetivo: Promover el desarrollo de pensamiento químico y el aprendizaje de reacción química en estudiantes de la Educación Media Superior.

A continuación, se muestra de manera sintética un esquema que resume los entregables asociados a cada una de las actividades de la unidad didáctica (Ilustración 10); en esta figura se asocia cada entregable con los objetivos didácticos (OD) considerados para su construcción.

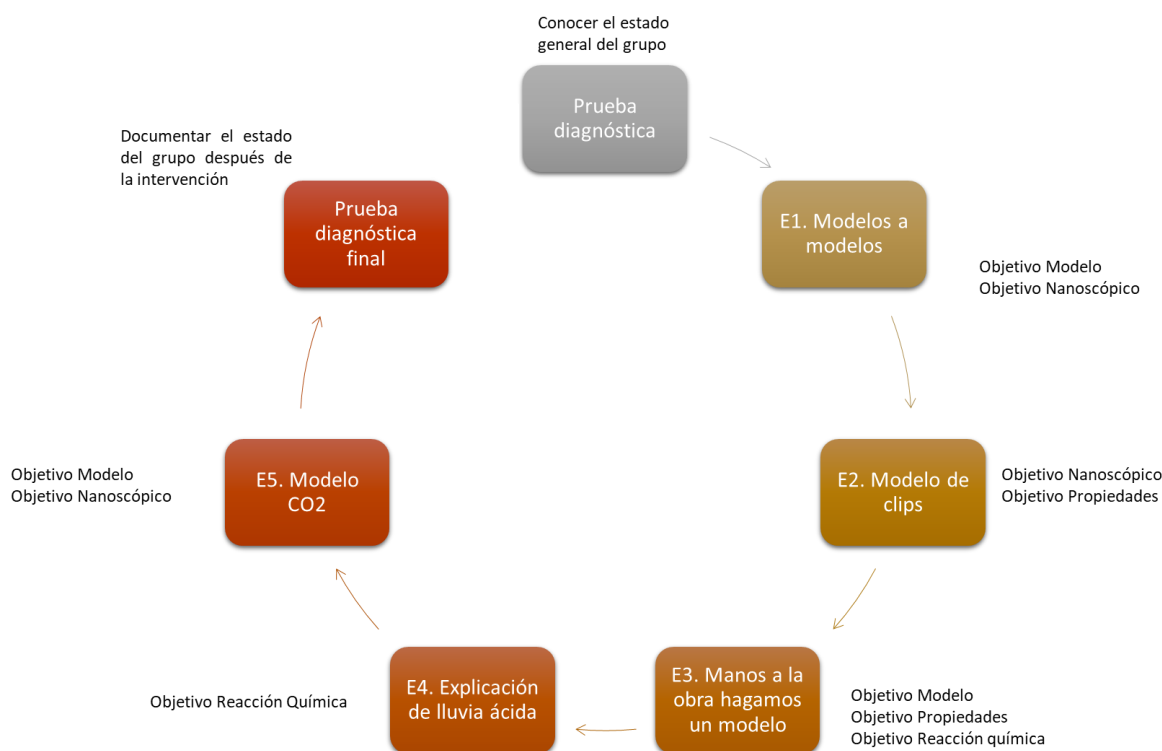


Ilustración 10. Entregables asociados a cada una de las actividades de la unidad didáctica.

En cada actividad se propició el desarrollo de ODs específicos, con la finalidad de documentar el grado de desarrollo logrado por los estudiantes. En la Ilustración 10 se muestra cada OD relacionado con una *palabra clave* y también se plasma en la Tabla 5.

Tabla 4. Objetivos didácticos de la unidad didáctica.

Palabra clave	Objetivo didáctico (OD)
Modelos	Explorar e identificar modelos científicos favoreciendo la construcción de conocimientos significativos y su aplicación en una reacción química.
Nanoscópico	Reconocer y utilizar los tres niveles de representación de la materia como distintos modelos que pueden ser usados para la explicación de fenómenos químicos y por lo tanto promueven el pensamiento químico.
Propiedades	Distinguir que las sustancias tienen propiedades químicas que las hacen diferentes de otras. Revisar específicamente la acidez y el pH como medida del mismo.
Reacción química	Reconocer que en una reacción química se puede obtener sustancias nuevas a partir de otras.

En la siguiente Tabla 5 se presenta el número de actividad, así como el nombre y codificación de entregable.

Tabla 5. Actividades asociadas a cada entregable

<i>Actividad</i>	<i>Nombre</i>	<i>Entregables</i>
<i>Inicial</i>	Cuestionario diagnóstico	E0i-Ax
<i>1</i>	De modelos a modelos	E1-EQx-M1
<i>2</i>	El modelo de Clips	E2-EQx-M2
<i>3</i>	Manos a la obra	E3-EQx-S1 E3-EQx-S2-M3a E3-EQx-S3-M3b
<i>4</i>	Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida	E4-EQx-M4
<i>5</i>	El modelo de clips 2	E5-Ax
<i>6</i>	Cuestionario diagnóstico final	E0f-Ax

Cada uno de los entregables se codificó con una serie de siglas. El cuestionario diagnóstico se codificó con las siglas E0 (i o f); donde E0 se refiere al entregable 0, la letra *i* para el cuestionario inicial y *f* para el cuestionario final; la letra A que identifica al alumno y x que se refiere al número de estudiante (1-42). Por ejemplo, E0f-A2, se refiere al entregable 0, que es el cuestionario diagnóstico, en la evaluación final del alumno 2. Para la actividad 5 el

código es similar al anterior, se utiliza E5 para denotar el entregable 5 seguido el Ax que denota al número de estudiante.

Para los entregables del 1 al 4 se codificó con las siglas E#, donde E es entregable y # corresponde al número del mismo (1-4); seguido de EQx, donde EQ corresponde al equipo de trabajo y x al número de equipo (1-14); y finalmente M, para identificar que hay una construcción de modelo.

Para la actividad 3 que tiene un corte experimental se cuenta con tres entregables: E3-EQx-S1; E3-EQx-S2-M3a; E3-EQx-S3-M3b. La primera parte de la codificación (E3-EQx) sigue el modelo de las anteriores. Y a continuación, se añade una sigla que identifica la sección 1, 2 o 3 de la actividad (S1, S2 o S3); y finalmente, la sección 2 y 3 se complementan con las siglas M3 (a o b), que idéntica la construcción de modelos para la actividad 3; y la letra *a* para la sección 2 y la letra *b* para la sección 3.

Los entregables se realizaron en Equipos (EQ) de 3-4 estudiantes y no cambiaron su conformación a lo largo de la unidad didáctica. Para cada entregable se especificó el formato, el contenido y la forma de entrega, por ejemplo, plantilla de Jamboard y otros en formato de texto (Word).

Cada entregable se diseñó para documentar el nivel de desarrollo de pensamiento químico (PQ) y modelo (M). Por lo que cada actividad analiza diferentes aspectos del desarrollo del pensamiento químico en los estudiantes.

4. Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados y su análisis desde dos aspectos, el primero (apartado 4.1) con respecto a los objetivos didácticos (OD) y posteriormente, en un análisis de mayor profundidad con respecto a pensamiento químico (PQ) y los modelos (M) elaborados (apartado 4.2).

4.1 Resultados y análisis de desarrollo con respecto a los objetivos didácticos (OD)

En esta primera parte se valoró en una escala del 1-4 el desarrollo de los objetivos didácticos (OD), donde 1 corresponde a nada evidente y 4 a muy evidente. En la Tabla 6 se presentan los entregables asociados a cada actividad, si la actividad fue individual o en equipo y cuáles fueron los entregables analizados en esta sección.

Tabla 6. Entregables a evaluar durante el análisis de desarrollo con respecto a los objetivos didácticos (OD)

Actividad	Nombre de la actividad	Entregables a asociados a esta actividad	Equipo/individual	Entregables a analizar
0	Prueba diagnóstica	E0A-Ax	Individual	
1	De modelos a modelos	E1-EQx-M1	Equipo	✓
2	El modelo de Clips	E2-EQx-M2	Equipo	✓
3	Manos a la obra	E3-EQx-S2-M3a	Equipo	✓
4	Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida	E4-EQx-M4	Equipo	✓
5	El modelo de clips 2	E5-Ax-M5	Individual	
6	Prueba diagnóstica final	E0B-Ax	Individual	

Como se ha mencionado, para los objetivos didácticos de la unidad (que se encuentran en la Tabla 4. Objetivos didácticos de la unidad didáctica.) se consideró como eje fundamental el PQ4 (ver apartado 3.1.1) con base en él y los objetivos del programa de estudios de la ENP se desarrollaron los OD. Y con la finalidad de documentar el grado de desarrollo logrado por los estudiantes con respecto a los OD, se analiza cada entregable bajo la escala antes mencionada y se cataloga cada OD con una *palabra clave* alusiva al objetivo.

A continuación, en la tabla siguiente se presentan las palabras clave para cada objetivo didáctico.

Tabla 7. Palabras claves para cada objetivo didáctico.

Palabra clave
Modelos
Nanoscópico
Propiedades
Reacción química

Es importante señalar que las palabras elegidas tienen como finalidad ayudar al lector a identificar la parte medular del objetivo. Así, el objetivo **Modelos** se relaciona con los modelos que los estudiantes logran construir. El objetivo **Nanoscópico** se centra en la integración de las estructuras nanoscópicas. Con respecto al objetivo **Propiedades**, es relevante la distinción de propiedades químicas de las sustancias (específicamente ácido-base). Por último, el objetivo **Reacción Química** hace referencia a la obtención de sustancias nuevas a partir de otras.

Tabla 8. Actividades por equipos, entregables y objetivos didácticos por desarrollar.

Actividad	Nombre	Objetivo didáctico por desarrollar	Entregables a asociados a esta actividad
1	De modelos a modelos	Modelos, Nanoscópico	E1-EQx-M1
2	El modelo de Clips	Nanoscópico, Propiedades	E2-EQX-M2
3	Manos a la obra	Modelos, Propiedades, Reacción Química	E3-EQx-S2-M3a
4	Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida	Reacción Química	E4-EQx-M4

Para este apartado se analizará la producción de los estudiantes trabajando en equipos. En la Es importante señalar que las palabras elegidas tienen como finalidad ayudar al lector a

identificar la parte medular del objetivo. Así, el objetivo **Modelos** se relaciona con los modelos que los estudiantes logran construir. El objetivo **Nanoscópico** se centra en la integración de las estructuras nanoscópicas. Con respecto al objetivo **Propiedades**, es relevante la distinción de propiedades químicas de las sustancias (específicamente ácido-base). Por último, el objetivo **Reacción Química** hace referencia a la obtención de sustancias nuevas a partir de otras.

Tabla 8 se muestran las actividades diseñadas para trabajo en equipo con los OD por desarrollar. En la primera columna se muestra el número de actividad, en la segunda el nombre, en la tercera los OD que se desarrollan de forma más evidente y en la última la codificación del entregable.

El análisis se basó en el desarrollo de los ODs y cada nivel se detalla en la tabla 9 .

Tabla 9. OD y niveles de desarrollo.

OD/Nivel	Nada Evidente.	Poco Evidente.	Evidente.	Muy evidente.
Modelo	Puede o no haber evidencia de al menos un pictograma que sirve como modelo de una reacción química, pero con errores conceptuales.	Hay evidencia de al menos dos o más pictogramas tomados de distintas fuentes que auxilian al estudiante, contiene varios errores conceptuales de una reacción química.	Hay evidencia de tres pictogramas tomados de distintas fuentes que auxilian al estudiante, pero contienen algunos errores al aplicarlos en una reacción química.	Hay evidencia de tres pictogramas (tomados de una fuente o diseñados) que auxilian al estudiante para la construcción de conocimientos aplicados en una reacción química.
Nanoscópico	Puede o no haber evidencia del nivel nanoscópico de representación, pero la información es insuficiente para describir fenómenos químicos.	Hay evidencia de tres niveles de representación de la materia y al menos una de las representaciones es útil para describir fenómenos químicos.	Hay evidencia de tres niveles de representación de la materia, pero sólo se utiliza la información de dos representaciones para generar explicaciones de fenómenos químicos.	Hay evidencia de tres niveles de representación de la materia que se relacionan unos con otros. La información de cada uno de estos se usa para generar explicaciones de fenómenos químicos.

Propiedades	Puede o no haber evidencia de alguna propiedad química que logre diferenciar a las sustancias	Hay evidencia de una propiedad química que diferencia a las sustancias.	Hay evidencia de al menos dos propiedades químicas que diferencian a las sustancias.	Hay evidencia de al menos tres propiedades químicas que diferencian a las sustancias.
Reacción química	Puede o no haber evidencia de que el estudiante nombra una reacción química, por ejemplo, escribe la ecuación química.	Hay evidencia de que el estudiante reproduce una reacción química, por ejemplo, usa un pictograma y una ecuación química.	Hay evidencia de que el estudiante reconoce que en una reacción química se puede obtener sustancias nuevas, por ejemplo, menciona el concepto de reacción química.	Hay evidencia de que el estudiante logra reconocer que en una reacción química se puede obtener sustancias nuevas a partir de otras, por ejemplo, utiliza la reestructuración de átomos para su explicación.

Si bien, cada actividad mostrada en la Es importante señalar que las palabras elegidas tienen como finalidad ayudar al lector a identificar la parte medular del objetivo. Así, el objetivo **Modelos** se relaciona con los modelos que los estudiantes logran construir. El objetivo **Nanoscópico** se centra en la integración de las estructuras nanoscópicas. Con respecto al objetivo **Propiedades**, es relevante la distinción de propiedades químicas de las sustancias (específicamente ácido-base). Por último, el objetivo **Reacción Química** hace referencia a la obtención de sustancias nuevas a partir de otras.

Tabla 8 está diseñada para lograr el desarrollo de objetivos específicos, durante el análisis se logró identificar el desarrollo de otros OD. En este sentido, el análisis de cada entregable muestra el desarrollo de los cuatro OD.

4.1.1 Análisis de Modelos a modelos.

La actividad del primer entregable se llevó a cabo en equipos (EQ) en 75 minutos, de los cuales 15 fueron de explicación y 40 minutos para llevarla a cabo; y 15 minutos para cerrar

la sesión en la que se hizo una plenaria en la que algunos equipos presentarían sus entregables y se realizaron comentarios sobre los mismos.

En el siguiente gráfico, se presenta el desarrollo de cada OD del entregable E1-EQX-M1 por equipo en el cual busca el desarrollo de los objetivos Modelo y Nanoscópico.

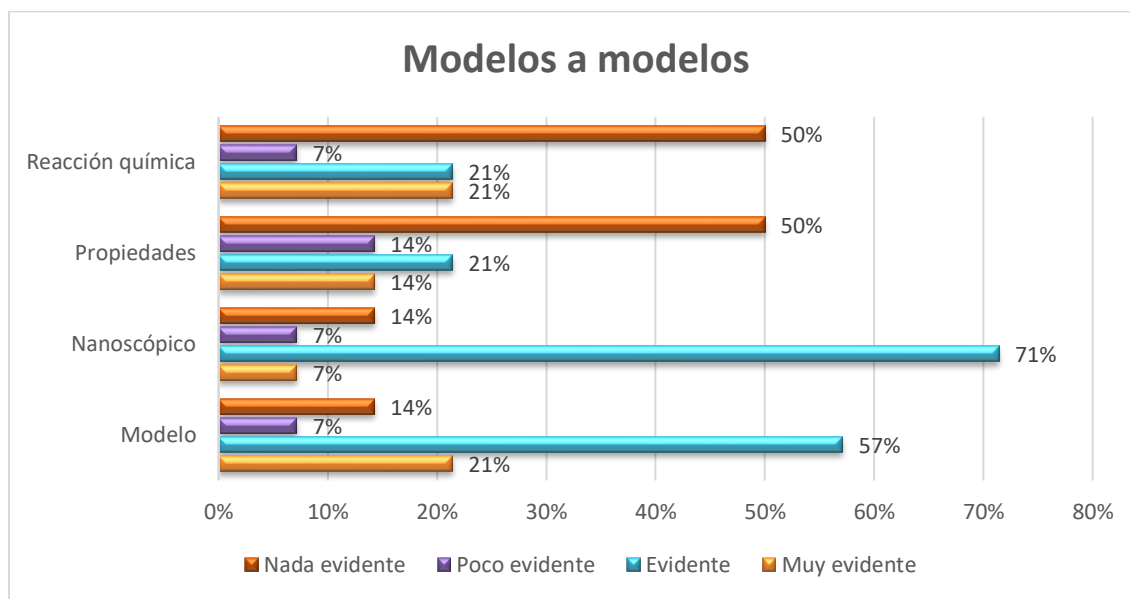


Gráfico 1. Análisis del entregable Modelos a modelos (E1-EQX-M1) con respecto a los objetivos didácticos desarrollados

El 71% de los EQ mostró un evidente desarrollo del objetivo Nanoscópico, mientras que el 57% mostró un evidente desarrollo del objetivo Modelo.

Considerando que este es el primer entregable realizado por los estudiantes, se esperaba un nivel de desarrollo poco evidente de los objetivos Modelo y Nanoscópico, sin embargo, el desempeño del grupo fue mejor. Esto puede deberse al diseño de la actividad 1, por una parte se centró en tres aspectos: a) el uso de modelos para la construcción de los tres niveles de representación; b) la generación de explicaciones por parte de los alumnos; c) la función del docente como guía; por otra parte, la actividad se alinea con el objetivo de aprendizaje propuesto en el plan de estudios de la ENP: “...el profesor además de dominar el área disciplinar, debe guiar al estudiante en la construcción de conocimientos significativos y su aplicación.” (Dirección General de la Escuela Nacional, Programa Química III, 2017). Por lo que esta actividad alineada con el plan de estudios y mi participación como docente

guiando la construcción de conocimiento, da oportunidad a los estudiantes de continuar desarrollándose dentro del mismo sistema que han ido trabajando desde el inicio del bachillerato, dando como resultado que los conceptos los conceptos podrían empezar a tener sentido para los estudiantes y no únicamente sea una actividad memorística.

Los objetivos Propiedades y Reacción química se promovieron de forma indirecta en esta actividad y se logró recuperar información relevante del desarrollo del grupo, así el 50% de los EQ se encontró distribuido en los tres niveles de desarrollo (muy evidente, evidente, poco evidente); mientras que el otro 50% tiene un desarrollo nada evidente.

4.1.2 Análisis de El modelo de Clips.

La segunda actividad entregada por los estudiantes se codificó como E2-EQx-M2. Esta actividad se centró en los objetivos didácticos Nanoscópico y Propiedades; tuvo una duración de 50 minutos y 25 minutos de guía por parte del docente.

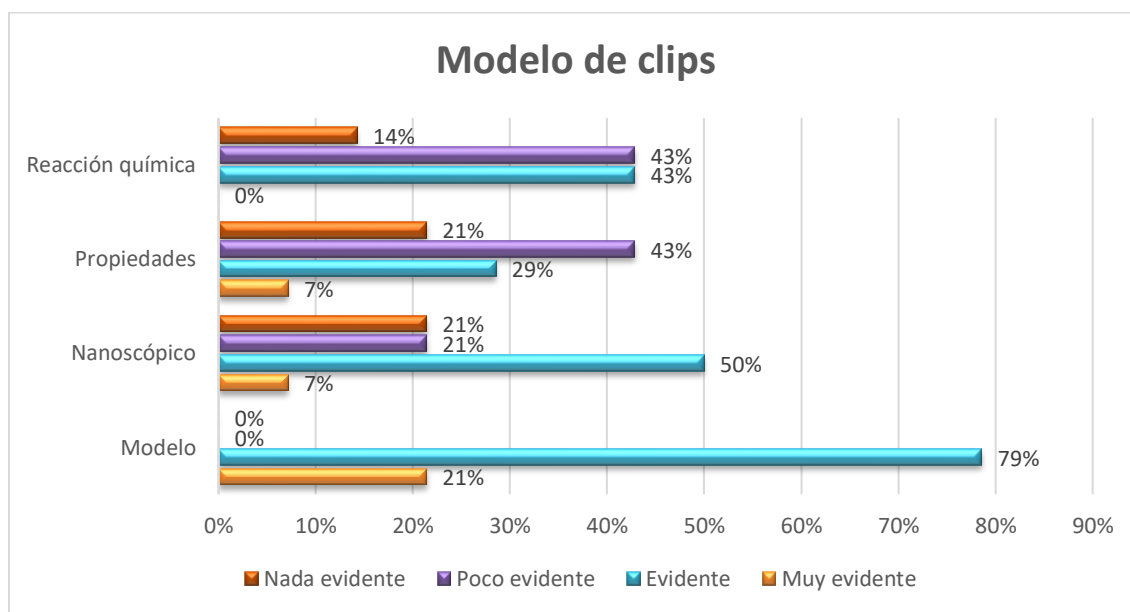


Gráfico 2. Análisis del entregable E2CL con respecto a los objetivos didácticos desarrollados

El desarrollo de los EQ para el objetivo Nanoscópico registró un 50% de desarrollo evidente, mientras que el objetivo Propiedades quedó representado por un 43 de desarrollo poco

evidente y evidente. Por otra parte, el objetivo Modelos registró un 79% de desarrollo evidente.

