



El aprendizaje de la reacción química: el uso de modelos en el laboratorio

Learning of chemical reaction: the use of models in chemistry laboratory

Flor Reyes-Cárdenas, Brenda Ruiz-Herrera, Mercedes Llano-Lomas, Patricia Lechuga-Uribe, Margarita Mena-Zepeda
Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM. CDMX, México.
fmreyes@unam.mx, ruizherrerabrenda@quimica.unam.mx, llano@unam.mx, palu@quimica.unam.mx, margaritamenez@quimica.unam.mx

RESUMEN • El objetivo de este trabajo de investigación es documentar, caracterizar y analizar los modelos desarrollados por los estudiantes del primer año de licenciatura, al implementar el protocolo experimental «Reacción Química». Este estudio cualitativo muestra que, con la guía adecuada, los estudiantes son capaces de generar modelos de los conceptos implicados en los tres niveles de representación: simbólico, microscópico y macroscópico. Los resultados muestran que el uso de modelos pone en evidencia el nivel de comprensión sobre los conceptos involucrados en el trabajo experimental. Recomendamos la incorporación progresiva de modelos principalmente porque, en la licenciatura, los estudiantes deben integrar un gran número de conceptos y transitar simultáneamente entre los tres niveles de representación.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza experimental; Modelos; Reacción química; Niveles de representación en química.

ABSTRACT • The aim of this research is to characterize and analyze the models developed by freshmen students, upon implementation of the experimental design «Chemical Reaction». This qualitative study shows that, with appropriate guidance, students are capable of generating models of the implied concepts in the three levels of representation: symbolic, microscopic, and macroscopic. The results show that the use of models show the level of comprehension regarding the concepts involved in the experimental work. We recommend the progressive incorporation of models because undergraduate students must consolidate a large number of concepts and transit simultaneously in between the three representational levels in chemistry.

KEYWORDS: Experimental learning; Models; Chemical reaction; Levels of chemical representation.

Recepción: febrero 2020 • Aceptación: septiembre 2020 • Publicación: junio 2021

INTRODUCCIÓN

En la literatura se evidencia que la comprensión de las ciencias, y en particular de la química, es difícil para los estudiantes de los niveles básicos, debido a diversos factores, como la enorme abstracción de los contenidos (Johnstone, 2006), la persistencia de las concepciones alternativas que los alumnos poseen al llegar al aula, y que permanecen aun después de la instrucción escolarizada (Driver, 1988), y el aprendizaje enciclopédico acumulativo y no reflexivo que la mayoría de los profesores poseen (Flores et al., 2007).

Galagovsky (2005) ha documentado que, a pesar de los esfuerzos de la comunidad docente por mejorar la enseñanza de la química, es todavía un hecho que los estudiantes no logran apropiarse, del todo, del conocimiento que se intenta construir en las aulas y en los laboratorios. A lo largo de nuestra experiencia como profesores de nivel universitario, hemos detectado algunos problemas en el aprendizaje y la apropiación de contenidos que se pueden atribuir a diferentes factores, entre ellos: los problemas para establecer el nivel adecuado de los cursos, dadas las diferencias en la formación de estudiantes y profesores; los docentes interesados en mejorar sus métodos de enseñanza encuentran que las herramientas accesibles no suelen ser atractivas, o bien representan un reto que no desean enfrentar; y, por último, el currículo de ciencias no está atendiendo las necesidades, intereses y aspiraciones de los estudiantes.

Esta problemática se ha reportado en contextos educativos a nivel mundial. Para atender este problema, en el año 1992, dentro del Plan de Desarrollo de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (FQ-UNAM), se consideró prioritaria la revisión de la enseñanza experimental, lo que llevó al establecimiento del Programa de Reforma de la Enseñanza Experimental (PREE), que culminó con la publicación de un documento en el que se plantearon los fundamentos para la elaboración y el desarrollo de los protocolos de trabajo para los laboratorios de Química (Hernández-Luna y Llano, 1994).

El planteamiento institucional de la necesidad de un cambio radical en la concepción de la enseñanza experimental, planteado en el documento del PREE, hizo necesaria la realización de un análisis histórico para recuperar la evolución de esta actividad, a fin de lograr realmente un mejoramiento y no un retroceso o un mero cambio cosmético. Este análisis se restringió al primer año de estudios, que es la base del tronco común de las licenciaturas impartidas en la FQ-UNAM y en el que se consideró que repercutirían con mayor impacto los cambios que se realizaran. Una limitante que se encontró fue la falta de información escrita sobre programas y protocolos de enseñanza experimental, ya que en la mayor parte de la documentación oficial no se incluyen los programas de los laboratorios.

De acuerdo con la propuesta del PREE, los protocolos debían diseñarse de tal manera que acercaran al alumno al conocimiento, para permitir que por él mismo descubriera el concepto en estudio. La intención era acercar a los estudiantes a los fenómenos, sin que ellos hicieran una investigación previa y sin que el profesor explicara la práctica o mencionara los resultados que se iban a obtener. «El aprendizaje por descubrimiento, con énfasis en la participación activa de los alumnos y en el aprendizaje y aplicación de los procesos de la ciencia, se postulaba como una alternativa a los métodos pasivos basados en la memorización y en la rutina» (Campanario, 2002). Esta propuesta está fundamentada en la teoría de Piaget y desde los años ochenta ha permeado una buena parte de la enseñanza de las ciencias (Gil, 1983). Si bien años después de su introducción el aprendizaje por descubrimiento mostró que tenía algunas fallas y que debía evolucionar hacia una mejor propuesta educativa, que incorporara de forma más exitosa la construcción del conocimiento, así como la discusión de datos y resultados contrastados con el conocimiento científico, el cambio en la didáctica permitió que se rompiera la presión ejercida en los laboratorios con respecto al avance programático de una gran cantidad de prácticas en un tiempo establecido. Entre otras cosas, otorgó cierta autonomía y responsabilidad a los estudiantes,

ya que ellos podían repetir el experimento hasta considerar que sus datos fueran lógicos, lo cual podría llevar a un error conceptual sin una guía adecuada del profesor.

A partir del año 2015 se ha trabajado con una nueva propuesta de enseñanza experimental que surge de recuperar los años de experiencia, aprendizaje y logros de diferentes profesores, investigadores y grupos colegiados de la FQ-UNAM. El manual *Desarrollo de habilidades de pensamiento en el Laboratorio de Química General* (Reyes et al., 2019) recupera los conceptos seleccionados por el PREE, pero modifica la forma de trabajo de profesores y estudiantes, a fin de alcanzar los siguientes objetivos de aprendizaje: la construcción conceptual, el desarrollo de destrezas necesarias en el laboratorio y el desarrollo de habilidades de pensamiento. Lo anterior se logra responsabilizando al alumno de su aprendizaje, ya que es él quien diseña sus procedimientos experimentales, genera modelos y los reconstruye, a la vez que desarrolla su capacidad de argumentación a través de la comunicación y justificación de las explicaciones propuestas.

Un problema que identificamos en el aprendizaje de la química se relaciona con la dificultad de construcción de conocimiento por los estudiantes, ya que para poder comprender y experimentar con un fenómeno químico se deben construir, de forma simultánea, modelos en tres niveles de representación distintos y adicionalmente se debe realizar de forma segura y adecuada la parte experimental. Usualmente los estudiantes solo abordan los fenómenos en una aproximación macroscópica y les es difícil imaginar los átomos y las moléculas; por lo tanto, tampoco generan explicaciones utilizando estos conceptos. Además, el trabajo experimental puede representar por sí mismo un reto importante para el estudiante, por lo que se debe construir de la mano de la teoría y con la correcta guía del docente, para así potenciar mejores explicaciones por parte de los estudiantes.

