



## Sistemas de Respuesta Inmediata combinada con ciclos de Generación, Evaluación y Modificación en Química General

### *Immediate Response Systems combined with Generation, Evaluation and Modification cycles for General Chemistry*

Patricio Flores-Morales<sup>1</sup>

Recepción: 05/04/2022  
Aceptación: 18/11/2022

#### Resumen

Los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) son aplicaciones o programas que permiten la medición del aprendizaje con retroalimentación inmediata para quienes los usan. Gracias a la pandemia, se convirtieron en instrumentos de evaluación masiva. Sin embargo, su uso no es muy distinto al de las cliqueras o tarjetas en aula. Por lo mismo, una pedagogía que pudiera incorporar esta TIC dentro de la sala de clases como un elemento potenciador del aprendizaje es un desafío actual. La Teoría de la Enseñanza y Aprendizaje de la Ciencia basada en la Revisión y Construcción de Modelos Mentales proporciona un andamiaje para lograr este objetivo al hacer reflexionar al estudiantado partiendo de un SRI como lo es *Forms*<sup>®</sup>. En esta investigación se muestra cómo gracias a la combinación de una parte de la teoría mencionada con el SRI *Forms*<sup>®</sup>, se logra un aprendizaje profundo en algunos tópicos de Química General. Los resultados muestran que gracias a esta unión el estudiantado participa, cambia sus preconcepciones por ideas de rigurosidad científica superior y obtiene resultados positivos comparando evaluaciones previas y posteriores.

#### Palabras clave

Sistemas de respuesta inmediata, Modelamiento mental, Enseñanza universitaria, Didáctica de las ciencias, TIC.

#### Abstract

Immediate Response Systems (IRS) are applications or programs that allow the measurement of learning with immediate feedback for those who use them. During the pandemic, they became instruments of massive evaluation. However, its use is not very different from that of click cards in the classroom. For this reason, a pedagogy that could incorporate this ICT into the classroom as an element that enhances learning is a current challenge. The Theory of Model-Based Learning and Teaching Science provides a scaffolding to achieve this goal by making the student reflect based on an SRI as *Forms*<sup>®</sup>. This research shows how, the combination of a part of the mentioned theory with the SRI *Forms*<sup>®</sup>, may help achieve a deep learning in some topics of General Chemistry. The results show that the students participate actively, changing their preconceptions for ideas of scientific rigor and obtain positive results when comparing pre- and post-assessments.

#### Keywords

Immediate Response Systems, Mental modeling, University teaching, Science education, ICT.

<sup>1</sup> Departamento de Polímeros en la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Chile

## Introducción

Los años 2020 y 2021 significaron para gran parte del cuerpo docente mundial un desafío de adaptación de sus clases sin precedentes ante la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 (Rapanta et al., 2020). Los establecimientos educacionales tuvieron que adoptar sistemas de gestión del aprendizaje (Mohammed, 2018) y de videoconferencia, y capacitar a sus docentes en el uso de estas. Una de las plataformas de videoconferencia más usada fue *Teams*<sup>®</sup>. Además de ser un medio para conectar virtualmente a estudiantes y docentes, *Teams*<sup>®</sup> posee diversas aplicaciones que se pueden utilizar mientras se desarrolla la clase. Una de estas aplicaciones es *Forms*<sup>®</sup>, que está catalogado dentro de lo que se conoce como Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) (López-Quintero et al., 2017; Moreno et al., 2018). Los SRI «son las herramientas que permiten el monitoreo del aprendizaje por cada estudiante, a lo largo de las clases o cursos cumpliendo una retroalimentación a través de tecnologías móviles (*smartphones, tablets, ordenadores*)» (UMB, 2022). *Forms*<sup>®</sup> es una aplicación catalogada como SRI ya que permite realizar encuestas, cuestionarios o evaluaciones de distinto tipo donde el usuario elige entre varias opciones, las que suman al total de cada alternativa, apareciendo en pantalla como porcentaje a esa alternativa y, de paso, revelándole al usuario si su alternativa está dentro de las más votadas (Lobos et al., 2022). El formato de respuesta inmediata ya se usaba con anterioridad a la pandemia a través de cliqueras (Bojinova et al., 2011; Caldwell, 2007), tarjetas (Chng y Gurvitch, 2018; Krause et al., 2017) o aplicaciones/plataformas (Frías et al., 2016; Rudolph, 2017; Wood et al., 2017), siendo su objetivo monitorear los conocimientos previos (evaluación diagnóstica), los de proceso (evaluación formativa) y los de final (evaluación sumativa) del estudiantado (Barr, 2017; M. Zhu et al., 2017). Si la evaluación es formativa, la retroalimentación inmediata le permite al estudiantado darse cuenta si el contenido está asimilado o no; la primera alternativa se traduce en un *check* —no debe repasar ese contenido—, mientras que la segunda se traduce en una advertencia —tiene que reforzar ese contenido— (Flores-Morales, 2022).

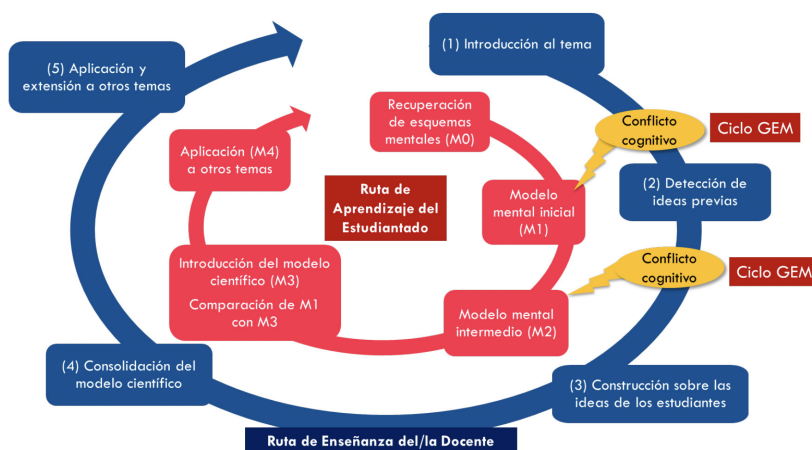
Aunque en la presencialidad docentes alrededor del mundo utilizaron los SRI, los logros obtenidos fueron mayoritariamente en el aumento en la motivación del estudiantado (Frías et al., 2016; López-Quintero et al., 2017; Rudolph, 2017; Wood et al., 2017) y no en el aprendizaje profundo (Blasco-Serrano et al., 2018). López-Quintero et al., (2017) reportan un aumento en la cognición usando SRI, pero no discuten cuál es el método de enseñanza utilizado para lograr esto.

En este sentido, una metodología que usase los SRI no solo como «la TIC que está de moda», sino como una herramienta poderosa para lograr el aprendizaje profundo (Chen et al., 2013; Q. Zhu y Carless, 2018), sería un gran aporte al proceso de amalgamamiento entre las TIC y la didáctica de las ciencias.

En este estudio acotado se presenta una primera aproximación para lograr esa amalgama. El SRI utilizado fue *Forms*<sup>®</sup>, mientras que la didáctica se basó en la Teoría de la Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias basada en la Revisión y Construcción de Modelos Mentales, MOMENT (Clement, 2022; Nunez-Oviedo y Clement, 2019) la cual se describe a continuación.

## Marco Teórico

La Teoría MOMENT (Clement, 2022; Nunez-Oviedo y Clement, 2019) se basa en un ciclo didáctico de cinco etapas (Figura 1) que permite realizar una co-construcción del conocimiento (Nunez-Oviedo, 2004; Williams y Clement, 2017) entre docente y estudiantes; este actúa como un guía en la evolución de las ideas de estos, ayudándoles a asir el contenido sin tener que entregárselo.