Con esta actividad se puede obtener información acerca de las explicaciones que realizan los estudiantes acerca de la formación de sustancias nuevas. Estas suelen estar centradas en el modelo simbólico y se dificultan cuando se solicita que integren estructuras nanoscópicas. Las explicaciones evidencian que los estudiantes confunden molécula con átomo, por lo que retomar conceptos como tipos de enlace, átomo y molécula, pueden facilitar la comprensión de formación de nuevas sustancias y por ende moléculas distintas a las iniciales, enriqueciendo la comprensión de estos conceptos.

Esta actividad también permitió que los estudiantes identificaran sustancias a través de símbolos químicos por lo que la importancia de la ecuación química, así como la nomenclatura adquiere sentido y se evita una actividad memorística. Por otra parte, permite abordar de manera general que una reacción química necesita llevarse a cabo bajo condiciones específicas como temperatura, presión y concentración.

4.1.3 Análisis de Manos a la obra.

El tercer entregable se centró en una actividad experimental y fue codificado como E3R, para esta actividad se dedicaron 125 minutos de sesión, de los cuales 25 minutos fueron para explicar la investigación previa; otros 40 minutos para la revisión y retroalimentación de la investigación previa. Para el momento de la sesión experimental el tiempo proporcionado fue de 40 minutos y se dio oportunidad de resolver dudas o comentarios por parte de los estudiantes durante la realización del experimento. Como la sesión experimental se realizó en casa, uno de los integrantes de cada equipo realizó la transmisión en directo para sus compañeros, de esta forma el docente y los estudiantes pudieron visualizar el experimento.

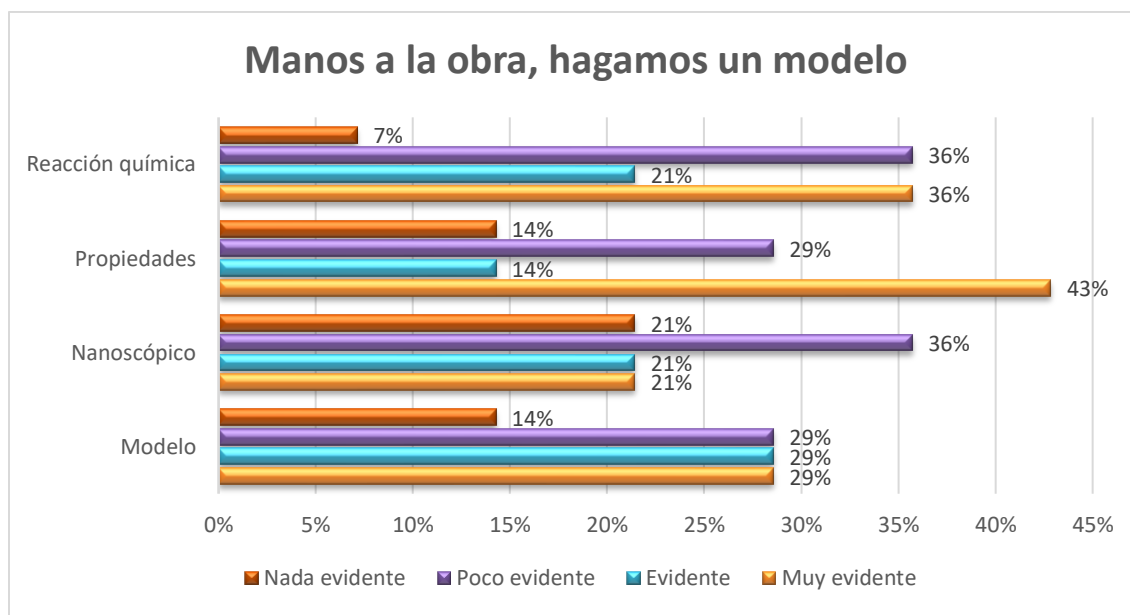


Gráfico 3. Análisis del entregable E3-EQx-S2-M3a con respecto a los objetivos didácticos desarrollados

En esta actividad se propone desarrollar tres OD: Modelo, Propiedades y Reacción química. Los resultados de los EQ para el OD Modelo fueron similares entre sí, es decir, se desarrolló un 29% en los niveles: muy evidente, evidente y poco evidente. En el OD Propiedades un 43% logró un desarrollo muy evidente, mientras un 14% logró un desarrollo evidente. El OD Reacción Química logró un desarrollo del 36% para los niveles muy evidente y poco evidente.

De los hallazgos más llamativos para este entregable fue que los estudiantes comprendieron que pueden generar sustancias con propiedades distintas a las iniciales, además que las propiedades de las sustancias iniciales son importantes para saber qué se va a obtener (predicción). Un ejemplo de esto fue un el EQ 5 cambió el indicador propuesto por el docente por otro, el argumento que sostuvo este EQ fue que el indicador propuesto por ellos tenía la misma función ya que el compuesto responsable del cambio de color es similar. Otro ejemplo fue el EQ 10, ellos investigaron que hay reacciones químicas análogas y que les pueden ayudar a determinar qué sustancia química obtendrían, de esta manera cambiaron el reactivo inicial (NaOH) y lo sustituyeron por otro con un pH similar al propuesto.

Al permitir a los estudiantes que realizaran modificaciones que les permitiera lograr el objetivo de la sesión experimental, se observó que hubo una incidencia en la autogestión,

responsabilidad y apropiación del conocimiento. Asimismo, se observó un efecto positivo al realizar una sesión experimental desde sus casas, pues se cambia la idea que la ciencia sólo ocurre en los laboratorios. Además, un porcentaje (65%) de los estudiantes comentó en plenaria que les gustó que se accediera cambiar el método de la sesión experimental, ya que les permitió hacer una investigación con el fin de generar preguntas, hipótesis y ponerlas a prueba a través de la experimentación, enriqueciendo el conocimiento. El resto de los estudiantes comentaron que fue frustrante porque no encontraron las sustancias que necesitaban y no sabían con qué podían sustituirlas.

Cabe señalar que el OD Nanoscópico, fue desarrollado de manera indirecta durante esta actividad, así un 36% de los EQ logró un desarrollo poco evidente, otro 21% tuvo un desarrollo muy evidente y evidente; el restante fue nada evidente. Los modelos propuestos por los estudiantes se basaron en información científica, ideas previas y descripciones de sus observaciones acerca del fenómeno. También generaron preguntas e hipótesis que intentaron responder y correlacionar con sus resultados, la mayoría integró estos en el entregable. Otros más les causó conflicto relacionar la formación de sustancias nuevas desde el aspecto nanoscópico pues no tenían claros los conceptos de átomo, enlace y molécula.

Con esta actividad se logró que los estudiantes generarán modelos para explicar el fenómeno de reacción química y a su vez permitió al docente obtener información de cómo comprendieron los estudiantes la formación de sustancias en el nivel nanoscópico. Los modelos generados y presentados por los estudiantes favorecen su comprensión, tal fue el caso de uno de los modelos presentados por EQ 5 (Ilustración 11), pues generó debate acerca de la congruencia del modelo presentado.

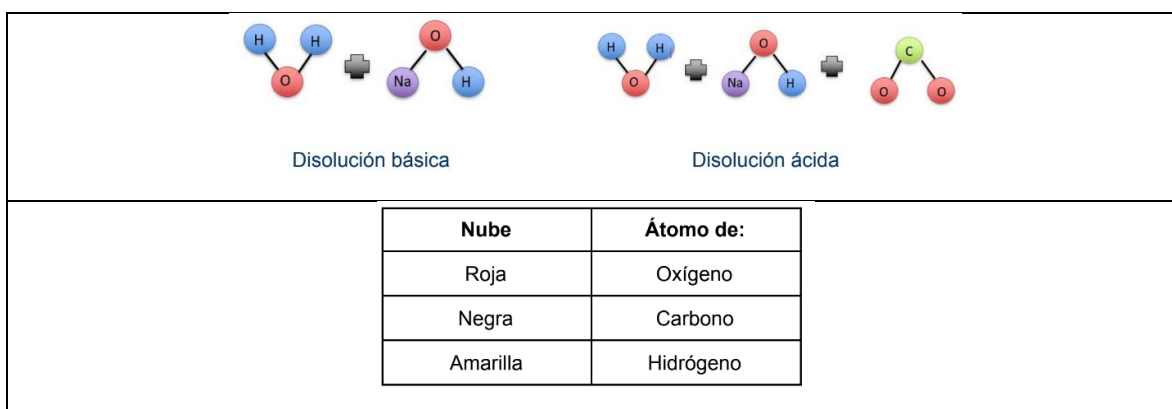




Ilustración 11. Modelos presentados por dos EQ, arriba modelo de reacción química propuesto por el EQ 5; abajo modelo del EQ 4 congruente con el conocimiento científico.

En la Ilustración 11 se observa el modelo del EQ 5 como una mezcla de sustancias y que no era congruente con la información de los demás EQ, por lo que el debate se centró en la formación de sustancias a partir de otras. Así, el EQ 4 expuso su modelo centrándose en la formación de una sustancia nueva a partir de dos con distintas propiedades. Finalmente, uno de los integrantes del EQ 5 terminó el debate afirmando que “...entonces... [en] la reacción química [se] [inter]cambian los átomos ... y eso... [genera] otra sustancia distinta...” (Estudiante 35).

En el análisis de este entregable se observó que la mayoría de los estudiantes generan explicaciones basadas en observaciones (nivel macroscópico) y pocas veces se basan en la reestructuración de átomos (nivel nanoscópico). Considero que es necesario seguir realizando actividades centradas en la representación del nivel nanoscópico que permitan la construcción de la reacción química como una reestructuración de átomos. Si bien, hay algunos estudiantes que logran conceptualizar esto, en otros (la mayoría de los estudiantes) aún se dificulta construir esta idea.

4.1.4 Análisis de Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida.

El último entregable se centró en desarrollar el OD Reacción química, esta actividad fue realizada de manera asincrónica, sólo se dieron 10 minutos de explicación y la entrega fue un día después. El análisis del desarrollo de los OD se muestra en el Gráfico 4:

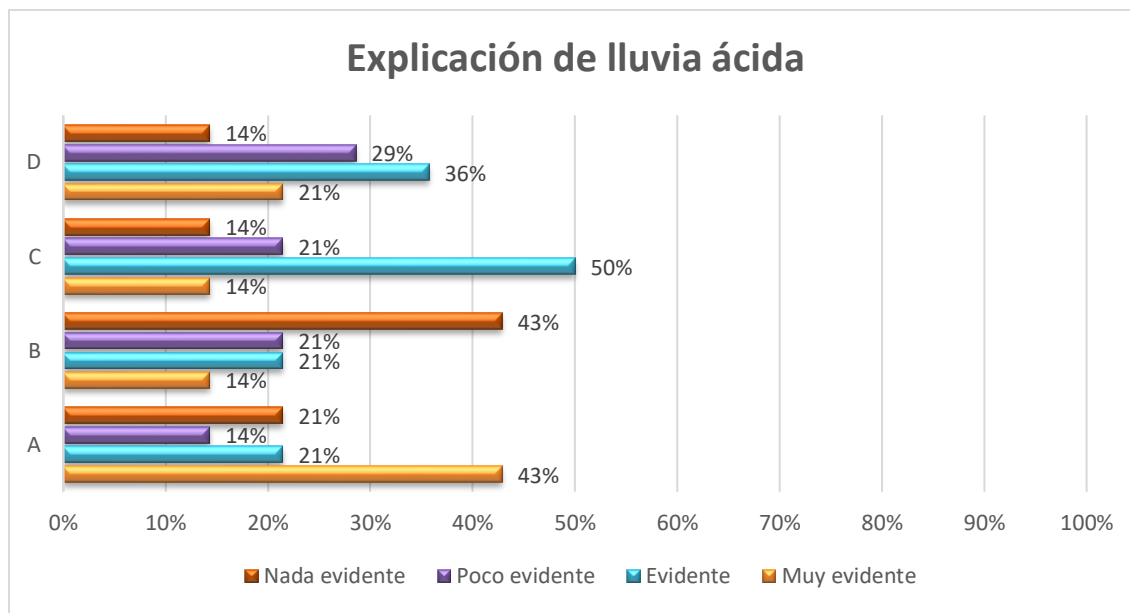


Gráfico 4. Análisis del entregable E4-EQX-M4 con respecto a los objetivos didácticos desarrollados

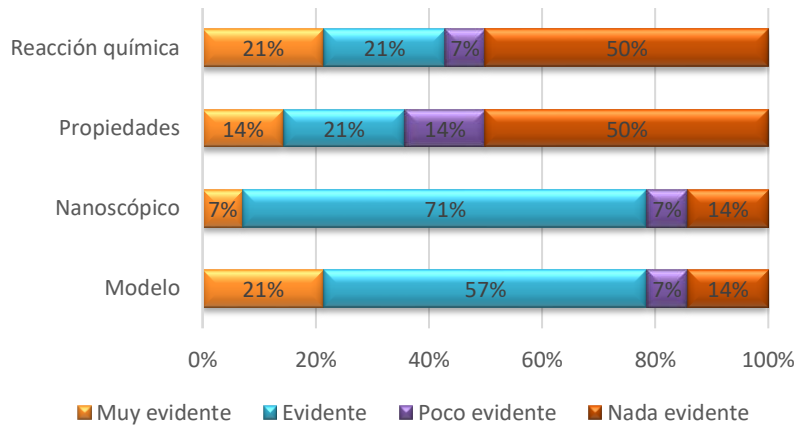
El 35.71% de los EQ logró un desarrollo evidente para Reacción Química, mientras otro 21.43% logró un desarrollo de nivel muy evidente. En los entregables se observó que los estudiantes comienzan sus explicaciones averiguando de qué están hechas las cosas, es decir, se investiga primero las sustancias mayoritarias que componen los materiales y las posibles reacciones químicas que hay implicadas. Esto no se logró con todos los equipos, pero abre la puerta para futuras actividades con corte similar.

A pesar del diseño de la actividad para desarrollar únicamente el objetivo Reacción Química, se lograron documentar el desarrollo en otros objetivos. En el objetivo Modelo, el 43% de los estudiantes mostraron un desarrollo muy evidente, mientras que un 21% de los estudiantes mostraron un desarrollo nada evidente. Con respecto al objetivo Nanoscópico, sólo el 14% mostró un desarrollo muy evidente, mientras que el 43% del grupo mostró un desarrollo nada evidente. Para el objetivo Propiedades, el grupo presentó un desarrollo evidente (50%) mientras que un 14% logró un nivel muy evidente de desarrollo.

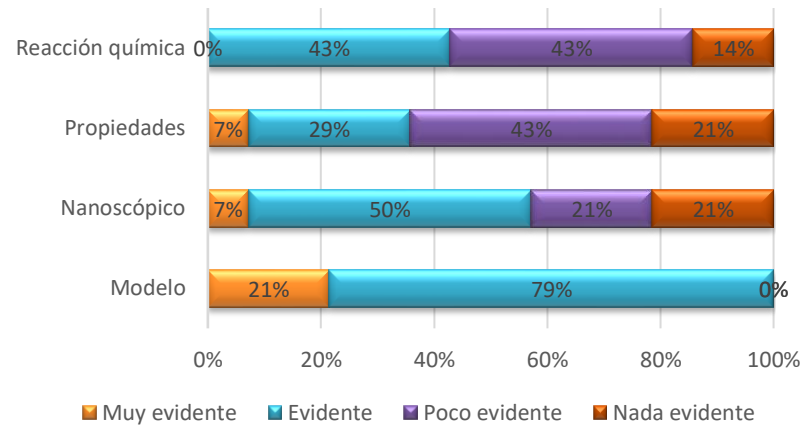
Uno de los hallazgos para estos objetivos fue que los estudiantes comienzan a utilizar los tres niveles de representación de la materia para generar explicaciones que sean congruentes con la información científica y a partir de éstos generan textos que les permita comprender el fenómeno desde la reacción química principal. Otro fue que las propiedades químicas del

producto son relevantes para justificar la degradación de materiales, es decir, la idea que la materia desaparece es refutada, todos los estudiantes concluyeron que la generación de un gas que se desprende puede ser la causa de la degradación de un material, por lo que la idea de la conservación de la materia es más lógica que la desaparición de esta.

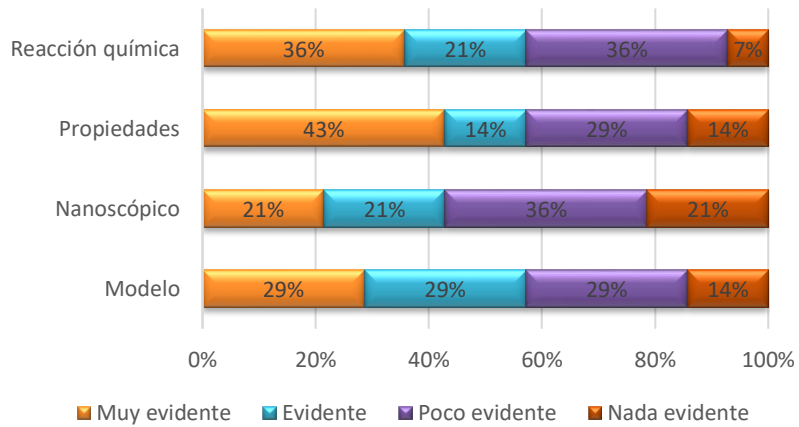
Modelos a modelos



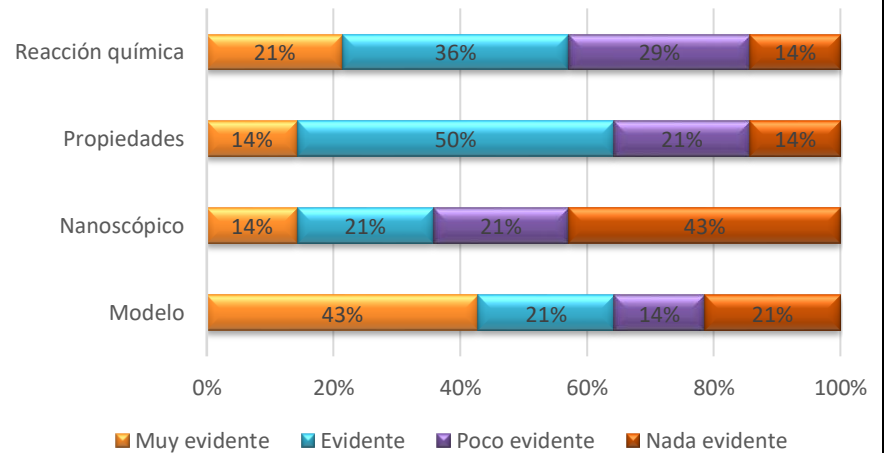
Modelo de clips



Manos a la obra, hagamos un modelo



Explicación de lluvia ácida



Cada actividad fue diseñada con OD específicos a desarrollar durante la aplicación de esta unidad, sin embargo, el análisis de cada entregable permitió observar que se desarrollaron otros OD lo que permitió una continuidad en el desarrollo de pensamiento químico y construcción de modelos. Se puede observar un avance a lo largo de cada actividad, por ejemplo, se incidió en el desarrollo del objetivo Propiedades y es más notorio en el Explicación de la lluvia ácida (E4-EQX-M4) a diferencia de los dos primeros entregables donde la mayoría del grupo se encontraba en niveles poco o nada desarrollados.

A lo largo de la aplicación de la unidad, los estudiantes mostraron un “choque” con las ideas que presentaron en un inicio, lo cual se reflejó en el entregable Manos a la obra, hagamos un modelo, donde los resultados de los equipos no fueron homogéneos, comparándolo con los demás entregables. Aun así, este análisis no permite obtener más información del grado de desarrollo obtenido con respecto a las explicaciones y uso de modelos, pues se centró únicamente en el desarrollo directo de los objetivos didácticos. Por lo que es necesario realizar una escala para obtener una mejor perspectiva de los modelos que desarrollaron los estudiantes.

En el apartado siguiente se muestra el análisis realizado con respecto a la construcción de explicaciones centradas en el desarrollo de pensamiento químico y modelo.

