



Identificación de ciclos de generación, evaluación y modificación en estequiometría

Identifying Cycles of Generation, Evaluation, and Modification in Stoichiometry

Romina Riva-Riquelme
Scuola Italiana de Concepción, Concepción, Chile.
romina.159@gmail.com

María Cecilia Nunez-Oviedo
Departamento de Currículum e Instrucción, Facultad de Educación, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
marnunez@udec.cl

Patricio Flores-Morales
Departamento de Polímeros, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
patflores@udec.cl

RESUMEN • La química es muy importante a nivel terciario, pero por su abstracción el estudiantado siente animadversión hacia ella. Para mejorar esta actitud, el foco parece ponerse en una didáctica que utiliza procesos de construcción y revisión de modelos mentales. El objetivo del artículo es exponer el caso de un curso presentado con un desafío científico en la unidad de estequiometría que consistió en determinar la cantidad de moléculas de un gas generado en una reacción química. La clase se efectuó mediante un proceso de coconstrucción del conocimiento entre aprendices y maestros y organizada en un ciclo didáctico de cinco etapas. Los estudiantes evolucionaron sus modelos mentales mediante ciclos de generación, evaluación y modificación, lo que se reflejó en calificaciones altas en el informe final, y evidenció el efecto positivo de esta metodología en el aprendizaje.

PALABRAS CLAVE: Estequiometría; Ciclos GEM; Modelización; Razonamiento no formal; Heurísticos.

ABSTRACT • Chemistry is very important at the tertiary level, but because of its abstraction, students feel hostility towards it. To improve this attitude, the focus seems to lie in a didactic approach that uses the construction and revision of mental modeling processes. The objective of the article is to lay out the case of a course presented with a scientific challenge in the stoichiometry unit that consisted in determining the number of molecules of a gas generated in a chemical reaction. The class was carried out through a process of co-construction of knowledge between learners and teachers and was organized in a didactic cycle of five stages. The students' mental models evolved through cycles of generation, evaluation, and modification, which was reflected in the high grades obtained by them in the final report, evidencing the positive effect of this methodology on learning.

KEYWORDS: Stoichiometry; GEM cycles; Modeling; Non-formal reasoning; Heuristics.

Recepción: junio 2023 • Aceptación: mayo 2024 • Publicación: noviembre 2024

INTRODUCCIÓN¹

La enseñanza de las ciencias naturales es una disciplina autónoma (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2002) de complejidad inherente y donde coexisten distintos paradigmas educativos. En el caso de la química, su enseñanza se hace difícil debido a los siguientes motivos: la falta de habilidades y motivación de algunos profesores (Méndez, 2015), el hecho de que es una ciencia donde hay que pensar (como declara el estudiantado) (Gómez et al., 2004), la falta de claridad sobre su utilidad (Chamizo, 1995), la falta de relación entre lo macro y lo (sub)microscópico (Harrison y Treagust, 2002) y la cuestión ontológica de esta ciencia (Cardellini, 2012). Estos factores hacen que la química parezca a los estudiantes una ciencia abstracta y sin sentido, cuya consecuencia es el desinterés por su aprendizaje.

La estequiometría es uno de los temas más importantes en química, ya que permite representar las reacciones químicas y predecir cuánto producto se formará a partir de una cantidad de reactantes conocida. Sin embargo, la enseñanza de la estequiometría se enfoca demasiado en los cálculos matemáticos y se pierde la comprensión del fenómeno reactivo al circunscribirlo a otro simbólico (Labarrere y Quintanilla, 2002; Quintanilla-Gatica y Baeza, 2022). Los estudiantes necesitan relacionar la estequiometría con el mundo molecular y atómico de los compuestos para comprender su utilidad en la química, ya que, de acuerdo con Johnstone (1993), esta tiene tres componentes básicos: la macroquímica (lo visible), la (sub)microquímica (lo invisible) y la representación simbólica (las ecuaciones). Por esta razón, un estudiante que desee aprender química debe relacionar esta tríada tal como lo hace un profesional.

El uso de prácticos de laboratorio que confirmen la teoría desmotiva a los estudiantes (una receta no representa un desafío). Por lo tanto, es importante cuestionarse cómo se enseña la química: ¿se está siguiendo el método obtuso o el método creativo de enseñanza? La teoría y la práctica amalgamadas muestran un aprendizaje positivo, de acuerdo con Concha et al. (2019).

Entre los expertos, al parecer existe consenso en que para superar el obstáculo de la motivación y el «sinsentido» de aprender química es necesario usar y potenciar las secuencias didácticas en el aula (Carrasco Monroy et al., 2022; Chevalier et al., 2022; Merino et al., 2015; Moreno Martínez y Franco Mariscal, 2023; Quintanilla-Gatica y Baeza, 2022; Rebollar et al., 2022; Reina et al., 2023). De acuerdo con Medina y Salvador (2009, p. 7): «La Didáctica es la disciplina o tratado riguroso de estudio y fundamentación de la actividad de enseñanza en cuanto propicia el aprendizaje formativo de los estudiantes en los más diversos contextos».

Una didáctica para la química, o más generalmente para las ciencias naturales, ha sido el foco de varios autores sobre la base del concepto de prácticas científicas propuesto por Ford (2015, p. 1042): «(1) hacer preguntas; (2) desarrollar y usar modelos; (3) planificar y llevar a cabo investigaciones; (4) analizar e interpretar datos; (5) utilizar pensamiento matemático y computacional; (6) construir explicaciones; (7) impugnar una opinión a partir de evidencias; y (8) obtener, evaluar y comunicar información». Pero este mismo autor comenta que las prácticas científicas no están basadas en reglas, sino en recurrentes procesos de evaluación y revisión que conducen a la comprensión de la naturaleza, lo que se relaciona con el punto 6 de Ford, la construcción de explicaciones, un proceso que mejora o refina una idea primigenia varias veces. Las ideas que surgen se conocen como modelos y su mejora, como modelización. De acuerdo con Gilbert et al. (2000), un modelo es una representación de un objeto o un fenómeno con un objetivo específico, mientras que la modelización tiene distintas acepciones.

Oliva (2019) indica que los conceptos de modelo y modelización son términos empleados en la literatura de didáctica de las ciencias, como: 1) progresión de modelos; 2) práctica científica; 3) com-

1. A lo largo de este manuscrito, por comodidad, se utilizará el masculino genérico para referirnos tanto a lo masculino como a lo femenino, sin por ello pretender realizar una exclusión de género.

petencia; 4) dimensión instrumental; y 5) estrategia de enseñanza. Después de examinar las diferentes acepciones, el autor concluyó que «estas tendencias no son necesariamente incompatibles sino complementarias, de modo que en muchos de los trabajos realizados se sostiene [...] más de uno de estos puntos de vista» (Oliva, 2019, p. 15), y que a continuación se describe.

La modelización como progresión de modelos se basa en la modelización mental, donde los científicos, para crear el conocimiento, refinan sus ideas de tal forma que la explicación final del fenómeno observado sea lo más cercana a la realidad, principalmente por el uso de la cognición (Clement, 2000). Como los científicos no dejan de investigar, estos modelos son mutables de acuerdo con la nueva evidencia científica.

La modelización como práctica científica (Oliva, 2019) se refiere a los componentes del ciclo de investigación científica: plantear problemas, formular predicciones, recoger y analizar información para comprobarla, elaborar nuevas ideas y explicaciones (Adúriz-Bravo, 2012; Aliberas et al., 2017). Pedagógicamente hablando, esto implica que el alumnado debe tener iniciativa y realizar una búsqueda de información; es decir, participar, idear y decidir, pero no por su cuenta, sino con el docente formulando preguntas que propicien su reflexión.

La modelización como competencia se refiere a un conjunto de capacidades que un sujeto debe tener, más allá del razonamiento, para realizar ciencia. Es decir, necesita de un dominio de conocimiento, habilidades, destrezas y valores epistémicos tal como lo haría un profesional (Nicolau y Constantinou, 2014). De acuerdo con Oliva (2019), la modelización como competencia implica el metacognoscimiento, la metamodelización y el conocimiento metacognitivo.

La modelización en su dimensión instrumental aboga por la utilización de instrumentos como dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, simulaciones, imágenes, analogías y experimentos mentales (Nersessian, 1995), entre otros, para generar modelos científicos que sean depurables.

La modelización como estrategia de enseñanza se define como el enfoque didáctico para que un docente en el aula promueva una evolución en los modelos de los estudiantes. Esto implica beber de varios de los tipos de modelización definidos anteriormente para generar secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA) (Plaza y Rubilar, 2020) o ciclos didácticos de modelización.

Volviendo a la didáctica y al desafío de enseñar ciencia, existen aproximaciones didácticas para su enseñanza y aprendizaje que se basan en los tipos de modelización definidos anteriormente, tales como el modelo didáctico analógico (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), la resolución de problemas científicos con base en competencias científicas (Labarrere y Quintanilla, 2002), la modelización según el cambio químico (Merino-Rubilar e Izquierdo, 2011), el diseño de problemas con una aproximación toulminiana (Merino-Rubilar et al., 2014) y la indagación científica (Ernst et al., 2017; Mercedes y Tembladera, 2013).