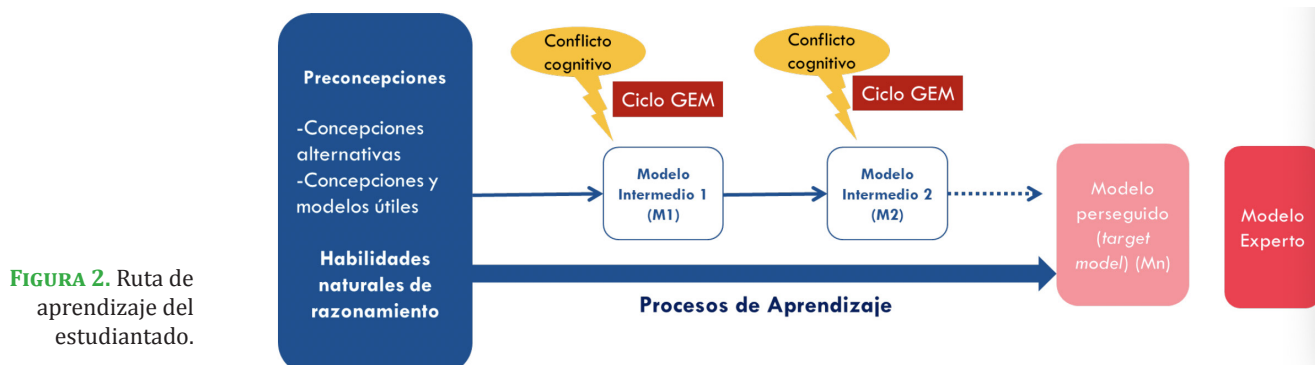
**FIGURA 1.** Ciclo didáctico de co-construcción del conocimiento (adaptado de Nunez-Oviedo 2004).

El docente debe realizar una ruta de enseñanza que se corresponde con una ruta de aprendizaje del estudiantado (Figura 1). Las acciones ejecutadas por el docente producen reacciones en el estudiantado en respuesta a ello. Para lograr esto, es necesario que los modelos mentales —ideas previas, preconcepciones alternativas o útiles (Clement, 2000)— que tiene el estudiantado, evolucionen gracias al conflicto cognitivo (Gavilán, 2009) y los ciclos GEM (Nunez-Oviedo y Clement, 2019). Es por ello por lo que a continuación se explicará cómo se usan estos para hacer avanzar las preconcepciones del estudiantado y luego se volverá al ciclo didáctico de la Figura 1.

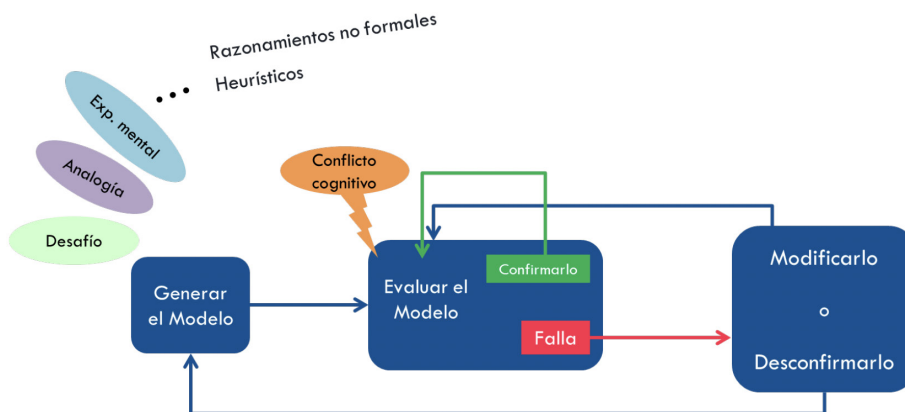
Como el estudiantado posee preconcepciones y razonamientos naturales (Figura 2), no son capaces de asimilar el contenido por un mero trasvasije desde docente hacia oyentes —aproximación conductista—. Por lo mismo, el estudiantado debe realizar su propio camino de aprendizaje hasta llegar lo más que puedan al modelo experto —el contenido que se desea enseñar—, lo que se denomina modelo perseguido (Figura 2). El avance desde las preconcepciones hacia el modelo experto se realiza a través de varios modelos intermedios de refinamiento mediante lo que se conoce como ciclos GEM (Generación, Evaluación, Modificación) y usando el conflicto cognitivo (Perales, 1992).

En el ciclo GEM (Nunez-Oviedo y Clement 2019) mostrado en la Figura 3, lo primero que se hace es generar un modelo primario mediante una gama de recursos didácticos como desafíos, analogías, experimentos mentales (Clement, 2008) y otros razonamientos no formales y heurísticos (Clement, 2022). Este modelo primario corresponde a uno en donde el estudiantado «comienza a tener una idea» del contenido que se le desea enseñar. Una vez lograda la idea primigenia (modelo intermedio 1, M1, Figura 2), esta se cuestiona mediante preguntas como: «¿Cuán seguro estás de que lo que has propuesto es correcto?», «¿y qué pasaría si cambiaras esto?», por ejemplo. Lograr que el estudiantado dude implica

que debe defender su modelo. Si este es correcto, se confirma (flecha verde en Figura 3) y el estudiantado debe realizar pequeños ajustes. De lo contrario, si falla en su defensa (flecha roja en Figura 3), tiene dos posibilidades; modificarlo y volver a evaluarlo mediante otro conflicto cognitivo para confirmarlo o, si el modelo tiene tantas fallas que no puede modificarse, se debe rechazar (desconfirmarlo) y el estudiantado deberá generar un modelo desde cero. El primer modelo exitoso se puede seguir mejorando —de ser necesario— si se encuentra lejos del modelo experto, lo que conducirá a otros modelos intermedios (ver Figura 2). Esto implica que puede existir más de un ciclo GEM.



**FIGURA 2.** Ruta de aprendizaje del estudiantado.



**FIGURA 3.** Ciclos de generación, evaluación y modificación (GEM).

Habiendo revisado la ruta de aprendizaje del estudiantado y los ciclos GEM, es posible retomar la explicación del ciclo didáctico de la Figura 1. El ciclo inicia con una introducción al tema: «Estudiantes, hoy hablaremos de...». Con esto, el estudiantado retrotrae todo lo que pudiera saber del tema (recuperación de esquemas mentales, M0). En el paso 2, el docente realiza una detección de ideas previas haciendo preguntas como «¿Qué saben de esto...? ¿Dónde han visto que ocurra?». Las respuestas del estudiantado configuran el M1, pues comenzará a mejorar o desechar M0. El paso 3 es el más importante, puesto que, en base a las respuestas del estudiantado, el docente debe «reconfigurar» sus modelos mediante los ciclos GEM y los conflictos cognitivos (Figura 3), hacia modelos evolutivos superiores (Figura 2). Este paso suele ser el más extenso, ya que constituye la parte medular del ciclo donde se discute, reflexiona, debate, concluye, etc., las ideas del estudiantado de tal forma de acercarlas lo más posible al modelo experto. Esto se logra mediante una clase planificada en un guion didáctico donde se encuentra todo lo que el docente debe hacer para que el estudiantado llegue a aprender el contenido deseado. En el paso 4a, el

docente revela la definición, formulación, teoría, o concepto a donde deseaba que llegara el estudiantado, lo que se denomina consolidación del modelo científico. Es en este punto donde el estudiantado recién conoce el contenido y lo compara (paso 4b) tanto con el(los) modelo(s) generado(s) anteriormente, como con el que tenían al principio (M1). En el caso de la Figura 1, el modelo científico ha sido denominado como M3, porque solo se han considerado dos modelos intermedios para llegar el modelo perseguido (Mn). Un último paso de este ciclo es la extensión a otros temas o aplicación. Aquí se considera poner a prueba el modelo en otra situación distinta a la explorada, o aplicarlo a algún problema concreto —un ejercicio de estequiometría, por ejemplo—. Es importante notar que la ruta del docente es siempre cíclica, pero en el caso de la del estudiante, esta es más bien espiralada, porque no termina donde empezó, sino en un nivel superior de aprendizaje respecto de lo que sabía al principio.