4.2 Análisis de resultados de desarrollo de los ejes Pensamiento químico PQ y Modelo (M)

El apartado anterior nos permitió conocer el comportamiento general del avance de los estudiantes con respecto a los objetivos didácticos, sin embargo, es necesario profundizar en los contenidos relacionados con el pensamiento químico (PQ) y modelos construidos (M)

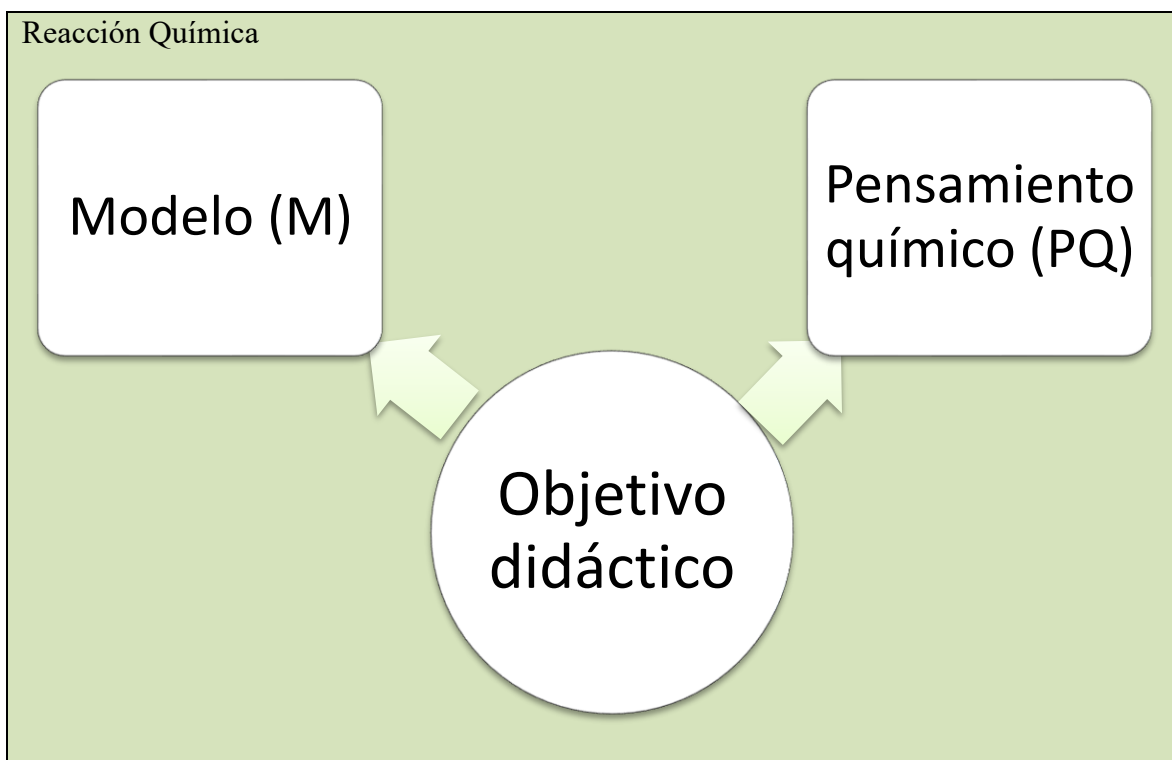


Ilustración 12. Relación entre el objetivo didáctico, la reacción química, el pensamiento químico y el desarrollo de modelos.

En la Ilustración 12 se muestra que cada objetivo didáctico se construyó con la finalidad de enseñar a los estudiantes el tema de reacción química, el pensamiento químico y se incorpora un modelo ya sea escrito, pictográfico o ambos.

Se llevó a cabo el análisis de los entregables de la unidad didáctica mediante dos rúbricas construidas en las que se establecieron cinco niveles de desempeño como se muestra en la Ilustración 13. Los niveles de desarrollo de los estudiantes que se plantean en las rúbricas:

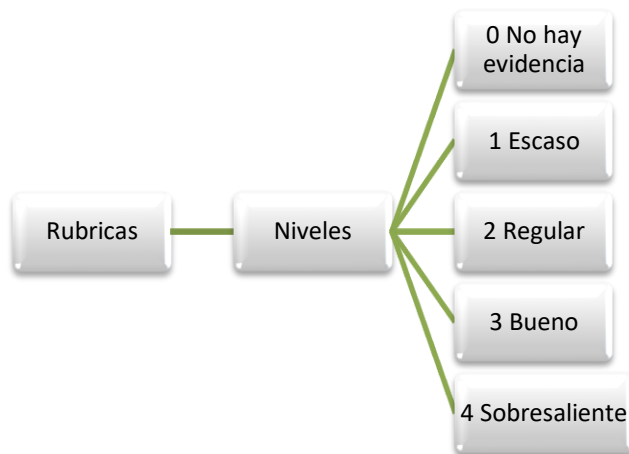


Ilustración 13. Los niveles de desarrollo de los estudiantes que se plantean en las rúbricas

Es importante aclarar que Vicente Talanquer (2010) establece el pensamiento químico en todo especialista de la química debería tener desarrollado en cinco enunciados. En este trabajo de investigación para el PQ4 (ver página 50) se establecieron los alcances máximos a los que se considera que pueden llegar los estudiantes de bachillerato y estos se integraron en los enunciados establecidos como objetivos didácticos.

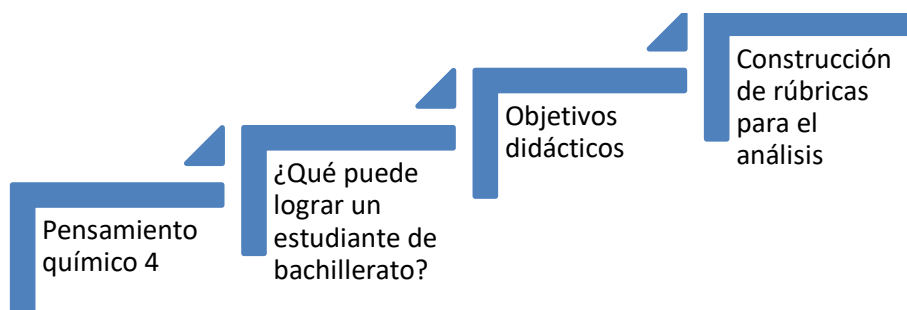


Ilustración 14. Planteamiento para la construcción de rúbricas para el análisis de los entregables

Como se muestra en la Ilustración 14 para la construcción de las rúbricas fue imprescindible considerar los objetivos didácticos a desarrollar en los entregables. Como se ha mencionado todos los OD relacionan la construcción de un modelo ya sea pictográfico y en texto (M) y la generación de explicaciones que evidencian el pensamiento químico (PQ) y que demuestren la comprensión, uso y aplicación de los modelos, por lo cual estos dos son los indicadores principales.

Los entregables se analizaron a profundidad y se determinó el nivel de desarrollo para cada uno de estos. Los niveles de desarrollo son cinco enumerados del 0 al 4, entendiendo por 0

que no hay modelo o texto asociado y por 4 el nivel más alto de desarrollo esperado para estudiantes de bachillerato. Una vez elegidos los indicadores y los niveles- se procedió a formar los textos que asocien el grado de avance de los estudiantes. A continuación, se presentan las rúbricas generadas.

La rúbrica de evaluación para modelo (M) se presenta la siguiente Tabla 10.

Tabla 10. Rúbrica de evaluación para modelo.

Rubro	No hay (0)	Escaso (1)	Regular (2)	Bueno (3)	Sobresaliente (4)
<p>Construcción de modelos</p> <p>Criterios:</p> <p>Criterio 1: Número de modelos que utiliza</p> <p>Criterio 2: Grado de cercanía al conocimiento científico de la representación de la reacción química.</p> <p>Criterio 3: Congruencia entre los modelos</p>	No hay modelo	<p>Hay al menos un pictograma que sirve como modelo de una reacción química pero no representa la reacción química en estudio.</p> <p>Si hay más de dos modelos, la información que contienen es incongruente entre ellos.</p>	<p>Hay dos o más pictogramas para representar una reacción química en el que se identifican varios errores conceptuales como la unión entre átomos o desaparición de éstos.</p> <p>Hay dos o más modelos, la información es congruente entre ellos.</p>	<p>Hay tres pictogramas tomados de diversas fuentes para representar una reacción química en el que se identifican pocos errores conceptuales.</p> <p>Hay tres modelos, la información es congruente entre ellos</p>	<p>Hay tres pictogramas (tomados de una fuente o diseñados) que representan una reacción química que presenta conceptos acordes con la información científica.</p> <p>Hay tres modelos, la información es congruente y permite su seguimiento entre ellos.</p>
<p>Codificación del modelo</p> <p>Criterios:</p> <p>Criterio 1: Número de pictogramas</p> <p>Criterio 2: Codificación que identifica reactivos y productos con nombres y fórmulas químicas</p>	No hay modelo	<p>Hay un pictograma que tiene una codificación para identificar reactivos y productos, pero no incluye nombres o fórmulas químicas</p>	<p>Hay al menos dos pictogramas que están codificados para identificar reactivos y productos, pero sólo incluye nombres o fórmulas químicas.</p>	<p>Hay tres pictogramas que están codificados para identificar los reactivos y productos con fórmulas y nombres químicos.</p>	<p>Hay tres pictogramas que están codificados con fórmulas y nombres químicos que permite dar seguimiento a la reacción química.</p>
<p>Estequiometría en modelo</p> <p>Criterios:</p> <p>Criterio 1: El modelo considera la estequiometría</p>	No hay un modelo que integre coeficientes estequiométricos.	<p>Hay un modelo que no integra los coeficientes estequiométricos.</p>	<p>Hay un modelo que integra los coeficientes estequiométricos.</p>	<p>Hay al menos dos modelos que integran los coeficientes estequiométricos.</p>	<p>Los tres modelos integran los coeficientes estequiométricos.</p>

La rúbrica de evaluación para pensamiento químico (PQ) se presenta la siguiente Tabla 11.

Tabla 11. Rúbrica de evaluación para PQ.

Rubro PQ	No hay (0)	Escaso (1)	Regular (2)	Bueno (3)	Sobresaliente (4)
<p>Texto</p> <p>Criterio 1: Texto asociado por cada modelo</p> <p>Criterio 2: Información que utiliza el alumno a través de su modelo.</p> <p>Criterio 3: Generación de explicaciones a partir del modelo.</p>	No hay texto asociado	Hay un texto asociado a un modelo que hace descripciones generales de la reacción química, no hay explicaciones a partir del modelo.	Hay un texto por cada modelo en el que detalla lo que se está observando.	Hay un texto asociado por cada modelo que interpreta con el fin de mejorar su comprensión	Hay un texto asociado por cada modelo que enfatiza información de su modelo que utiliza para generar su explicación
<p>Condiciones de reacción</p> <p>Criterios:</p> <p>Criterio 1: Especifica las condiciones de reacción</p>	No menciona las condiciones de reacción	Menciona sólo una condición y de forma generalizada para llevar a cabo la reacción química.	Menciona algunas condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción química, pero de forma generalizada.	Identifica los reactivos como condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción química	Menciona reactivos, temperatura, presión y concentración como algunas condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción.
<p>Concepto de reacción química</p> <p>Criterio 1: Reactivos y productos correspondientes al fenómeno se integran en la definición de reacción química</p>	No hay una explicación de la reacción química.	Describe de forma generalizada reactivos y productos.	Identifica los reactivos y productos formados del fenómeno, pero en su explicación no incluye la formación de nuevas sustancias.	Identifica reactivos y productos formados y da cuenta que no desaparecen los átomos, da cuenta de la formación de nuevas sustancias.	Identifica los reactivos y productos de los materiales donde ocurre la reacción química, así como su estado de agregación y menciona la formación de nuevas sustancias con propiedades distintas a las iniciales
<p>Relación entre modelos y textos asociados:</p> <p>Criterio 1: Textos asociados a cada modelo y su relación entre ellos</p>	No hay modelos que relacionar.	Hay un modelo con un texto asociado que no se relaciona con otro otros.	Utiliza al menos dos modelos con textos asociados que permiten dar seguimiento a la reacción química.	Relaciona los tres modelos con textos asociados para dar seguimiento a la reacción química.	Relaciona los tres modelos con los textos asociados de forma adecuada para dar seguimiento a la reacción química.

Con el fin de clarificar cómo es cada uno de los niveles de desarrollo generado por los alumnos, se presenta la rúbrica del nivel desarrollado, un ejemplo y la descripción del nivel.

4.2.1 Nivel 1 de desarrollo

En el nivel 1 de acuerdo con la rúbrica elaborada para modelo (M).

Rubro	Escaso (1)
Construcción de modelos Criterios: ✓ Criterio 1: Número de modelos que utiliza ✓ Criterio 2: Grado de cercanía al conocimiento científico de la representación de la reacción química. ✓ Criterio 3: Congruencia entre los modelos	Hay al menos un pictograma que sirve como modelo de una reacción química pero no representa la reacción química en estudio. Si hay más de dos modelos, la información que contienen es incongruente entre ellos.
Codificación del modelo Criterios: ✓ Criterio 1: Número de pictogramas ✓ Criterio 2: Codificación que identifica reactivos y productos con nombres y fórmulas químicas	Hay un pictograma que tiene una codificación para identificar reactivos y productos, pero no incluye nombres o fórmulas químicas
Estequiometría en modelo Criterios: ✓ Criterio 1: El modelo considera la estequiometría	Hay un modelo que no integra los coeficientes estequiométricos.

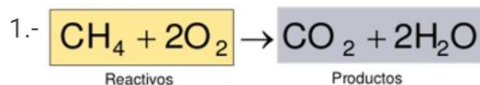
En el nivel 1 de acuerdo con la rúbrica elaborada para pensamiento químico (PQ).

Rubro PQ	Escaso (1)
Texto Criterios: ✓ Criterio 1: Texto asociado por cada modelo ✓ Criterio 2: Información que utiliza el alumno a través de su modelo. ✓ Criterio 3: Generación de explicaciones a partir del modelo.	Hay un texto asociado a un modelo que hace descripciones generales de la reacción química, no hay explicaciones a partir del modelo.
Condiciones de reacción Criterio: ✓ Criterio 1: Especifica las condiciones de reacción	Menciona sólo una condición y de forma generalizada para llevar a cabo la reacción química.
Concepto de reacción química Criterio: ✓ Criterio 1: Se integran los reactivos y productos correspondientes al fenómeno en la definición de reacción química	Describe de forma generalizada reactivos y productos.
Relación entre modelos y textos asociados: Criterio ✓ Criterio 1: Textos asociados a cada modelo y su relación entre ellos	Hay un modelo con un texto asociado que no se relaciona con otro otros.

Un ejemplo de nivel 1 de desarrollo sería el E1-EQ7-M1

Equipo 7:

Reacción de combustión del metano



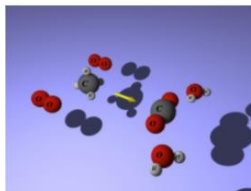
Busca en la red (o dibuja) tres posibles modelos que representen una misma reacción química.

Pega aquí las tres representaciones químicas que seleccionaron

¿Por qué son modelos?

Son modelos porque representan la combustión de un gas en específico desde perspectivas específicas

2.-



¿Para qué sirven?

El primer modelo nos ayuda a ver desde una perspectiva matemática o escrita, lo que ocurre en la reacción

El segundo nos sirve para imaginar y tratar de entender cómo es que se desarrolla la reacción a nivel molecular

El tercero, nos sirve para que sea más fácil identificarlo a la hora de una práctica o de simplemente querer verlo
En términos generales sirven para estudiar la reacción

3.-



Ilustración 15. Entregable de nivel 1 de desarrollo.

Analizando M del E1-EQ7-M1 (ver Ilustración 15. Entregable de nivel 1 de desarrollo.) se puede observar que hay unas imágenes tomadas de internet que el equipo elige para representar una reacción de combustión. Las imágenes destinadas a los tres niveles de representación están enumeradas del 1-3. Aunque hay un texto que dice qué información aporta cada nivel de representación, lo hace de forma muy general:

“El primer modelo nos ayuda a ver desde una perspectiva matemática o escrita, lo que ocurre en la reacción. El segundo nos sirve para imaginar y tratar de entender cómo es que se desarrolla la reacción a nivel molecular. El tercero, nos sirve para que sea más fácil identificarlo a la hora de una práctica o de simplemente querer verlo. En términos generales es sirven para estudiar la reacción” (E1-EQ7-M1).

No hay una explicación de cómo el CH_4 se traduce específicamente a molécula metano (aunque si aparece una molécula de metano), tampoco hay evidencia de que en la molécula de CH_4 identifiquen los cinco átomos que la constituyen. Por último, aunque aparece una foto con una flama en una hornilla, no se identifica dónde está el metano, ni tampoco hay

evidencia de que los estudiantes puedan identificar cuáles son los reactivos y cuáles son los productos.

En este tipo de representaciones que a la vista de un profesional de la química se relacionan naturalmente entre ellas, es justamente en donde se tiene que trabajar de forma exhaustiva en el estudiante que se está entrenando para cambiar el nivel de representación y explicar fenómenos químicos lo haga de forma explícita. Es sólo a través de la escritura y lectura de textos en donde los estudiantes explicitan cómo se relaciona una imagen con determinada reacción química y con el resto de las representaciones, como podemos detectar los aciertos y las dificultades que presentan los alumnos al relacionar estos niveles de representación.

Al solicitarles que respondieran la pregunta “¿Por qué son modelos?” los estudiantes mencionan que son “...representaciones de la combustión de un gas específico desde perspectivas específicas” E1-EQ7-M1 Esta respuesta es muy general y no da oportunidad de analizar que los estudiantes identifican o no los reactivos y productos involucrados. De igual manera al responder la pregunta “¿Para qué sirven los modelos?” se encuentran tres tipos de respuesta: para imaginar, para entender y para identificar. La última respuesta (identificar) se refieren al nivel macroscópico, pero no logran definir qué pueden identificar de lo que están observando. También hay una representación del nivel submicroscópico representado por esferas de color rojas y grises, pero los estudiantes no logran establecer un significado químico para estas esferas a pesar de que éstas se pueden relacionar con el nivel simbólico.

Con respecto al PQ, se muestra un nivel 1 de desarrollo pues los estudiantes no se apegan a la definición de reacción química descrita en la rúbrica. Es evidente que no logran definir que es un reactivo ni el producto formado. Los estudiantes describen cada representación como un fenómeno distinto entre sí, esto se denota en la expresión: “representación desde diferentes perspectivas”.

4.2.2 Nivel 2 de desarrollo

En el nivel 2 de acuerdo con la rúbrica elaborada para modelo (M):

Rubro	Regular (2)
Construcción de modelos Criterios: ✓ Criterio 1: Número de modelos que utiliza ✓ Criterio 2: Grado de cercanía al conocimiento científico de la representación de la reacción química. ✓ Criterio 3: Congruencia entre los modelos	Hay dos o más pictogramas para representar una reacción química en el que se identifican varios errores conceptuales como la unión entre átomos o desaparición de éstos. Hay dos o más modelos, la información es congruente entre ellos.
Codificación del modelo Criterios: ✓ Criterio 1: Número de pictogramas ✓ Criterio 2: Codificación que identifica reactivos y productos con nombres y fórmulas químicas	Hay al menos dos pictogramas que están codificados para identificar reactivos y productos, pero sólo incluye nombres o fórmulas químicas.
Estequiometría en modelo Criterios: ✓ Criterio 1: El modelo considera la estequiometría	Hay un modelo que integra los coeficientes estequiométricos.

En el nivel 2 de acuerdo con la rúbrica elaborada para para pensamiento químico (PQ).

Rubro PQ	Regular (2)
Texto Criterios: ✓ Criterio 1: Texto asociado por cada modelo ✓ Criterio 2: Información que utiliza el alumno a través de su modelo. ✓ Criterio 3: Generación de explicaciones a partir del modelo.	Hay un texto por cada modelo en el que detalla lo que se está observando.
Condiciones de reacción Criterios: ✓ Criterio 1: Especifica las condiciones de reacción	Menciona algunas condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción química, pero de forma generalizada.
Concepto de reacción química Criterio: ✓ Criterio 1: Reactivos y productos correspondientes al fenómeno se integran en la definición de reacción química	Identifica los reactivos y productos formados del fenómeno, pero en su explicación no incluye la formación de nuevas sustancias.
Relación entre modelos y textos asociados: Criterio: ✓ Criterio 1: Textos asociados a cada modelo y su relación entre ellos	Utiliza al menos dos modelos con textos asociados que permiten dar seguimiento a la reacción química.

Como nivel 2 de desarrollo se tiene el E1-EQ2-M1

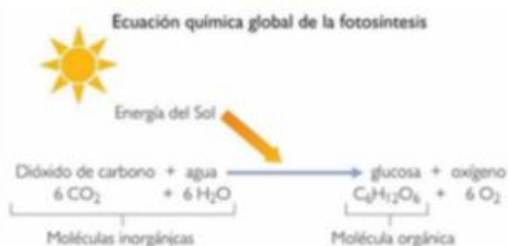
Reacción química: Fotosíntesis

Nivel macroscópico:



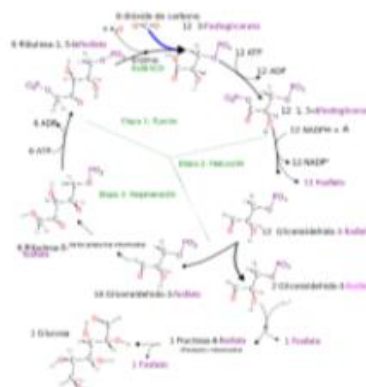
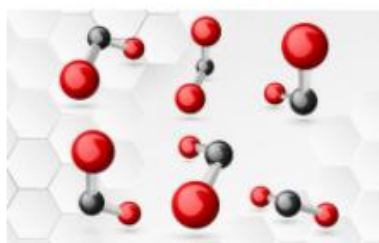
En esta imagen se puede observar una planta, la cuál parece estar recibiendo los rayos del sol.

Nivel simbólico:



Esta imagen representa la ecuación química de la fotosíntesis en la cual 6 moléculas de dióxido de carbono y 6 moléculas de agua, reaccionarán con la ayuda de la energía solar para producir una molécula de glucosa y 6 moléculas de oxígeno.

Nivel nanoscópico:



Esta imagen representa el ciclo de calvin, en el cual el CO₂ se fija a las moléculas orgánicas, en el modelo se representan las 3 fases que componen el ciclo de calvin.