En este manuscrito se ha usado la teoría de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias basada en la construcción y revisión de modelos mentales, MOMENT (Clement, 2022; Nunez-Oviedo, 2004; Nunez-Oviedo y Clement, 2019), para provocar el avance de las preconcepciones del estudiantado hacia modelos científicos aceptables en una clase teórico-práctica de estequiometría con gases. Esta teoría aúna las modelizaciones (1), (4) y (5) propuestas por Oliva (2019) y utiliza un ciclo didáctico de coconstrucción del conocimiento científico.

A continuación, se explica la teoría MOMENT y el ciclo didáctico para llevarla a cabo.

MARCO TEÓRICO

La didáctica basada en la teoría MOMENT tiene algunos principios en los que se asienta (Nunez-Oviedo y Clement, 2019) y que son numerados a continuación:

1. Los razonamientos y heurísticos que utilizan los científicos para construir el conocimiento (Clement, 2022).
2. Los ciclos de generación, evaluación y modificación (GEM) que se usan para construir y modificar modelos mentales gracias al conflicto cognitivo (Clement, 1989; Flores-Morales, 2023).
3. El uso de un ciclo didáctico de coconstrucción del conocimiento (Nunez-Oviedo, 2004).
4. La anidación del conocimiento científico (Machamer et al., 2000; Nunez-Oviedo, 2004).
5. La organización jerárquica de los procesos cognitivos del modelamiento para la construcción y revisión de modelos mentales (Clement, 2022).

Los puntos 1, 2 y 3 serán explicados a continuación debido a que forman parte de la intervención didáctica que reporta esta investigación. Los puntos 4 y 5 (implícitos en este estudio) no serán desarrollados por límites de extensión. El lector puede ahondar en dichos puntos consultando las referencias correspondientes.

Los razonamientos y heurísticos que utilizan los científicos para construir el conocimiento

Cuando los científicos trabajan en el laboratorio, se tiene la impresión de que siempre utilizan el método científico (Amiel Pérez, 2007; García, 2020) para lograr resultados reproducibles y conclusiones verosímiles. Si bien esta forma de construir el conocimiento científico está muy expandida desde el siglo XVI (Matías González y Hernández Alegría, 2014), es importante señalar que su uso no es tan rígido, e incluso puede llegar a ser inexistente (Bauer, 1994). Este hecho lo confirma la investigación sobre naturaleza de la ciencia (NOS) al señalar que su enseñanza se basa mucho en el «realismo icónico» (las teorías científicas indican cómo funciona el mundo). En palabras de Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo (2021), «no existe el tan mentado método científico, pues no hay un conjunto único y fijo de normas que sean seguidas universalmente por los científicos en su labor».

Para ilustrar este punto, se harán uso de las ideas de Clement (1989) que se resumen en la figura 1.

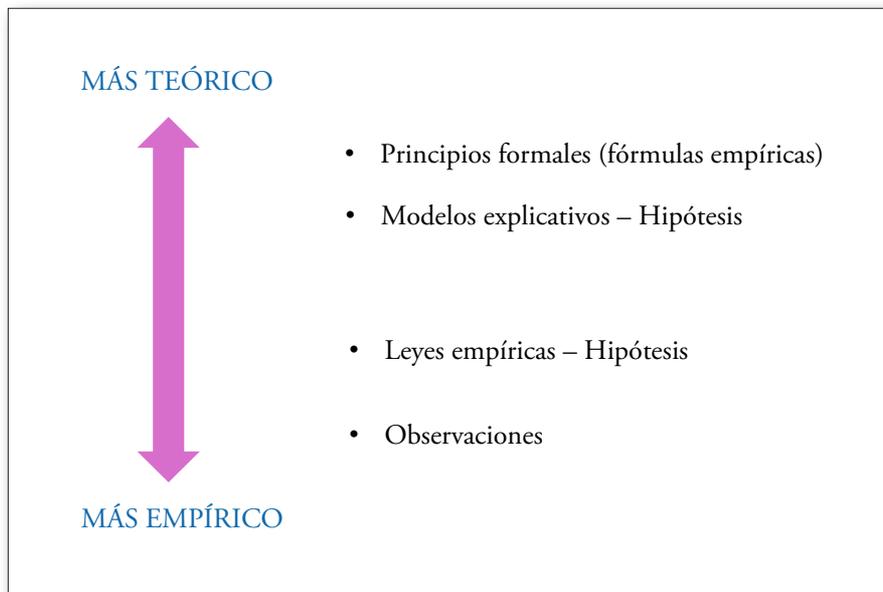


Fig. 1. Tipos de conocimiento científico (adaptado de Clement, 1989).

Para explicar un fenómeno observado (mundo macroscópico), los científicos de las ciencias naturales se enfrentan a un mundo micro- o (sub)microscópico que no se ve a simple vista, pero que explica el fenómeno, y los investigadores deben conectar ambos mundos. Esta conexión requiere de razonamientos no formales y heurísticos (conceptos que se abordarán más adelante), de la construcción y revisión de modelos mentales gracias a la sociocognición (los científicos trabajan en grupos de investigación) y de la reflexión metateórica de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2009).

Particularmente importante es la definición de modelo mental para esta investigación. Un modelo mental (MM) es una representación mental que trata de explicar la causa inobservable de un fenómeno observable y que, principalmente, contiene imágenes complementadas con sonido, movimiento u otras características, siendo evolutivo en el tiempo y, por tanto, predictivo después de su máxima iteración. En este sentido, recoge las definiciones de Johnson-Laird (1983) y Norman (2014) con la finalidad de decantar el sentido polisémico que pueda tener su definición (Gutierrez, 2005).

Tal como se observa en la figura 1, el conocimiento científico estratificado va desde un conocimiento más empírico a un conocimiento más teórico. Usualmente, se comienza con un fenómeno visible (Baker, 2006) y para esclarecerlo se plantean hipótesis (Abreu, 2012; Espinoza, 2018), es decir, se crean explicaciones probables de cómo ocurre el fenómeno. Las hipótesis pueden ser reconsideradas o desechadas, pero una vez que se comprueba que el fenómeno se comporta de la misma forma, cada vez que se reproduce bajo las mismas condiciones, se enuncia una ley (Vexler, 1998). Debido a la pura experimentación consecutiva sin que se perciban cambios en la esencia de este, se sienta el precedente de que el fenómeno siempre ocurrirá así. Pero tras enunciar la ley es necesario buscar un modelo (mental, por ejemplo) que explique la causa del fenómeno. Es en este punto donde la construcción del conocimiento científico se separa del método científico, pues casi siempre los modelos propuestos rehúyen la formalidad (Clement, 2008). En muchas de las teorías suele ocurrir que los modelos mentales derivan en ecuaciones matemáticas que tienen la función de predecir el comportamiento del fenómeno, modificando alguna(s) variable(s). A esto se le llama principios formales, lo que corresponde a la parte superior de la figura 1.

Probablemente, en este momento surja la pregunta: «¿Y cómo se puede transitar de los modelos explicativos a los principios formales?». De acuerdo con Clement (1989, 2022), los científicos utilizan razonamientos no formales y heurísticos para crear conocimiento.

Los razonamientos no formales (RNF) se refieren a procesos cognitivos que no corresponden solo al pensamiento lógico puro, sino también a razonamientos como eventos discrepantes (Rea-Ramírez et al., 2009), experimentos mentales y analogías (Clement, 2008), imaginería mental (Price et al., 2017) y ciclos de refinamiento de ideas (Flores-Morales, 2023) que cualquier persona puede utilizar.

Los heurísticos (H) son razonamientos aún menos formales o métodos no rigurosos para resolver problemas (Real Academia Española, 2001), como la parcelación de problemas, el principio KISS (*keep it simple, stupid!*), el tanteo, el *tincómetro* o la intuición, un conocimiento súbito sobre algo (*insight*), el sentido común, la estimación y la estimación fundamentada (*educated guess*) (Nunez-Oviedo, 2004).

A través de estos razonamientos, los científicos realizan acciones hasta descifrar el comportamiento no observable que explica el fenómeno macroscópico (Clement, 1989), lo que se denomina modelización mental o, en palabras de Nersessian (1995, p. 207), «un proceso de razonamiento no formal dinámico que involucra el uso de analogías, imaginería y simulación mental para crear modelos mentales explicativos de fenómenos naturales».

Los ciclos de generación, evaluación y modificación (GEM) que se usan para construir y modificar modelos mentales gracias al conflicto cognitivo

Si bien los razonamientos no formales y los heurísticos están presentes en la construcción del conocimiento científico, no proporcionan inmediatamente la explicación al fenómeno. Para esto, los científicos acoplan los razonamientos no formales y heurísticos con múltiples ciclos de refinamiento o ciclos de generación, evaluación y modificación (GEM). En la figura 2 se muestra un esquema del proceso que se efectúa en un ciclo GEM.