El objetivo de este trabajo de investigación es documentar, caracterizar y analizar los modelos desarrollados por los estudiantes al implementar el protocolo experimental «Reacción Química».

MARCO TEÓRICO

De acuerdo con Izquierdo et al. (1999), existe una gran dificultad para enseñar ciencias; de manera adicional, se debe considerar que los cambios que se están produciendo en las estrategias de enseñanza de las ciencias tienen como meta esencial que los estudiantes construyan su propio conocimiento, que sean capaces de darse cuenta de sus errores y autorregularse. Para ello se hace necesario que los profesores realicen una fase indagatoria preliminar que ponga en evidencia el conocimiento previo de los alumnos, al igual que incluye las concepciones alternativas (Ordenes et al., 2014).

La situación mencionada ha provocado una profunda preocupación que ha dado lugar a diversos intentos por renovar la enseñanza de las ciencias. Una tarea de los profesores de ciencias es diseñar en sus planeaciones una instrucción que ayude a los alumnos a cambiar sus interpretaciones del mundo por otras más sofisticadas y cercanas a las de los científicos (Duschl, 1997). La educación en ciencias debe promover que los estudiantes aprendan a pensar sobre ciencias dentro y fuera del aula, comprendan sus métodos, sus finalidades y su utilidad en la vida diaria (Moreno-Arcuri et al., 2013).

De acuerdo con Hofstein et al. (2007), realizar actividades en el laboratorio es una forma de aprender comprendiendo lo que se hace, lo cual da lugar a un proceso de construcción del conocimiento al hacer ciencia: para estos autores los estudiantes en el laboratorio llevan a cabo procesos científicos.

La enseñanza de la química

Según Gillespie (1997), las grandes ideas de la química son: átomos, moléculas e iones; enlace químico; fórmula y geometría molecular; teoría cinética; reacción química; energía y entropía. De ellos, Gillespie considera «la reacción química» como la idea más importante de todas, pues con ella se

pueden explicar los fenómenos químicos. Su comprensión permite organizar las transformaciones de la materia en una forma específica, así como entender qué sustancias se convierten en otras. El concepto de *reacción química*, considerado como un «proceso que resulta de la interconversión de especies químicas» (IUPAC, 2006), es fundamental para los docentes de la química y está incluido en todos los planes de estudio de la asignatura. De acuerdo con Caamaño et al. (2004), la comprensión de la reacción química es un aspecto esencial de la estructura conceptual de la química.

No obstante, Barker (2000) expresa que, en la enseñanza habitual del tema, los estudiantes mantienen concepciones alternativas sobre la reacción química que no son tratadas con eficacia. Además, se observa que la mayoría de los textos y de los docentes dedican escaso espacio y tiempo a la explicación de aspectos conceptuales. Según Casado y Raviolo (2005), «un gran número de alumnos reconoce como falsa la afirmación que durante un cambio químico las moléculas permanecen sin cambiar [suponiendo sustancias moleculares], sin embargo, muchos alumnos tienen dificultad para explicar cómo cambian». A este respecto, que los alumnos puedan identificar un cambio químico sugiere que posiblemente entienden este concepto como aquel en el que ocurren transformaciones de sustancia(s), pero mantienen dificultad para reconocer qué es una sustancia y para entender si esta se transforma o no.

Modelos en la enseñanza de las ciencias

En la enseñanza de las ciencias el proceso de creación de modelos consiste en elaborar una representación del fenómeno en estudio (García y Sanmartí, 2006), para ajustarlo a la aparición de nuevos datos que puedan surgir durante la investigación, mediante el planteamiento de hipótesis teóricas. Esta perspectiva (Justi, 2006) implica la comprensión coherente, flexible, sistemática y crítica de las ciencias, que tiene como finalidad que los alumnos construyan modelos para: «aprender ciencia y tecnología, aprender sobre ciencia y tecnología, hacer ciencia y tecnología, e implicarse en acciones sociopolíticas que les permitan desarrollar formas de pensar y aprender, semejantes a las de los científicos».

Espinet (2014) menciona que, si bien hay debates sobre el significado y alcance del término *modelo*, todos los miembros de la comunidad científica están de acuerdo en que los modelos son «sustitutos» de sistemas reales en estudio y que son «representaciones» de estos, en las que solo se resaltan algunos aspectos esenciales. «El modelo aún es más necesario cuando se da la imposibilidad de ver directamente el objetivo de estudio» (Tuzón y Solbes, 2017).

En las ciencias naturales los modelos se consideran una interpretación de un fenómeno natural y usualmente son representaciones concretas y simplificadas de sistemas complejos, como los que se encuentran en la naturaleza; por esta razón, los modelos se consideran facilitadores para entender el mundo real, lo cual es congruente con lo establecido por Giere (1999).

En este trabajo consideraremos que un modelo es un esquema teórico apoyado en representaciones gráficas o explicaciones asociadas al fenómeno de un sistema o de una realidad compleja, que únicamente captura de manera simplificada algunos elementos centrales y que pasa por alto los detalles a fin de permitir un acercamiento más sencillo al entendimiento y la manipulación de lo que se está modelizando: el modelo se elabora para facilitar la comprensión del sistema y el estudio de su comportamiento (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

La ciencia escolar ha de utilizar sus propios modelos teóricos, sus propias aplicaciones y sus propios hechos ejemplares (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). El modelo moviliza los saberes y permite desarrollar habilidades tales como pensar, describir, predecir y actuar (Solsona e Izquierdo, 2003). Por lo tanto, los estudiantes «desarrollan habilidades cognitivas (analizar, comparar, deducir y formular hipótesis); potencian habilidades cognitivo-lingüísticas (describir, argumentar, demostrar e informar) y construyen conocimiento científico (conceptos, modelos, teorías y métodos)» (Sardá y Sanmartí, 2000).

La investigación ha mostrado que cuando los estudiantes generan o utilizan modelos se logra una mayor capacidad de retención a largo plazo, una motivación intrínseca, un nivel superior de razonamiento y pensamiento crítico, con lo cual los alumnos se involucran agradablemente en la ciencia (Chamizo et al., 2006). La construcción de un modelo también está fuertemente ligada al vocabulario utilizado, lo cual permite expresar ideas y emplear el discurso apropiado para comunicarlas (García y Márquez, 2006).

La construcción de modelos es un puente entre las concepciones alternativas de los estudiantes y el conocimiento científico. La construcción de modelos explicativos (Oliva, 2019) por parte de los alumnos pone en evidencia sus concepciones alternativas, a la vez que los obliga a hacer uso de su conocimiento previo. Considerar este punto de partida para una primera construcción de modelo explicativo es indispensable para la incorporación de nuevos elementos que les permitan cuestionar su primer modelo y generar modificaciones de este, que se acerquen más a una construcción científica, por lo que la guía individualizada y grupal dentro de las actividades planeadas es muy relevante.

Cuando los estudiantes aprenden a explicar fenómenos en términos de conceptos teóricos, se encuentran con el reto de elaborar modelos en los niveles de representación macroscópico y microscópico asociados a estos fenómenos, lo cual claramente repercute en una apropiación del lenguaje de las ciencias y específicamente del lenguaje químico (García y Sanmartí, 2006).

Oliva (2019) considera la modelización como progresión de modelos. De acuerdo con ello, el proceso de modelización implica que, después de definir un problema y un propósito que justifiquen la necesidad de un modelo, se elijan signos, códigos y un lenguaje de representación que explique el fenómeno u objeto; y que el modelo se construya y exprese con distintos lenguajes posibles: verbal, visual, simbólico, analógico, matemático, digital.