Ilustración 16. Entregable de nivel 2 de desarrollo

El E1-EQ2-M1 presenta imágenes tomadas de internet que representan la reacción bioquímica de la fotosíntesis, desde el nivel macroscópico hasta el nivel submicroscópico. En cada uno presentan un texto asociado a la imagen que detalla lo que se están observando. Por ejemplo, en la representación macroscópica los estudiantes mencionan que “una planta la cual parece estar recibiendo los rayos del sol”, por lo cual intentan explicar una de las

condiciones necesarias para que se lleve a cabo la reacción de la fotosíntesis, pero no lo hacen de manera adecuada, pues sólo se limitan a describir que hay *Sol*, pero no explican por qué es necesario en la reacción química. Lo mismo ocurre con el nivel submicroscópico, la imagen es una representación del ciclo de Calvin, si bien es útil para poder explicar la formación de glucosa, los estudiantes explican que la formación de los productos (glucosa y oxígeno) es por el ciclo de Calvin y a pesar de utilizar un modelo de esferas no intuyen la reestructuración de átomos. La representación simbólica es adecuada para este entregable, pues contiene toda la información detallada: símbolos químicos, nomenclatura química, ecuación química.

Por otro lado, el desarrollo de PQ es de nivel 2, porque hay una especificación de los reactivos y productos formados, así como la cantidad de moléculas que se obtienen y la relación que hay entre el modelo simbólico y submicroscópico. Un ejemplo de esto es el modelo de esferas en el cual aparecen 6 moléculas de CO_2 (especificada en clase por los estudiantes) el cual identifican como reactivo principal para la fotosíntesis y que a lo largo de sus explicaciones le dan seguimiento hasta la formación de la molécula de glucosa como nueva sustancia. Sin embargo, al intentar explicar cómo se forma la molécula de glucosa como compuesto de 6 átomos de carbono, sólo se centran en el ciclo de Calvin y no en la reestructuración de los átomos. Esto es evidente en la explicación del nivel simbólico, pues especifican la cantidad de moléculas y no la cantidad de átomos de carbono, oxígeno e hidrógeno que se integran a la molécula de glucosa. Pareciera que el balanceo de la ecuación química y el ciclo de Calvin fueran suficiente para justificar la formación de una sustancia nueva.

4.2.3 Nivel 3 de desarrollo

En el nivel 3 de acuerdo con la rúbrica elaborada para modelo (M).

Rubro	Bueno (3)
Construcción de modelos Criterios: ✓ Criterio 1: Número de modelos que utiliza ✓ Criterio 2: Grado de cercanía al conocimiento científico de la representación de la reacción química. ✓ Criterio 3: Congruencia entre los modelos	Hay tres pictogramas tomados de diversas fuentes para representar una reacción química en el que se identifican pocos errores conceptuales. Hay tres modelos, la información es congruente entre ellos
Codificación del modelo Criterios: ✓ Criterio 1: Número de pictogramas	Hay tres pictogramas que están codificados para identificar los reactivos y productos con fórmulas y nombres químicos.

✓ Criterio 2: Codificación que identifica reactivos y productos con nombres y fórmulas químicas	
Estequiometría en modelo Criterios: ✓ Criterio 1: El modelo considera la estequiometría	Hay al menos dos modelos que integran los coeficientes estequiométricos.

En el nivel 3 de acuerdo con la rúbrica elaborada para modelo (M).

Rubro PQ	Bueno (3)
Texto Criterio: ✓ Criterio 1: Texto asociado por cada modelo ✓ Criterio 2: Información que utiliza el alumno a través de su modelo. ✓ Criterio 3: Generación de explicaciones a partir del modelo.	Hay un texto asociado por cada modelo que interpreta con el fin de mejorar su comprensión
Condiciones de reacción Criterios: ✓ Criterio 1: Especifica las condiciones de reacción	Identifica los reactivos como condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción química
Concepto de reacción química Criterio: ✓ Criterio 1: Reactivos y productos correspondientes al fenómeno se integran en la definición de reacción química	Identifica reactivos y productos formados y da cuenta que no desaparecen los átomos, da cuenta de la formación de nuevas sustancias.
Relación entre modelos y textos asociados: Criterio: ✓ Criterio 1: Textos asociados a cada modelo y su relación entre ellos	Relaciona los tres modelos con textos asociados para dar seguimiento a la reacción química.

El nivel de desarrollo 3 fue alcanzado por el E1-EQ3-M1 y se presenta en la Ilustración 17:

Equipo 3:

Respiración

Busca en la red (o dibuja) tres posibles modelos que representen una misma reacción química.

Nanoscópico



La respiración concluye en la respiración celular, donde ésta se realiza en la mitocondria y consta de 4 fases: oxidación parcial, ciclo de Krebs, cadena de transporte de electrones y fosforilación oxidativa. Es un proceso complejo que desprende gran cantidad de electrones, donde al final produce ATP, agua y CO₂ que sacamos al momento de la exhalación.

Pega aquí las tres representaciones químicas que seleccionaron

Simbólico

$$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \xrightarrow{\text{energía liberada}} 6 H_2O + 6 CO_2$$

glucosa oxígeno agua dióxido de carbono

Lo que podemos observar en esta representación es cómo reaccionan los compuestos de glucosa y oxígeno, para generar agua y dióxido de carbono durante el proceso de respiración

Macroscópico



© CSIC
Esta representación es macroscópica, se observa como al respirar se introduce oxígeno y se expulsa dióxido de carbono

b) Sabemos que se relacionan que estas representaciones se relacionan porque los reactivos y productos son los mismos, sólo se están viendo de un punto de vista (modelo) diferente

c) ¿Cómo averiguarías que el lector comprendió lo que escribiste? Preguntando y pedirle una explicación sobre el fenómeno que se está ejemplificando

Ilustración 17. Modelo para el E1 elaborado por el equipo 3 (E1-EQ3-M1)

Un ejemplo de nivel 3 de desarrollo para M se encuentra en el E1-EQ3-M1 (Ilustración 17). Se presenta un modelo macroscópico con una imagen acompañada de un texto a modo de descripción ubicando los reactivos (glucosa y oxígeno) y de los productos formados (dióxido de carbono y agua). Con respecto al nivel submicroscópico, los estudiantes proponen de forma adecuada el modelo de las cuatro fases de la respiración celular, acompañado de un esquema de la célula. Por su parte el modelo macroscópico se eligió una imagen que no tiene un código de representación por lo que no se entiende sólo de verla que representa el color azul y qué representa el color rojo a pesar de que estos últimos se pueden referir a los alvéolos. Sin embargo, el equipo hace una interpretación en texto: “*Esta representación es macroscópica, se observa como al respirar se introduce oxígeno y se expulsa dióxido de carbono*”, lo cual refiere que los alumnos comprenden que el oxígeno y el dióxido de carbono son parte de la respiración y, aunado a su texto en la representación simbólica: “*Lo que podemos observar en esta representación es cómo reaccionan los compuestos de glucosa y oxígeno, para generar agua y dióxido de carbono durante el proceso de respiración*”, se identifica que los alumnos relacionan al proceso de respiración como una reacción química.

Por lo que se refiere al eje de análisis PQ, este entregable muestra algunas explicaciones centradas en el concepto de reacción química, por ejemplo, en el nivel simbólico la explicación añadida se centra en los compuestos iniciales "...reaccionan los compuestos de glucosa y oxígeno" que forman otros "...para generar agua y dióxido de carbono...". Esta explicación continua en el nivel submicroscópico pues los estudiantes explican la formación del producto de reacción CO_2 a partir de las 4 fases de la respiración celular. Lo que hace relevante este punto es que continúan el proceso de formación de CO_2 , aunque omiten la formación de agua. De igual manera en el modelo macroscópico, los estudiantes finalizan el viaje de la formación de dióxido de carbono y agua en una explicación corta "...al respirar se introduce oxígeno y se expulsa dióxido de carbono". Parece que los estudiantes están conscientes que los compuestos no pueden desaparecer a lo largo del proceso de respiración, pues provienen de la reacción entre oxígeno y glucosa. Sin embargo, la formación de estos nuevos compuestos no lo atribuyen a la reestructuración de los átomos.

Este entregable tiene un nivel 3 ya que tiene la información necesaria en diferentes partes del modelo, pero no presentan explícita la relación entre los diferentes niveles de representación.

Cabe recalcar que el tema de respiración es un tema complejo ya que la reacción química es a nivel celular.

4.2.3 Nivel 4 de desarrollo

En el nivel 3 de acuerdo con la rúbrica elaborada para modelo (M).

Rubro	Sobresaliente (4)
Construcción de modelos Criterios: ✓ Criterio 1: Número de modelos que utiliza ✓ Criterio 2: Grado de cercanía al conocimiento científico de la representación de la reacción química. ✓ Criterio 3: Congruencia entre los modelos	Hay tres pictogramas (tomados de una fuente o diseñados) que representan una reacción química que presenta conceptos acordes con la información científica. Hay tres modelos, la información es congruente y permite su seguimiento entre ellos.
Codificación del modelo Criterios: ✓ Criterio 1: Número de pictogramas ✓ Criterio 2: Codificación que identifica reactivos y productos con nombres y fórmulas químicas	Hay tres pictogramas que están codificados con fórmulas y nombres químicos que permite dar seguimiento a la reacción química.

Estequiometría en modelo Criterios: ✓ Criterio 1: El modelo considera la estequiometría	Los tres modelos integran los coeficientes estequiométricos.
---	--

En el nivel 4 de acuerdo con la rúbrica elaborada para pensamiento químico (PQ).

Rubro PQ	Sobresaliente (4)
Texto ✓ Criterio 1: Texto asociado por cada modelo ✓ Criterio 2: Información que utiliza el alumno a través de su modelo. ✓ Criterio 3: Generación de explicaciones a partir del modelo.	Hay un texto asociado por cada modelo que enfatiza información de su modelo que utiliza para generar su explicación
Condiciones de reacción Criterios: ✓ Criterio 1: Especifica las condiciones de reacción	Menciona reactivos, temperatura, presión y concentración como algunas condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción.
Concepto de reacción química Criterio: ✓ Criterio 1: Reactivos y productos correspondientes al fenómeno se integran en la definición de reacción química	Identifica los reactivos y productos de los materiales donde ocurre la reacción química, así como su estado de agregación y menciona la formación de nuevas sustancias con propiedades distintas a las iniciales
Relación entre modelos y textos asociados: Criterio: ✓ Criterio 1: Textos asociados a cada modelo y su relación entre ellos	Relaciona los tres modelos con los textos asociados de forma adecuada para dar seguimiento a la reacción química.

Un ejemplo de nivel 4 de desarrollo sería el E4-EQ14-M4 y se presenta en la Ilustración 18.

Ahora que ya sabes como se genera la lluvia ácida ¿Cómo explicarías que la lluvia ácida afecta las estructuras arqueológicas?

¿Qué información para lograr explicar el fenómeno?

Alumnos:
Estrada Martínez Leonardo
Galindo Parra Luciana

La efervescencia es una reacción que ocurre entre un ácido y un carbonato o bicarbonato de sodio

<https://ejercicios-fyq.com/Reaccion-de-disolucion-de-la-piedra-caliza-por-la-lluvia>

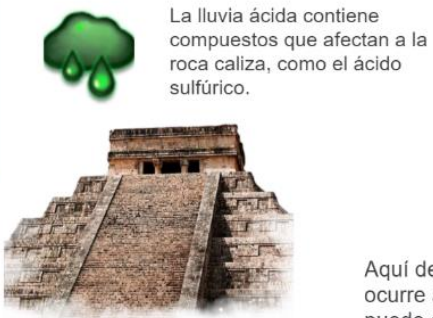
Reacción química: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$

El principal componente de la piedra caliza es el carbonato de calcio (CaCO_3), que reacciona con el ácido sulfúrico de la lluvia ácida (H_2SO_4) que resulta en dióxido de carbono, agua y sulfato de calcio (CaSO_4).

La reacción producida entre el ácido sulfúrico y la roca caliza provoca una efervescencia por el CO_2 que se libera en sus productos. Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste.

Esto nos lleva a deducir que las estructuras arqueológicas se desgastan al estar en el interperie y entrar en contacto con la lluvia ácida; esto lleva a daños o a la pérdida parcial del patrimonio cultural.

Imagina que debes explicar a niños de primaria cómo afecta la lluvia ácida a las estructuras arqueológicas. Realiza la explicación (pueden utilizar diversos métodos).



Esta construcción está hecha principalmente de roca caliza.

Aquí debajo se muestra de manera visual lo que ocurre a niveles muy pequeños que el ojo humano no puede apreciar

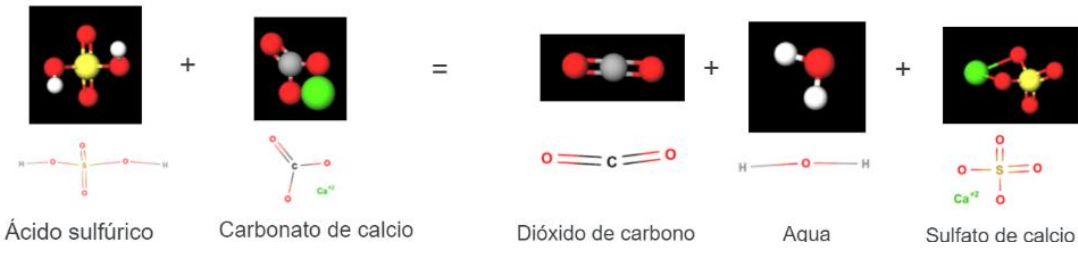


Ilustración 18. Respuesta de los estudiantes a la actividad 4 elaborado por el equipo 14 (E1-EQ14-M1)

Este entregable consistió en realizar dos actividades, la primera era responder la pregunta ¿Cómo explicarías que la lluvia ácida afecta las estructuras arqueológicas? La segunda consistió en realizar una explicación a niños de nivel básico (primaria) acerca de cómo afecta la lluvia ácida a las estructuras. La resolución de estas actividades se distribuyó en dos diapositivas, la primera presentó los argumentos que causan la afectación en las estructuras y la segunda presentó la explicación que generaron los estudiantes al realizar la actividad “Imagina que debes explicar a niños de primaria cómo afecta la lluvia ácida a las estructuras arqueológicas”, para esto se les dio la apertura de seleccionar información que consideraron necesaria para generar su explicación, imágenes, distintas herramientas tecnológicas (aparte de un pizarrón electrónico, en este caso Jamboard) para realizar y presentar la actividad.

Para M nivel 4 el modelo macroscópico se presenta en la segunda diapositiva, en la cual aparece una imagen de una pirámide que representa la construcción arqueológica que incluye el texto “Esta construcción está hecha principalmente de roca caliza” y una nube de color verde con dos gotas del mismo color acompañado del texto “La lluvia ácida contiene compuestos que afectan a la roca caliza, como el ácido sulfúrico”. Como modelo simbólico se encuentra la ecuación química expresada en fórmulas químicas con un texto que resalta el significado de estas fórmulas químicas, en palabras de los estudiantes: “El principal componente de la piedra caliza es el carbonato de calcio...reacciona con el ácido sulfúrico

de la lluvia ácida... resulta en dióxido de carbono, agua y sulfato de calcio". Por parte del modelo nanoscópico, los estudiantes integran una serie de imágenes con estructuras geométricas asociadas al nivel moléculas, la construcción de estas tiene colores y figuras idénticas. La codificación es presentada con una fórmula semidesarrollada de las moléculas (simbólico) y añaden el nombre debajo de cada molécula. Además, añaden el texto: "... se muestra lo que ocurre en niveles pequeños que el ojo humano no puede apreciar". A modo de relación de los tres niveles de la materia los estudiantes generan la explicación: "*La reacción [química] producida entre el ácido sulfúrico [de la lluvia ácida] y [el carbonato de calcio de] la roca caliza provoca una efervescencia por el CO₂ que se libera en sus productos. Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste*". Lo que sugiere que los estudiantes comprenden que dos sustancias distintas entre sí pueden reaccionar para formar otras sustancias con propiedades distintas a las iniciales, en palabras de los estudiantes: "*Esto nos lleva a deducir que las estructuras arqueológicas se desgastan al estar en ...[la]... intemperie y entrar en contacto con la lluvia ácida; esto lleva a daños o a la pérdida parcial del patrimonio cultural.*"

Por parte de PQ, los estudiantes integran las explicaciones que generan con la definición de reacción química, por ejemplo "*el carbonato de calcio reacciona con el ácido sulfúrico que resulta en dióxido de carbono, agua y sulfato de calcio*". En el texto anterior se redactan los nombres y fórmulas químicas que relacionan el nivel macroscópico (piedra caliza y lluvia ácida) con el nivel submicroscópico (carbonato de calcio y ácido sulfúrico) que lo presentan con imágenes.

Para los estudiantes es relevante mencionar la composición de la roca caliza (CaCO₃) pues es con lo que están hechas las pirámides. Y otra es la composición de la lluvia ácida (H₂SO₄) a partir de estas especificaciones parte su explicación. Por lo que da la impresión de que los estudiantes comienzan a identificar cuáles son las sustancias iniciales (reactivos). En otra parte de sus explicaciones los estudiantes mencionan los productos de reacción obtenidos, entre estos resaltan la formación de CO₂, sustancia causante de la degradación de las estructuras arqueológicas. La explicación se centra en la similitud de la reacción química con la de carbonato o bicarbonato y un ácido, en la cual hay desprendimiento de CO₂ en gas y que ellos mencionan como efervescencia. En palabras de los estudiantes: "*La reacción*

[química] producida... el CO₂ se libera [en forma de gas]. Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste". Lo anterior da idea de la comprensión de los estudiantes acerca de la reacción química y la similitud con otras que tengan reactivos idénticos. Por otro lado, los estudiantes comienzan a relacionar la formación de sustancias distintas a las iniciales, por ejemplo, un sólido reacciona con un líquido y puede producir otra sustancia en estado gaseoso.

Este fue el análisis realizado por cada nivel desarrollado por los estudiantes respecto a la rúbrica para cada eje de análisis. En el apartado siguiente se presentan los gráficos obtenidos al implementar las rúbricas, así como los hallazgos relacionados para cada uno de los entregables.

4.3 Análisis de resultados por entregable

4.3.1 Entregable Modelos a modelos

En el entregable 1 se solicitó que eligieran una reacción química, a continuación, se presenta el texto del entregable que puede ser consultado en la sección de Anexo.:

En equipos busquen en la red (o dibujen) tres posibles modelos que representen una misma reacción química. Una vez terminada tu actividad describe por qué son modelos y para qué sirve ese modelo.

No olvides pegar las tres representaciones de cada reacción química que seleccionaron.

Imagina que te han dado la oportunidad de escribir en un libro de texto:

- a) Describe cada una de las imágenes
- b) Describe cómo se relacionan cada una de las imágenes en cada nivel (macroscópico, nanoscópico y simbólico)
- c) ¿Cómo averiguarías que el lector comprendió lo que escribiste?

Con lo anterior se espera que hagan una representación de la reacción química bajo los tres niveles de representación de la materia. Cada representación es un modelo de la misma reacción química que los equipos de trabajo se propusieron a investigar. La elección de la reacción química fue diversa por lo que se agruparon en los rubros que se presentan en la gráfica siguiente:

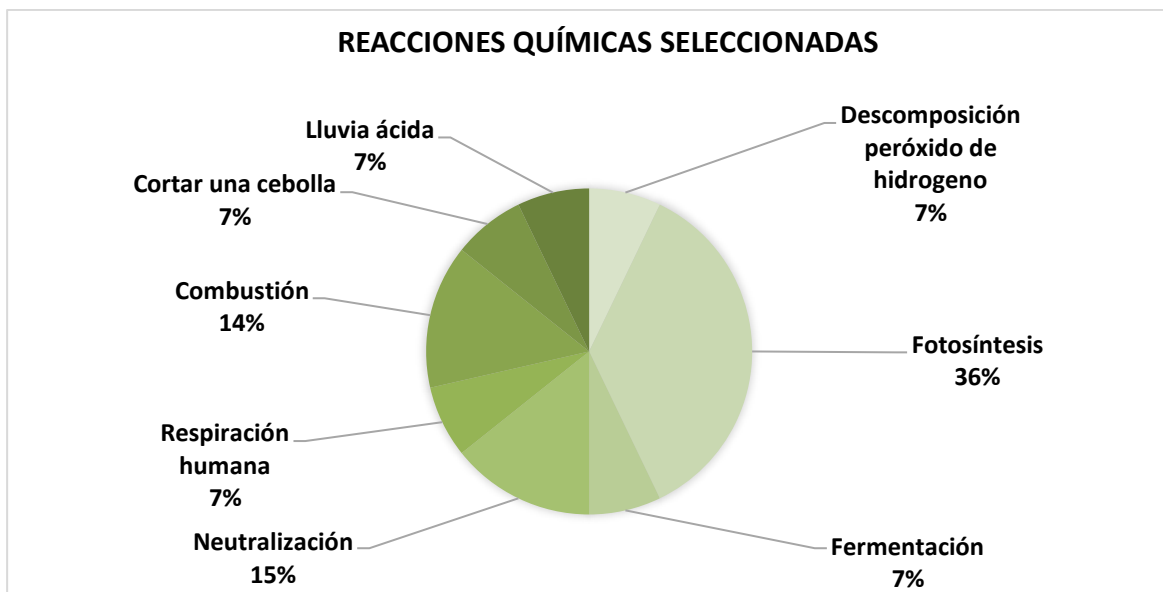


Ilustración 19. Reacciones químicas seleccionadas por los estudiantes

El porcentaje más alto (36%) eligió la reacción de fotosíntesis, seguida de una reacción de neutralización (15%) y combustión (14%). Cabe mencionar que los estudiantes reportaron durante la sesión de clase que la reacción de fotosíntesis se revisó en clase de biología. Esto resulta relevante, pues los estudiantes dan cuenta de que una reacción química puede ser útil en diferentes campos disciplinarios y no es exclusivo de la química.

