



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

GALIO Gaming: Ludic Learning of Inorganic and Organic Chemistry Part 1: Development of a playful-didactic project at the Facultad de Química at UNAM

Antonio Reina^{1*}, Chloé Lhardy², Héctor García-Ortega³, Jesús Gracia-Mora¹, Armando Marín-Becerra¹ y Miguel Reina^{1*}

Recepción: 19/10/2022

Aceptación: 04/01/2023

Resumen

Los juegos educativos han demostrado en los últimos años que son herramientas pedagógicas útiles y eficientes, ya que contribuyen a la enseñanza y el aprendizaje en un ambiente distendido. Diversos esfuerzos se han realizado en la enseñanza de cursos introductorios de química para favorecer el aprendizaje de temas complejos y transversales, abordándolos de manera sencilla, divertida e incluso competitiva. En la Facultad de Química de la UNAM, hemos generado una serie de juegos de mesa de química que tratan temas de las materias de los primeros semestres de las diferentes carreras que se imparten en la Facultad. La aplicación de estos juegos de mesa en el aula de clase ha mostrado resultados interesantes que apuntan a la utilidad y eficiencia de esta metodología pedagógica en términos del aprendizaje. Dichos resultados prometedores permitieron producir de forma física los juegos de mesa de química para que estén permanentemente disponibles para estudiantes y profesores en la Facultad y que puedan ser utilizados de manera lúdica y didáctica. En este artículo mostramos los diferentes trabajos realizados y su impacto en el aprendizaje de alumnos de los primeros semestres de la Facultad de Química.

Palabras clave

Química introductoria, Enseñanza lúdica, Didáctica, Unidades y magnitudes, Nomenclatura orgánica, Primeros semestres de licenciatura.

Abstract

Educational games have demonstrated that they represent valuable pedagogical instruments, which can contribute to teaching and learning in a gratifying environment. In chemistry courses, an important effort has been made to facilitate complex interrelated concepts in an easy, enjoyable and sometimes competitive way. At Facultad de Química, UNAM, we have generated a series of chemistry educational games treating a variety of introductory chemistry topics. The application of these games in the classroom showed encouraging results in terms of increasing learning and helping to overcome documented misconceptions. These promising results lead to a higher scale printing of the games, thus being available at the campus and allowing students and teachers to use them for ludic and didactic purposes. Herein, we discuss the different contributions and their impact in students' learning.

Keywords

Introductory chemistry, Games/Puzzle, Didactic, Physical quantities, Organic nomenclature, First-year undergraduates.

¹Departamento de Química Inorgánica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Correo de contacto: mreina.2404@hotmail.com

²Claustro de Profesores de Ciencias Físicas y Químicas, Lycée Franco-Mexicain, Ciudad de México, México.

³Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Introducción

La enseñanza de las ciencias químicas se basa, fundamentalmente, en establecer la relación conceptual que existe entre sus tres niveles de comprensión: el mundo fenomenológico, en el que ocurren las reacciones químicas, la representación y visualización microscópica a partir de modelos, y la transcripción de estos procesos al lenguaje químico simbólico para poder comunicarlos de manera clara, concisa, sencilla y sistemática (Wu & Shah, 2004; Brown et al., 1997; Talanquer, 2011; Reina & Reina, 2021). Estos tres niveles se encuentran interconectados, por lo que suelen representarse esquemáticamente por el triángulo de Johnstone (Johnstone, 1991; Petillion & McNeil, 2020; Philipp et al., 2014; Mahaffy, 2004), el tetraedro de Mahaffy o la tripleta expandida de Talanquer, en la que se demuestra que la química es una ciencia multidimensional, en la que las escalas (subatómica, molecular, supramolecular, multi-partícula, mesoscópica y macroscópica), la dimensión (composición y estructura, tiempo y energía) y los acercamientos (matemáticos, conceptuales, contextuales, históricos, sociales y técnicos) se conjuntan para hacer de su estudio un desafío mayor y más enriquecedor (Mahaffy, 2004; Sjostrom & Talanquer, 2014; Reina et al., 2021). En ese sentido, el famoso triángulo de Johnstone en su búsqueda de sencillez resulta hasta cierto punto reduccionista.

La necesidad de pasar constantemente de un nivel de comprensión a otro, lo que es intrínsecamente complicado, deriva en que los estudiantes de los primeros años universitarios tengan concepciones alternativas, ideas erróneas y dificultades para diferenciar entre fenómenos y sus representaciones (Garnett & Hackling, 1995; Novak, 1988). En este sentido, se ha comprobado sistemáticamente la existencia de numerosas ideas alternativas en el aula de clase, en particular en las asignaturas de los primeros semestres de la formación universitaria, lo que representa un obstáculo importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Algunas de las concepciones alternativas más comunes son: la incapacidad de distinguir con claridad entre una molécula y un compuesto (Birch, 2015; Tsaparlis et al., 2010; Griffiths & Preston, 1992; Taber, 2002a; Taber, 2002b; Othman et al., 2008; Barke, 2013; Toplis, 2008; Donaghy & Saxton, 2012; Stains & Talanquer, 2013; Kahveci, 2009; Stains & Talanquer, 2007; Myers, 2012; Reina et al., 2022), la dificultad para apropiarse adecuadamente de la nomenclatura química como una herramienta necesaria en el aprendizaje de la química (Skonieczny, 2006; Lind, 1992; Report of the Organic Subcommittee of the Curriculum Committee, 1972; Loeffler, 1989; Eggert et al., 1992; Orvis et al., 2016; Fendos, 2021; Mullin & Courtney, 1996; Childs & Sheehan, 2009; Markow & Lonning, 1998; Nakhleh, 1992; Bojczuk, 1982; Ratcliffe, 2002; Pungente & Badger, 2003; Fautch, 2015), o aprender la diferencia entre una magnitud física y su unidad (Overman et al., 2014; Hohenstein & Manning, 2010; Vogelzang & Admiraal, 2017), entre muchas otras.