Dentro de la enseñanza de las ciencias se requiere que los alumnos utilicen el modelo creado y practiquen con él. Algunos experimentos han de ser diseñados por los alumnos para probar el alcance de sus modelos explicativos y dar respuesta a nuevas preguntas que ellos mismos formulen. Los modelos generados por los estudiantes no tienen que ser los mismos que los de la ciencia experta, pero sí deben ser coherentes con ella (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013).

Es importante socializar los modelos construidos para enfatizar los aspectos específicos de cada modelo y así mejorarlos (Gómez, 2009), por lo que es necesario que los profesores motiven a los alumnos a expresar sus ideas, lo que favorece la comunicación, la construcción y la reconstrucción de sus modelos.

Adúriz-Bravo (2018) menciona que se concibe la modelización como una de las actividades más importantes de la empresa científica, y por tanto sugiere colocarla en un lugar central en la enseñanza de las ciencias. Así, la modelización científica escolar se constituye en una estrategia didáctica extremadamente potente: habilita a los estudiantes a que piensen sobre hechos clave y reconstruidos teóricamente, con el fin de dar sentido a los fenómenos del mundo que la ciencia intenta explicar.

Niveles de representación de la química: una integración entre los modelos y la reacción química

Las teorías científicas dan sentido al mundo sobre el que se aplican, contienen los hechos interpretados por ellas y constituyen un «saber cómo». Puesto que no hay una relación tan directa entre lo que se dice y los fenómenos, los modelos representan la relación entre las teorías científicas y los hechos, aunque no se correspondan «exactamente» con la realidad (Justi, 2006). «Como una vía de caracterización Johnstone propuso en 1982, para las ciencias naturales en general y para la química en particular, tres niveles para explicitar las representaciones de los estudiantes: macroscópico, submicroscópico y simbólico» (Ordenes et al., 2014).

Johnstone y Talanquer, entre otros autores, consideran que en química existen tres ámbitos diferentes de representación que pueden visualizarse como los vértices de un triángulo; ninguno es superior a otro, pero cada uno es complemento de los otros. En estos vértices se representa: *a*) lo macroscópico y tangible, es decir, lo que se puede ver y tocar; *b*) lo submicroscópico (también llamado microscópico) correspondiente a átomos, moléculas, iones y estructuras; y *c*) lo representacional, que incluye símbolos, fórmulas, tratamiento matemático y gráfico (Johnstone, 2006; Talanquer, 2011; Rodríguez y Pérez, 2016).

Es común que, en la enseñanza experimental, los alumnos centren su atención en aspectos limitados del fenómeno, es decir, en las características manifiestamente cambiantes (nivel de representación macroscópico), que son las que ellos consideran sobresalientes (Driver, 1988), y que excluyan aspectos del nivel de representación microscópico (Stavridou y Solomonidou, 1989). Así, cuando se analiza con los alumnos una reacción de combustión, les resulta difícil comprender que uno de los productos de dicha reacción es agua; esto puede ser porque el vapor de agua no es tan evidente a la vista, o porque en su experiencia han observado que el agua apaga al fuego.

Específicamente Galagovsky (2005) hace referencia a procesos cognitivos relacionados con los tres vértices: *a*) las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa; *b*) las representaciones abstractas; y *c*) las formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, gráficos, etc.

Según Rodríguez y Pérez (2016) las reacciones químicas, a nivel macroscópico, se consideran como un proceso mediante el cual algunas sustancias desaparecen y aparecen otras nuevas; en el nivel microscópico, como un proceso en el que las partículas se reordenan; mientras que, a nivel simbólico, la descripción del proceso se representa a través de ecuaciones químicas. Este autor considera que el alumnado, al final de la educación secundaria, debería ser capaz de articular los tres niveles de representación.

Talanquer (2011) hace énfasis en que es relevante utilizar los tres niveles de representación en la enseñanza de la química y que no hay un consenso sobre las definiciones de cada nivel de representación, lo que ocasiona una diversidad de interpretaciones. De acuerdo con Amalia et al. (2018), para el aprendizaje de la química, el entendimiento de los niveles macroscópico y simbólico se da directamente al provenir de observaciones directas y símbolos que los estudiantes pueden relacionar, mientras que el nivel microscópico solo se puede alcanzar si los alumnos consiguen reflejarlo en sus modelos mentales, ya que este nivel no es observable a simple vista. Estos tres niveles de representación están interconectados para lograr el aprendizaje.

Considerando lo anterior, Vallejo (2017) realizó una investigación que se centra en una intervención didáctica para la asignatura teórica de química en el nivel de bachillerato, en la que analiza las diferentes maneras en las que los estudiantes comprenden, describen y representan la reacción química. En sus resultados resaltan la incapacidad de los estudiantes para relacionar los niveles de representación de la química y las dificultades en su lenguaje, debido a factores como la poca consciencia del mundo microscópico, la baja o deficiente comprensión de los modelos propios de la química, que se tornan abstractos y complejos, la alta abstracción que presenta su simbología y el dominio básico de la terminología propia del área.

METODOLOGÍA

Se desarrolló el protocolo experimental «Reacción Química» (Reyes et al., 2019) para ser utilizado con estudiantes del Laboratorio de Química General (LQG), asignatura de primer semestre que forma parte del tronco común de las licenciaturas impartidas en la FQ-UNAM. El grupo de investigación responsable del diseño, elaboración e implementación del protocolo experimental ha colaborado por cinco años en el diseño de materiales educativos.

Características de la muestra

Durante el periodo de agosto a noviembre de 2018, se evaluaron 13 de un total de 80 grupos de LQG, correspondiente al 14,9 % (213 estudiantes) de la matrícula total de nuevo ingreso a la FQ-UNAM (1430 alumnos), de los cuales el 55 % eran mujeres y el 45 % hombres; las edades de los estudiantes oscilaban entre 18 y 20 años. Cada grupo estaba dividido en equipos de trabajo de 4 a 5 estudiantes, conformados de manera voluntaria, por lo que se tuvieron equipos integrados solo por hombres o solo por mujeres, mientras que la mayoría fueron equipos mixtos. Este trabajo se enfoca en el análisis de los modelos generados por cada equipo. Los profesores titulares de estos grupos imparten asignaturas del primer año de licenciatura y participaron de manera voluntaria en este estudio.

Descripción de protocolo experimental

El protocolo está integrado por seis actividades; para la evaluación de cada una se diseñaron documentos denominados entregables. En la tabla 1 se presentan los títulos de cada actividad, los objetivos de aprendizaje esperados y la información solicitada a los estudiantes en los entregables.

En las actividades 2 y 4 se solicitó a los estudiantes la elaboración de modelos (M1 y M2) correspondientes a las reacciones químicas propuestas; adicionalmente, para ambas actividades se les pidió que respondieran por escrito a la pregunta «¿Qué explica tu modelo?». Este trabajo se enfoca en el análisis de los modelos elaborados, M1 y M2.

Tabla 1.