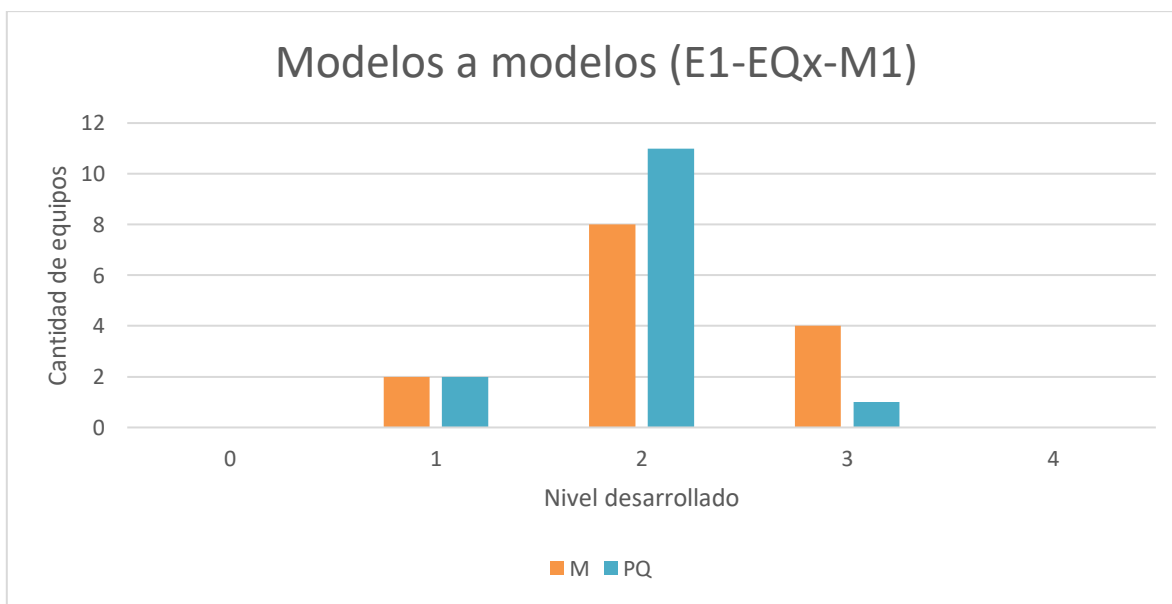
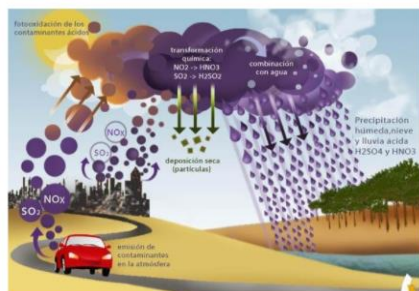


Gráfico 5. Entregable E1-EQx-M1

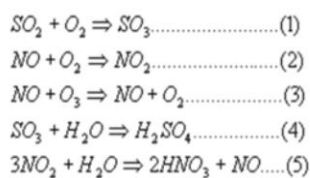
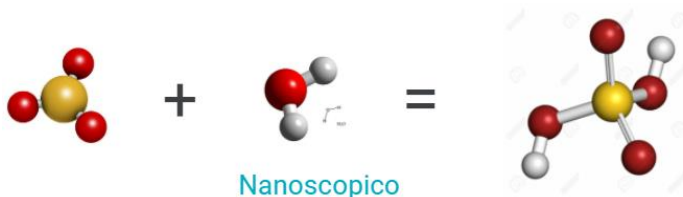
El análisis del entregable E1-EQx se centró en las explicaciones (PQ) realizadas por los estudiantes al solicitarles que describieran cómo se relacionan cada una de las imágenes (M) elaboradas para representar una reacción química en cada nivel (macroscópico, nanoscópico y simbólico), y se analizó con la rúbrica descrita en el apartado 4.2 Análisis de resultados de desarrollo de los ejes Pensamiento químico PQ y Modelo (M). Los resultados se presentan en el Gráfico 5 y se puede observar que el desarrollo del grupo tanto para M como para PQ se centró en un nivel 2, es decir en un nivel regular de desarrollo.

Analizando el eje modelo (M) se pudo observar que la mayoría de los entregables describen la reacción química usando únicamente uno de los modelos de representación de la materia, mayoritariamente el nivel de representación macroscópico. En otros casos se usa el nivel de representación simbólico junto con el nivel de representación macroscópico para lograr generar descripciones de las reacciones químicas que seleccionaron. En pocos casos, los estudiantes usan el modelo nanoscópico, pero no logran integrarlo al nivel macroscópico y submicroscópico (ver Ilustración 20), pues este no permite identificar qué reacción química están representando.

Cabe señalar que, en la mayoría de los casos, los modelos macroscópicos y simbólicos, intentan tener congruencia entre sí, lo que puede permitir el seguimiento a la reacción química que ocurre.



Macroscópico



Simbólico

Ilustración 20. Entregable del equipo 4 para E1-EQ4-M1, sólo integran modelos macroscópico y simbólico de forma congruente. El nivel nanoscópico no es congruente con los otros dos modelos.

Hablando específicamente del eje de análisis PQ, los estudiantes se centran en presentar modelos macroscópicos con poca explicación en texto con relación a la reacción química. Por ejemplo: “Se puede observar cómo la planta está *tomando* el Sol para realizar la fotosíntesis”. La mayoría de los estudiantes se centró en describir lo que veía en la fotografías o imágenes investigadas y no se encuentran explicaciones u observaciones relacionadas con el concepto de reacción química. Lo anterior podría ser un indicador de que los estudiantes no logran generar explicaciones y recurren a enunciados con descripciones.

Con respecto a los modelos submicroscópicos y las explicaciones textuales, estas son pobres, por ejemplo: “Este modelo de bolitas representa la reacción de neutralización desde el nivel submicroscópico” (E1-Q1-M1). Esta explicación no tiene relación específica con la reacción química, aunque utilizan las palabras reacción, neutralización y submicroscópico, su texto no da cuenta de que comprendan qué hay una transformación de las sustancias, por ejemplo, este texto no permite ver si los estudiantes se percatan o no de que se generan otras sustancias debido a la formación de moléculas debido a la reestructuración de átomos.

En este entregable se resalta que los estudiantes:

1. Seleccionaron una reacción química complicada para generar sus modelos. Como se ha mencionado en el apartado anterior, esta actividad se desarrolló a partir de una reacción química seleccionada por los estudiantes. Esto resultó complejo para ellos, pues no lograron relacionar la reestructuración de los átomos a partir de una reacción compleja como lo es la respiración.
2. Uso de uno o dos modelos para generar sus explicaciones PQ. Los estudiantes refieren sus explicaciones en un solo nivel de representación de la materia, por ende, sus modelos son escasos. Por ejemplo, la mayoría intentó explicar la reacción química desde el nivel macroscópico pues exponen la generación de una sustancia nueva y se fundamentan en la ecuación química. Sin embargo, no explican qué ocurre con los átomos de las sustancias iniciales.
3. Construcción de PQ y M con ideas previas. También se encuentran algunas ideas previas para la construcción de M, por ejemplo, presentar una reacción de

neutralización de ácido fuerte-base fuerte en la cual presentan la liberación de un gas, por lo que no hay relación entre los tres niveles de la materia. Para PQ los estudiantes se basan en descripciones de lo que observan o en sus vivencias para generar explicaciones, por ejemplo, un equipo intentó explicar cómo funcionan los antiácidos como el bicarbonato de sodio para controlar la acidez estomacal. Al solicitar que explicaran la relación de los tres niveles de la materia con sus modelos propuestos, se remitieron a describir únicamente lo que observaban en las imágenes, pero no lograron definir en qué puntos existía una coincidencia. Esto se hizo más evidente en el nivel nanoscópico, pues consideraron relevante las dos sustancias iniciales y no lograron decir cómo se obtuvieron las nuevas sustancias.

4.3.2 Entregable El modelo de Clips

Esta actividad se realizó después de la intervención docente, el entregable 2 consistió en que los estudiantes resolvieran un ejercicio para elaborar un modelo de una ecuación química, presentada por el docente, utilizando clips de colores (ver anexo 1, Actividad 2). De esta forma se obtiene información del eje M y para el análisis de PQ se solicitó que desarrollaran descripciones centradas en el modelo construido.

Una vez que los estudiantes completaron la actividad, se realizó el análisis correspondiente a los ejes M y PQ del cual se obtiene el gráfico E2-EQx-M2 (Gráfico 6. Entregable E2-EQx-M2).

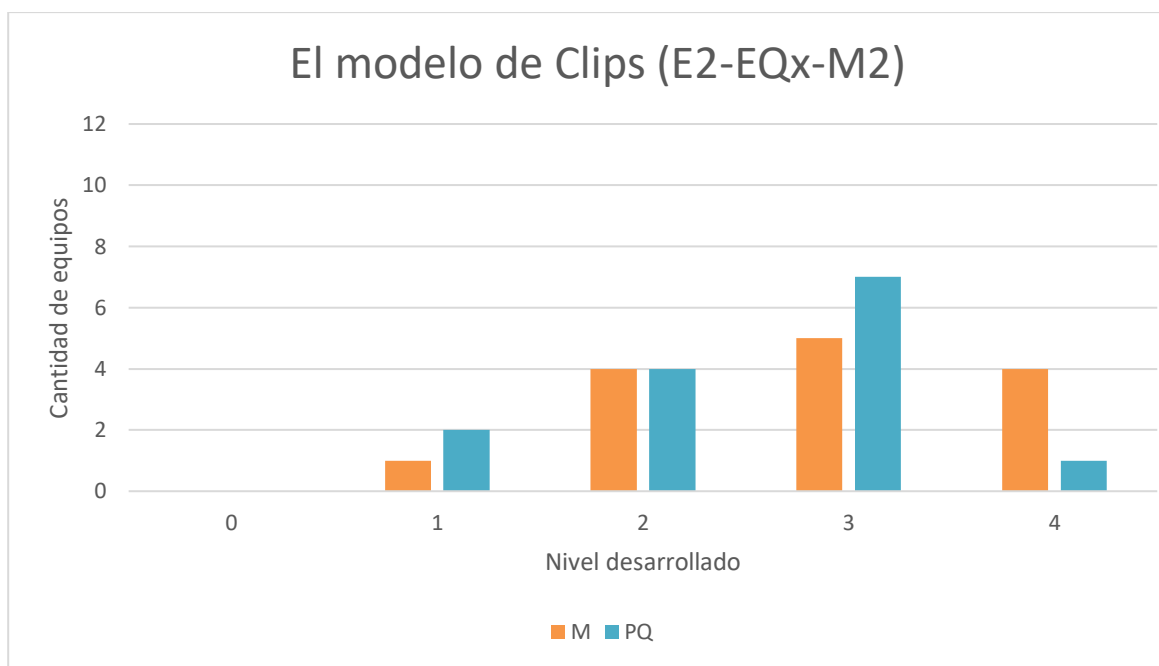


Gráfico 6. Entregable E2-EQx-M2

En este entregable los estudiantes obtuvieron una dispersión en niveles 3-4, contrario con el E1. Para M cinco equipos lograron un nivel 3 de desarrollo y para PQ siete equipos lograron el mismo nivel. Cuatro equipos lograron un nivel 4 para M, mientras que un equipo logró el mismo nivel para PQ. En este entregable aparecen cuatro equipos con nivel 2 tanto para PQ como para M.

Para el eje de análisis M, los estudiantes comienzan a percatarse de los estados físicos de los reactivos, es evidente en el modelo macroscópico y simbólico (Ilustración 21. Modelo construido por el equipo 12.). Por parte del nivel nanoscópico, los estudiantes comienzan a definir que en una reacción química los átomos se reestructuran dando pie a otras sustancias nuevas completamente distintas a las iniciales. Comienzan a mencionar las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la reacción química e identifican la ruptura de enlaces y generación de nuevos. En otros casos los estudiantes se siguen refiriendo a la formación de sustancias nuevas únicamente a la reestructuración de moléculas o en menos casos se refieren a la reacción química como una combinación de sustancias.

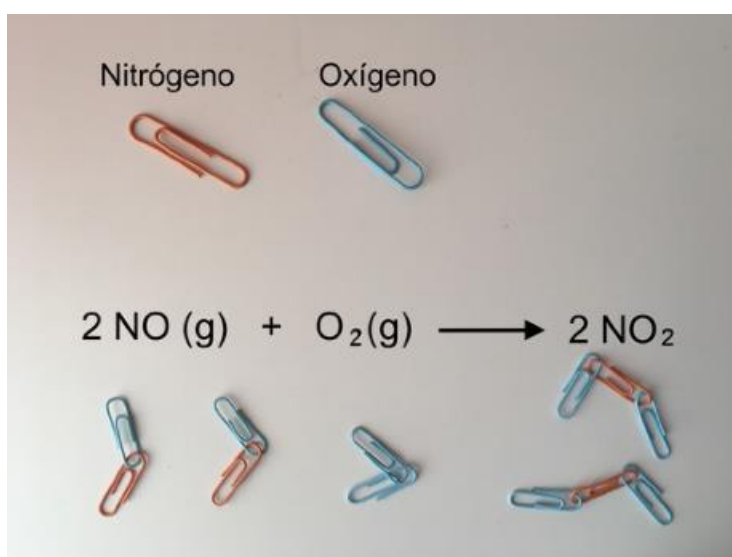


Ilustración 21. Modelo construido por el equipo 12.

Para PQ, los estudiantes generan explicaciones relacionadas con la reestructuración de átomos que dan formación a nuevas moléculas. En la mayoría de los entregables hacen referencia de la conservación de la masa pues los átomos de inicio están en la misma cantidad en los productos obtenidos, es necesario aclarar que esta parte no fue abordada por el docente. En la Tabla 12 se presentan algunos textos elaborados por los estudiantes para cada nivel de representación de la materia. Es importante resaltar que, dependiendo del nivel de desarrollo de los equipos, la información de los estados de agregación, cuantas moléculas o átomos, así como la intención del modelo, cobra relevancia.

Tabla 12. Textos elaborados por los equipos para los niveles de representación.

Código de equipo	Nivel de desarrollo	Macroscópico	Simbólico	Nanoscópico
E2-EQ2-M2	4	“...esta reacción se da solamente bajo condiciones en las que existan altas temperaturas, como en el motor de combustión de un auto.”	“...dos moléculas de óxido nítrico más una molécula de oxígeno... dan origen a dos moléculas de dióxido de nitrógeno.”	“...intentamos representar la reestructuración de los átomos de nitrógeno y oxígeno.”
E2-EQ8-M2	3	“El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno ... óxidos de nitrógeno más importantes... ninguno de los dos [es] inflamable y son incoloros a pardo en apariencia a temperatura ambiente”	“Mantienen su masa, pero se reestructuran los átomos...”	“Lo que nuestro modelo plantea, es la reorganización de los átomos de los reactivos, en el producto...”
E2-EQ12-M2	2	“...se reestructuran de otra forma”	“Se tienen dos átomos... y cuatro de oxígeno [de lado de reactivos] y en el producto...el compuesto cambia.”	“Se intenta representar el modelo de la ecuación química, de tal manera que se refleje en una escala microscópica”
E2-EQ14-M2	1	Breve investigación de las propiedades químicas de los reactivos involucrados.	“Los reactivos que intervienen El producto que genera (Dióxido de nitrógeno) Las cantidades de moléculas que se necesitan”	“El dióxido de nitrógeno se produce cuando el oxígeno (O ₂) y el nitrógeno (N ₂) en el aire se combinan químicamente...”

La mayoría de los equipos generaron explicaciones de nuevas sustancias porque en la reacción química se da la ruptura y formación de nuevos enlaces químicos debido a la reestructuración de átomos. La mayoría presentó explicaciones utilizando los modelos de los tres niveles de representación de la materia y que estos coincidieran con sus explicaciones, por ejemplo, relacionaban el modelo simbólico debía coincidir con el modelo nanoscópico, específicamente con la cantidad de átomos. Del mismo modo, el nivel simbólico con el modelo macroscópico, pues debía contener la codificación adecuada que represente el estado de agregación del reactivo.

En este entregable se resalta que:

- La importancia de la conformación de los átomos. Para los estudiantes cobraron relevancia los átomos que estaban involucrados en la reacción química y cómo estos se unían de otra forma dando pie a una sustancia diferente.
- La conservación de la masa en el nivel simbólico y nanoscópico. Durante el análisis de los textos elaborados por los estudiantes resaltó la idea de la conservación de la masa debido a que los átomos seguían apareciendo tanto en reactivos como en productos. Para los estudiantes parece ser coherente pues en el nivel simbólico se puede balancear la ecuación química y por ende la representación del nivel nanoscópico deben aparecer la misma cantidad de clips.
- Reconocimiento del nivel nanoscópico. A diferencia de otros entregables, los estudiantes dedicaron mayor atención a la unión de los átomos en vez del estado físico en el que se encontraban las sustancias. Fue relevante cómo es que se conservan los átomos y dónde van unidos después de la reacción química.

4.3.3 Entregable Manos a la obra

El gráfico E3-EQxS2-M3a se representa una sección del reporte de la sesión experimental “¡Manos a la obra, hagamos un modelo!” (ver Anexo 1). Se esperaba que los equipos realizaran la sesión experimental que consistió en burbujear con su boca dióxido de carbono en una disolución acuosa de hidróxido de sodio y observar el cambio de color debido al indicador vegetal obtenido del zumo de betabel. El vire de color va de amarillo a rojo-violeta.

Para este entregable se seleccionaron los modelos, textos asociados a estos y respuestas proporcionadas por los estudiantes. El gráfico presenta una tendencia variable en comparación con los gráficos de los entregables anteriores.

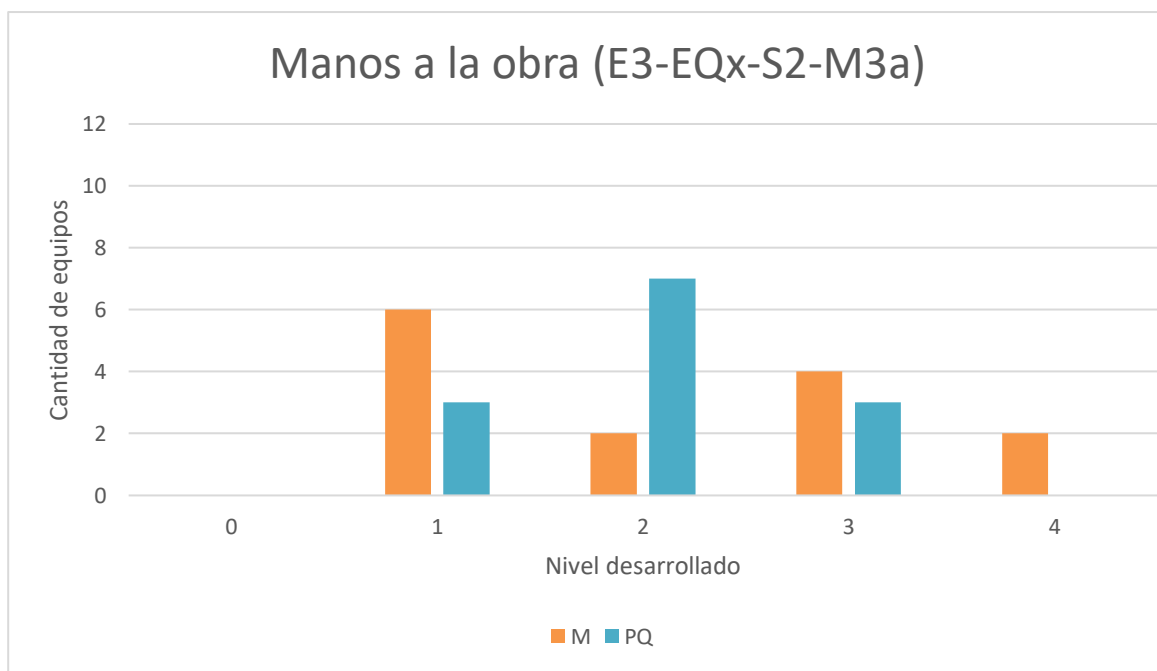


Gráfico 7. Entregable E3-EQx-S2-M3a

Para M se observa que seis equipos presentan nivel 1 de desarrollo mientras y sólo dos equipos lograron un nivel 4. Referente a PQ, siete equipos lograron un nivel 2 de desarrollo mientras que tres equipos lograron un nivel 3.

Este Gráfico 7 se puede interpretar como la movilización de saberes y adquisición de nuevos conocimientos, ya que los estudiantes aparentemente regresan a los niveles bajos dónde sus explicaciones son funcionales y poco apegadas al conocimiento científico, pero también se encuentran otras explicaciones que intentan relacionar lo observado en la sesión experimental y la teoría para poder generar una explicación congruente. Los estudiantes ponen a prueba sus observaciones en contraste con la teoría y lo presentado en clase. Los estudiantes explican de manera verbal sus observaciones (interpretación) pero al momento de escribirlas, describen parte de la idea o generan otra.