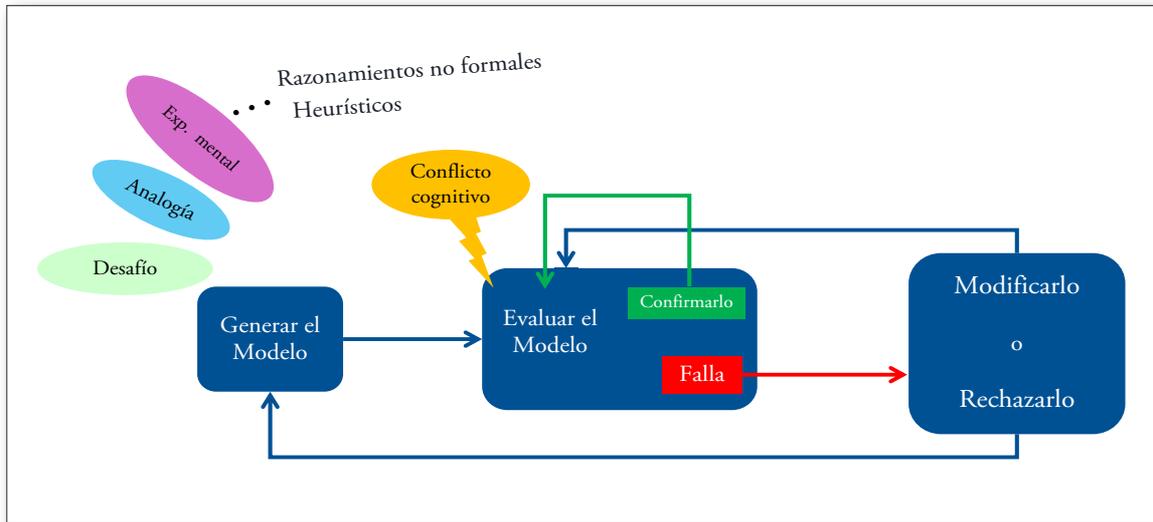


Fig. 2. Ciclos GEM (generación, evaluación, modificación) de construcción del conocimiento que realizan los científicos (adaptado de Núñez-Oviedo y Clement, 2019).

El primer paso en la figura 2 es la generación de un MM. Por ejemplo, en la reacción química clásica del ácido acético con bicarbonato de sodio se puede preguntar al estudiantado: «¿A qué se debe la efervescencia que aparece?». Esta pregunta inicial genera (G), obligatoriamente, una hipótesis o modelo explicativo del fenómeno (Clement, 1989). La respuesta del estudiantado podría ser: «Se debe a la aparición de un gas». El segundo paso en la figura 2 es evaluar si la respuesta es coherente con el modelo propuesto. Para ello, el docente hace uso del conflicto cognitivo o CC (Gavilán, 2009). En este sentido, una pregunta pertinente del docente podría ser: «¿Y cómo sabes que es un gas si no lo puedes ver?». La pregunta del docente necesariamente debe llevar al estudiante a evaluar (E) su hipótesis (MM). Si la respuesta es satisfactoria –cuestión que decide el docente–, el modelo se confirma y puede que necesite mínimos ajustes. Si la respuesta no es satisfactoria, el estudiante debe modificar (M) su modelo y buscar una alternativa acorde. Este modelo vuelve a pasar por E (realizar CC) y se sigue el ciclo. Si la explicación del estudiante falla rotundamente, no queda más que rechazar el modelo y se debe generar uno nuevo desde cero. Los científicos realizan el mismo proceso para llegar a las explicaciones de los fenómenos, y cuando la hipótesis falla, echan mano a otros RNF o H como los que aparecen en los párrafos precedentes.

Mediante estos ciclos GEM es como el conocimiento científico avanza y evoluciona, lo que implica que son procesos iterativos y recursivos que nacen de la sociocognición entre sus participantes y que permiten confirmar, modificar o rechazar su(s) MM.

El uso de un ciclo didáctico de coconstrucción del conocimiento

La investigación sobre cómo razonan los físicos llevó a Clement (1989) a preguntarse cómo trasponer su *modus operandi* al aula. Una de las premisas de enseñar ciencia es que el estudiantado experimente con la materia como lo haría un científico, pero muchos estudiantes ingresan en la universidad sin haber pasado por un laboratorio. La teoría MOMENT permite suplir, en parte, esta necesidad haciendo razonar científicamente a los estudiantes mediante un ciclo didáctico (Flores-Morales, 2023; Nunez-Oviedo, 2004). El ciclo didáctico mostrado en la figura 3 posee una ruta de aprendizaje para el estudiante, interior, y una ruta de enseñanza para el docente, exterior.

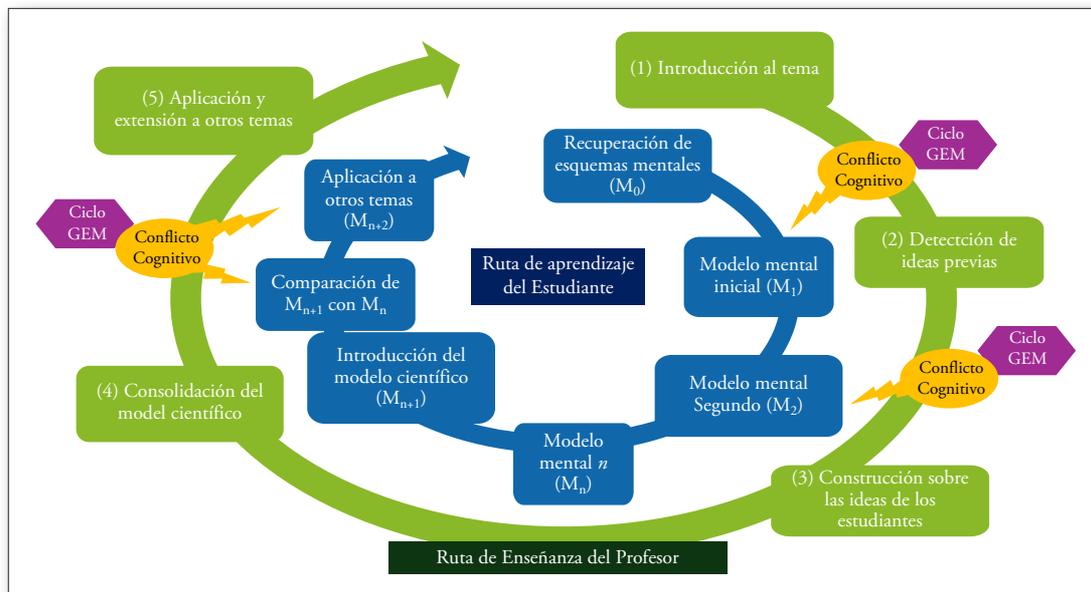


Fig. 3. Ciclo didáctico de coconstrucción del conocimiento (adaptado de Núñez-Oviedo, 2004). El estudiantado construye con el docente el conocimiento científico (modelo científico) gracias a la evolución de sus modelos mentales (modelización mental).

El propósito de este ciclo didáctico es que los docentes realicen una coconstrucción del conocimiento junto a los estudiantes para que lleguen lo más cerca posible al modelo experto (figura 4), que es el concepto que se quiere enseñar. Dicho de otro modo, las clases no son expositivas.

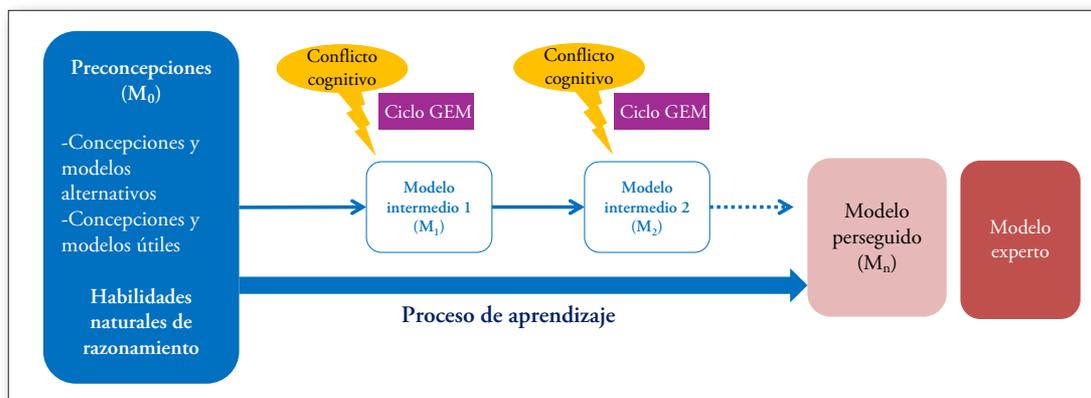


Fig. 4. Ruta de aprendizaje del estudiante (adaptado de Núñez-Oviedo y Clement, 2019).