En esta investigación acotada a los dos años de pandemia ocasionada por el SARS-CoV-2, se discute el funcionamiento de *Forms*® con los ciclos GEM de la Teoría MOMENT. El objetivo fue poder usar las respuestas de *Forms*® como punto de partida, o llegada, en un proceso reflexivo y no meramente «de moda».

Tal como se explicó en la sección 1.1, la teoría MOMENT posee varios aspectos que necesitan ser conjugados de tal forma que aporte a la pedagogía en ciencias (Clement, 2022). Sin embargo, es importante notar que aquí se ha mostrado solo una parte de ella, y que una explicación más detallada necesitaría que se describiera la planificación de la clase -equivalente a una Secuencia de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) (Merino et al., 2015), vale decir, los recursos de aprendizaje, los razonamientos no formales/heurísticos y el guion didáctico creados. Por lo mismo, en esta investigación acotada solo se hará hincapié en la detección de los ciclos GEM usando *Forms*® y su aporte al aprendizaje de la muestra intervenida (ver Métodos). Con este estudio se pretenden resolver la pregunta de investigación: La combinación de *Forms*® con los ciclos GEM en clases virtuales ¿mejora el aprendizaje del estudiantado?

Para responder esta pregunta, se presenta a continuación la sección de Métodos seguida de los Resultados y Discusión. En esa sección se presentan dos ejemplos de la combinación de *Forms*® con ciclos GEM para estudiantes de cursos de Química General en los años de pandemia 2020 y 2021. La Química para estudiantes de primer año de universidad es vista como un obstáculo difícil de superar (Gómez et al., 2004), por lo que existen variados tópicos en que la muestra intervenida presentó problemas. La razón de la elección de estos dos ejemplos es meramente ilustrativa. En el primer ejemplo se trabaja mucho con la reflexión mediante diálogo, mientras que en el segundo con sus ideas o modelos mediante dibujos. En la sección final se presentan las Conclusiones más relevantes, recomendaciones y mejoras a esta metodología.

## Métodos

### *Caracterización de la muestra y el profesorado*

Para esta investigación, estudiantes de dos carreras de primer año de la Universidad de Concepción, que cursaron las asignaturas de Química General 1 y 2 durante los años 2020 y 2021, fueron escogidos. Esto equivale a un total de 341 estudiantes distribuidos en 4



semestres (cuatrimestres). En la Tabla 1 se muestra la distribución de forma detallada, incluyendo el porcentaje de hombres y mujeres.

	Química General 1				Química General 2			
	Semestre 1				Semestre 2			
	Número total de estudiantes		Porcentaje*		Número total de estudiantes		Porcentaje*	
	2020	2021	Mujeres	Hombres	2020	2021	Mujeres	Hombres
Curso 1	71	28	56	44	80	30	54	46
Curso 2	33	30	59	41	36	33	51	49

**TABLA 1.** Datos en detalle de la muestra intervenida.

\* Considerando la suma de estudiantes de ambos años.

De los 341 estudiantes, 160 asistieron a clases sincrónicas (grupo denominado muestra intervenida, MI), mientras que 181 utilizaron la modalidad asincrónica, representando un 47% y 53%, respectivamente. Un curso pre-pandemia, que no recibió la intervención, fue escogido como muestra control (MC), cuya cantidad fue de 120 estudiantes.

La procedencia de las y los estudiantes fue de la ciudad de Concepción (*Chile*) y ciudades cercanas a esta, otorgándole a la muestra una heterogeneidad en cuanto al origen socioeconómico, étnico, régimen de estudio y calidad de la educación secundaria<sup>1</sup>.

Durante los 4 semestres, el mismo profesor dictó la asignatura tanto para la MI como para la MC. Este poseía una experiencia docente de 15 años. Además, tenía una experiencia de 5 años usando la Teoría MOMENT en sus clases. Esto equivale a decir que su experiencia lo llevó a detectar los conceptos más complicados de aprender por parte del estudiantado.

### **Aplicación de Forms®**

El SRI *Forms*® se utilizó en algunas clases virtuales de los cuatro cursos de Química General en los años 2020 y 2021, en el contexto de la pandemia por el SARS-CoV-2, en la Universidad de Concepción, *Concepción, Chile*. Las clases se hicieron vía plataforma *Teams*®, por lo que las encuestas con *Forms*® se hicieron dentro del chat de dicha plataforma. De esta manera, quienes asistieron a las clases sincrónicas, pudieron ver los resultados de la encuesta en tiempo real. Todas las clases fueron grabadas, por lo que quienes no asistieron a ellas, pudieron ver las clases en su tiempo autónomo.

Las encuestas a través de *Forms*® fueron previamente elaboradas, lo que no quita que se puedan crear durante la clase si así lo detecta el docente.

Luego de la votación, el docente estableció la co-construcción de conocimiento con el curso mediada por los ciclos GEM. Esta se evaluó por juicio; el docente realizó preguntas a viva voz al estudiantado, quien respondió de igual manera o en el chat, y luego procedió a evaluarlas como correctas o incorrectas.

Tal como se adelantó, el docente realizó varias intervenciones a lo largo de las dos asignaturas de Química General, pero, a continuación, se describen dos ejemplos de utilización de *Forms*® con ciclos GEM por las razones dadas en la introducción. Luego, se muestra el tratamiento de los resultados de las evaluaciones sumativas.

<sup>1</sup>La universidad YYY recibe a estudiantes de distintos niveles socioeconómicos, étnicos y demográficos. Además, estos provienen de colegios con distintos regímenes de estudio —científico-humanista, comercial, técnico— y distinta calidad; los provenientes de colegios pagados poseen mejor formación que los de colegios públicos.

## Unidad de Termoquímica

El calor específico se explicó mediante la lámina de la Figura 4 (Chu et al., 2012; Gilbert y Treagust, 2009), que constituyó un experimento virtual. El enunciado del docente fue: «Dos objetos de la misma masa y volumen, pero de composición química diferente, se calientan bajo mechero con la misma intensidad de llama. El objeto de la izquierda se pone más rojo que el de la derecha. ¿Cuál de los dos cilindros se calienta más lento y por qué?». Una vez que el estudiantado hubo respondido, se le entregó el concepto de calor específico y su fórmula matemática respectiva.

### Calentando objetos



**FIGURA 4.** Lámina que ilustra el calentamiento de dos objetos con la misma intensidad de llama en donde el de la izquierda se calienta más rápido que el de la derecha.

Posterior al experimento virtual, se realizó la encuesta en *Forms*<sup>®</sup>. En este caso, la encuesta se realizó como una comprobación del aprendizaje del concepto. El estudiantado votó en el chat. Una vez finalizada la votación, el docente procedió como se indica en la sección Evidencia de los ciclos GEM.

A continuación, se describen los pasos enunciados por el docente para imaginar la situación del ejemplo 1, que llevó a la pregunta correspondiente en *Forms*<sup>®</sup>.

Ejemplo 1: Agua caliente dentro de un envase de *plumavit*<sup>2</sup>.

- Van a comprar un café instantáneo
- Les sirven el agua caliente (a 100 °C) en un vaso de *plumavit*
- Si tocan el agua, corren el riesgo de quemarse, pero si tocan el envase, no lo sienten tan caliente como el agua
- ¿Qué necesita más calor para elevar la temperatura en 1°C; el *plumavit* o el agua? (ver resultado en Figura 4)

## Unidad de Equilibrio Químico

Ejemplo 2: Gráfico de concentración versus tiempo para una reacción en equilibrio

El docente dibujó y recordó cómo es un gráfico de concentración versus tiempo para una reacción directa sencilla del tipo  $A \rightarrow B$ . Luego, usó *Forms*<sup>®</sup> para detectar las ideas previas del cambio de concentraciones en una reacción en equilibrio. El estudiantado votó

<sup>2</sup> Aislapol, poliestireno

en el chat. Una vez finalizada la votación, el docente procedió como se indica al final de esta sección y luego como se indica en la sección Evidencia de los ciclos GEM.