Objetivos por actividad y contenido de los documentos de evaluación denominados entregables

<i>Actividad (clave de identificación)</i>	<i>Título</i>	<i>Objetivo de aprendizaje esperado</i>	<i>Análisis solicitado a los estudiantes en los entregables</i>
A1	¿Cómo saber que se llevó a cabo una reacción química?	Identificar reacciones químicas y diferenciarlas de fenómenos físicos.	– Descripción de los fenómenos seleccionados y explicación sobre la base de argumentos químicos para catalogarlos como cambio físico o como cambio químico.
A2 - M1	¿Es posible diseñar un modelo que represente una reacción química?	Modelar y clasificar.	– Descripción de la reacción o reacciones realizadas. – Desarrollar un modelo (M1) en 3 niveles de representación de la química que explique las reacciones realizadas. – Responder: ¿Qué explica este modelo?
A3	¿Las reacciones químicas ocurren cuando los reactivos están en cualquier estado de agregación?	Comprender que una reacción química se puede llevar a cabo en diferentes estados de agregación.	– Contestar cuestionario en formato POE (predecir, observar, explicar).
A4 - M2	¿Se pueden predecir reacciones conociendo los reactivos?	Predecir, proponer y llevar a cabo reacciones químicas. Explicar a través de un modelo.	– Descripción de la reacción o reacciones realizadas y las condiciones experimentales para llevarlas a cabo. – Modificación del modelo propuesto M1 para la generación de un nuevo modelo M2 que explique las reacciones realizadas.

<i>Actividad (clave de identificación)</i>	<i>Título</i>	<i>Objetivo de aprendizaje esperado</i>	<i>Análisis solicitado a los estudiantes en los entregables</i>
A5	¿Cuáles son los criterios que se utilizan para clasificar las reacciones químicas?	Proponer y clasificar.	– Propuesta de reacción(es) química(s) sobre la base de criterios específicos de clasificación.
A6	Aplicación a fenómenos cotidianos.	Aplicar los conocimientos para explicar por medio de reacciones químicas fenómenos cotidianos.	– Planteamiento de reacciones químicas que expliquen los casos descritos. – Análisis de la siguiente pregunta: ¿En qué medida utilizarías el modelo o los modelos planteados para explicar los fenómenos de la vida cotidiana?

Instrumentos de recopilación y sistematización de información

La información fue recopilada mediante los entregables, los cuales fueron evaluados por el profesor titular de cada grupo y posteriormente por un segundo profesor, ambos coautores de este artículo.

A cada entregable se le asignó un código de identificación para sistematizar la información, por ejemplo, «M1/G13/equipo1» se refiere al modelo analizado (M1), grupo (G13) y equipo de trabajo (equipo 1). De manera colegiada se establecieron los criterios de evaluación para los modelos elaborados por los estudiantes y quedaron establecidos los siguientes indicadores:

- Cero: no hay modelo.
- Uno: se presenta un modelo que no corresponde a una representación adecuada del fenómeno.
- Dos: el modelo no logra describir el fenómeno por completo.
- Tres: el modelo representa adecuadamente el fenómeno.
- Cuatro: el modelo representa adecuadamente el fenómeno y presenta características especiales, por ejemplo, incluir reacciones adicionales de comprobación de productos (o diferenciación entre reactivos y productos); o presenta una relación explícita entre los diferentes niveles de representación.

Para el indicador tres, en el que establece que el modelo representa adecuadamente el fenómeno, se acordó que cada nivel de representación de la química debía cumplir con lo siguiente:

- En el macroscópico debía presentar dibujos de los materiales utilizados, incluir colores de las sustancias y representar los hechos de manera secuencial.
- En el microscópico debía presentar adecuadamente átomos, moléculas o iones por medio de figuras geométricas distintas y utilizar un código de color.
- En el simbólico debía presentar la reacción por medio de una ecuación química completa y balanceada.

A modo de ejemplo, se presenta en la figura 1 el entregable de un equipo que cumple con los criterios antes mencionados:

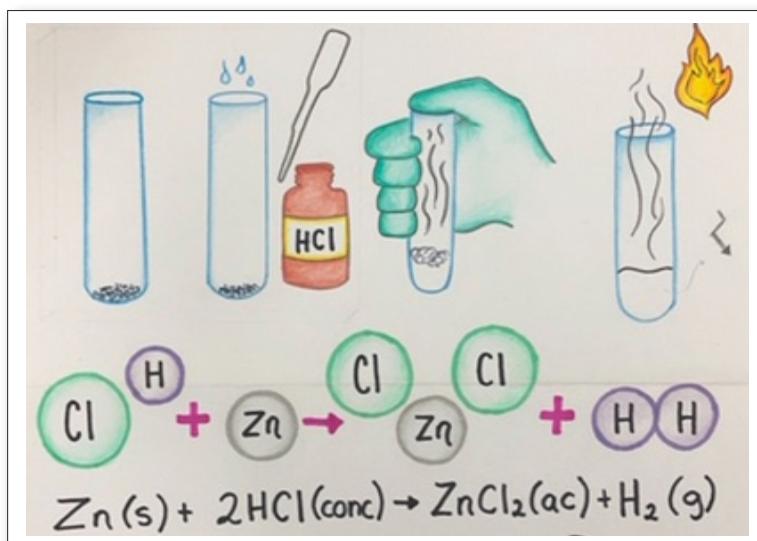


Fig. 1. Modelo M1 con representaciones en orden descendente: nivel macroscópico, microscópico y simbólico (elaborado por el equipo 7, grupo 44).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concentrada la información de los entregables, los modelos fueron analizados desde dos ejes: las explicaciones escritas y los niveles de representación.

Las explicaciones escritas de cada modelo

En la primera etapa del análisis se identificó si se encontraba algún texto asociado al modelo pictográfico, o si solo se hacía una descripción en texto de la reacción química. Nos referiremos a los textos asociados a un modelo pictográfico como MTp, mientras que aludiremos a las descripciones en texto asociadas a la reacción química, pero que no son congruentes con el modelo pictográfico, como MTrq. Para nosotros, tanto los textos como las representaciones pictográficas pueden ser consideradas modelos, de manera que todos los productos generados por los alumnos son modelos.

Dentro de la categoría «MTp», que corresponde a textos que aluden al modelo pictográfico elaborado por los estudiantes, se encontraron las siguientes subcategorías:

- Explicación del modelo pictográfico. Se refiere a textos en los que los alumnos describen su modelo, por ejemplo:

«En los modelos se muestra[n] los compuestos involucrados a lo largo del experimento, y cómo se lleva a cabo una reacción de descomposición, en este caso tenemos un compuesto formado por tres elementos al que aplicamos energía dando como resultado la ruptura de su enlace y como consecuencia la formación de dos nuevos productos. Además, muestran cómo se comprobaron los productos obtenidos con base en el pH de los compuestos» (M1-G7-equip013).
- Uso del modelo pictográfico. Se refiere a textos en los que los alumnos expresan la utilidad del modelo, por ejemplo:

«El modelo presentado en sus 3 niveles busca explicar en su totalidad la reacción, el por qué y cómo ocurre la reacción, y también busca ser usado como guía, es decir, si alguien que desconoce la reacción, pero la realizara, puede guiarse con las características que el modelo brinda para llevarla a cabo de modo correcto» (M3-G73-equip12).