En la figura 4 se muestra de izquierda a derecha el refinamiento de las ideas, lo que se explica como sigue. El estudiantado posee preconcepciones alternativas e ideas útiles y cómo todo ser humano tiene habilidades naturales de razonamiento. Al comenzar un tema o unidad un docente se encuentra con las preconcepciones y debe hacer avanzar al estudiantado hasta el MM «perseguido», que sería lo más cercano al modelo experto, ME (contenido científico), y requiere que su MM primario (M_0) vaya avanzando desde M_1 a M_n (esto es, refinarlo para que evolucione). Esto se consigue usando los ciclos GEM, y el conflicto cognitivo, lo que requiere un gran esfuerzo por parte del docente. A veces los estudiantes no tienen preconcepciones sobre un tema y es necesario ayudarlos a construir las (con analogías, por ejemplo). También se observa que los estudiantes no quieren abandonarlas (Fernández-Lozano et al., 2017; Mahmud y Gutiérrez, 2010), y que el ciclo didáctico ayuda a superar estas preconcepciones.

La figura 3 se puede explicar ahora en términos de la teoría precedente. El ciclo didáctico comienza primero con una introducción al tema. Por ejemplo, el docente puede decir: «Buenos días estudiantes, hoy hablaremos de reacciones químicas». Al hacer esto, los estudiantes recuperan los MM que pudieran tener (M_0), es decir, se sitúan.

El segundo paso consiste en una detección de ideas previas para conocer lo que saben del tema: «¿Qué pasa si se mezcla vinagre con bicarbonato de sodio?». Con esto se provoca en el estudiantado un primer modelo mental (M_1) y, además, el docente evalúa y traza un plan para hacerles llegar el ME con estos conocimientos previos.

En el tercer paso, y para mejorar M_1 , se usan distintos razonamientos no formales o heurísticos (figura 2). Por ejemplo, tras haber filtrado las respuestas del paso dos (figura 3), se pregunta a los estudiantes: «¿Qué harían para determinar la cantidad de moléculas del gas generado en la reacción entre ácido acético y bicarbonato de sodio?». En este caso, la G del MM corresponde a un «desafío» e imaginación mental (figura 2); los estudiantes pasan de su M_1 al modelo experimental más refinado (M_2), que cognitivamente es superior a M_1 (figura 4). Para lograr esto, se utilizan los ciclos GEM y el conflicto cognitivo. Los estudiantes idean varias maneras de responder al desafío planteado (G), probarán si su hipótesis es correcta (E) y el docente realizará CC para obligarlos a modificar (M) su montaje y lograr el objetivo, o, por el contrario, lo desecharán, pues son demasiadas las variables que no tomaron en cuenta. Este nuevo modelo mental (M_2) puede sufrir nuevos procesos de refinamiento o iteraciones (M_3, M_4, \dots) para ayudar al estudiantado a llegar lo más cerca posible al modelo experto (imaginar el montaje y construirlo).

El cuarto paso del ciclo didáctico es la entrega del modelo científico. Una vez que los estudiantes se han aproximado al modelo experto, se les entrega el concepto que se está enseñando. En el ejemplo de la determinación del número de moléculas de $\text{CO}_2(g)$, se les podría mostrar la ley de Dalton para determinar la presión parcial del $\text{CO}_2(g)$, lo que deriva en el modelo experimental creado por Boyle (quien utilizó modelización mental; Pagel, 1962). En este paso también se realiza una comparación con los modelos mentales anteriores, rescatando las preguntas del paso dos e incorporando otras como: «¿Sospechaban que la cantidad de moléculas de $\text{CO}_2(g)$ se determinaba así? ¿Qué tan cerca están sus montajes respecto a la técnica aceptada para determinar lo pedido?». Es en ese momento cuando los estudiantes aprenden, pues ellos mismos han sido los protagonistas del descubrimiento del contenido y, comparando sus MM anteriores con el experto, se pueden dar cuenta de sus errores y reestructurar sus ideas.

En el quinto paso se puede aplicar el MM obtenido desarrollando problemas de estequiometría, o extenderlo, es decir, llevarlo a otra situación nueva, como determinar los moles del gas en otro volumen.

En este estudio de caso se mostrarán los resultados obtenidos, al usar la teoría MOMENT en un par de clases teórico-prácticas para la enseñanza de estequiometría con gases. Específicamente, los estudiantes tendrán como misión determinar el número de moléculas de $\text{CO}_2(g)$ a partir de la reacción

entre $\text{NaHCO}_3(s)$ y $\text{HCl}(ac)$. En concreto, se centrará la discusión en el uso de los ciclos GEM y el conflicto cognitivo para hacer avanzar los MM del estudiantado hacia el modelo experto, dejando la explicación del ciclo didáctico (implícito) para otro manuscrito, dado que esta requiere una mayor extensión.

Es importante señalar que esta investigación se basa en la experiencia de Concha et al. (2019), en la que se vio que la ejecución de clases teórico-prácticas producen mejores calificaciones que las teóricas y experimentales confirmatorias, pero usando una planificación basada en el ciclo didáctico de la teoría MOMENT.

Así, este manuscrito se estructura de la siguiente forma. Después de este marco teórico, se da paso a la metodología, para continuar con los resultados y su discusión. Para finalizar, se plantean algunas conclusiones y desafíos futuros.

METODOLOGÍA

Información de la muestra

La muestra estuvo formada por:

- 34 estudiantes, que cursaron por segunda vez la asignatura Química General I; 18 mujeres (53 %) y 16 hombres (47 %).
- Las edades fluctuaron entre los 18 y 20 años (88 % con 18; 6 % con 19; y 10 % con 20 años).
- La procedencia geográfica fue como sigue: veinte estudiantes provenían de la ciudad principal donde se ubica la universidad (Ciudad 1), cuatro estaban a 10 km de la ciudad principal (Ciudad 2), ocho a 25 km (Ciudad 3) y dos a 40 km (Ciudad 4).
- Los estudiantes provenían de tres carreras con diferentes índices QG1 y QG2, de acuerdo con su vinculación con la química (Hidalgo et al., 2015), y que requieren altas competencias en esta disciplina.
- No fue posible caracterizar la procedencia socioeconómica porque esta información es confidencial.

Planificación, desarrollo y evaluación de la actividad

Los estudiantes se reunieron en pares o tríos para realizar, en dos sesiones, la reacción ácido-base de ácido clorhídrico diluido ($\text{HCl}(ac)$) y bicarbonato de sodio sólido ($\text{NaHCO}_3(s)$), y determinar la cantidad de moléculas de dióxido de carbono ($\text{CO}_2(g)$) generadas por la reacción. Para esto, debían diseñar, dibujar, armar y luego poner en marcha un aparato de captura de gases (ACG).

Se utilizó la reacción de $\text{HCl}(ac)$ y $\text{NaHCO}_3(s)$ debido a su rapidez y facilidad para producir $\text{CO}_2(g)$. El docente y la ayudante a cargo pusieron a punto el experimento y descubrieron que, para que el $\text{CO}_2(g)$ generado no se escapara del matraz Erlenmeyer inmediatamente, el estudiante debía envolver el $\text{NaHCO}_3(s)$ en un trocito de pañuelo desechable y lanzarlo a la disolución de $\text{HCl}(ac)$. Para capturar el gas, los estudiantes podían elegir entre el guante de hule y el globo (sesión 1). Además, se les instó a pedir otros materiales para cumplir el objetivo del ejercicio práctico.

Las sesiones prácticas se realizaron en uno de los laboratorios de la facultad respectiva. Para que el experimento siguiese los pasos del ciclo didáctico, se creó un guion (secuencia) didáctico (no mostrado) que contuviera lo que el docente a cargo debía hacer y decir, las respuestas posibles del estudiantado y los recursos didácticos que emplear.

Desarrollo de la actividad experimental

En la sesión 1, se les proporcionó a los estudiantes materiales convencionales y no convencionales para lograr el desafío: HCl 1,0 mol/l, NaHCO₃ sólido (1 a 5 g), una pipeta graduada, una propipeta, un matraz Erlenmeyer, un globo de hule, un guante de hule, trozos (3 × 3 cm²) de pañuelos desechables, cinta adhesiva, una espátula y una balanza analítica.

En la sesión 2, los estudiantes usaron el HCl(ac) y el NaHCO₃(s), pero su cantidad se redujo a 0,200 g (ciclo GEM-3 en la tabla 1). Los materiales usados fueron un matraz Erlenmeyer, una probeta de 100 ml, una manguera y un tapón de hule, un vaso de precipitado plástico de 1 l, una regla plástica de 15 cm y trozos de hojas de periódico de 3 × 3 cm².

Durante las dos sesiones se fomentó el diálogo entre los estudiantes y el guía para tutelar el trabajo experimental y promover la ocurrencia de CC y ciclos GEM.

Para medir los conocimientos y las habilidades logrados, al final de cada sesión los estudiantes entregaron un informe de laboratorio (anexo A1).