Para esta actividad, el docente pidió realizar los siguientes pasos:

- Dibujar un gráfico de concentración versus tiempo para una reacción en equilibrio sencilla del tipo  $A \rightleftharpoons B$
- Subir el dibujo al chat
- Preguntar «¿Cuál de los siguientes gráficos cree usted que representa mejor al equilibrio  $A \rightleftharpoons B$ ?» (ver Figura 7I)
- Realizar un plenario de discusión de los dibujos

Posterior a estos pasos, y habiendo hecho el plenario, el docente volvió a encuestar a los participantes (medición de la evolución de los modelos): «Y ahora ¿cómo creen que es el gráfico?» (ver Figura 7II).

### ***Evidencia de los ciclos GEM***

Para cada uno de los ejemplos descritos anteriormente, el docente realizó con los estudiantes un proceso de co-construcción (ver Introducción) del conocimiento utilizando ciclos GEM. El procedimiento realizado para combinar la parte didáctica con las encuestas en *Forms*® fue:

- Realizar la encuesta respectiva
- Revisar los videos de las clases grabadas con especial énfasis en las actividades descritas en los ejemplos
- Transcribir el diálogo entre docente y estudiantes (hablado o escrito en el chat) para cada actividad (ver Tablas 1 y 2)
- Detectar los ciclos GEM

### ***Comprobación del aprendizaje mediante evaluaciones***

Para las actividades señaladas en la sección Aplicación de *Forms*®, se midió el grado de aprendizaje mediante evaluaciones previa y posterior de selección múltiple. Los resultados fueron reportados como porcentajes de manera de normalizar las muestras por el número total de participantes.

Para medir el grado de aprendizaje de la intervención para el **concepto de calor específico**, se comparó la pregunta que se describe a continuación (JCE 2022, preg. 16) entre la MC y la MI:

100 mL de agua a 25°C y 100 mL de alcohol a 25°C se calientan a la misma velocidad bajo idénticas condiciones. Después de 3 minutos, la temperatura del alcohol es de 50°C. Dos minutos después, la temperatura del agua es de 50°C. ¿Qué líquido recibió más calor después de calentarlos hasta 50°C?



- A) El agua
- B) El alcohol
- C) Ambos recibieron la misma cantidad de calor
- D) Es imposible de decir con la información dada
- E) S/R (Sin Respuesta)

La pregunta anterior fue acompañada de la siguiente pregunta de justificación:

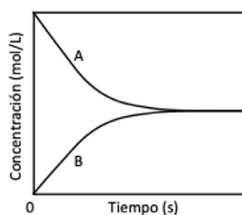
¿Cuál es su justificación para la pregunta 16?

- A) El agua tiene más alto punto de ebullición que el alcohol
- B) Al agua le toma más tiempo cambiar su temperatura que al alcohol**
- C) Ambos aumentaron sus temperaturas en 25°C
- D) El alcohol tiene menor densidad y presión de vapor
- E) El alcohol tiene un calor específico menor, así que se calienta más rápido

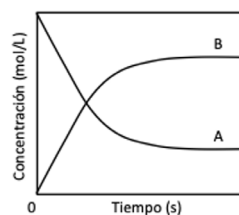
Para medir el grado de aprendizaje de la intervención para el **gráfico de concentración versus tiempo**, se utilizó la pregunta que se describe a continuación:

¿Cuál de los siguientes gráficos NO representa lo que podría ocurrir para una reacción representada por  $A \rightleftharpoons B$ ?

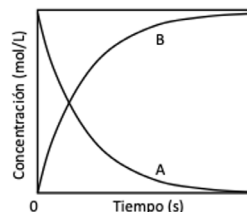
A



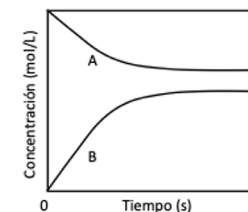
B



C



D



La alternativa correcta es la C.

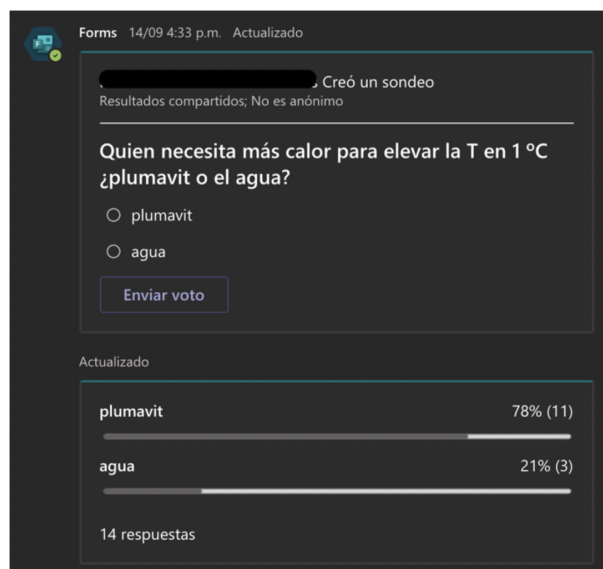
## Resultados y discusión

### *Agua caliente dentro de un envase de plumavit*

#### *Aplicación de Forms® y detección de ciclos GEM*

Tal como se indicó en Métodos, la pregunta «¿Qué necesita más calor para elevar la temperatura en 1°C; el *plumavit* o el agua??», se hizo como una comprobación del concepto de **calor específico**. La pregunta y las respuestas se muestran en la Figura 4.

El formato de *Forms*® (Figura 4) se compone de un inicio donde se ubica el logo seguido de la fecha y la hora en que se realizó la encuesta. A continuación, aparece el nombre del usuario que creó la encuesta (en este caso, anonimizado). Seguido, aparece escrita la pregunta con las respectivas alternativas y la opción de enviar voto. Finalmente, aparecen las barras de respuesta junto con el porcentaje de estas y entre paréntesis el número de estudiantes que respondió esa alternativa. La palabra Actualizado da cuenta de que los resultados son en tiempo real. La imagen de la Figura 4 corresponde al resultado final de la votación.



**FIGURA 5.** Pregunta realizada en *Forms*® sobre el concepto de calor específico y porcentaje de respuestas obtenido.

Se puede observar en la Figura 5 que el 78% de los participantes optó por la alternativa *plumavit*, mientras que un 21% por la alternativa agua. Esto indica que la mayoría logró entender el concepto de calor específico. No obstante, el docente realizó una comprobación del aprendizaje del concepto. Para esto, estableció un diálogo con el grupo curso que está transcrito en la Tabla 1.