En el análisis de M se observó que los estudiantes logran construir tres modelos centrados en los niveles de representación de la materia. Para cada uno de ellos, añadieron textos que pudieran dar una explicación a las imágenes presentadas. De los modelos presentados, todos los equipos utilizan el nivel simbólico, seguido del macroscópico y el nanoscópico.

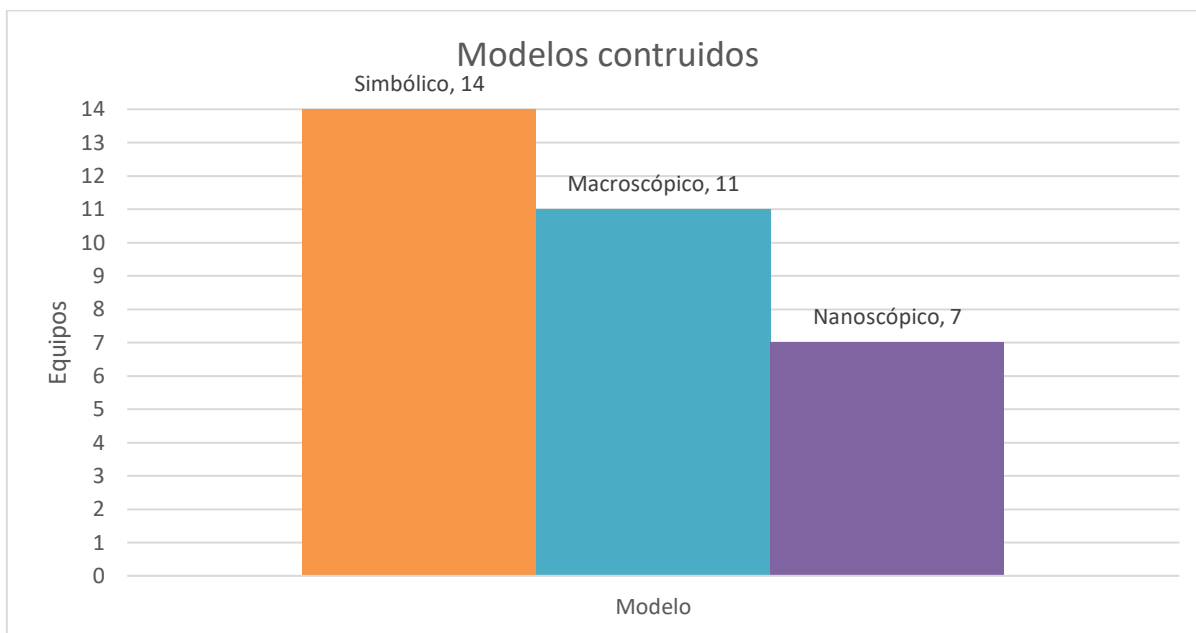


Gráfico 8. Modelos contruidos por los estudiantes para su reporte.

El modelo simbólico, aparece en todos los entregables ya sea para sustituir el nombre de la sustancia por su fórmula química o para establecer la ecuación química del fenómeno. Algunos de ellos utilizan el modelo simbólico para reforzar el modelo nanoscópico. La aparición del modelo simbólico en todos los entregables puede deberse a que los estudiantes desde su primer contacto con la Química están inmersos con la simbología correspondiente y que es presentada todo el tiempo por el docente.

El modelo macroscópico constó de fotos del fenómeno acompañado de texto que describe de la imagen que se observa (Ilustración 22).



Ilustración 22. Modelo macroscópico del equipo 2 (izq.) y equipo 4 (der.).

Por último, el nivel nanoscópico fue representado por la mitad de los equipos, esto es relevante pues al inicio de la sesión experimental, los estudiantes integraron este nivel por indicación del docente, sin embargo, en este entregable la decisión quedó a juicio de los estudiantes, tanto para la integración como la presentación de este. A continuación, se muestran algunos modelos integrados en los reportes:

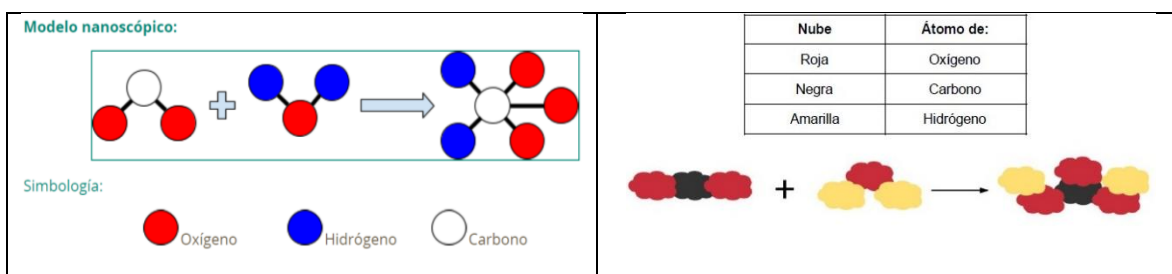
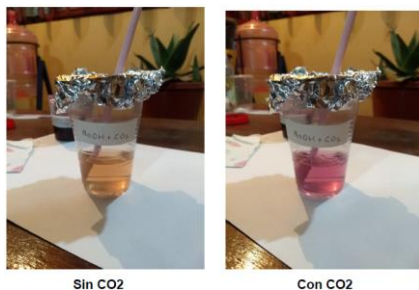


Ilustración 23. Modelo nanoscópico realizados por los estudiantes del equipo 2 (izq.) y equipo 4 (der.).

Es importante resaltar que los equipos que integraron el modelo nanoscópico éste tiene ciertas reglas o códigos explícitos para lograr su comprensión. Un ejemplo de ello son los modelos de la Ilustración 23, los estudiantes añaden especificaciones para distinguir los átomos que conforman las moléculas, esto permite obtener información del grado de comprensión de los estudiantes acerca del fenómeno que está ocurriendo, pues el modelo macroscópico comienza a tener ciertas limitantes (como se puede observar en los textos asociados), en contraste con el modelo nanoscópico donde la especificación de las moléculas obtenidas se vuelve relevante. Esto último se refleja en el eje de análisis PQ.

El análisis realizado para PQ se basó en los textos que asociaron los estudiantes a cada modelo y también a las respuestas de la actividad solicitada. En la Ilustración 24, algunos textos de los estudiantes:



“Aquí se puede apreciar el cambio de color de la sustancia al reaccionar con el CO₂ que se introdujo por medio del popote:” (Equipo 4)



“La [disolución] 1 (D1) tenía un color violeta oscuro... antes de añadir el hipoclorito de sodio... la [disolución] 2 (D2) adquirió un color amarillo [cuando se añadió hipoclorito de sodio] y la [disolución] 3 (D3) adquirió un color marrón² cuando se burbujeo CO₂ a la D2” (Equipo 2)

Ilustración 24. Modelo macroscópico y textos asociados.

En la Ilustración 24 se logra analizar el uso del modelo macroscópico al integrar información del cambio de color de la sustancia debido al indicador acido-base y que los equipos detectan como evidencia de una reacción química. La mayoría de los equipos lograron esta generalización en el modelo macroscópico, pero en el modelo nanoscópico los equipos integraron una mayor información del fenómeno observado:

<p>Modelo nanoscópico:</p> <p>Simbología:</p> <p>● Oxígeno ● Hidrógeno ○ Carbono</p>	<p>“En cuanto al modelo nanoscópico, puede ayudarnos a entender cómo es que se dan los cambios mediante los cuales se obtienen cualquier tipo de sustancias acuosas” (Equipo 2)</p>								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nube</th> <th>Átomo de:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roja</td> <td>Oxígeno</td> </tr> <tr> <td>Negra</td> <td>Carbono</td> </tr> <tr> <td>Amarilla</td> <td>Hidrógeno</td> </tr> </tbody> </table>	Nube	Átomo de:	Roja	Oxígeno	Negra	Carbono	Amarilla	Hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> • “Muestra la reacción química de una manera visual • Permite saber cuántos átomos posee cada molécula • Permite observar cómo están organizados los átomos en cada molécula • Muestra cómo se reestructuran los átomos de cada reactivo para convertirse en el producto • Permite comprender que el producto de dicha reacción es un ácido, por lo que decimos que el agua se acidifica”. (Equipo 4)
Nube	Átomo de:								
Roja	Oxígeno								
Negra	Carbono								
Amarilla	Hidrógeno								

Ilustración 25. Modelos nanoscópicos de los equipos 2 y 4 con los textos asociados.

² Este equipo cambió el indicador casero (zumo de betabel) por el agua de cocción de camotes morados, por eso el cambio de color marrón en vez de morado.

En la Ilustración 25 se aprecian algunos modelos nanoscópicos construidos por los equipos y los textos asociados a ellos. Los hallazgos en este análisis se centran en la información que logran interpretar y presentar los equipos, entre los que destacan:

- Cómo ocurren los cambios para generar una sustancia nueva
- La cantidad de átomos y distribución que tienen
- La reorganización de átomos en una nueva sustancia
- Identificación de la propiedad de la sustancia producida (ácida).

En este entregable se resalta que los estudiantes:

- Nivel de dificultad cognitiva. Al realizar una actividad experimental, varios estudiantes presentaron dificultad para presentar sus resultados y asociarlos con los modelos de representación de la materia. Las actividades experimentales requieren un nivel cognitivo elevado ya que hay que conjuntar varias actividades como conceptos, procedimientos, observaciones y esto llevarlo a un análisis para generar explicaciones y lograr una conclusión congruente con sus resultados. Aun así, la actividad permitió que los estudiantes lograran desarrollar comunicación entre sus compañeros, investigación más allá de lo solicitado para proponer otros reactivos que los llevara al mismo resultado.
- Actividad experimental semidirigida. El distanciamiento social debido a la afectación mundial por la pandemia permitió que la actividad fuera semidirigida, es decir, el docente propone una forma de realizar la actividad y los estudiantes deciden si está en sus posibilidades de realizar la actividad, de lo contrario pueden proponer opciones distintas basadas en información científica. La mayoría del grupo tuvo buena aceptación pues ponían en práctica lo que habían investigado.
- Integración del nivel nanoscópico. El 50% de los equipos integró el nivel nanoscópico en su reporte y fue utilizado para generar explicaciones del fenómeno observado. Lograron identificar átomos y moléculas, así como la importancia de la reorganización de átomos como causante de una sustancia nueva.
- El modelo macroscópico disminuyó. Las explicaciones se centraron en el nivel simbólico y nivel nanoscópico. El modelo macroscópico pasó a ser la comprobación

y descripción del fenómeno que, si bien fue necesario para corroborar el fenómeno, las explicaciones fueron centradas en la formación de moléculas nuevas.

- Profundización de conceptos. Los estudiantes comenzaron a profundizar en los conceptos de ecuación química, reacción química, pH, sustancia ácida y básica, átomo y molécula. Es importante resaltar que el concepto de pH es un concepto que los estudiantes no habían abordado en otros años escolares, éste se integró al concepto de reacción química con buena aceptación los estudiantes.

4.3.4 Entregable *Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida*

En el entregable “Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida” codificado como E4-EQx-M4, en este entregable se utilizó la aplicación del pizarrón electrónico y se solicitó a los estudiantes que generaran una explicación acerca de cómo afecta la lluvia ácida a las estructuras arqueológicas. Esta aplicación permitió que los estudiantes pudieran seleccionar, presentar y utilizar imágenes de internet.

En este entregable se busca que los estudiantes integren la representación de los tres niveles de la materia para generar una explicación por lo que debe estar basada en información científica, la identificación de los componentes químicos que realizan la reacción química se vuelve relevante y los textos deben apoyarse a través de modelos construidos por los estudiantes.

A continuación, se presenta el Gráfico 9 en el que se analiza el avance de los estudiantes con respecto a M y PQ.

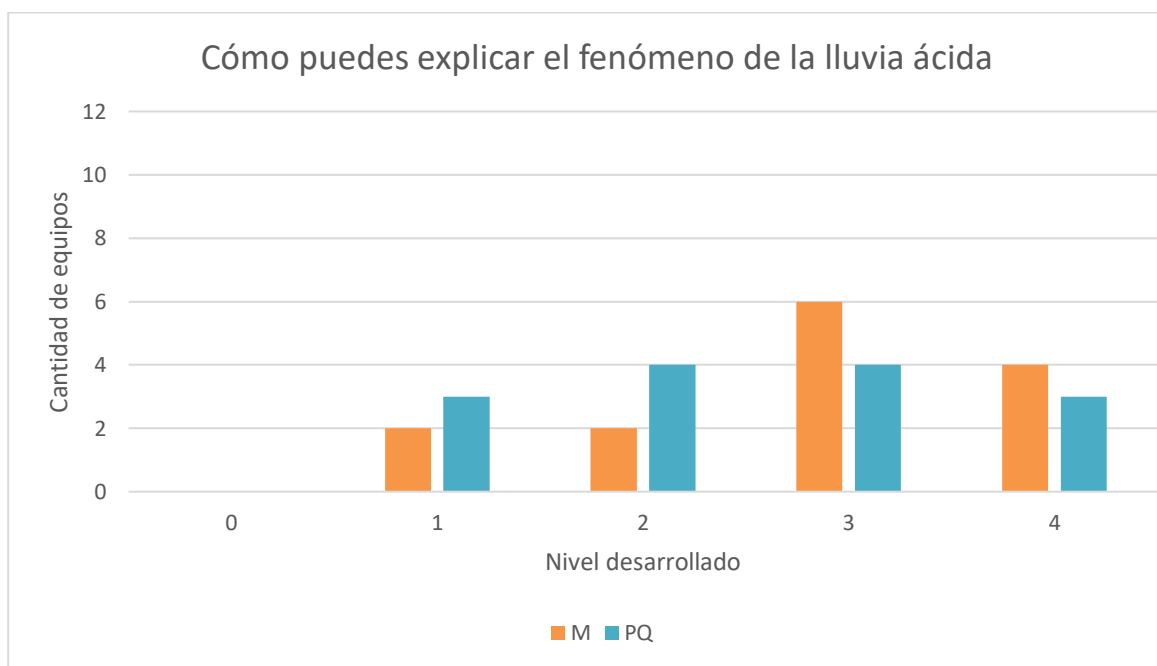


Gráfico 9. Entregable *Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida* (E4-EQx-M4)

Este último entregable analizado es similar al entregable 1 (Modelos a modelos), ya que se espera que los estudiantes integren los tres niveles de representación de la materia, así como

la identificación de reactivos y productos, también la integración de explicaciones del nivel nanoscópico y poca evidencia de una pérdida de la materia debida a la desaparición de átomos o moléculas.

En el Gráfico 9 se puede observar que, para M de manera general, el grupo tiene un nivel 3. Los modelos elaborados por los estudiantes comienzan a tener relación entre sí y cada uno es complemento del otro (ver Ilustración 26) lo que permite tener una visión general de la reacción química y un seguimiento de esta. También se aprecia que los modelos parecen tener congruencia con lo reportado por la literatura con respecto a reacción química, al presentar integración entre imágenes tomadas de diferentes referentes y no únicamente una imagen tomada de internet.

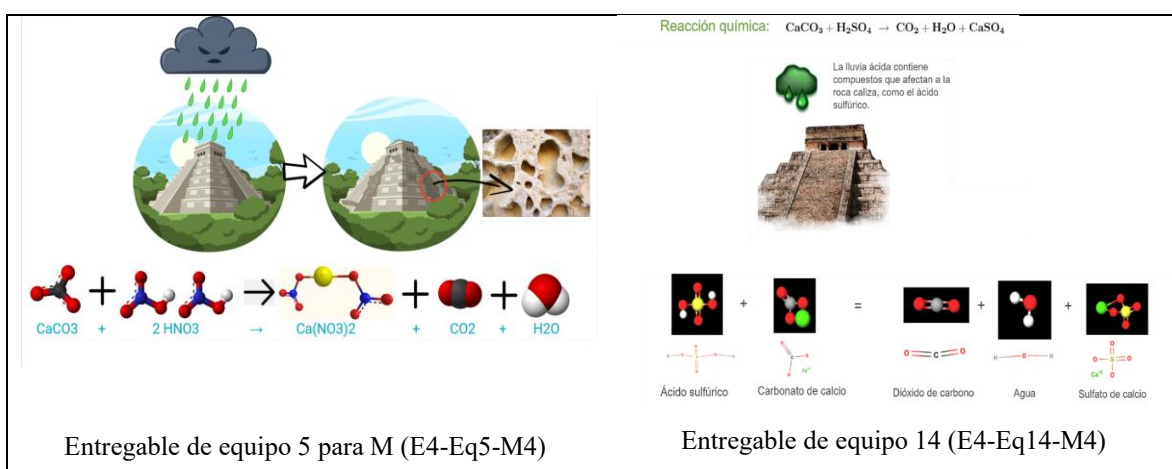


Ilustración 26. Entregables de distintos equipos para M (Modelos)

En el ejemplo presentado en la Ilustración 26 se puede apreciar la integración de nivel nanoscópico, simbólico y macroscópico para dos equipos el 5 del lado izquierdo y el 14 del lado derecho. Para el que elabora el equipo 5, si bien se encuentra una imagen para cada nivel, faltan algunos textos que permitan comprender ¿Por qué han elegido la imagen? ¿Cómo entiende o explica los estudiantes cada imagen y la relación entre ellas? Por ejemplo, falta la explicación de la nube gris con gotas verdes. En un caso contrario, para el equipo 14 además de presentar imágenes para los tres niveles de representación se agregan al menos un texto que apoya a la interpretación de su modelo macroscópico.

Otros textos que anexaron los estudiantes se centran en explicaciones que sustentan su modelo. Por ejemplo *“El principal componente de la piedra caliza es el carbonato de calcio (CaCO₃), que reacciona con el ácido sulfúrico de la lluvia ácida, [esta reacción] resulta en dióxido de carbono, agua y sulfato de calcio (CaSO₄)”*, en este fragmento de explicación los estudiantes identifican: reactivos y productos involucrados en la reacción química que se llevó a cabo. En este otro identifican cuál de todos los productos anteriores tiene las características químicas necesarias para que se produzca el desgaste: *“La reacción producida entre el ácido sulfúrico y la roca caliza provoca efervescencia por el CO₂... Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste”* lo que permite que los estudiantes finalizar con una posible explicación del fenómeno: *“Esto nos lleva a deducir que las estructuras arqueológicas se desgastan...[por] entrar en contacto con la lluvia ácida...”* Este tipo de textos dan la apariencia de que los estudiantes se percatan que para comprender la reacción es necesario construir explicaciones sustentadas en información coherente con la reacción química y con el fenómeno. La construcción de la explicación se registra como desarrollo del PQ.

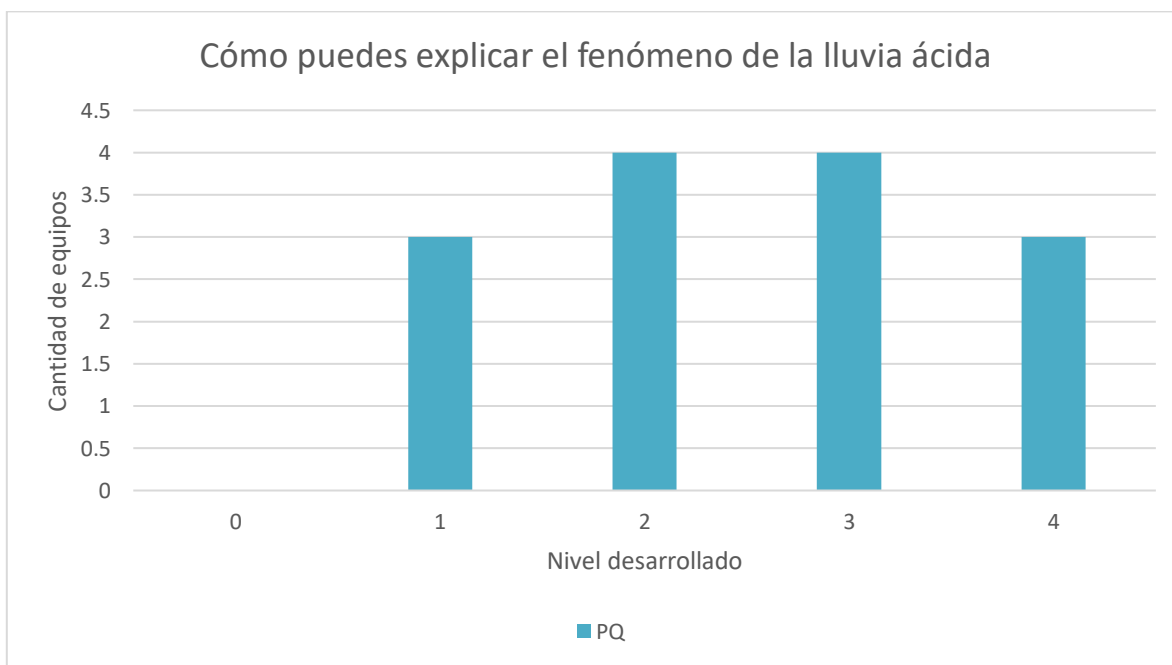
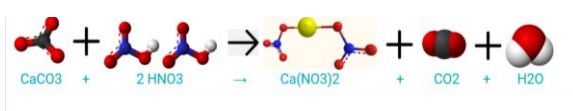


Gráfico 10. Nivel de desarrollo de PQ logrado

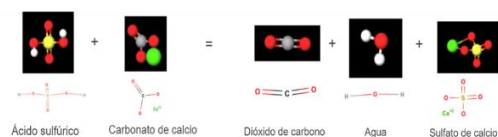
Para PQ el Gráfico 10 muestra que la mayoría del grupo se encuentra en niveles 2-3 y pocos estudiantes logran el nivel 4. En esta parte se evidencia la integración de los modelos construidos y el texto asociado a cada uno, por ejemplo, el texto del equipo 5 se centró en representar la degradación de las pirámides de Teotihuacan, pues investigaron que están compuestas de piedra caliza y que ésta reacciona con la lluvia ácida, los alumnos expresan que esta última “disuelve la piedra” (equipo 5) formando tres compuestos dióxido de carbono, agua y sulfato de calcio (ver Ilustración 27).