Análisis de calificaciones

Las calificaciones del informe de laboratorio de las sesiones 1 y 2 fueron transformadas en un porcentaje de logro y representadas como gráfico de barras para su comparación (figura 6).

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Panorámica del desarrollo de las sesiones prácticas

Las sesiones teórico-prácticas utilizaron los cinco pasos del ciclo didáctico (figura 5). En la sesión 1, paso 1, el docente recordó lo estudiado en la clase previa sobre las reacciones químicas, lo que retrotrajo los conocimientos previos. En el paso 2, el docente usó como ejemplo la reacción entre Cl₂(g) y Na(s) con preguntas como: «¿Qué ven en la imagen? ¿Qué se formará si junto estos dos elementos?», ideas que fueron «reparadas» en el paso 3. Para esto, el docente desafió a los estudiantes a determinar la cantidad de moléculas de CO₂(g) producidas en la reacción entre HCl(ac) y NaHCO₃(s), utilizando los materiales de la sesión 1. El paso 4 implicó mostrarles cómo se armaba el ACG, mientras que el paso 5 consistió en una aplicación de estequiometría inversa. Una vez realizado el experimento, los estudiantes completaron la *Guía de Aprendizaje: Experimentando Reacciones Químicas* (anexo A1).

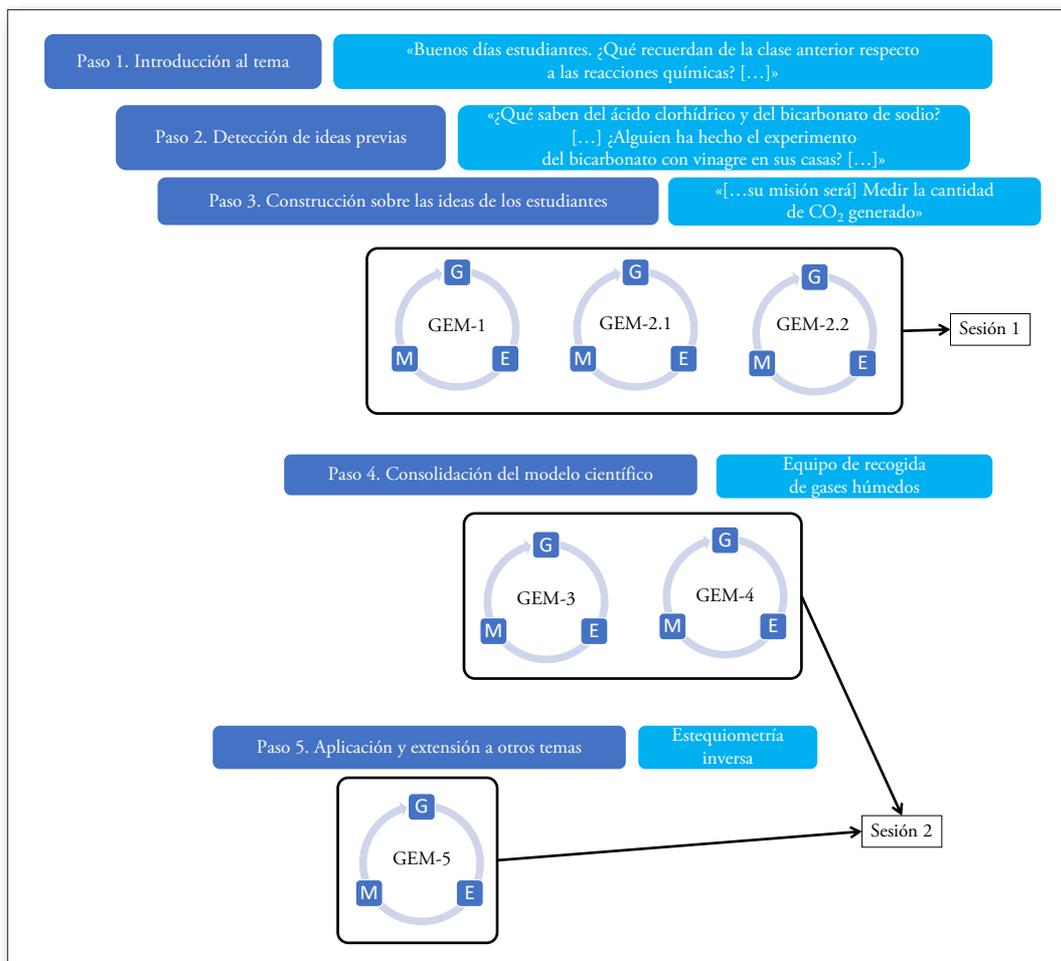


Fig. 5. Esquema resumen del desarrollo de las sesiones teórico-prácticas.

Evidencia de los ciclos GEM y el conflicto cognitivo en la sesión 1

Una vez que los estudiantes recibieron los materiales y reactivos para el desafío, se produjeron tres ciclos GEM, que se describen a continuación.

Primero, los estudiantes diseñaron un modelo experimental del ACG (G) y lo dibujaron (en la *Guía de Aprendizaje: Experimentando Reacciones Químicas*, anexo A1), y lo probaron (E) con escaso éxito. Enseguida, los grupos buscaron la causa (sociocognición) de su fracaso, y se originaron varios CC, ya sea internos (provocados por el propio sujeto) o externos, promovidos por los docentes guías; por ejemplo, no consideraron las presiones de otros gases o el diseño no cumplía la ley básica de la conservación de la materia. Gracias a esto, los estudiantes modificaron (M) o rechazaron (R) su diseño, y se creó un nuevo ACG.

En la tabla 1 se muestran los ciclos GEM detectados que ocurrieron durante la construcción y revisión de los MM de los estudiantes junto a las preguntas discrepantes realizadas por los guías que promovieron el CC, que, a su vez, resultaron en M o R del modelo experimental del ACG. El análisis que viene a continuación se centra en describir los ciclos GEM realizados por el estudiantado cuando se realizó el paso 3 del ciclo didáctico. Los ciclos GEM 1, 3, 4 y 5 se le ocurrieron a todo el estudiantado, mientras que los ciclos GEM 2.1 y 2.2 son particulares de algunos grupos.

Tabla 1.
Ciclos GEM realizados por el estudiantado junto
a los conflictos cognitivos que se les propusieron, así como sus respuestas a estos

| | I | II | III | IV | V |
|----------------------------|---|--|---|---|---------------------------------------|
| <i>Número de ciclo GEM</i> | <i>Generación (G)</i> | <i>Evaluación (E)</i> | <i>Preguntas discrepantes</i> | <i>Respuesta del grupo</i> | <i>Modificación (M) o rechazo (R)</i> |
| 1 | Pesar todo antes de la reacción | Pesar todo después de la reacción | ¿Qué dice la ley de conservación de la materia [...]? | La masa total de las sustancias se conserva [...] la diferencia de masas [...] es prácticamente cero | Rechazo |
| 2.1 | Pesar solo el globo | Pesar el globo con el gas capturado | ¿Están seguros de que todo el CO ₂ está dentro del globo? ¿Qué [...] propiedades [tiene] un gas dentro de un recipiente? | «Ocupa todo el recipiente que lo contiene» [...] si el matraz y el globo estaban conectados [...] es posible que dentro del matraz también haya quedado CO ₂ | Rechazo |
| 2.2 | Determinar la cantidad de moléculas de CO ₂ midiendo el volumen del globo con el gas capturado | Medir el diámetro del globo con una regla. Usar la ecuación $V = 4/3 \pi r^3$ Usar la ley de los gases ideales para determinar n (moles) | ¿Están seguros de que todo lo que capturaron dentro del globo es solo CO ₂ ? | Es posible que antes [...] hubiera aire en el matraz y en el globo | Rechazo |
| 3 | Conversatorio [...] para montar un equipo recolector de gases húmedo Instrucción de cómo armarlo | Usar la misma cantidad de NaHCO _{3(s)} que en los intentos anteriores | ¿Por qué se les escapó el gas de la columna de agua? | Hay que utilizar una cantidad de masa menor de NaHCO _{3(s)} | Modificación |
| 4 | Usar el mismo equipo recolector de gases | Usar una cantidad de alrededor de 0,200 g | ¿Qué sucedió durante la reacción? | [...] el CO ₂ se mantuvo dentro de la probeta y se midió su volumen y la cantidad de moléculas mediante la utilización de la ecuación de los gases ideales | Confirmación |
| 5 | Determinar la masa inicial de NaHCO ₃ mediante estequiometría inversa | Usar los moles de CO ₂ calculados, usar la estequiometría 1:1 entre CO ₂ y NaHCO ₃ y transformar los moles de este a masa | ¿Qué valor de masa esperarían obtener? | El mismo que el que pesamos, pero... ¡¡la masa inicial de NaHCO ₃ es menor!! | Modificación |

En el ciclo GEM-1 de la tabla 1, los grupos pesaron materiales y reactivos antes y después de la reacción. Su MM decía que la masa del $\text{CO}_2(g)$ sería diferente antes y después de la reacción. Sin embargo, la diferencia obtenida fue mínima porque su MM era erróneo, debido a que no se crea materia. El docente preguntó a los estudiantes: «¿Qué dice la ley de conservación de la materia de Lavoisier-Lomonósov?» (GEM-1 y columna III, tabla 1) y los grupos contestaron que la masa total de las sustancias se conserva y, al no haber diferencias, desearon su ACG y construyeron otro.