	Docente	Estudiantes (respuestas a viva voz o en el chat)	Momento del ciclo <sup>a</sup>
1	[agua caliente dentro de un vaso de <i>plumavit</i> ] A ambos les deseo subir la temperatura en un grado Celsius. En nuestro caso, al agua se le subió el calor hasta llegar a 100 °C, suponiendo que partieron de agua a 25 °C. Si uno toca el recipiente, pareciera que no subió su temperatura, pero si tocamos el agua, puede que nos quememos. O sea que al agua «no cuesta» subirle la temperatura en un grado, si lo comparamos con el <i>plumavit</i> .  ¿Qué otra cosa se calienta fácil, al sol, por ejemplo?		G
2		Un columpio de la plaza	E
3	¿De qué están hechos los columpios?		G
4		De algún metal	E
5	Los metales tienen, en general, un calor específico más bajo que el agua, por lo que se necesita poco calor para que a un gramo de este se le suba la temperatura en 1 °C. Se podría decir que es un gran «absorbedor de calor», por eso se calienta fácil.		C
6	Entonces, cuando uno quiere calefaccionar una casa, ¿de qué debería hacer las cañerías?		G
7		Metal	E
8	De un metal. ¿Y qué es lo que tiene dentro la cañería?		C, G
9		Gas	E
10	O... ¿qué otra cosa dije yo que entregaba harto calor?		CC
11		Agua	M
12	Por eso es por lo que se hacen los sistemas calefactores con agua, porque esta calienta al metal. Si yo hiciera una cañería de <i>plumavit</i> , me helaría de frío, porque el <i>plumavit</i> tiene un altísimo calor específico. De manera que hay materiales aislantes y otros no aislantes.  ¡¡Ustedes nunca construyan una casa con paredes de metal!!		C, ME

**TABLA 1.** Diálogo docente-estudiantes en la clase donde se estudió el concepto de calor específico. La columna uno corresponde a la numeración de las declaraciones, la dos, a la declaración del docente, la tres, a las declaraciones del estudiantado y la cuatro, a la detección de los ciclos GEM.

<sup>a</sup>G: generación, E: evaluación, M: modificación, C: confirmación, CC: conflicto cognitivo, ME: Entrega del modelo experto

Se puede apreciar del diálogo de la Tabla 1 que el docente comenzó poniendo en contexto el Ejemplo 1 (Generación, G) de la sección Unidad de Termoquímica, y luego, para saber si realmente todos habían entendido, realizó la pregunta «¿Qué otra cosa se calienta fácil, al sol, por ejemplo?». Esto lo hizo para refinar el modelo mental del estudiantado. Un estudiante respondió la declaración 2 (Evaluación, E) pero el docente, inconforme, contrapreguntó con la declaración 3 (G). Otro estudiante respondió «De algún metal» (E) y el docente

explicó, a continuación, por qué eso era correcto (Confirmación, C). Aunque la respuesta fue correcta, el docente, con la declaración 6 (G), realizó una refinación del modelo mental. En la declaración 8 el docente confirmó y contrapreguntó (G). Un estudiante respondió «Gas» (declaración 9), pero como no es el mejor material para intercambiar calor, el docente le realizó un conflicto cognitivo (CC, declaración 10). El estudiante modificó (M) su respuesta a «Agua» y el docente confirmó y explicó por qué se utilizan cañerías con agua para calefaccionar (entrega del modelo experto, ME). Además, terminó con una oración lúdica. El humor es un factor importante en el aprendizaje.

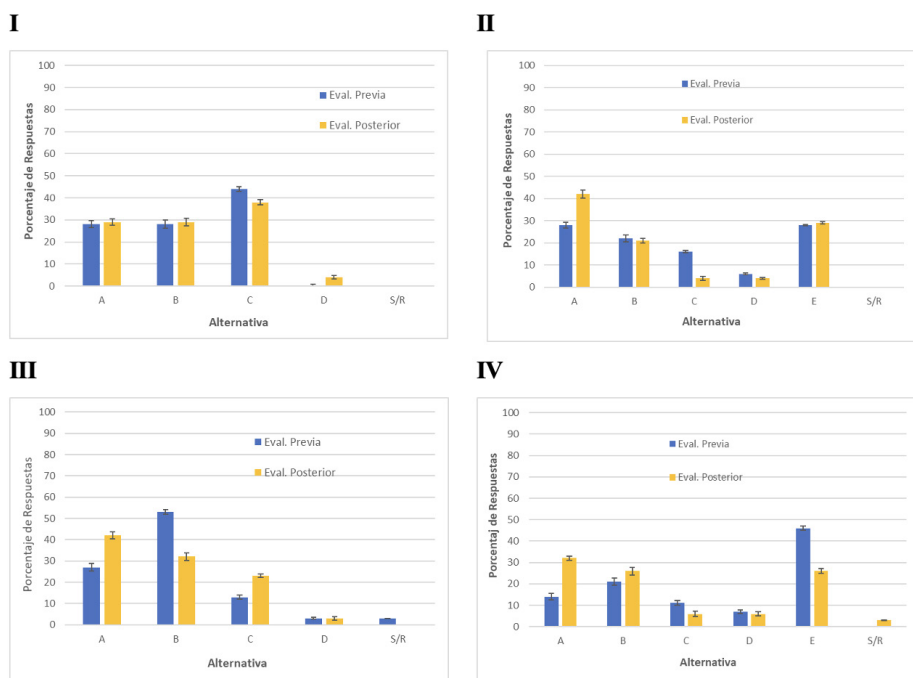
Con esta actividad queda demostrado que el *Forms*<sup>®</sup> no queda como una mera pregunta de comprobación, sino que el estudiantado descubre, mediante ciclos GEM, por qué acertaron.

### Resultados de las preguntas sumativas

La evaluación para la parte de calor específico consistió en dos preguntas previa y posterior de selección múltiple. En la Figura 6 se muestran los porcentajes de respuesta a las alternativas ofrecidas, siendo las correctas la alternativa A para I y III, y la B para II y IV (ver pregunta en sección Comprobación del aprendizaje mediante evaluaciones).

La Figura 6I y 6II corresponden a la evaluación para la MC y la Figura 6III y 6IV para la MI. De los resultados de esta figura se desprende que para la MC alrededor de un 30% del estudiantado pensó que el agua (A) recibió más calor y el mismo porcentaje para la alternativa B, tanto en la evaluación previa como en la posterior. Un 44% creyó que ambos recibieron la misma cantidad de calor en la evaluación previa y 38% en la posterior. Al preguntarles por su justificación, la mayoría del estudiantado se inclinó por la alternativa A en la evaluación posterior, lo que indicaría que relacionan o confunden el calor específico con el punto de ebullición. La alternativa E también acaparó una alta preferencia. Esto indicaría una tendencia de este grupo al desconocimiento del concepto de calor específico y una preferencia por la alternativa cognitivamente más fácil.

**FIGURA 6.** Porcentaje de respuestas a la pregunta de calor específico. **I**, respuestas a la pregunta de la MC, **II** justificación a la respuesta de la MC, **III** respuestas a la pregunta de la MI y **IV** justificación a la respuesta de la MI. Ver descripción de alternativas en sección Comprobación del aprendizaje mediante evaluaciones.



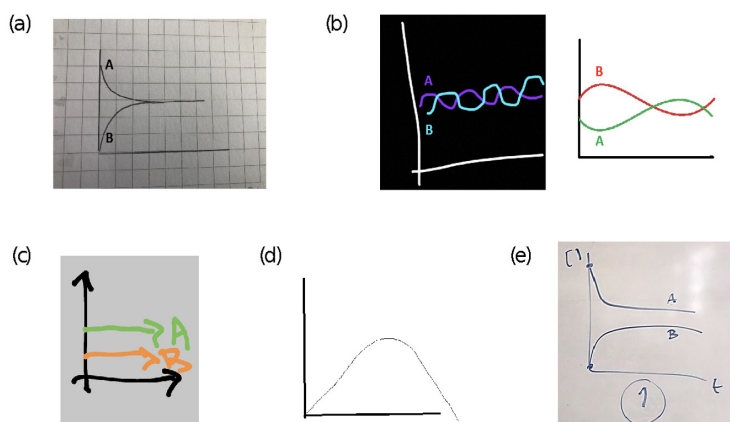
Para la MI, la misma Figura muestra un comportamiento distinto e interesante respecto a las respuestas de la MC. Inspeccionando la Figura 6III, se puede observar que en la evaluación previa un 27% eligió la alternativa A mientras que un 53% la alternativa B, con lo cual, la mayoría de los participantes estuvieron errados. Sin embargo, en la evaluación posterior la alternativa A aumenta a un 42% mientras que la B disminuye a un 32%. Este cambio importante en la elección correcta de la alternativa no podría deberse a otra cosa que la implementación de los ciclos GEM. De hecho, la alternativa C, que en el caso de la MC fue altamente votada (Figura 6I), en la MI no lo es (Figura 6III); el estudiantado comprendió que ambas sustancias no pudieron recibir la misma cantidad de calor (no eligen la respuesta fácil).