Dentro de la categoría «MTrq», que se refiere a modelos en texto que hacen una descripción de lo que ocurre en la reacción química, sin estar relacionados con el modelo pictográfico, se encontraron las siguientes subcategorías:

- a) Explicación de la reacción química. Modelo en texto referido a la descripción e interpretación sobre la reacción química:
«Nivel microscópico: Al interactuar las moléculas del carbonato de cobre (II) con el calor, las partículas se moverán mucho y se separarán resultando un sólido de cobre con oxígeno y un gas de CO_2 ...» (M1-G73-equip9).
- b) Observaciones de la reacción química. Modelo en texto en el que los estudiantes únicamente describen el procedimiento experimental y la información que recaban, por ejemplo:
«En un vidrio de reloj se coloca una gota de agua, en los extremos de dicha gota se agrega $\text{NiSO}_4(\text{ac})$ y $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2(\text{l})$; al reaccionar se produce $[\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{SO}_4(\text{s})$. Los cambios que se observan son diferentes tonalidades: (rosa, morado, azul), posteriormente se forma un precipitado color rosa claro, no hay cambios en la temperatura. Cada que se junta una etilendiamina se produce un color, debido a eso son tres colores los que aparecen en el producto. Podemos clasificar la reacción Analítica: Complejación [formación de complejos]. Origen de los reactivos: Síntesis» (M2-G13-equip4).
- c) Explicación y observaciones de la reacción química. Modelo en texto donde integran las dos subcategorías anteriores, por ejemplo:
«El ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio están en disolución acuosa por lo tanto sus iones se separan y al mezclar el HCl y el NaOH los iones H^+ del ácido se van a unir con los OH^- de hidróxido para formar agua. Por otro lado. Los iones Na^+ se unirán con los Cl^- para formar cloruro de sodio, lo que nos da una reacción de doble sustitución. A nivel macro le colocamos indicador a ambas sustancias para verificar que teníamos una base y un ácido, el HCl se tiñó de rojo y el NaOH del azul, al mezclarlos el producto (NaCl) se tornó verde claro, teníamos una sustancia neutra. Nuestro modelo simbólico explica que, al reaccionar HCl y NaOH, ambos en disolución acuosa, forman NaCl, que es una sal neutra y agua» (M2-G44-equip7).

Finalmente, se puede plantear una tercera categoría, denominada «No aplica» (N_A), que agrupa textos que no se consideran como modelos porque no hacen alusión al fenómeno en estudio.

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de casos correspondientes a cada categoría y subcategoría.

Tabla 2.
Porcentajes asociados a cada subcategoría de modelos de texto

¿Qué explica tu modelo?	
<i>Categoría MTp</i>	%
Explicación del modelo pictográfico	15
Uso del modelo pictográfico	6
<i>Categoría MTrq</i>	
Explicación de la reacción química	39
Observaciones de la reacción química	18
Explicación y observaciones de la reacción química	11
<i>Categoría NA</i>	11

El 21 % de los modelos en texto son congruentes con su modelo pictográfico, ya sea con su explicación o con su uso.

El 68 % de los modelos en texto se refiere a explicaciones y observaciones de la reacción química llevada a cabo por los estudiantes, pero que no corresponden con los modelos pictográficos generados. A su vez, el 11 % de los textos presentados corresponde a la categoría N_A . Por lo tanto, se puede decir que una gran proporción (cerca del 80 %) de los estudiantes presenta dificultades para relacionar sus explicaciones escritas con los modelos pictográficos elaborados.

Los niveles de representación

A los estudiantes se les pidió un modelo pictográfico para cada nivel de representación: macroscópico, microscópico o simbólico. Sin embargo, se encontraron modelos explicativos (Aragón, et al., 2013; Oliva, 2019) que contenían, de forma simultánea, más de un nivel de representación, por lo que la clasificación macroscópica contempló macroscópica y macroscópica-simbólica. De igual forma, se establecieron microscópica y microscópica-simbólica. La diferencia principal consiste en que cuando se agrega el término *simbólico* se incluyen representaciones con indicadores de texto que se refieren a las sustancias, por ejemplo, la fórmula química o el estado de agregación.

En las figuras 2 y 3 se ejemplifica la diferencia entre la representación macroscópica y la macroscópica-simbólica.



Fig. 2. Modelo M1 macroscópico. Se hace énfasis en el color de las sustancias, y en el caso de los productos, en la presencia de dos fases para generar finalmente una sola fase (elaborado por el equipo 33, grupo 57).

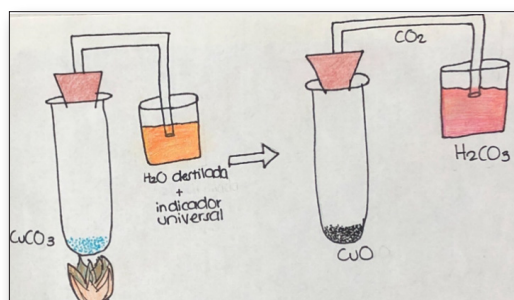


Fig. 3. Modelo M1 macroscópico-simbólico. Se indica la identidad de cada sustancia (elaborado por el equipo 32, grupo 57).

En las figuras 4 y 5 se ejemplifica la diferencia entre la representación microscópica y la microscópica-simbólica.

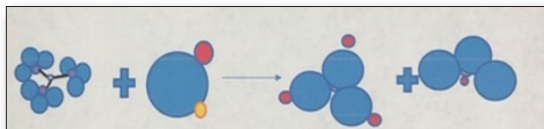


Fig. 4. Modelo microscópico que corresponde a la reacción: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 (\text{ac}) + \text{NaOH} (\text{ac}) \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 (\text{s}) + \text{NaNO}_3 (\text{ac})$. El modelo sí incluye figuras, pero no existe un código de identificación para cada elemento, por lo que la reacción representada no queda clara (elaborado por el equipo 49, grupo 45).

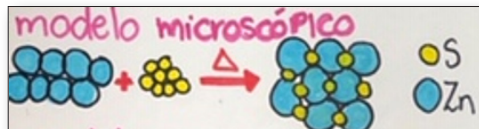


Fig. 5. Modelo M2 microscópico-simbólico que muestra el código de identificación de cada elemento y la reacción implicada: $\text{Zn} (\text{s}) + \text{S}_8 (\text{s}) \rightarrow \text{ZnS} (\text{s})$ (elaborado por el equipo 15, grupo 7).

Adicionalmente, se encontró que los estudiantes representan las sustancias de diferente manera: forma molecular, iónica, atómica; estructura reticular o átomos individuales. Y que pueden hacer o no referencia al estado de agregación. Esto permite identificar el nivel de comprensión que tiene el alumno sobre los conceptos químicos.

Amalia et al. (2018) plantean que una de las dificultades de los alumnos para comprender la reacción química consiste en relacionar los diferentes niveles de representación. Analizando los modelos elaborados por los equipos encontramos algunos casos en los que esto se pone en evidencia, siendo el factor coincidente que los alumnos intentan integrar en un solo modelo los tres niveles de representación. En la figura 6 se muestra un ejemplo de un entregable con los niveles de representación mezclados, el cual pone en evidencia errores conceptuales de los alumnos, como son: los productos se encuentran en recipientes separados y todas las sustancias se encuentran disociadas, incluida el agua, lo que implica que no tienen un criterio sobre cuándo y cómo se disocian las sustancias.

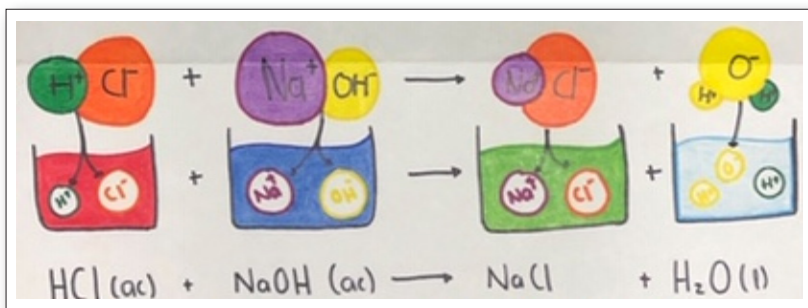


Fig. 6. Modelo M2, que engloba los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico (elaborado por el equipo 7, grupo 44).

En congruencia con lo que reportan Aragón et al. (2013), inicialmente la mayoría de los estudiantes usan un modelo a nivel macroscópico, que parece ser el más intuitivo, aunque en ocasiones lo emplean de forma inadecuada, mostrando concepciones alternativas. Muy pocos alumnos usan el nivel microscópico, y los que lo hacen se alejan del modelo esperado. La progresión en el nivel macroscópico puede verse favorecida por el avance de los modelos en los otros niveles de representación.