Algunos grupos volvieron con la idea descrita en el ciclo GEM-2.1. Decidieron pesar solo el globo, capturar todo el $\text{CO}_2(g)$ producido dentro, sellar su abertura con cinta adhesiva y pesarlo (G). Por diferencia de masas obtuvieron la masa de $\text{CO}_2(g)$ y, mediante su masa molar, determinaron la cantidad de moléculas (E). Sin embargo, el docente preguntó: «¿Qué recuerdan de las propiedades de un gas dentro de un recipiente?» (GEM-2.1 y columna III, tabla 1). Los grupos respondieron: «Ocupa todo el recipiente que lo contiene». Entonces, los estudiantes se dieron cuenta de que en su ACG el matraz y el globo estaban conectados, por lo que dentro del matraz también habría quedado $\text{CO}_2(g)$. Por este motivo, rechazaron (R) su montaje de ACG. Una versión similar fue la que aportó otro grupo de estudiantes en el ciclo GEM-2.2. (columna IV, tabla 1). Si capturaban el gas dentro del globo (G), determinarían el número de moléculas de $\text{CO}_2(g)$ así; al medir el diámetro del globo con una regla, establecerían su volumen, usarían la ley de los gases ideales para obtener moles, y el número de Avogadro (N_A) para determinar el número de moléculas (E). El docente les preguntó: «¿Están seguros de que todo lo que capturaron dentro del globo es solo CO_2 ?». Al principio, los estudiantes contestaron afirmativamente, por lo que el docente contrapreguntó: «¿Estaba vacío el globo antes de ponerlo sobre el matraz?». El estudiantado notó que el globo y el matraz pudieron contener aire, y que no lo expulsaron antes de efectuar la reacción química. Así, este MM también fue rechazado (R) y procedieron con otra idea. En resumen, en la sesión 1 se realizaron tres ciclos GEM (figura 5) que provocaron el rechazo de tres MM, con lo cual la evaluación del anexo A1 tuvo magros resultados (figura 6), como era de esperar.

En toda esta discusión es posible observar la combinación de tres tipos de modelización, de acuerdo con Oliva (2019): 1) la modelización como progresión de modelos, porque las ideas del estudiantado evolucionan o se desechan de acuerdo con la ejecución del experimento; 2) la modelización en su dimensión instrumental, debido al cambio de montaje y al de modelo experimental; y 3) la modelización como estrategia de enseñanza, realizada por los guías que cuestionan sus ideas, que se reestructuran mediante preguntas discrepantes y CC.

Evidencia de los ciclos GEM y el conflicto cognitivo en la sesión 2

Previo a la segunda sesión, los estudiantes investigaron cómo montar el ACG de Boyle. El paso 3 del ciclo fue corto, dado que para pasar de los montajes de la sesión 1 al aceptado se requerirían varias sesiones para evolucionar sus ideas, por lo que se les entregó el modelo experimental.

En el paso 4 del ciclo didáctico (figura 5) se realizaron dos ciclos GEM. En el ciclo GEM-3 (columna IV, tabla 1) se montó el ACG aceptado y se realizó la reacción con la misma masa de $\text{NaHCO}_3(s)$ de la sesión 1 (G). Este procedimiento fue intencional por parte de los guías. La cantidad de $\text{CO}_2(g)$ producida fue tan grande que desplazó la columna de agua fuera de la probeta y el gas escapó al ambiente (E). Los guías preguntaron: «¿Por qué se les escapó el gas?». Los estudiantes entendieron que la cantidad de $\text{NaHCO}_3(s)$ fue excesiva, por lo que debían disminuirla en el siguiente intento. Esto se denota como una modificación (M) (GEM-3 y columna V, tabla 1) del MM.

En el nuevo experimento, los grupos utilizaron 0,200 g de $\text{NaHCO}_3(s)$ (G) (GEM-4 y columna IV, tabla 1), y el $\text{CO}_2(g)$ se mantuvo dentro de la probeta (E); midieron su volumen y determinaron el número de moles con la ecuación de los gases ideales, y el número de moléculas con el N_A (C). Además, el estudiantado usó la ley de Dalton para obtener la presión del gas.

Este procedimiento más riguroso devela que gracias al refinamiento de ideas, que son el resultado de varios ciclos GEM, el estudiantado aprendió que para cuantificar la cantidad de un gas se necesita un equipo sofisticado.

El ciclo GEM-5 (columna IV, tabla 1) se realizó en el paso 5 del ciclo didáctico (figura 5). Se les pidió a los estudiantes comprobar si la ley de conservación de la materia se cumplía con la estequiometría inversa. El docente preguntó: «¿Qué valor de masa [de NaHCO_3] esperarían que les diera?». El estudiantado respondió: «El mismo que el que pesamos» (G), pero al hacer los cálculos quedaron desconcertados: «¿La masa inicial de bicarbonato es MENOR que la que pesamos!» (E). El docente preguntó: «¿Por qué ha ocurrido esto?». Los estudiantes explicaron (como MM) que el gas se habría escapado por alguna parte. Sin embargo, la explicación era errónea, pero el docente no promovió la modificación (M), sino que dejó este ciclo abierto porque el estudiantado no tenía la noción de solubilidad de gases en agua (GEM-5 y columna V, tabla 1). Incluso, el docente explicó este concepto, pero ningún grupo reparó en el error de determinar la cantidad de moléculas de $\text{CO}_2(g)$ si parte de la masa queda en el agua. Esta discusión se pretende introducir con muestras más grandes de estudiantes.

Comparación de calificaciones entre informe de trabajo práctico previo (sesión 1) y posterior (sesión 2)

Tras las sesiones 1 y 2, los grupos de estudiantes debían completar el informe de trabajo práctico del anexo A1, a medida que progresaban en el experimento. Las diferencias en las calificaciones entre los informes de la sesión 1 y 2 se muestran como porcentajes de logro en la figura 6.

En la figura 6 se observa que en la sesión 1 solo un grupo (el 5) superó el 50 % de logro (calificación mínima para aprobar). Como ningún grupo logró el objetivo, lo que era esperable, no pudieron completar la mitad del informe, de ahí su baja calificación. De hecho, el informe pedía ingresar parámetros que solo podían obtener si realizaban el experimento con el ACG. Esto se hizo con la finalidad de que el estudiantado comprendiera que para lograr el objetivo se requiere un aparato sofisticado y no «materiales caseros». Es evidente que el alumnado implícitamente asimiló este hecho.

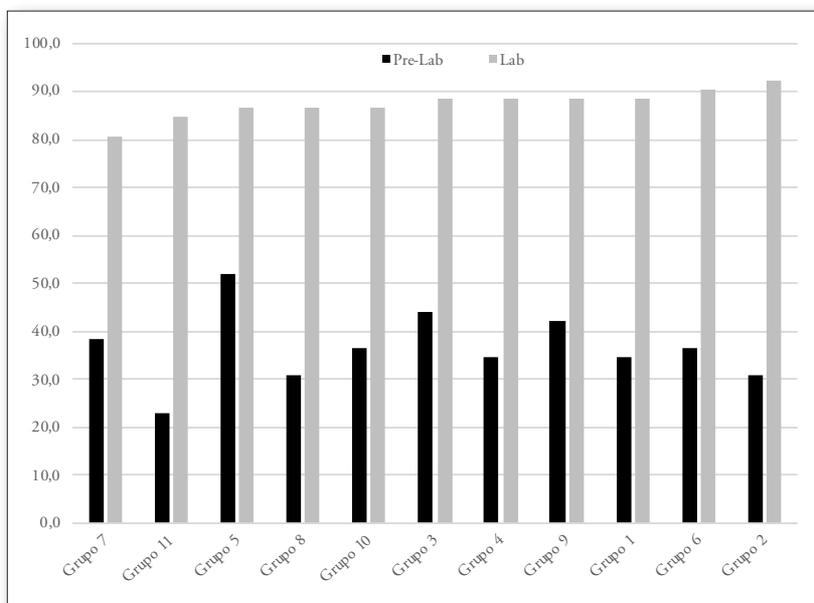


Fig. 6. Calificaciones obtenidas por los grupos de estudiantes en el informe de laboratorio para las dos sesiones realizadas.