La justificación para la pregunta en el caso de la MI, muestra que hubo un aumento en la evaluación posterior tanto para la alternativa A como para la B (la correcta). Si bien la alternativa B obtuvo un 26% de las preferencias versus un 32% de la A, es importante destacar que un porcentaje importante comprendió que al agua le toma más tiempo cambiar su temperatura que al alcohol. Una justificación para esto podría ser que faltó una explicación más detallada por parte del docente de la cantidad de enlaces de hidrógeno que tiene el agua respecto a la que tiene el alcohol. Además, comparando este 26% con el 21% de la MC, se ve un cambio positivo. Por otro lado, es importante destacar que el ciclo GEM permitió una fuerte caída de la alternativa E de un 46% a un 26%. Este cambio significativo que no se apreció para la MC (Figura 6II), es un logro importante para el estudiantado; se esforzaron por no elegir la alternativa fácil. Si bien esto no indica que la metodología de los ciclos GEM es perfecta, sí señalaría que su aplicación va en una dirección correcta, pero que necesita ser pulida.

### Gráfico de concentración versus tiempo para una reacción en equilibrio

#### Aplicación de Forms® y detección de ciclos GEM

Para este ejemplo, el docente le pidió al estudiantado dibujar cómo sería un gráfico de concentración versus tiempo para una reacción del tipo  $A \rightleftharpoons B$ . Los dibujos son evidencia indirecta importante de los niveles de representación del estudiantado (López-Cortés et al., 2021) y de lo que están pensando (Price et al., 2007), lo que es de relevancia en esta sección. A diferencia de los ejemplos anteriores, la actividad no comenzó con un Forms®, sino que se hizo a partir de los dibujos (ver Figura 7) que el estudiantado hizo y luego se aplicó la votación sobre estos como alternativas.



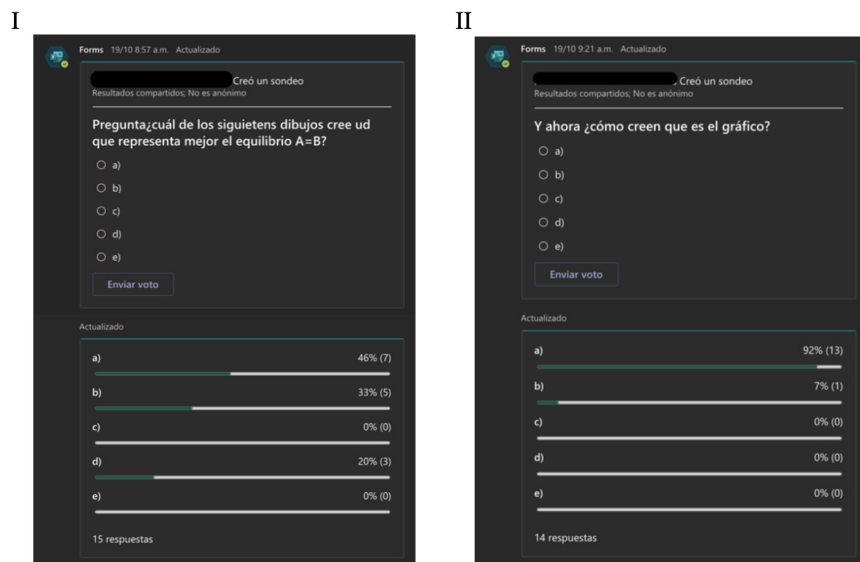
**FIGURA 7.** Dibujos del estudiantado que representan el comportamiento de concentración versus tiempo para una reacción simple en equilibrio.

Un compendio de los dibujos realizados por el estudiantado se muestra en la Figura 7I. Los dibujos de 7I(b) poseen un patrón similar, por lo que se ubicaron juntos. Una primera inspección de esta figura muestra que los modelos mentales de cada estudiante son distintos. Quienes dibujaron el patrón (a) imaginaron que la concentración de A disminuye en el tiempo, mientras que la de B, aumenta. Ambas llegan al mismo valor constante después de un tiempo. Quienes dibujaron el patrón (b) explicaron el fenómeno aumentando y disminuyendo las concentraciones de A y B en el tiempo, de manera infinita, pues A se convierte en B y B en A. Cada cierto tiempo el valor de las concentraciones de A y B son iguales, pero nunca

constantes. Quienes dibujaron el patrón (c) mostraron que reactante y producto alcanzan desde el inicio el equilibrio y, por lo tanto, sus concentraciones son constantes. Lo particular de este dibujo, es que este grupo no se percató que al inicio el valor de B siempre es cero, por lo que no puede adquirir inmediatamente un valor distinto de este. El dibujo del patrón (d) está incompleto. Quienes dibujaron el patrón (e), que siempre fueron minoría, acertaron en la explicación. Luego de expuestos los dibujos se recurrió a la votación en Forms®. Las votaciones de quienes participaron se muestran en la Figura 8I.

Se ve que la alternativa (a) de la Figura 8I fue la que acaparó más votos (46%), seguida de la (b) (33%) y la (d) (20%). Esto quiere decir que, en promedio, 7 estudiantes estuvieron cerca de la respuesta correcta (la letra e), mientras que 8 no lo estuvieron.

**FIGURA 8.** Pregunta realizada en Forms© sobre los dibujos del estudiantado para una reacción de equilibrio químico simple, y porcentaje de respuestas obtenido; **I**, antes de la explicación del contenido y **II**, después de la explicación del contenido.



Para poder encauzar los modelos del estudiantado hacia el correcto, el docente realizó tres actividades que no serán detalladas, pero sí nombradas<sup>3</sup>; analogía con legos<sup>®</sup>, un ejemplo real de reacción química ( $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons HCl(g)$ ) y un video (FuseSchool-Global Education, 2022) (ver 1 en la Tabla 2). En este caso, el docente no permitió declaraciones del estudiantado debido a que quería volver a hacer la encuesta una vez clarificado algunos puntos.

**TABLA 2.** Diálogo docente-estudiantes en la clase donde se estudió el gráfico de concentración versus tiempo para una reacción en equilibrio. La columna uno corresponde a la numeración de las declaraciones, la dos a la declaración del docente, la tres a las declaraciones del estudiantado y la cuatro a la detección de los ciclos GEM.

	Docente	Estudiantes (respuestas a viva voz o en el chat)	Momento del ciclo <sup>a</sup>
1	Para poder darles la respuesta, tengo que aplicar dos ideas; una analogía y la cinética de esta reacción [ver discusión]. Ahora les pregunto: ¿cómo dibujarían el gráfico de concentración versus tiempo sabiendo lo que saben ahora?		G
2		[El estudiantado dibuja lo pedido]	G
3	[El docente realiza la encuesta de la Figura 8II manteniendo proyectada la Figura 7 y espera los resultados]		G
4	La mayoría de ustedes votó por el dibujo (a) de la Figura 8II, pero ninguno por el (e). ¿Por qué?		E
		[No hay respuestas de parte del estudiantado]	

<sup>3</sup> Un manuscrito solo de esta parte está en preparación para ser publicado



5	<p>La opción (e) es la más probable. El gráfico que oscila (b) está descartado inmediatamente, porque en ningún momento las concentraciones fueron constantes. ¿Qué se puede rescatar? Que en el punto donde se cruzan las líneas A y B las concentraciones se igualaron, pero nunca fueron constantes.</p> <p>El dibujo que recibió más votación de ustedes (a) es una situación poco probable. Es difícil que las concentraciones lleguen a ser iguales, no así que la contracción de A sea mayor que la de B, o viceversa, pero como ven, con ambas líneas constantes una vez alcanzado el equilibrio [que sería la alternativa (e)].</p>		M, ME
---	--	--	-------