El modelo presentado en la figura 7 fue considerado dentro del indicador 1, debido a que muestra una errónea integración y comprensión de los niveles de representación. Los alumnos utilizan círculos para representar átomos, iones o moléculas indistintamente. Utilizan un rectángulo para el cinc, sin distinguir cuándo este se encuentra como sólido, como catión o como parte de un producto. A su vez, la elección

del rectángulo y su color para el Zn evoca la idea de transferencia de lo observable (macroscópico) a lo microscópico, lo cual está reportado como idea previa por diversos autores, entre ellos Driver (1988).

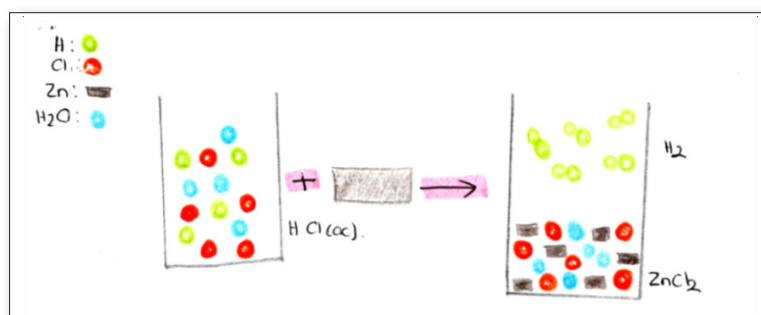


Fig. 7. Modelo M1, mezcla los tres niveles de representación con algunos errores conceptuales (elaborado por el equipo 44, grupo 27).

En la figura 8 se presenta un ejemplo de un modelo considerado dentro del indicador 3, debido a que las representaciones son congruentes con los estados de agregación y la solubilidad de los compuestos, además de que se observa que las sustancias en fase gaseosa son representadas en forma molecular, que las entidades en disolución acuosa se representan de forma iónica y que los elementos que constituyen a los sólidos se representan agrupados. A pesar de que los sólidos no se representan con una estructura reticular, sí se encuentran «sedimentados» o en el fondo del recipiente.

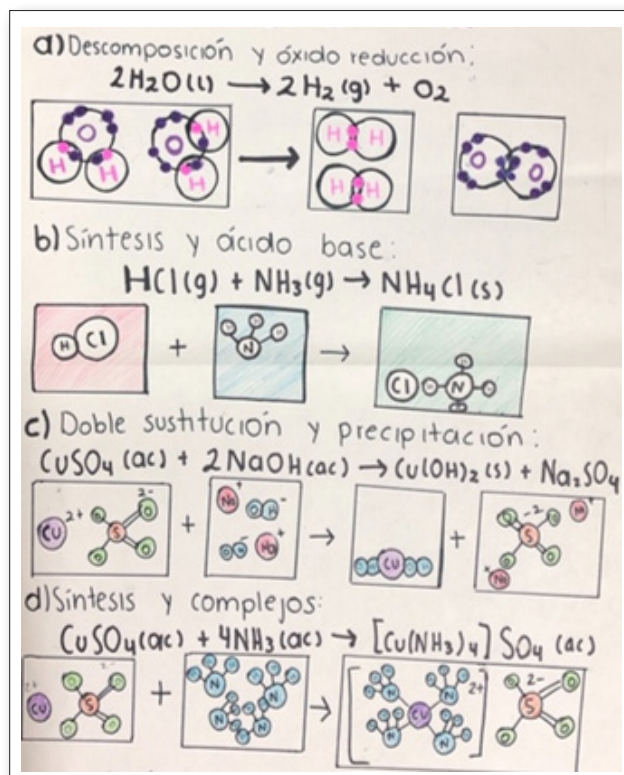


Fig. 8. Modelos considerados en el nivel 3, que aluden a la representación microscópica de las sustancias en diferentes estados de agregación (elaborado por el equipo 3, grupo 73).

Con respecto a la representación simbólica, en la literatura se reporta que los alumnos confunden coeficientes con subíndices (López, 2018), sin embargo, al analizar los modelos elaborados con este protocolo, no se encontró esta confusión. Por el contrario, en la representación microscópica los alumnos representaron un número de moléculas congruente con el coeficiente estequiométrico y el número de átomos que integran la molécula en concordancia con los subíndices, como se ejemplifica en la figura 8.

Congruencia en la evaluación

De acuerdo con lo establecido en la metodología, cada modelo fue analizado por uno de los investigadores, quien asignó una primera calificación a cada uno de los niveles de representación. Posteriormente, fue analizado por un segundo investigador, quien también asignó una calificación. Finalmente, se analizó la congruencia entre las calificaciones asignadas por ambos investigadores. Los resultados se presentan en la figura 9.

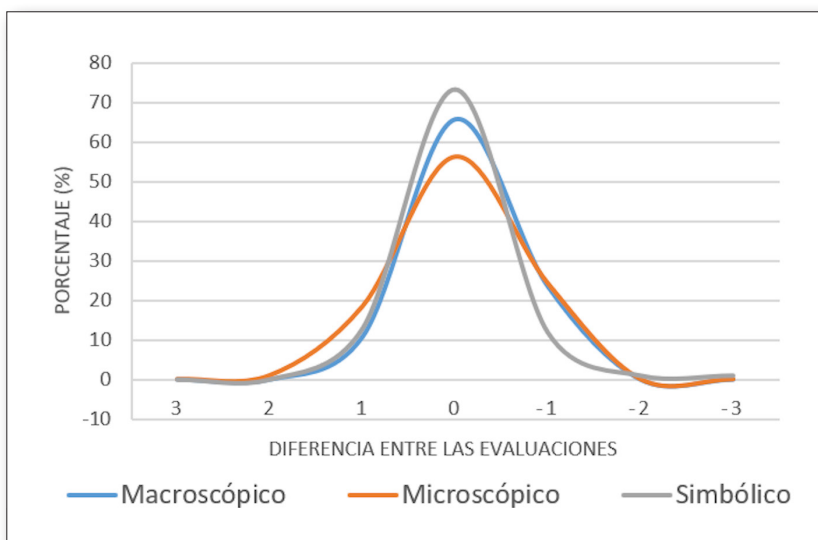


Fig. 9. Comparación de las calificaciones asignadas a los modelos evaluados.

Puesto que la mayoría de las evaluaciones de los dos investigadores reportan el mismo valor para un mismo modelo, es decir hay una diferencia de cero entre las calificaciones asignadas; se puede concluir que existe uniformidad en los criterios de evaluación. Para el nivel macroscópico se observa una congruencia del 66 %, para el nivel microscópico del 56 % y para el nivel simbólico del 73 %.

Caracterización de los modelos 1 y 2

En las figuras 10 y 11 se muestran los resultados de la evaluación para cada uno de los modelos por separado.

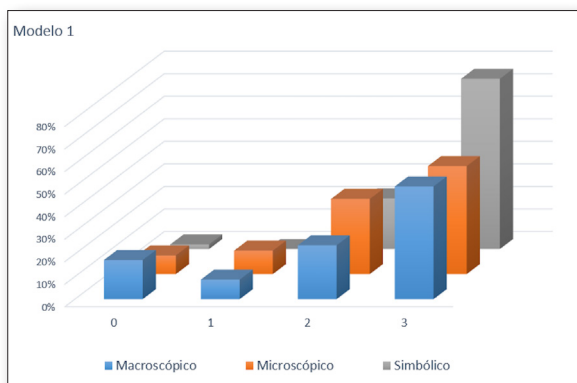


Fig. 10. Porcentajes de calificaciones asignadas a las diferentes representaciones del modelo 1.