En la sesión 2 el porcentaje de logro fue entre un 81 y un 92 %. Este resultado indica que, mediante la sociocognición y los ciclos GEM, fue posible que el estudiantado avanzara desde sus ideas primigenias incorrectas a modelos mentales más avanzados o casi científicamente correctos, que derivaron en el montaje y uso del ACG para cumplir el desafío. Es evidente que entre la sesión 1 y la 2 existe una gran brecha para pasar de un montaje a otro, pero el mero hecho de que los estudiantes evolucionaran sus modelos experimentales (partiendo de modelos mentales erróneos) implica un aprendizaje, tal como lo hacen los científicos (por tanteo y simulaciones mentales, por ejemplo) (Clement, 2022). Ningún grupo alcanzó el 100 % de logro, debido a que no explicaron el resultado obtenido por estequiometría inversa. En próximas versiones de este estudio se espera que los estudiantes lo expliquen.

CONCLUSIONES

Una actividad teórico-práctica que plantea al estudiantado un desafío experimental estequiométrico deriva en una clara inclinación de este a realizar la actividad proponiendo ideas (modelos mentales que llevaron a modelos experimentales) para cumplir el desafío.

En el desarrollo, los estudiantes usaron razonamientos no formales o heurísticos, como el tanteo, la imaginación mental o los dibujos, mediante la asistencia de los guías. Además, este proceso promovió ciclos GEM, cinco de los cuales se repitieron con más frecuencia y fueron promovidos por preguntas discrepantes especialmente diseñadas para promover CC. Es decir, suscitaban sucesivas mejoras de ideas hasta construir la científicamente correcta (consolidación del aprendizaje).

Las calificaciones cercanas al 85 % insinúan que esta actividad teórico-práctica promueve el razonamiento científico. Sin embargo, se hace necesario un estudio confirmatorio mediante preguntas abiertas y entrevistas al estudiantado para profundizar en la evolución de sus MM. Además, sería interesante introducir preguntas que apunten al fenómeno observable (la estequiometría de la reacción), por ejemplo, qué masa de producto se puede obtener a partir de una masa dada de reactante.

La actividad experimental posee algunos matices y detalles que el estudiantado no logra percibir (colisiones, ruptura y formación de enlaces) y que es necesario reforzar en estudios posteriores con muestras más grandes.

La forma de enseñar las ciencias naturales o el conocimiento científico seguirá siendo materia de estudio en tanto en cuanto:

El gran éxito de la ciencia moderna reside en la capacidad de construir hechos crudos y testarudos capaces de silenciar las controversias. La objetividad así lograda permite a los científicos afirmar que es «la naturaleza la que habla» a través de sus curvas y gráficas, porque responde obedientemente a sus preguntas (Bensaude-Vincent y Dorthe, 2022, p. 21).

AGRADECIMIENTOS

P. Flores-Morales, M. C. Nunez-Oviedo y R. Riva-Riquelme quieren mostrar su agradecimiento al proyecto DirDoc UdeC 18-014 y al alumnado que participó en este estudio.

REFERENCIAS

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, Método y Diseño de Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Adúriz-Bravo, A. (2009). Naturaleza de la ciencia y educación científica de calidad para todos y todas. *Revista Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD)*, 1-14.

- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 248-256.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 1(3), 130-140.
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 35(2), 7-28.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>
- Amador-Rodríguez, R. y Adúriz-Bravo, A. (2021). ¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria en América Latina? *Enseñanza de Las Ciencias*, 39(3), 11-31.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3272>
- Amiel Pérez, J. (2007). Las variables en el método científico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73, 171-177.
- Baker, L. (2006). Observation: A Complex Research Method. *Library Trends*, 55(1), 171-189.
<https://doi.org/10.1353/LIB.2006.0045>
- Bauer, H. H. (1994). *Scientific literacy and the myth of the scientific method* (first). Illini Books Edition.
<https://doi.org/10.1086/602537>
- Bensaude-Vincent, B. y Dorthe, G. (2022). Le doute, méthode scientifique ou vertu citoyenne? *Raison Présente*, 222(2), 19-28.
<https://doi.org/10.3917/rpre.222.0019>
- Cardellini, L. (2012). Chemistry: Why the subject is difficult? *Educación Química*, 23(2), 305-310.
[https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(17\)30158-1](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(17)30158-1)
- Carrasco Monrroy, P. A., Orellana Barahona, N. J. y Quintanilla-Gatica, M. R. (2022). Argumentación y aprendizaje de la Teoría Ácido-Base. *Educación Química*, 33(2), 50-63.
<https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2022.2.78138>
- Chamizo, J. A. (1995). Mapas conceptuales en la enseñanza y la evaluación de la química. *Educación Química*, 6(2), 118-124.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1995.2.66719>
- Chevalier, J. A., De, M. y García, J. (2022). Estrategia didáctica para mejorar el aprendizaje de Química orgánica en estudiantes de Medicina. *UCE Ciencia. Revista de Postgrado*, 10(3), 2022. <http://uceciencia.edu.do/index.php/OJS/article/view/293>
- Clement. (1989). Learning via model construction and criticism: protocol evidence on sources of creativity in science. En G. Glover, R. Ronning y C. Rynolds (Eds.), *Handbook of Creativity: Assessment, Theory and Research* (1.ª ed., pp. 341-381). Plenum.
https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5356-1_20
- Clement. (2008). *Creative model construction in scientists and students. The role of imagery, analogy, and mental simulation* (1.ª ed.). Springer.
- Clement. (2022). Multiple Levels of Heuristic Reasoning Processes in Scientific Model Construction. *Frontiers in Psychology*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.750713>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
<https://doi.org/10.1080/095006900416901>

- Concha, A., Schiappacasse, L. N., Turra, H. y Villanueva, M. T. (2019). Chemistry in context for engineering students at UCT: Transformation from a villain to a princess. *Education in the Knowledge Society*, 20, 4 1-4 16.
https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a4
- Cristobal, C. y García, H. (2013). La indagación científica para la enseñanza de las ciencias / Scientific inquiry for science teaching. *Horizonte de La Ciencia*, 3(5), 99-104.
<https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2013.5.81>
- Ernst, D. C., Hodge, A. y Yoshinobu, S. (2017). What is inquiry-based learning? *Notices of the American Mathematical Society*, 64(06), 570-574.
<https://doi.org/10.1090/noti1536>
- Espinoza, E. (2018). La hipótesis en la investigación (Hypothesis in research). *Mendive. Revista de Educación*, 16(1), 122-139.
- Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G. y Diago, M. L. (2017). Preconcepciones en el aula de ciencias en pleno siglo XXI: la tectónica y los procesos de formación de montañas en la Educación Secundaria española. *Revista de Investigación Educativa de La Escuela de Graduados En Educación*, 7(14).
- Flores-Morales, P. (2023). Sistemas de respuesta inmediata combinada con ciclos de generación, evaluación y modificación en Química General. *Educación Química*, 34(1), 108-127. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.1.82337>
- Ford, M. J. (2015). Educational implications of choosing «practice» to describe science in the next generation science standards. *Science Education*, 99(6), 1041-1048.
<https://doi.org/10.1002/sce.21188>
- Galagovsky, L. R. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 19(2), 231-242.
<https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.4000>
- García, B. (2020). Una mirada al método científico. *Leds. Serie: Hojitas del conocimiento*, 319-320. www.cab.cnea.gov.ar/ieds
- Gavilán, P. (2009). Aprendizaje cooperativo. Papel del conflicto sociocognitivo en el desarrollo intelectual. Consecuencias pedagógicas. *Revista Española de Pedagogía*, 42, 131-148.
<https://doi.org/10.22550/2174-0909.2432>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- Gómez, M. A., Pozo, J. I. y Gutiérrez, M. S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), 198-209.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66177>
- Gutierrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto «modelo mental». Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em ensino de ciências*, 10(2), 209-226.
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world. En J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust y J. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (vol. 17, pp. 189-212). Kluwer Academic Publishers.
https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_9

- Hidalgo, P. I., Jiménez, C. A., Buljan, A. G., Pereira, E., Sánchez, S. A., Flores-Morales, P. y Matamala, A. R. (2015). Estudio sobre la diversidad en la oferta de asignaturas de química general para los currículos de otras carreras. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 102(1-2), 415-420.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge University Press.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching a changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
<https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Labarrere, A. y Quintanilla, M. (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, 30, 121-137.
- Machamer, P., Darden, L. y Craver, C. F. (2000). Thinking about Mechanisms. *Philosophy of Science*, 67(1), 1-25. <http://www.jstor.org/journals/ucpress.html>
- Mahmud, M. C. y Gutiérrez, O. A. (2010). Estrategia de enseñanza basada en el cambio conceptual para la transformación de ideas previas en el aprendizaje de las ciencias. *Formación Universitaria*, 3(1), 11-20.
<https://doi.org/10.4067/s0718-50062010000100003>
- Matías González, A. y Hernández Alegría, A. (2014). Positivismo, dialéctica materialista y fenomenología: tres enfoques filosóficos del método científico y la investigación educativa. *Actualidades Investigativas en Educación*, 14(3), 1-20.
<https://doi.org/10.15517/aie.v14i3.16155>
- Medina, A. y Salvador, F. (2009). *Didáctica General* (2.ª ed.). Pearson Educación.
- Méndez, D. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educación XX1*, 18(2), 215-235.
<https://doi.org/10.5944/educXX1.14016>
- Merino, C., Pino, S., Meyer, E., Garrido, M. y Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), 94-99.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.004>
- Merino-Rubilar, C. y Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223.
[https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30137-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30137-X)
- Merino-Rubilar, C., Jara, R., Leyton, P., Paipa, C. e Izquierdo, M. (2014). Designing problems to learn Chemistry: A Toulminian approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 116, 2193-2197.
<https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2014.01.542>
- Moreno Martínez, N. M. y Franco Mariscal, A. J. (2023). Posibilidades didácticas de la herramienta de realidad aumentada ZapWorks en la enseñanza de las ciencias. Una experiencia con estudiantes de un Máster en Profesorado. *Tecnología, Ciencia y Educación*, (24), 91-118.
<https://doi.org/10.51302/tce.2023.2808>
- Nersessian, N. (1995). Should physicists preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. *Science y Education*, 4, 203-226.
<https://doi.org/10.1007/bf00486621>
- Nicolaou, Chr. Th. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Norman, D. A. (2014). Some observations on Mental Models. En D. Gentner y A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (1.ª ed.). Psychology Press.
<https://doi.org/10.4324/9781315802725>