Entregable de equipo 5



Texto asociado: *La lluvia ácida contiene sustancias...la piedra caliza se disuelve poco a poco por el contacto con la lluvia ácida...*(E4-Eq5-M4)

Entregable de equipo 14



Texto asociado: *“la reacción producida entre el ácido sulfúrico [de la lluvia ácida] y la roca caliza [de las estructuras arqueológicas] provoca una efervescencia [debida al] CO₂...Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste.”* (E4-Eq14-M4)

Ilustración 27. Modelo nanoscópico de la reacción química representada por los equipos 5 y 14.

Como se puede observar en la Ilustración 27 el equipo 5 anexó un texto explicativo centrado en la disolución de la roca caliza, en cambio el equipo 14 centró su explicación en la efervescencia. Sin embargo, para el equipo 14 “*La efervescencia es una reacción que ocurre entre un ácido y un carbonato*” y en otra parte del texto explicativo añaden que “*...una efervescencia [es] por el CO₂ [liberado]... Esta efervescencia produce que la roca caliza se desgaste.*” Los estudiantes del equipo 14 por una parte, aluden a una reacción, pero por otra parte asocian a la reacción como efervescencia, que en este caso es un fenómeno secundario de la transformación de reactivos en productos. En este sentido se observa el intento de generar una explicación con un sustento científico, y en el texto se puede apreciar las ideas que nos dan cuenta de algunas asociaciones que hacen los estudiantes y que pueden estar cercanas a ideas previas. Finalmente se observa que los estudiantes aplican el concepto de reacción química, niveles de representación de la materia donde integran el nivel nanoscópico y la construcción de explicaciones fundadas en conocimiento científico.

La importancia de solicitar textos explicativos puede dar información del desarrollo de la construcción de un concepto; la interpretación y expresión de ideas. Así, la fuerza de pedir explicaciones permite al docente entrever las ideas y asociaciones que realiza cada estudiante.

4.3.5 Comparación entre entregables

La unidad didáctica se diseñó bajo la premisa de desarrollar PQ y M; y para cada actividad se observa un diferente nivel de comprensión (Webb, 2002). A continuación, se presentan los gráficos de las cuatro actividades y en los siguientes párrafos se comentará brevemente los alcances de la unidad didáctica.

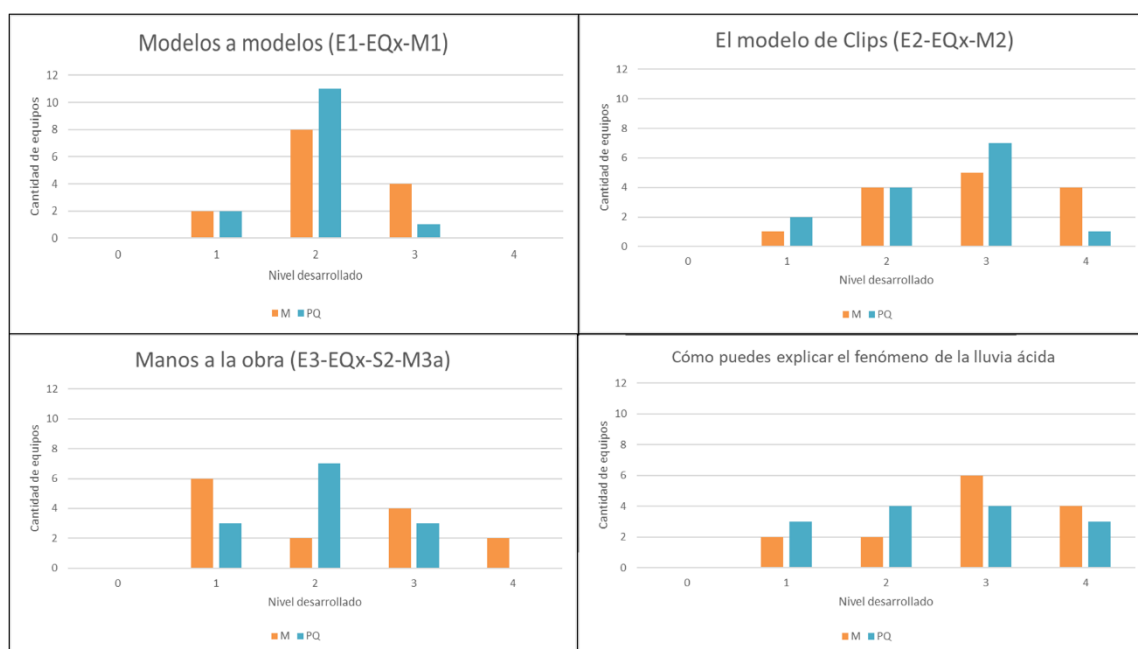


Gráfico 11. Comparación de los cuatro gráficos de cada entregable.

El nivel desarrollo de modelos construidos por los estudiantes a lo largo de la implementación didáctica tuvieron un avance considerable. En el Gráfico 11 se observa que en el entregable 1 “Modelos a modelos” ocho equipos lograron un nivel 2 mientras que cuatro equipos demostraron un nivel 3. Este es el primer entregable en el que los estudiantes identifican modelos científicos, pero sin llegar a construir modelos propios, es decir, los estudiantes tomaron decisiones para escoger y presentar una reacción química de un fenómeno a través de modelos (imágenes) de internet. Si bien, integraron los tres modelos de representación de

la materia: nanoscópico, simbólico y macroscópico, el modelo más utilizado para la reacción química fue de nivel macroscópico.

Contrastando el entregable 1 con el entregable 2 “El modelo de Clips”, cuatro equipos de estudiantes demostraron un desarrollo de nivel 2, también cuatro equipos en el nivel 4 y cinco equipos para el nivel 3. Este segundo entregable se centró en la integración del nivel nanoscópico construyendo modelos enfocados en reproducir estructuras mediante clips de colores que representaron la reestructuración de los átomos en una reacción química. En comparación con Modelos a modelos, los estudiantes comienzan a desarrollar niveles 3 y 4.

En el entregable 3 “Manos a la obra” los equipos tuvieron una movilización de niveles y acomodo de información con respecto a modelos, esto se pudo observar en seis equipos con nivel de desarrollo 1; cuatro con nivel de desarrollo 3 y dos equipos en nivel 2; dos más en nivel 4. Esta actividad fue una sesión experimental que requirió que los estudiantes integraran la teoría con la práctica y posteriormente documentaran la experiencia a través de la construcción de modelos en la que los estudiantes reflexionaran sobre lo observado en relación con la información que tenían, los reactivos y productos, los instrumentos y el material empleado; además de la incorporación de información nueva.

En el entregable 4 “Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida” seis equipos lograron un nivel 3, mientras que cuatro equipos lograron un nivel 4, a pesar de ser la última actividad, algunos equipos quedaron en nivel 1 y 2 (dos equipos en cada uno). En esta actividad era necesario que los estudiantes aplicaran el concepto de reacción química e integrar de forma congruente los tres modelos de representación de la materia: nanoscópico, simbólico y macroscópico. A diferencia de otros entregables, los estudiantes añadieron textos asociados a estos modelos que contenían explicaciones basadas en información científica, a su vez tenían congruencia con lo que estaban representando en sus modelos.

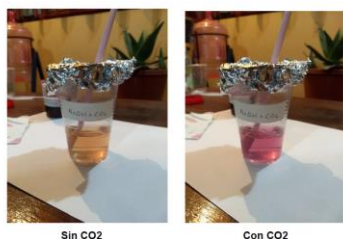
El análisis de PQ en los entregables permite observar que para el entregable 1 “Modelos a modelos” once equipos se encontraron en nivel 2, mientras que cuatro en nivel 3, dos equipos más en nivel 1. El análisis de PQ en los estudiantes se centró en las explicaciones de las representaciones tal es el caso del equipo 4: *“Nivel macroscópico: podemos ver que los gases contaminantes producidos por la actividad humana... entran en contacto...*

[y]...reacciona[n] con el agua [del medio ambiente] para generar la lluvia ácida” que es diferente con la explicación del nivel nanoscópico: “*Nivel nanoscópico: podemos observar como el trióxido de azufre interacciona con el agua atmosférica, dando como resultado ácido sulfúrico*”. Las dos explicaciones son distintas entre sí, para los estudiantes en el nivel macroscópico hay una *reacción*, mientras que en el nivel nanoscópico hay una *interacción* de moléculas.

Para el segundo entregable, los estudiantes mostraron una movilización a niveles 2-4, teniendo cinco equipos en el nivel 3 y cuatro en nivel 4. En este nivel los estudiantes generan explicaciones centradas en la reestructuración de los átomos o generación de nuevas moléculas.

En el tercer entregable, el desarrollo de PQ bajó a nivel 2 con seis equipos y sólo tres equipos lograron un nivel 3. En este entregable los estudiantes construyen los modelos que representen los tres niveles de la materia, además pueden seleccionar el modelo que pueda facilitar la comprensión del fenómeno. Por ejemplo, el equipo 4 cuando se les solicitó que mencionaran cinco aspectos en el que su modelo puede auxiliar en la comprensión de la reacción química, los estudiantes seleccionaron el modelo nanoscópico en vez del modelo macroscópico.

Aquí se puede apreciar el cambio de color de la sustancia al reaccionar con el CO₂ que se introdujo por medio del popote:



Nivel macroscópico

Nube	Átomo de:
Roja	Oxígeno
Negra	Carbono
Amarilla	Hidrógeno



Nivel Nanoscópico

Ilustración 28. Modelos construidos del nivel macroscópico y nanoscópico del equipo 4

En la Ilustración 28 se puede observar que para este equipo el nivel macroscópico únicamente les ayuda a visualizar que hubo un cambio de color que evidencia la reacción entre el CO₂ y el agua. Pero seleccionan nivel nanoscópico como el modelo que mejor representa la reacción química entre el dióxido de carbono y agua. Además, que los estudiantes destacan cinco aspectos importantes de este modelo nanoscópico:

- *“Muestra la reacción química de una manera visual”* (E3-EQ4-S2-M3a)
- *“Permite saber cuántos átomos posee cada molécula”* (E3-EQ4-S2-M3a)
- *“Permite observar cómo están organizados los átomos en cada molécula”* (E3-EQ4-S2-M3a)
- *“Muestra cómo se reestructuran los átomos de cada reactivo para convertirse en el producto”* (E3-EQ4-S2-M3a)
- *“Permite comprender que el producto de dicha reacción es un ácido, por lo que decimos que el agua se acidifica”* (E3-EQ4-S2-M3a)

Esto permite obtener información acerca de la percepción que tienen los estudiantes acerca del nivel nanoscópico, pues comienzan a percatarse que sus explicaciones de nivel macroscópico tienen deficiencias, por lo que es necesario recurrir al nivel nanoscópico el cual les permita obtener más información para generar explicaciones más amplias acerca de la reacción química.

En el último entregable “Cómo puedes explicar el fenómeno de la lluvia ácida” los equipos quedaron en nivel 2-4 con cuatro equipos para cada nivel y tres equipos para nivel 1. La integración de los tres niveles de representación de la materia fue más congruente entre sí, algunos modelos fueron construidos por los estudiantes y acompañados por explicaciones congruentes con los modelos. Las explicaciones generadas fueron en tres ejes: fenómeno, reacción química y modelos. Para el modelo nanoscópico, algunos de los estudiantes tuvieron dificultades de generar explicaciones congruentes entre el fenómeno y la reacción química, por lo que considero que es necesario seguir trabajando en la construcción de modelos que permita a los estudiantes generar explicaciones que pongan a prueba la comprensión del tema de reacción química.

La implementación de la unidad didáctica “¿Cómo explico el efecto de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?” permitió que los estudiantes mejoraran la comprensión de la reacción química aplicada en una problemática ambiental como la lluvia ácida. Así como la construcción de modelos congruentes con el conocimiento científico que ayudaran a facilitar la comprensión del fenómeno.

5. Reflexiones finales

Hoy en día, en la educación en ciencias se busca desarrollar pensamiento crítico en los estudiantes con énfasis en la inclusión análisis y la reflexión con respecto hechos y fenómenos que están a su alrededor. Con una visión que permita diseñar soluciones a problemáticas actuales como problemas ambientales, de salud, alimenticios y energía. Un ejemplo de ello es la enseñanza de la química y la propuesta de pensamiento químico realizada por el Dr. Talanquer que ha dado buenos resultados, pues propone el desarrollo las habilidades que tienen los profesionales de la química dentro de un currículo escolar de nivel superior.

Desde la perspectiva de nivel medio superior en la asignatura de química, algunas de ellas se centran en la una perspectiva constructivista social con lo cual se busca la construcción de conocimiento con otros evitando la enseñanza tradicional. La construcción de conocimientos pretende que el estudiante vaya construyendo sus saberes a través de distintos niveles de conocimiento y a su vez, cada nivel se vuelve el andamiaje del otro, de tal manera que el aprendizaje es escalonado.

Esta propuesta de enseñanza pretende que los estudiantes construyan conocimientos en química, considerando como eje la propuesta de Pensamiento Químico. Se busca que el estudiante desarrolle razonamientos químicos que son útiles para enfrentar problemas relacionados con la química. Una vez desarrollados estos razonamientos, pueden ser trasladados a otras áreas, como sociales, humanidades, etc.

Por otra parte, el uso de modelos es utilizado como recurso docente al momento de desarrollar una clase en aula, en particular para presentar contenido a los estudiantes. Sin embargo, normalmente la construcción de modelos por parte de los estudiantes se deja a un lado, con lo que se pierde la riqueza de las explicaciones, ideas, diagramas e imágenes que los estudiantes construyen en torno de un tópico.

En el último año la pandemia nos ha permitido repensar la forma de enseñar y se ha centrado en el desarrollo de nuevas formas que favorezcan el aprendizaje a distancia. Para el docente, fue necesario familiarizarse con recursos tecnológicos que permitieran obtener información del avance de sus estudiantes, así como de los instrumentos, actividades e implementación

de clases. Para el estudiante, representó un reto pues algunos no cuentan con las mismas posibilidades tecnológicas que sus compañeros; también la posibilidad de cobertura de señal inalámbrica, problemas relacionados con energía eléctrica, problemas familiares, entre otros. El diseño de esta unidad didáctica atiende a estas nuevas y emergentes necesidades. Esta unidad, primeramente, fue diseñada para la implementación presencial dentro del aula, pero el sorpresivo cierre de centros educativos obligó a rediseñar y adaptarla a una modalidad a distancia. Para ello se consideraron distintos factores como las habilidades en el uso de dispositivos digitales por los estudiantes y las herramientas tecnológicas que permitieran la entrega de actividades. Por parte de la sesión experimental se tomó en cuenta la disponibilidad de sustancias, la seguridad de los estudiantes ante el confinamiento y en todo momento se hizo conciencia para que los estudiantes evitaran salir de sus domicilios a menos que fuera para algo esencial.

El uso de las plataformas tecnológicas permitió que se generaran aulas pequeñas, con lo cual se favoreció el trabajo colaborativo entre los estudiantes y una mayor responsabilidad del estudiante en su aprendizaje.

6. Conclusiones

Se documentó el nivel de desarrollo de pensamiento químico después de poner en marcha una unidad didáctica que lo promovió de forma explícita para el aprendizaje de la reacción química, Asimismo, se logró diseñar e implementar una unidad didáctica que promueva el desarrollo del pensamiento químico con base en la reacción química. Y también se documentó el nivel de pensamiento químico y conocimiento de reacción química que desarrollan los estudiantes de EMS.

En este trabajo de investigación se documentó el impacto de la implementación de una unidad didáctica que tiene como ejes a la reacción química, la construcción y uso de modelos y al pensamiento químico y su necesaria adecuación del nivel para atender exitosamente las necesidades de estudiantes de bachillerato. Uno de los hallazgos más relevantes es que se incidió en la construcción y utilización de modelos en los tres niveles de representación por

parte de los estudiantes de bachillerato al abordar el tema de reacción química. En este sentido, el pensamiento químico favorece la construcción de modelos ya que éstos son puestos a prueba, mejorados, y presentados por los estudiantes a lo largo de la unidad didáctica.

La propuesta desarrollada en esta tesis se centró en el aprendizaje del concepto de reacción química, por lo que el uso de los modelos favoreció la comprensión del tema y la integración del nivel nanoscópico. Este nivel es de los más complicados de desarrollar en los estudiantes de nivel medio superior, por lo que esta investigación permite comprobar que la construcción, desarrollo y uso de modelos realizados por los estudiantes y guiados por el docente, se convierten en una herramienta eficiente para la comprensión de temas abstractos como es el nivel nanoscópico. Además, permite la profundización y conexión de otros conceptos como átomo, molécula y tipo de enlace. La implementación de las actividades como parte de este trabajo de investigación, permitió recopilar información acerca de la construcción y uso de modelos, así como del desarrollo de pensamiento químico en los estudiantes y al mismo tiempo la profundización del tema de reacción química, haciéndose evidente cuando los estudiantes se enfrentan a la resolución y construcción de explicaciones que requieren de un modelo.

El diseño de esta unidad permitió tener distintos tipos de insumos, desde actividades, ejercicios y una sesión experimental. Cada uno de éstos impactó de distinta manera en el desarrollo de pensamiento químico y en la construcción y uso de modelos. La progresión de estas actividades permite que los estudiantes vayan desarrollando el pensamiento químico y al mismo tiempo construyan conocimiento relacionado al tópico de reacción química. Cada una de estas actividades logró que los estudiantes fueran integrando conocimientos articulados en diferentes niveles de representación, en especial en el nivel nanoscópico y estequiometría, al mismo tiempo que reafirmaban otros que tenían de manera superficial como átomo y molécula.

Para la reacción química, estas actividades permitieron que la mayoría de los estudiantes reconocieran que las sustancias tienen propiedades que las caracterizan; y que en una reacción química se pueden obtener sustancias distintas a las iniciales.

Sin embargo, es necesario seguir trabajando con los estudiantes a nivel nanoscópico, pues algunos todavía tienen dificultades para concluir que en una reacción química los átomos se reestructuran para dar lugar a nuevas moléculas y por lo tanto nuevas sustancias. Por lo anterior, es necesario integrar ejercicios, actividades y experimentos que enfrenten a los estudiantes a no basarse únicamente en los niveles simbólico y macroscópico, sino que permitan integrar el nivel nanoscópico en sus explicaciones y por ende el desarrollo de modelos, de esta manera los estudiantes irán construyendo explicaciones más cercanas al conocimiento científico.

El diseño e implementación de la unidad didáctica para enseñar reacción química, con eje en la construcción de modelos y el pensamiento químico, tomando el problema ambiental de la lluvia ácida permitió que los estudiantes integraran conceptos como reactivos, productos, ecuación química y dio pie para abordar otros como estequiometría y conservación de la masa.

El diseño de esta unidad es relevante pues el tema reacción química se presenta en todos los subsistemas de Educación Media Superior, por lo que, puede aplicarse en cualquier subsistema. Además, puede ser útil para reforzar conceptos esenciales como átomo y molécula.

Por último:

- Se logró diseñar e implementar una unidad didáctica que permitió documentar el nivel de desarrollo del pensamiento químico basada en el modelaje en un grupo de la Escuela Nacional Preparatoria. Cada actividad permitió que los estudiantes construyeran el pensamiento químico en la temática de reacción química a través del modelaje,
- Se reunieron evidencias para poder afirmar que los estudiantes lograron explorar, identificar y diseñar modelos que favorecieran la construcción de conocimiento aplicados en una reacción química, y
- Los estudiantes lograron integrar las estructuras nanoscópicas en explicaciones centradas en una reacción química.

Trabajos citados

- Adúriz-Bravo, A. (2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 1-5.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 1-9.
- Arceo, F. D., Rojas, G. H., y González, E. L. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México: McGrawHill/Interamericana Educación.
- Basso, A. V. (2018). Lluvia ácida en contexto: una propuesta didáctica con enfoque CTS. *Asociación de Docentes en la Enseñanza de la Química*, 24(2), 155-168.
- Bello Garcés, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 3(15), 210-217. doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Blasco, J., y Mengual, A. (s.f.). *Las unidades didácticas. Educación Física y su didáctica II*. Recuperado el 19 de 11 de 2021, de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8092/6/Las%20unidades%20b%C3%A1sicas%20de%20programaci%C3%B3n.pdf>
- Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2021). *Constitución Política de los Estados Unidos Méxcanos. Última reforma publicada DOF 28-05-2021*. México. Recuperado el 12 de 12 de 2020, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf
- Cárdenas, D. P. (2017). Mi experiencia como maestra en formación en la construcción y aplicación de una unidad didáctica. *Bio-grafía*(1), 257-264.
- Casado, G., y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representacion de una reacción química. *Universitas scientiarum*, 10(1es), 35-43.
- Chamizo, J. A. (2005). Hacia una cultura química. *Ciencia. Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*(56), 6-16.