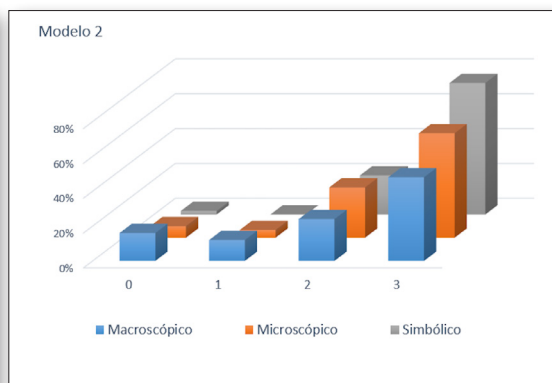


Fig. 11. Porcentajes de calificaciones asignadas a las diferentes representaciones del modelo 2.

Considerando la evaluación entre los modelos M1 y M2 de toda la muestra, se puede apreciar que no hay una diferencia significativa en los niveles de representación macroscópico y simbólico. En cambio, en el nivel microscópico sí hay una diferencia importante entre ambos modelos, ya que en el modelo 2 aumenta la calificación asignada. Se puede concluir que, en general, los estudiantes incorporan elementos microscópicos en sus modelos en congruencia con los modelos teóricos escolares, lo cual es congruente con lo reportado por Amalia et al. (2018), quien dice que el nivel microscópico es el último en ser incorporado y que solo se percibe si se refleja en el modelo.

Evolución

En este apartado se analiza la evolución de los modelos elaborados por los estudiantes comparando, para un mismo equipo, las calificaciones asignadas al modelo 1 con respecto al modelo 2. Los resultados se presentan en la figura 12; la diferencia entre las calificaciones asignadas está en un intervalo de -3 a $+3$, donde una diferencia de tres unidades implica que no se elaboró alguno de los modelos.

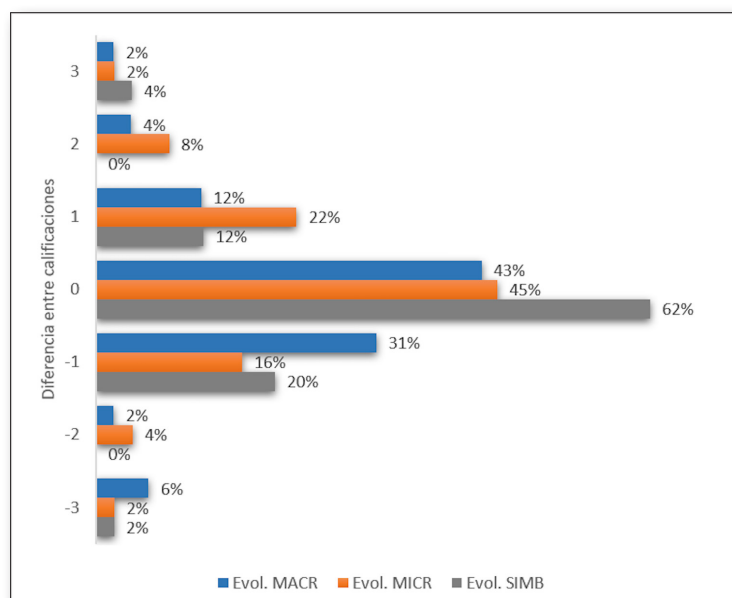


Fig. 12. Diferencias entre los modelos 1 y 2 elaborados por un mismo equipo.

En la mayoría de los casos la diferencia entre las calificaciones asignadas a los modelos 1 y 2 es cero, lo que indica que no hubo cambios significativos entre ambos modelos para los tres niveles de representación. En particular, el nivel simbólico presenta mayor congruencia, además, como se observa en las figuras 10 y 11, el nivel de representación simbólico es el mejor evaluado desde el modelo 1, cerca del 80 %. Esto se puede explicar porque es un nivel trabajado desde que se introduce al estudiante en su formación científica, por lo que no sorprende que su evaluación no cambie de manera significativa.

Al analizar aquellos casos donde sí se observaron cambios en las calificaciones asignadas, el nivel microscópico muestra un mayor número de equipos que evolucionan positivamente, lo que mejoró sus modelos. Respecto al caso contrario, el nivel macroscópico presenta un mayor número de equipos a cuyo modelo 2 se le asignó una calificación más baja respecto al modelo 1. Se puede ver para este nivel de representación que, para los M1 y M2 (figuras 10 y 11), cerca del 50 % de los equipos logró un nivel 3, lo que implica que el resto de la población se distribuye en los indicadores asociados a un nivel bajo de representación. Lo anterior está de acuerdo con Driver (1988), quien indica que los alumnos se enfocan en los aspectos observables, lo cual les impide conceptualizar y representar que se forman más productos de los que perciben a simple vista, así como identificar productos en los casos de reacciones que no muestran cambios aparentes.

En la licenciatura, los alumnos han adquirido más conocimiento disciplinar que deben incorporar a sus modelos. Adicionalmente, las reacciones llevadas a cabo para el modelo 2 son de mayor dificultad respecto a las realizadas para el modelo 1, ya que en el modelo 1 se pide la representación de reacciones que los alumnos han realizado en los niveles previos de su formación. Inferimos, por lo tanto, que la disminución en las calificaciones asignadas al nivel macroscópico se puede atribuir, entre otros factores, a que los alumnos tienen un reto mayor para representar la incorporación de nuevos saberes, así como para transitar simultáneamente entre los diferentes niveles de representación.

A manera de resumen se presenta, en la tabla 2, una comparación entre los porcentajes de mejora o disminución en las calificaciones asignadas para cada representación:

Tabla 2.
Porcentaje de mejora o disminución en las calificaciones asignadas a los modelos

<i>Diferencia entre las evaluaciones</i>	<i>Nivel microscópico</i>	<i>Nivel macroscópico</i>	<i>Nivel simbólico</i>	<i>Porcentaje global</i>
No hay cambio	45 %	43 %	62 %	50 %
Mejora	32 %	18 %	16 %	22 %
Disminuye	22 %	39 %	22 %	28 %

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 2, al implementar el protocolo «Reacción Química», el 50 % de los modelos analizados no muestran un cambio significativo; sin embargo, se debe considerar que, al implementar una nueva propuesta didáctica, como la del trabajo basado en modelos, se espera que no sea asimilada a corto plazo por la totalidad de los estudiantes. A este respecto, los resultados revelan la poca experiencia que tienen los alumnos de primer semestre en la elaboración de modelos. Esto puede deberse al tipo de enseñanza, sobre todo conductista, en que están inmersos en el bachillerato, lo que genera una baja autonomía en la adquisición de conocimientos y el desarrollo de habilidades. De ahí la importancia de insistir en la elaboración de modelos para una mejor comprensión en los tres niveles de representación de los fenómenos químicos.

CONSIDERACIONES FINALES

Al implementar el protocolo experimental observamos que la mayoría de los alumnos fue capaz de elaborar los modelos solicitados. Es decir, que con una guía adecuada los estudiantes son capaces de generar representaciones visuales de los conceptos químicos implicados en una reacción química.

Después de implementar el protocolo y analizar los resultados, consideramos que para que un alumno sea capaz de generar un modelo adecuado es indispensable que se involucre en la actividad, se disponga del tiempo necesario para su desarrollo y se favorezca la discusión grupal, todo esto con el acompañamiento de su profesor. Una falta de entrenamiento en el uso de modelos generará que el estudiante tenga un manejo insuficiente en cada nivel de representación. Por ello es recomendable que los profesores promuevan el uso de modelos en actividades en el aula.