<sup>a</sup>G: generación, E: evaluación, M: modificación, C: confirmación, CC: conflicto cognitivo, ME: Entrega del modelo experto

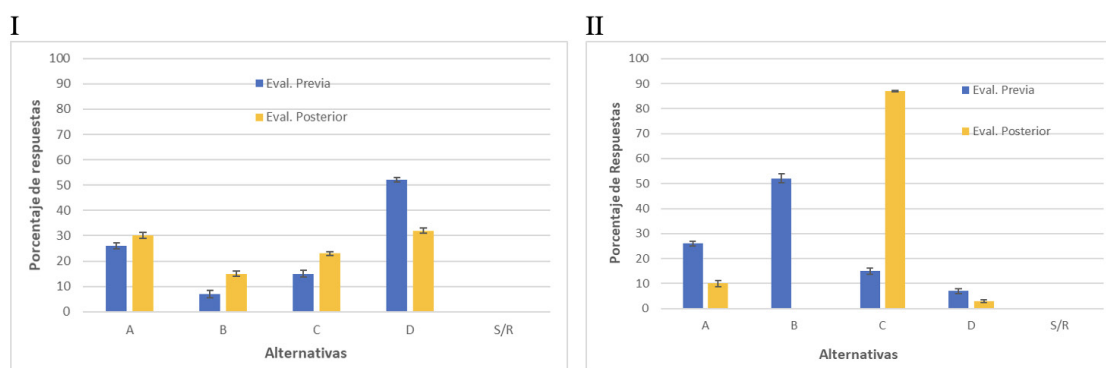
Una vez que el docente hubo explicado los conceptos necesarios, volvió a realizar la encuesta obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 8II (entrada 3 en Tabla 2). La alternativa que obtuvo más votos fue la (a). El docente continuó con la declaración 4 de la Tabla 2, que corresponde a la parte E del ciclo. Contrastando las respuestas de la Figura 8 y la declaración 4 de la Tabla 2, se puede llegar al siguiente resumen: el estudiantado claramente entendió que A debe disminuir en concentración mientras que B debe aumentar, y que luego de alcanzado el equilibrio ambas concentraciones deben tener un valor constante. Lo que sí, creyeron que estos valores debían ser iguales. Para poder modificar (M) este modelo poco probable, el docente hizo hincapié en la alternativa (b) y (e) de la Figura 7; les explicó que el gráfico oscilante de la Figura 7 se descartaba de inmediato porque las concentraciones nunca quedaban constantes. En cambio, el gráfico (e) es correcto, puesto que es lo que puede ocurrir en una reacción química simple en equilibrio. Esto demuestra que, independiente de la generación, un porcentaje de estudiantes cree que una reacción  $A \rightleftharpoons B$  debe llegar a la misma contracción dada la estequiometría 1:1.

Es impresionante constatar que los dibujos del estudiantado se repiten generación tras generación, lo que equivale a decir que sus modelos mentales obedecen a un patrón independiente de la calidad de la educación recibida. Por lo mismo, en la declaración 5 de la Tabla 2, el docente corrige la elección del estudiantado y entrega el modelo experto, una vez que ha vuelto a votar, es decir, a modificar su modelo mental.

### **Resultados de las evaluaciones sobre el gráfico de concentración versus tiempo**

En la Figura 9 se pueden observar los porcentajes de las respuestas dadas por el estudiantado a las alternativas ofrecidas a la pregunta de la sección Comprobación del aprendizaje mediante evaluaciones. Es claro que antes de la aplicación del ciclo GEM de la Tabla 2 la alternativa correcta (C), fue la tercera más votada (ver barra azul en la Figura 9) tanto para la MC (I) como para la MI (II). Para la MI los participantes se decantaron en un 26% por la A, en 52% por la B, en un 15% por la C y en un 7% por la D. Sin embargo, después de la intervención, evidenciada por la Figura 8II y Tabla 2, es notorio que un 87% eligió la alternativa correcta (ver barra amarilla C, en la Figura 9II). Es importante destacar que este logro fue debido a la discusión centrada en los dibujos. En la evaluación posterior, la votación para la alternativa A de la MI deja entrever que la situación poco probable (Figura 7I a) se toma como alternativa correcta, es decir, que NO puede ocurrir. Así, el 10% la habría

elegido porque, sabiendo que la estequiometría es 1:1, es posible que pensaran que nunca las concentraciones de A y B podrían tener el mismo valor, lo cual no significa que no pueda ocurrir. Esto demuestra que este porcentaje de estudiantes quedó con una idea errada de lo dicho por el docente en la Tabla 2, entrada 5. La alternativa B no fue votada esta vez. La D mostraba un comportamiento en que la concentración de A es mayor que la de B (ver Figura en sección Comprobación del aprendizaje mediante evaluaciones), pero de forma asimétrica; la podrían haber elegido porque aún les es difícil imaginar que una reacción 1:1 tenga tal comportamiento. Respecto a la MC, se puede ver (Figura 9I) que tanto la evaluación previa como la posterior no muestran mucha diferencia, siendo la alternativa D la más votada (presumiblemente por lo expuesto antes).



**FIGURA 9.** Porcentaje de respuestas relacionadas con el gráfico de concentración versus tiempo para una reacción general  $A \rightleftharpoons B$ . Ver los dibujos asociados a las alternativas en 2.4. **I**, respuestas a la pregunta de la MC, y **II** respuestas a la pregunta de la MI. S/R=Sin Respuesta.

En resumen, en el ejemplo 1 se observa que para que los y las estudiantes comprendieran el concepto de calor específico se realizaron 3 ciclos GEM (declaraciones: 1 – 5, 6 – 8 y 10 – 12, Tabla 1) siendo el *Forms*® uno de detección de ideas previas. En el ejemplo 2 la cantidad de ciclos GEM fue de uno (declaraciones: 1 – 5, Tabla 2) y el *Forms*® se utilizó dos veces como una evaluación previa y como una posterior. Es importante señalar que, para lograr el objetivo de esta actividad, la elaboración de dibujos (Price et al. 2007) fue crucial dentro del estudiantado.

## Conclusiones, mejoras y proyecciones

En este estudio se comprueba que el estudiantado reacciona positivamente al SRI *Forms*®, sobre todo si las encuestas son anónimas (Barr 2017). Se recomienda mantener esta práctica si se trabaja con la generación Z (McCrindle, 2014).

Dentro de los ejemplos mostrados, la combinación del SRI *Forms*® con los ciclos GEM se hizo de una forma amalgamada. Los *Forms*® fueron utilizados como una herramienta que inició la reflexión mediante los ciclos GEM, y no solo como una evaluación meramente formativa. Es decir, se aprovechó esta TIC como suerte de «rompe-hielo» para hacer participar al estudiantado incorporando el anonimato y así llevarlos a la reflexión y participación a viva voz, o en el chat, mediante los ciclos GEM. Esta combinación de procesos es la que dio como resultado una pedagogía que permitió al estudiantado aprender. De hecho, los resultados de rendimiento estudiantil muestran que, para los dos ejemplos presentados, este aumentó una vez realizada la intervención. En el caso del ejemplo dos, los resultados son más destacados debido a que se trabajó con dibujos.

Por otro lado, esta investigación es clara en mostrar que es un primer acercamiento a la combinación de *Forms*® con ciclos GEM. Por lo mismo, se hace necesario un diseño más acabado que considere no solo estos, sino también una mejora en la planificación de la clase basada en el ciclo didáctico (Figura 1), la construcción de modelos mentales más refinados y el uso de razonamientos no formales y heurísticos. Además, es necesaria una ampliación de la muestra intervenida. Es por esto por lo que se espera que la Teoría MOMENT (Nunez-Oviedo y Clement, 2019; Clement, 2022) proporcione un marco teórico para el perfeccionamiento de esta investigación a futuro.