- Nunez-Oviedo, M. C. (2004). *Teacher-student co-construction processes in biology: strategies for developing mental models in large groups discussions*. University of Massachusetts.
- Nunez-Oviedo, M. C. y Clement, J. (2019). Large scale scientific modeling practices that can organize science instruction at the unit and lesson levels. *Frontiers in Education*, 4(July), 1-22.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00068>
- Oliva, J. M. (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>
- Pagel, W. (1962). A History of Chemistry. En J. R. Partington (Ed.), *Medical History* (vol. 2, p. 795). Macmillan Co.
<https://doi.org/10.1017/S0025727300027216>
- Plaza, M. I. y Rubilar, C. M. (2020). Una propuesta de secuencia basada en el contexto, para la promoción de la argumentación científica en el aprendizaje de las reacciones químicas con estudiantes de educación técnico profesional. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1105-1107.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1105
- Quintanilla-Gatica, M. R. y Baeza, M. E. M. (2022). Caracterización sobre explicaciones de docentes en servicio acerca de la noción científica de disolución. *Educación Química*, 33(3), 80-91.
<https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2022.3.81475>
- Real Academia Española (2001). Heurístico, heurística. En *Diccionario de la lengua española*. [https://dle.rae.es/heur %C3 %ADstico](https://dle.rae.es/heur%C3%ADstico)
- Rea-Ramirez, M. A., Nunez-Oviedo, M. C. y Clement, J. (2009). Role of discrepant questioning leading to model element modification. *Source: Journal of Science Teacher Education*, 20(2), 95-111.
<https://doi.org/10.1007/s>
- Rebollar, I. M. S. A., García, Á. de la C. V. y Lorenz, L. M. A. (2022). Propuesta didáctica para la profesionalización de las actividades experimentales de la asignatura química orgánica a la carrera ingeniería química. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 13(5), 124-137. <https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didasca/article/view/1496>
- Reina, A., Lhardy, C., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A. y Reina, M. (2023). GALIO Gaming: Aprendizaje lúdico de química inorgánica y orgánica parte 1: desarrollo de un proyecto lúdico-didáctico en la facultad de química de la UNAM. *Educación Química*, 34(2), 108-138.
<https://doi.org/10.22201/FQ.18708404E.2023.2.83704>
- Vexler, M. (1998). Génesis del concepto de ley científica. *Escritura y Pensamiento*, 1, 91-110.

ANEXO

A1. Informe de laboratorio. Guía de Aprendizaje: Experimentando Reacciones Químicas

1. **Diseñen** en el recuadro un equipo recolector de gases para la reacción demostrativa del docente y luego experimenten su funcionamiento.



2. Indique los materiales y reactivos a utilizar durante la reacción y captura del gas.

Reactivos:

Materiales:

3. Contesten las siguientes preguntas con respecto al experimento que acaban de realizar:

a) ¿Pudieron establecer **la temperatura** del gas obtenido? ¿Cómo la establecieron?

b) ¿Pudieron determinar **el volumen** del gas obtenido? ¿Cómo lo determinaron?

c) ¿Lograron calcular **la presión** del gas generado por la reacción? ¿Cómo lo hicieron?

d) ¿Consiguieron determinar **los moles de moléculas de gas** generado por la reacción? ¿Cómo lo consiguieron?

- e) Con los datos que lograron determinar, ¿pueden calcular la cantidad de moléculas de gas generado por la reacción? Si es así, utilice el siguiente espacio para desarrollar operaciones matemáticas.

Complete la siguiente tabla con los datos experimentales obtenidos por la reacción que acaba de ejecutar, no olvide las respectivas unidades de medida.

| Presión (atm) | | | | Temperatura, K (T) | Volumen, L (V) | Cantidad de sustancia, mol (n) | Moléculas de CO_2 |
|--|--|----------------------|--|------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------|
| Atmosférica (P_{atm}) | Vapor de agua(P_{vap}) | Columna (P_h) | Parcial de CO_2 (P_{CO_2}) | | | | |
| | | | | | | | |
| Masa inicial de NHCO_3 pesada | Masa inicial de NHCO_3 comprobada | | | | | | |

De ser necesario, utilice el siguiente recuadro para desarrollar cálculos matemáticos

Nombres integrantes

Identifying Cycles of Generation, Evaluation, and Modification in Stoichiometry

Romina Riva-Riquelme

Scuola Italiana de Concepción, Concepción, Chile.

romina.159@gmail.com

María Cecilia Nunez-Oviedo

Departamento de Currículum e Instrucción, Facultad de Educación, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

marnunez@udec.cl

Patricio Flores-Morales

Departamento de Polímeros, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

patflores@udec.cl

Chemistry is very important at the tertiary level, but students find it an abstract and uninteresting field of science. Stoichiometry is taught mainly by mathematical calculations, but its understanding involves relating macro, (sub) micro and chemical equations like a professional chemist would do (Johnstone 1993). Confirmatory labs demotivate students and it is not clear whether the obtuse method or the creative method of teaching is followed in these cases. Teaching sequences that promote scientific practices are increasingly used in the classroom to teach Chemistry. Ford (2015) argues that such practices are not based on rules, but on recursive processes of evaluation and revision to explain its nature better. The ideas that thus emerge are known as models and their improvement as modeling. A model is a representation of an object or phenomenon, while modeling has different meanings (Gilbert et al., 2000). Oliva (2019) describes five complementary meanings of the concept of modeling that originate diverse didactic approaches. This manuscript uses the theory of science teaching and learning based on the construction and revision of mental models, MOMENT (Clement 1989 and 2022; Flores-Morales 2023; Nunez-Oviedo 2004; Nunez-Oviedo and Clement 2019; Machamer et al., 2000). This theory brings together three modeling concepts proposed by Oliva (2019) and uses a didactic cycle of co-construction of scientific knowledge.

The MOMENT theory has five principles: (1) scientists use heuristics to construct knowledge as well as (2) generation, evaluation, and modification (GEM) cycles to construct and revise mental models through cognitive conflict; (3) science teaching uses a didactic cycle of co-construction of knowledge; (4) scientific knowledge is nested; and (5) the cognitive processes of modeling are hierarchically organized to construct and revise mental models. Points 1, 2 and 3 are explained in the theoretical framework and points 4 and 5 are not developed because of length limits.

A couple of theoretical-practical sessions were conducted to teach stoichiometry with gases to determine the amount of $\text{CO}_2(g)$ molecules produced in the reaction between $\text{NaHCO}_3(s)$ and $\text{HCl}(aq)$. The experiment was guided by a cycle contained in a didactic sequence. The research was based on Concha et al. (2019), which indicates that theoretical-practical classes are better than confirmatory theoretical-experimental classes.

Thirty-four students organized in pairs or trios participated. In session 1, they were to set up a gas capture device (ACG) using a rubber glove or balloon and 2 grams of $\text{NaHCO}_3(s)$. There were three GEM cycles that rejected three mental models, and the evaluation had poor results. Prior to session 2, students researched Boyle's ACG and during the session they were given the experimental model and used 0,200 g of $\text{NaHCO}_3(s)$. Three GEM cycles were promoted to determine the volume of the gas, the number of moles with the ideal gas equation, the number of molecules with the N_A , and to measure the pressure of the gas with Dalton's law.

The achievement was between 81 and 92 %, which indicates that the students progressed from their original incorrect ideas to almost scientifically correct mental models. In modeling, student-guide dialogue was encouraged, and non-formal or heuristic reasoning was used (groping, mental imagery, drawings), as well as GEM cycles, discrepant questions, and cognitive conflict. The results obtained suggest that the activity promotes scientific reasoning, although no group realized the importance of inverse stoichiometry. In future versions, in-depth interviews will be conducted with the students to investigate the evolution of their mental models and to reinforce some nuances and details that they did not perceive (collisions, ruptures and the formation of bonds).