Respecto a la evolución de los modelos elaborados por los alumnos, los resultados muestran que el nivel simbólico es bueno desde un inicio y se mantiene, el nivel macroscópico presenta un ligero retroceso y el nivel microscópico presenta una ligera mejora.

Este trabajo apunta a que la dificultad en la incorporación de modelos en la enseñanza de la química se debe a que los alumnos de licenciatura tienen que integrar un mayor número de conceptos, además de la dificultad asociada a transitar simultáneamente entre los diferentes niveles de representación. A este respecto coincidimos con Gómez (2014) y recomendamos que el uso de modelos para la educación científica tenga un acercamiento progresivo.

Los resultados evidencian el grado de comprensión de los conceptos implicados en la reacción química. Los alumnos, en la representación microscópica, pueden representar el número de moléculas en concordancia con el coeficiente estequiométrico y los átomos que integran la molécula en concordancia con los subíndices.

El manejar de forma explícita modelos en los tres niveles de representación para un mismo fenómeno, aunado al trabajo experimental, permite abordar los contenidos desde distintas miradas, lo que contribuye a una mayor comprensión de estos. Lo anterior abona a una propuesta educativa que considera las distintas formas de aprendizaje en los alumnos y que favorece un tránsito entre lo conceptual y lo experimental.

Este trabajo resalta que, para entender un fenómeno, se deben elaborar modelos pictográficos y de texto que se complementen, ya que para cumplir con las exigencias del mundo actual los estudiantes deben poseer destrezas de comunicación, adaptación y aprendizaje constante. La elaboración de modelos en esta propuesta favorece las habilidades de comunicación, la libertad y autonomía de pensamiento.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto PE214420 apoyado por DGAPA-UNAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A. (2018). S701 Argumentación basada en modelos desde la perspectiva de la epistemología y la historia de la ciencia. *Técné Episteme y Didaxis: TED*.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.

- Amalia, F., Ibnu, S., Widarti, H. y Wuni, H. (2018). Students' Mental Models of Acid and Base Concepts Taught Using Cognitive Apprenticeship Learning Model. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(2), 187-192.
- Aragón, M., Oliva, J. y Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9-30.
- Barker, V. (2000). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. Londres: RSC.
- Caamaño, A. y Oñorbe, A. (2004). La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique*, 41, 68-81.
- Campanario, J. (2002). Asalto al castillo: ¿A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 20(2), 315-326.
- Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10(1es), 35-43.
- Chamizo, J. y Márquez, J. (2006). Modelación molecular: estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química. *RMIE*, 11(31), 1241-1257.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo* (vol. 139). Narcea Ediciones.
- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J. y Ramos, L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectives in science education. En K. Tobin, B. Fraser y C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of research in science education* (pp. 1385-1403). Nueva York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_89
- Flores, F., Gallegos, L. y Reyes, F. (2007). Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química. *Perfiles Educativos*, 29(116), 60-84.
- Galagovsky, L. (2005). La enseñanza de la química pre-universitaria: ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quiénes? *Química Viva*, 4(1), 8-22.
- García, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. Enseñar ciencias en el nuevo milenio. *Retos y Propuestas*, 279-297.
- Giere, R. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 026-33.
- Gillespie, R. (1997). The great ideas of chemistry. *J. Chem. Educ.*, 74(7), 862.
- Gómez, A. (2009). *Estudio de los seres vivos en la educación básica: Enseñanza del sistema nervioso desde un enfoque para la evolución de los modelos escolares*. Nuevo León: UANL.
- Gómez, A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: la enseñanza del aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía*, 7(13), 101-107. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia101.107>
- Hernández-Luna, M. y Llano, M. (1994). Propuesta de Reforma de la Enseñanza Experimental. *Revista del IMIQ*, 7, 5-7.
- Hofstein, A. y Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(2), 105-107. <https://doi.org/10.1039/B7RP90003A>
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Sci Educ*, 12(1), 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Johnstone, A. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7(2), 49-63.
<https://doi.org/10.1039/B5RP90021B>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- López, A. (2018). *Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría en el bachillerato, una propuesta didáctica para enfrentarlas* (tesis de maestría). México: UNAM.
<http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774595/Index.html>
- López-Mota, Á. y Rodríguez-Pineda, D. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 2008-2013.
- Moreno-Arcuri, G. y López-Mota, Á. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 9(1), 53-78.
- Nic, M., Jirat, J. y Kosata, B. (2005) *IUPAC Gold Book*. <https://doi.org/10.1351/goldbook> (consulta: 05/09/2020).
- Oliva, J. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Ordenes, R., Arellano, M., Jara, R. y Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educ. Quím.*, 25(1), 46-55.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70523-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70523-3)
- Reyes-Cárdenas, F., et al. (2019). *Desarrollo de habilidades de pensamiento en el Laboratorio de Química General*. México: UNAM.
<http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2808>
- Rodríguez, L. y Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 143-160.
- Sardá, A. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 405-422.
- Solsona, N. e Izquierdo, M. (2003). El uso de la explicación en una receta de cocina científica. *Revista Investigación en la Escuela*, 49, 79-88.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction? *IJSE*, 11(1), 83-92.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry «triplet». *IJSE*, 33(2), 179-195.
<https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tuzón, P. y Solbes, J. (2017). La modelización usando corporeización en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 587-594.
- Vallejo, W. (2017). *Relaciones explicativas entre los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico de la materia; una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de «reacción química»* (tesis de maestría). UNAL. <http://bdigital.unal.edu.co/58347/1/71789249.2017.pdf>

Learning of chemical reaction: the use of models in chemistry laboratory

Flor Reyes-Cárdenas, Brenda Ruiz-Herrera, Mercedes Llano-Lomas, Patricia Lechuga-Urbe, Margarita Mena-Zepeda
Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM. CDMX, México.
fmreyes@unam.mx, ruizherrerabrenda@quimica.unam.mx, llano@unam.mx, palu@quimica.unam.mx, margaritamenez@quimica.unam.mx

Research has shown that when students create or use models, longer-term retention capacity, intrinsic motivation and a superior level of reasoning and critical thinking are achieved. When approaching a phenomenon, the modelling process implies an explicit need for a model which includes codes and a linguistic representation which can be verbal, visual, symbolic, or mathematical.

This study aims to characterize and analyze the models developed by freshmen college students, by implementing the «Chemical Reaction» experimental design. The sample size consisted of 213 students and their produced models were analyzed. The evaluation criteria were set in by consensus, establishing the corresponding indicators. For validation each model was evaluated by two researchers, focusing on two aspects: *a*) the written explanations and *b*) the macroscopic, microscopic, and symbolic levels of representation.

This research indicates that the difficulty for students to incorporate the use of models in chemistry classes could be because they must understand many concepts, while addressing the difficulty associated with the three levels of representation of chemistry. We recommended a progressive integration of modelling in scientific learning.

The result shows that with modelling the students were able to represent the number of molecules according to the stoichiometric coefficient, as well as the atoms that constitute the molecules according to the subscripts, although, previous research has pointed out the difficulty of correctly associating and interpreting the coefficients and subscripts in a chemical reaction.

While incorporating the use of models in the three levels of representation of a chemical reaction to be carried out in the laboratory, it allows us to approach the content from different points of view, which leads to a greater understanding of it. This contributes to an educational strategy that encourages the student to use what they have learned in theory and in the laboratory simultaneously.

It is essential that the student gets involved in the activity with enough time and the proper guidance throughout the process. The communication and argumentation skills should be promoted so that the student can create an appropriate model. This paper highlights that to understand a phenomenon, complementarity pictographic and text models must be created.