### **Agradecimientos**

Autor agradece a María Cecilia Nunez-Oviedo por compartir sus conocimientos y a los y las estudiantes de los años 2020 y 2021 en pandemia que participaron en las actividades presentadas. ¡Gracias, chicos y chicas! #SuPropinaEsMiSueldo

### **Referencias**

- Frías, M. V., Arce, C. y Flores-Morales, P (2016). Uso de la plataforma socrative.com para alumnos de Química General. *Educación Química* 27(1), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.09.003>
- Flores-Morales, P. (2022). The Similarity Index: A New and Simple Algorithm to Measure Coherence in Polls. *Creative Education*, 13, 203-237. <https://doi.org/10.4236/ce.2022.131014>
- Barr, M. L. (2017). Encouraging college student active engagement in learning: Student response methods and anonymity. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(6), 621-632. <https://doi.org/10.1111/JCAL.12205>
- Blasco-Serrano, A., Lacruz, J., y Sarsa, J. (2018). Students' perception of flipped classroom through the use of social networks and classroom response systems. *Revista de Educación a Distancia*, 57. <https://doi.org/10.6018/red/57/6>
- Bojinova, E., Bojinova, E., y Oigara, J. (2011). Teaching and Learning with Clickers: Are Clickers Good for Students? *Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning Objects*, 7(1), 169-184.
- Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. *CBE Life Sciences Education*, 6(1), 9-20. <https://doi.org/10.1187/CBE.06-12-0205/ASSET/IMAGES/LARGE/CBE0010700690003.JPEG>
- Chen, T.-L., Lin, Y.-F., Liu, Y.-L., Yueh, H.-P., Sheen, H.-J., y Lin, W.-J. (2013). Integrating Instant Response System (IRS) as an In-Class Assessment Tool into Undergraduate Chemistry Learning Experience: Student Perceptions and Performance. In M.-H. Chiu, H.-K. Wu, C.-C. Chou, H.-L. Tuan, y Y.-W. Lin (Eds.), *Chemistry Education and Sustainability in the Global Age* (pp. 267-275). Springer Science+Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4860-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4860-6_23)

- Chng, L., y Gurvitch, R. (2018). Using Plickers as an Assessment Tool in Health and Physical Education Settings., *89*(2), 19–25. <https://doi.org/10.1080/07303084.2017.1404510>
- Chu, H. E., Treagust, D. F., Yeo, S., y Zadnik, M. (2012). Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts. *International Journal of Science Education*, *34*(10), 1509–1534. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.657714>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, *22*(9), 1041–1053.
- Clement, J. (2008). *Creative Model Construction in Scientists and Students the Role of Imagery, Analogy, and Mental Simulation* (First). Springer.
- Clement, J. J. (2022). Multiple Levels of Heuristic Reasoning Processes in Scientific Model Construction. *Frontiers in Psychology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.750713>
- FuseSchool - Global Education. (2022). *What Is Dynamic Equilibrium? | Reactions | Chemistry | FuseSchool - YouTube*. [https://www.youtube.com/watch?v=wID\\_ImYQAgQyab\\_channel=FuseSchool-GlobalEducation](https://www.youtube.com/watch?v=wID_ImYQAgQyab_channel=FuseSchool-GlobalEducation)
- Gavilán, P. (2009). Aprendizaje cooperativo. Papel del conflicto sociocognitivo en el desarrollo intelectual. Consecuencias pedagógicas. *Revista Española de Pedagogía*, *42*, 131–148.
- Gilbert, J. K., y Treagust, D. (2009). *MODELS AND MODELING IN SCIENCE EDUCATION. Multiple Representations in Chemical Education* (J. K. Gilbert y D. Treagust, Eds.; 1st ed., Vol. 4). Springer. <http://www.springer.com/series/6931>
- 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.
- Krause, J. M., O'Neil, K., y Dauenhauer, B. (2017). Plickers: A Formative Assessment Tool for K–12 and PETE Professionals. *Strategies*, *30*(3), 30–36. <https://doi.org/10.1080/08924562.2017.1297751>
- Lobos, K., Cisternas, N., y Bruna, C. (Eds.). (2022). *Docencia virtual en Educación Superior, Estrategias para el cambio y la innovación* (1º). Universidad de Concepcion.
- López-Cortés, F., Ravanal, E., Palmas-Rojas, C., y Merino, C. (2021). Niveles de representación externa de estudiantes de educación secundaria acerca de la división celular mitótica: una experiencia con realidad aumentada. *Revista de Medios y Educación*, *62*, 7–37. <https://revistapixelbit.com>
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M., y Pontes-Pedrajas, A. (2017). Uso de Sistemas de Respuesta Inmediata para mejorar el aprendizaje de conceptos de termodinámica en la universidad. *Enseñanza de Las Ciencias, Extraordinario*, 1697–1701.
- McCrinkle, M. (2014). *The A B C of X Y Z* (Third). McCrinkle Research Pty Ltd. [www.markmccrinkle.com](http://www.markmccrinkle.com)

- 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. [www.educacionquimica.info](http://www.educacionquimica.info)
- Mohammed, O. (2018). Learning Management System and the Underlying Learning Theories: Towards a new Modeling of an LMS. *International Journal of Information Science y Technology-IJIST*, 2(1), 2550–5114. <http://innove.org/ijist/25>
- Moreno, A. J., Aguilera, M. J., Laguna, A., de La Cruz, J. L., Torres, M., Torres, J., Sol, M., Guzmán, G., de la Cruz, C., Martínez, J., Manzano, F., Salmerón, E., Gil, F., y Alcayde, A. (2018). El uso de sistemas de respuesta interactiva como herramienta para favorecer el aprendizaje proactivo en ingeniería. *Revista de Innovación y Buenas Prácticas Docentes*, 5, 91–96.
- 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/educ.2019.00068>
- Perales, F. J. (1992). Desarrollo cognitivo y modelo constructivista en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, 13(Enero/Abril), 173–189.
- Price, N., Stephens, A. L., Clement, J., y Nunez-Oviedo, M. C. (2007). Using imagery support strategies to develop powerful imagistic models. *Science Scope*, 40–49.
- Rapanta, C., Botturi, L., Goodyear, P., Guàrdia, L., y Koole, M. (2020). Online University Teaching During and After the Covid-19 Crisis: Refocusing Teacher Presence and Learning Activity. *Postdigital Science and Education*, 2(3), 923–607. <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00155-y>
- Rudolph, J. (2017). A brief review of Mentimeter – a student response system. *Journal of Applied Learning y Teaching*, 1(1). <https://doi.org/10.37074/jalt.2018.1.1.5>
- UMB. (2022). *5 Sistemas de Respuesta Inmediata - UMBVirtual*. <https://umbvirtual.edu.co/5-sistemas-de-respuesta-inmediata/>
- Williams, G., y Clement, J. (2017). Co-Constructing Models in High School Physics: Comparing Degrees of Teacher and Student Participation in Whole Class Discussions. In *Physics Teaching and Learning: Challenging the Paradigm* (pp. 1–26).
- Wood, T. A., Brown, K., y Grayson, J. M. (2017). Faculty and Student Perceptions of Plickers. *2017ASEE Zone II Conference*, 1–7.
- Zhu, M., Lee, H. S., Wang, T., Liu, O. L., Belur, V., y Pallant, A. (2017). Investigating the impact of automated feedback on students' scientific argumentation, 39(12), 1648–1668. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1347303>

Zhu, Q., y Carless, D. (2018). Higher Education Research y Development Dialogue within peer feedback processes: clarification and negotiation of meaning. *Higher Education Research y Development*, 37(4), 883–897. <https://doi.org/10.1080/07294360.2018.1446417>