- Chamizo, J. A. (2007). *La esencia de la química. Reflexiones sobre filosofía y educación*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chang, R., y Goldsby, K. A. (2013). *Química*. McGraw-Hill.
- Chrobak, R. (2017). El aprendizaje significativo para fomentar el pensamiento crítico. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 11(12), 285-302.
- Cooper, M. M. (2018). Chemistry education research—From personal empiricism to evidence, theory, and informed practice. *Chemical reviews*, 118(12), 6053-6087.
- Corrales, A. (2010). La programación a medio plazo dentro del tercer nivel de concreción: las unidades didácticas. *EmásF: revista digital de educación física*(2). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3175435.pdf>
- de Armas Ramírez, N. V. (2013). Dos formas de orientar la investigación en la educación de postgrado: lo cuantitativo y lo cualitativo. *Pedagogía Universitaria*, 15(5), 13-28.
- DGENP-UNAM. (2021). *Escuela Nacional Preparatoria*. Recuperado el 13 de 12 de 2020, de Bachillerato UNAM: <http://enp.unam.mx/assets/pdf/planesdeestudio/ModeloEducativoENP.pdf>
- Dirección General de la Escuela Nacional, P. (2017). *Plan de Estudios Programa Química III*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: Escuela Nacional Preparatoria.
- Dirección General de la Escuela Nacional, P. (2017). *Programa Química III*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: Escuela Nacional Preparatoria.
- Dirección General de la Escuela Nacional, P. (13 de 04 de 2018). Plan de estudios. Química IV Área I. México, Coyoacán, México. Recuperado el 20 de 07 de 2020, de http://enp.unam.mx/planesdeestudio/actualizados/sexta-2018/1612_quimica_4_area_1.pdf

- Ferrera, T., Méndez, N., y Sosa-Fernández, P. (2018). La reacción química en el bachillerato: Una propuesta didáctica. *Educación Química*, 29(4), 79-91. doi:10.22201/fq.18708404e.2018.4.63474
- Flavell, J. H. (1985). *Cognitive and Instruction*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Flores-Camacho, F. (11 de junio de 2014). *Ideas Previas*. (U. C. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico antes Centro de Instrumentos, Productor) Recuperado el 7 de enero de 2021, de <http://www.ideasprevias.ccadet.unam.mx:8080/ideasprevias/presentacion.htm#1>
- Flores-Camacho, F., Gallegos Cázares, L., y Reyes Cárdenas, F. (2007). Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química. *Perfiles educativos*, 60-84.
- Galindo, A. A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: La enseñanza del aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía*, 7(13), 101-107.
- Gamboa, J. A. (2009). Química atractiva en un ingreso a la universidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 423-439.
- Garriz, A Modak, B., Balocchi, E., Reyes, F., Padilla, K, Martínez. M. (2005a). Aprendizaje cooperativo del concepto “cantidad de sustancia” con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte I: El aprendizaje cooperativo. *Educación Química*, 16(3), 469-485.
- Garriz, A Modak, B., Balocchi, E., Reyes, F., Padilla, K, Martínez. M. (2005b). Aprendizaje cooperativo del concepto “cantidad de sustancia” con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte II: Concepciones alternativas de “reacción química”. *Educación Química*, 16(4), 550-567.
- Garriz, A Modak, B., Balocchi, E., Reyes, F., Padilla, K, Martínez. M. (2006). Aprendizaje cooperativo del concepto “cantidad de sustancia” con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte III: Concepciones acerca de la “cantidad de sustancia” y su unidad “el mol”. *Educación Química*, 17(1), 10-28.

- Gil Perez, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P., y Vilches, A. (Edits.). (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?* Santiago, Chile: Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe OREAL/UNESCO-Santiago.
- Gutiérrez Rodríguez, A., y Crispín Martínez, M. D. (2010). Contenidos esenciales en la asignatura de Química III en la Escuela Nacional Preparatoria: Un análisis mediante el empleo de redes semánticas naturales. *Educación química*, 21(2), 139-145.
- Jeffrey, K. (2015). *Ethics in Science: The Unique Consequences of Chemistry*. Taylor y Francis Group, 312-329.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*, 70(9), 701-705.
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias: ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. Ciudad de México: UNAM, Facultad de Química.
- López Carrillo, A. (2018). *Dificultades En La Enseñanza-Aprendizaje De La Estequiometría En El Bachillerato, Una Propuesta Didáctica Para Enfrentarlas*. México: [Tesis maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] UNAM-Dirección General de Bibliotecas.
- Manfredi, M. B. (2018). La Química del Azufre. *Reunión de educadores en la Química*, 227-230. Obtenido de https://www.exa.unrc.edu.ar/wp-content/uploads/2018/08/Libro-de-resumenes-XVIII-REQ_final-1.pdf#page=227
- Martínez, A., Valdés, J., Talanquer, V., y Chamizo, J. A. (2012). Estructura de la materia: de saberes y pensares. *Didáctica de la Química*, 361-369.
- Mata, C. D., Álvarez, J. B., y Alda, E. (2011). Ideas alternativas en las reacciones química. *Revista Didácticas Específicas*(5), 7-29.
- Meece, J. L. (2002). *Child and adolescent development for educators* (2a ed.). Nueva York: McGraw-Hill.

- Mijangos, S. O. (2016). Diseño de un modelo didáctico para la enseñanza de las ciencias en Química. *Perspectivas docentes*(59), 40-49.
- Miranda López, F. (2018). Abandono escolar en la educación media superior: conocimiento y aportaciones de política pública. *Sinéctica*(51), 1-22.
- Monereo, C., Castelló, M., Clariana, M., Palma, M., y Pérez, M. (1999). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje*. Barcelona: Graó.
- Morado, R. (02 de 09 de 2008). *La Enseñanza de la Filosofía en la Reforma de la EMS*. Recuperado el 13 de 12 de 2020, de Filosofías UNAM:
<http://www.filosoficas.unam.mx/~morado/Cursos/08FilEdLog/Zacatecas/Zacatecas.htm>
- Municio, J. I. (2004). *Psicología del Aprendizaje Humano: Adquisición de conocimiento y cambio personal*. Madrid: Ediciones Morata.
- Nicasio Tovar, D., y Robledo Muñoz, B. (noviembre de 2018). La Evaluación En La Enseñanza De La Química, Una Experiencia Docente Desde El Modelo Didáctico Aprendizaje Basado En Problemas Que Transforma Nuestras Actitudes Hacia La Vida. *Congresos CLABES*, 478-485. Obtenido de
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/clabes/article/view/1927>
- Ordaz González, G. J., y Mostue, M. B. (2018). Los caminos hacia una enseñanza no tradicional de la química. *Actualidades investigativas en educación*, 18(2), 1-20.
- Ordones, R., Arellano, M., y et al. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química*, 46-51.
- Oros Sanchez, S. G. (2021). *Propuesta para desarrollar una actitud positiva hacia la química en los estudiantes de la ENP, a partir de una problemática de lluvia ácida, mediante la didáctica del ABP*. México: [Tesis para obtener el grado de Maestro en Docencia].

- Péfaur, B., Pérez, K., y Vega, J. (2016). a sistematización de la unidad didáctica en educación ambiental: una aproximación desde una experiencia en la ruralidad. *Educere*, 20(66), 249-257.
- Pérez, Y., y Chamizo Guerrero, J. A. (2016). Análisis curricular de la enseñanza química en México en los niveles preuniversitarios. Parte II: La educación media superior. *Educación química*, 27(3), 182-194. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v27n3/0187-893X-eq-27-03-00182.pdf>
- Raviolo, A., y Martínez Aznar, M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. *Educación Química*, 16(4e), 159-166.
- Raviolo, A., Garritz, A., y Sosa, P. (2011). Sustancia y reacción química como conceptos centrales en química. Una discusión conceptual, histórica y didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 240-254.
- Real Academia Española*. (20 de 04 de 2021). Obtenido de <https://dle.rae.es/explicar>
- Reyes C., F., y Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de "Reacción Química" en profesores universitarios mexicanos. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(31), 1175-1205.
- Reyes, F. (2006). Concepciones alternativas de estudiantes sobre el concepto de reacción química: Un ejercicio de meta-análisis. *Tesis para obtener el grado de maestría*. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes, F., Garritz, A., y Vargas, M. (2005). Conocimiento pedagógico del contenido en profesores mexicanos sobre el concepto de 'reacción química'. *Enseñanza de las Ciencias* (Extra), 1-5.
- Reyes-Cárdenas, F., Cafaggi, C., Llano-Lomas, G. (2019). Evaluación y aprendizaje basado en habilidades de pensamiento en un curso de laboratorio de química general. *Educación Química*, 30(3), 79-91. doi:10.22201/fq.180708404e.2019.3.69402

Reyes-Cardénas, F., Ruiz-Herrera, B., Llano, M., Lechuga-Uribe, P., y Mena-Zepeda, M. (2021). El aprendizaje de la Reacción Química: el uso de modelos en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*.

Rodríguez Gómez, D., y Valldeoriola Roquet, J. (2009). Metodología de la investigación. Barcelona: Universidad Oberta de Catalunya. Recuperado el 11 de 10 de 2020, de https://www.upn162-zamora.edu.mx/plan/archivos/c144b4_Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n_M%C3%B3dulo%201%20David%20Rodr%C3%ADguez.pdf

Ruiz, D. L., y Palomeque, L. A. (2015). Una metodología para el estudio de las ideas previas sobre química a través del análisis de expresiones gráficas. *Revista Colombiana de Química*, 44(1), 35-45.

Schunk, D. H. (2012). *Teorías del aprendizaje. Una perspectiva educativa*. México: Pearson Educación.

Secretaria de Educación Pública. (2017). *Planes de Estudio de Referencia del Marco Curricular común de la Educación Media Superior*. Ciudad de México: Secretaria de Educación Pública. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de SEMS. Planes de Estudio de Referencia: <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12491/4/images/Educacion%20Media%20Superior.pdf>

Secretaria de Educación Pública. (2018). Programa de Asignatura Química II. *Programa de Asignatura de Química II. Colegio de Bachilleres*. Ciudad de México, México. Recuperado el 13 de 12 de 2020, de <https://www.gob.mx/bachilleres>

Secretaria de Educación Pública. (2018). Programa de Asignatura Química III. *Programa de Asignatura Química III. Colegio de Bachilleres 4° Semestre*. México. Recuperado el 10 de 12 de 2020, de <https://www.gob.mx/bachilleres>

Secretaria de Educación Pública. (11 de 04 de 2021). *¿Qué es la SEMS?* Recuperado el 20 de 12 de 2020, de Misión y Objetivos: http://www.sems.gob.mx/es_mx/sems/mision_sems

- Secretaría de Educación Pública, SEP.* (2019). Recuperado el 30 de diciembre de 2019, de Encuesta del perfil de alumnos de Educación Media Superior 2019: <http://cosdac.sems.gob.mx/web/encuesta-perfil-alumnos2019.php>
- Sesto, V., y García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 521-534.
- Sevian, H., y Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 10-23.
- Tadeu, R. C. (2019). Contribución de las clases de Química a la Educación Ambiental de los estudiantes universitarios en Angola. *CD Monografías 2019*. Obtenido de <http://monografias.umcc.cu/monos/2019/DICT/mo19318.pdf>
- Talanquer, V. (2004). El químico intuitivo. *Educación Química*, 540-547.
- Talanquer, V. (2014). Desarrollando pensamiento químico en contextos sociales y ambientales. *Educación Química*(17), 4-11.
- Talanquer, V., y Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 74-83.
- Timberlake, K. C. (2008). *Química*. México: Pearson Educación.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (1997). *Plan de Estudios 1996 Preparatoria*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University.
- Webb, N. L. (28 de March de 2002). *Depth-of-knowledge levels for four content areas*. Language Arts. Recuperado el 14 de Abril de 2021, de <http://ossucurr.pbworks.com/w/file/fetch/49691156/Norm%20web%20dok%20by%20subject%20area.pdf>

Anexo 1

Unidad Didáctica: “¿Cómo puedo explicar el fenómeno de la lluvia ácida en la ciudad en la que vivo?”

A continuación, se presentan las actividades diseñadas y mejoradas que se realizaron con los estudiantes de la ENP 6.

Problematización: la lluvia ácida

Instrucciones:

Lee con atención la siguiente nota periodística:

<https://www.excelsior.com.mx/expresiones/2018/02/21/1221693>

Una vez que hayas leído esta nota, contesta lo que se te pide te puedes apoyar de biblioteca digital, libros, artículos, páginas web, entre otras:

- **¿Qué problemáticas identificas en la nota periodística?**
- **¿Qué es la lluvia ácida?**
- **¿Cuáles son los principales precursores que generan la lluvia ácida?**
- **¿Cómo se produce la lluvia ácida?**
- **¿De qué manera podrías explicar la lluvia ácida?**

Se sugiere al profesor que de forma sincrónica guíe una sesión de discusión de los conceptos investigados (aproximadamente 10 min). Una vez consensuados los significados, los estudiantes revisaran su información y en un documento de Google Classroom entregaran las respuestas corregidas.

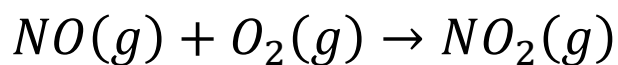
Actividad 1. De modelos a modelos

Instrucciones:

1. En equipos busquen en la red (o dibujen) tres posibles modelos que representen cada nivel de la materia para una misma reacción química. Una vez terminada tu actividad describe por qué son modelos y para qué sirve ese modelo.
 - No olvides pegar las tres representaciones de cada nivel de la materia que seleccionaron para una misma reacción química.
2. Imagina que te han dado la oportunidad de escribir en un libro de texto y debes:
 - a) Describir que ocurre en cada una de las imágenes
 - b) Describir cómo se relacionan cada una de las imágenes en cada nivel (macroscópico, nanoscópico y simbólico)
 - c) ¿Cómo averiguarías que el lector comprendió lo que escribiste?

Actividad 2. El modelo de clips

Instrucciones



Observa atentamente la ecuación química anterior y contesta lo que se pide

- Balancea la ecuación química.
- Realiza el modelo que represente la ecuación química, para ello considera lo siguiente:

Tabla 1. Representación de cada clip



Clip	Átomo de:
Blanco	Carbono
Rosa	Magnesio
Azul	Hidrógeno
Rojo	Oxígeno
Verde	Nitrógeno
Amarillo	Azufre

- Investiga la estructura química de cada molécula
 - Representa la molécula lo más parecido a los modelos químicos aceptados por la comunidad científica.
- A partir de tu modelo responde lo siguiente:
 - ¿Qué características tienen los reactivos y productos que los hace diferentes?
 - Describe qué ocurre con los átomos de los reactivos y los átomos de productos
 - Describe qué estarías intentando representar con tú modelo

Actividad 3. ¡Manos a la obra, hagamos un modelo!

Instrucciones

De manera individual, completa cada actividad que se te solicite.

Entregable de Investigación Previa

1. Investiga los riesgos, protección y rombos de seguridad para todas las sustancias que se utilizarán en esta práctica.

Sustancia	Riesgo/Protección	Describir las medidas de seguridad
Agua		
Alcohol etílico		
Hidróxido de sodio		

2. A partir del video (V1) escribe cuál sería la pregunta que estarías respondiendo a partir de la sesión experimental. Para plantear tu pregunta es necesario que pienses en el fenómeno, los conceptos y el problema.
3. Haz un diagrama de flujo a partir de las instrucciones de la sesión experimental considera el material que tienes en casa. Compáralo con los propuestos por tus compañeros de equipo y lleguen a un consenso. Es importante que analicen los pros y contras de cada propuesta
4. Diseña una manera de registro de tus datos experimentales que sea claro y sencillo. Recuerda que lo anexaras en tus resultados obtenidos.
5. ¿Podrías hacer uso de un modelo representacional antes y/o después de obtener tus datos? ¿Cuál sería y por qué?
6. Haz un análisis de la información de los puntos 2, 4 y 5 y genera una respuesta (hipotética) a tu pregunta. No olvides describir el razonamiento que utilizaste para llegar a ella.

Sesión experimental, primera parte del experimento: Elaboración de indicador

Para la sesión experimental necesitamos:

<ul style="list-style-type: none">• 1 betabel• 100 mL alcohol etílico.	<ul style="list-style-type: none">• Coladera plástica o metálica• Cuchara metálica sopera• Frasco pequeño
---	---

<ul style="list-style-type: none">• Extractor de jugos (puedes sustituirlo por una licuadora o trituradora).	<ul style="list-style-type: none">• Etiquetas
--	---

Instrucciones

Elaboración del indicador ácido-base.

1. Corta por la mitad el betabel
2. Utilizando el extractor de jugos y obtén aproximadamente 10 mL de betabel. Si no tienes un extractor de jugos realiza lo siguiente:
 - a. Corta el betabel en cubos de aproximadamente 3 cm.
 - b. Verte los cubos en el vaso de licuadora
 - c. Añade aproximadamente 100 ml de alcohol etílico (CUIDADO: el alcohol es una sustancia inflamable evita estar cerca de flamas)
 - d. Tritura hasta obtener una pasta
 - e. Filtra la pasta utilizando la coladera y oprime la pasta con la cuchara.
 - f. Obtén todo el jugo posible.
3. Envasa y etiqueta. No olvides ponerle fecha de elaboración y nombrar a tu indicador (se creativo y ponle un nombre).

IMPORTANTE: No lo dejes al alcance de niños o animales, procura dejarlo en un lugar alejado de tus familiares, la seguridad tanto tuya como para tu familia es primordial.

Sesión experimental, segunda parte del experimento: Acidificación del agua

Para la sesión experimental necesitamos:

2 vasos o similar	2 goteros o similares
Indicador betabel.	Agua
2 cucharitas de plástico o madera.	NaOH
	Papel aluminio
	Popote

Instrucciones

En un vaso apropiado vierte aproximadamente 50 mL de agua

Primera disolución (1D). Agrega tres gotas de indicador (1 parte de sesión experimental) o hasta que adquiera un color rojo y homogeniza la disolución.

Segunda disolución (2D). En otro vaso vierte aproximadamente 25 mL de agua y añádele una hojuela de legía (NaOH)

Con ayuda de una cucharita agita hasta disolver completamente la hojuela.

Añade unas gotas de 2D a 1D, homogeniza con ayuda de la otra cucharita y debe cambiar de color rojo a amarillo. Si no cambia a amarillo, repite el procedimiento hasta obtener el color deseado.

Una vez obtenido el color introduce el popote y cubre con aluminio la parte superior del vaso.

Con mucho cuidado de no aspirar la disolución y con ayuda del popote introduce aire a la disolución. Burbujea aire hasta que cambie de color amarillo a rojo.

Puntos mínimos para cubrir la entrega del reporte

Cada uno de los integrantes deberá:

Integrar en el reporte el nombre del integrante seguido de la pregunta realizada en la investigación previa y así como su respuesta correspondiente.

Deberán contestar la pregunta siguiente: ¿Consideras que con tu propuesta experimental estás contestando tu pregunta de la investigación previa? Justifica tu respuesta.

Entre todos contesten las preguntas siguientes:

¿A qué dificultades experimentales se enfrentaron? ¿Cómo las resolvieron?

¿Estas dificultades afectaron que llegaran a una solución y no a otra? Justifiquen su respuesta.

Dentro de todo el proceso que siguieron, ¿qué elementos consideran que los llevaron a contestar su pregunta de la investigación previa? Entre todos, realicen una justificación de cada una de sus respuestas.

¿Qué consideran que fue lo más importante que aprendieron al resolver el problema?

¿Describan como el uso de modelos ayudó a que resolvieran su pregunta de investigación?

¿Cómo lograron integrar los modelos al analizar sus resultados?

Actividad 4. Explicación de la lluvia ácida

Instrucciones.

1. Realiza una infografía en el cual expliques cómo la lluvia ácida afecta las estructuras arqueológicas. Para saber qué y cómo se hace una infografía consulta la siguiente liga: https://www.youtube.com/watch?v=ERsVprw030k&ab_channel=UNAM_MX
https://www.youtube.com/watch?v=lkxd0Lz6x2w&ab_channel=Montenegroagencia
2. La infografía debe contener como mínimo la información de las preguntas siguientes:
 - ¿Cómo explicarías que la lluvia acida afecta las estructuras arqueológicas?
 - ¿Qué información para necesito para lograr explicar el fenómeno?
3. En formato APA 7^a versión, anexa la bibliografía que consultaste.

Actividad 5. Reto químico.

Instrucciones

I. Observa atentamente la imagen siguiente:



II. Realiza las actividades siguientes:

- Escribe la ecuación química que representa la reacción química de la imagen (apóyate del modelo de clips de la actividad anterior).
- Balancea la ecuación química.
- La imagen representa la reacción química entre dos sustancias.
 - Describe qué información se puede obtener a partir de la representación anterior con respecto a los átomos
 - Comenta si hay relación entre la cantidad de moléculas de productos y reactivos con la estequiometría
 - Si te presentaran únicamente la fórmula química del producto ¿Podrías suponer cuáles son los reactivos que la produjeron? Explica tu respuesta.

II. Responde lo que se te solicita

- Dibuja o toma una foto de una reacción química que se lleva a cabo en tu casa
- Escribe la reacción que se lleva a cabo
- Una de las posibles clasificaciones de reacción química es por re-areglo de átomos: sustitución simple y/o doble, síntesis, descomposición)