Normalmente en las aulas de clase, los docentes emplean el método de clase-disertación para abordar los distintos temas. Esto implica una forma discursiva, muchas veces monótona, sin que haya suficientes elementos que demuestren que los estudiantes se involucren realmente en su aprendizaje y con pocos ejemplos o casos de estudio para que los estudiantes relacionen lo aprendido con el mundo que los rodea, lo que conlleva a una pobre interacción docente-estudiante, estudiante-estudiante y escasa motivación por parte del alumnado, lo que finalmente desemboca en un aprendizaje muchas veces insuficiente y fragmentado.

Desde hace algunas décadas, se ha propuesto que el estudiante se sitúe al centro de su propia experiencia educativa mediante distintas estrategias entre las que se incluye el aprendizaje recreativo. En este contexto, la generación de material lúdico-didáctico puede ser una excelente herramienta para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. De hecho, se ha constatado la importancia de jugar para aprender y mejorar la capacidad de resolución de problemas y ejercicios complejos, en especial en el área científica, y más precisamente en la Química. El empleo de juegos educativos (Sánchez-Martín et al., 2017; Pieroni et al., 2000; Russell, 1999; Franco-Mariscal et al., 2012; de Freitas & Oliver, 2006; Samide & Wilson, 2014; Antunes et al., 2012; Bayir & Deniz, 2013), además de mostrar resultados prometedores en cuanto a la mejora del aprendizaje, promueve un ambiente agradable, distendido y seguro para que el estudiante afronte problemas fundamentales de química mientras se divierte, genera empatía y una sensación de comunidad con sus compañeros. El éxito de estas estrategias se puede ver reflejado en el gran número de juegos para enseñar y aprender química desarrollados en los últimos años, en los que se tratan diversos temas de química general (Tabla Periódica y equipo de laboratorio), fisicoquímica (introducción a la estructura atómica) y química orgánica (estrategias de síntesis, nomenclatura, identificación de grupos funcionales), entre otros (da Silva Júnior et al., 2018; da Silva Júnior et al., 2018; Kurushkin & Mikhaylenko, 2016; Cherif et al., 1997; Kletsch, 1978; Greengold, 2005; Jacobsen, 2009; Yenikalaycı et al., 2019; Sen, 2021; Flynn et al., 2014; Moreira, 2013; Calvo Pascual, 2014; Crute, 2000; Palacios, 2006; Granath & Russell, 1999; Cha et al., 2018; Knudtson, 2015; Akkuzu & Uyulgan, 2015; O'Halloran, 2017; Welsh, 2003; Bell, Martínez-Ortega, & Birkenfeld, 2020; Cha et al., 2017; Kucukkal & Kahveci, 2019; Reina et al., 2022; García-Ortega et al., 2022; Lhardy et al., 2022).

El compromiso de la Facultad de Química de la UNAM con sus estudiantes es que se mantengan los altos estándares de calidad en su formación y que, entre otras cualidades, adquieran los conocimientos, destrezas, habilidades y competencias que les permitan desarrollar sus actividades profesionales. En particular, en aquellas áreas donde la Química juega un papel fundamental y con ello contribuir a la solución de los problemas nacionales e internacionales (Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, 2021). Sin embargo, se ha observado constantemente que muchas de las insuficiencias académicas de los estudiantes provienen de temas muy básicos, y que difícilmente se pueden subsanar únicamente con las asignaturas de tronco común que ofrece la Facultad en sus primeros semestres. En este contexto, la implementación de juegos de mesa puede servir como una estrategia remedial y como una oportunidad para subsanar de forma eficiente las deficiencias antes mencionadas. De esta forma, se pretende evitar que los estudiantes arrastren concepciones alternativas o erróneas a lo largo de la carrera, minando su aprovechamiento escolar, e impidiendo su egreso en tiempo y forma. Hasta antes del desarrollo de este proyecto, en la Facultad de Química no existía, o era realmente escaso, material académico con un enfoque lúdico. La generación de este tipo de material a nivel introductorio, en particular en las áreas de química inorgánica y orgánica, puede permitir tener recursos educativos de alta calidad que respondan a las exigencias de los planes de estudios vigentes en la Facultad de Química.

Por estos motivos, un grupo de profesores pertenecientes a los departamentos de Química Inorgánica y Nuclear y de Química Orgánica de la Facultad de Química de la UNAM, con el apoyo de docentes del Claustro de Profesores del Liceo Franco Mexicano, hemos emprendido un proyecto integral y multidisciplinario para la generación de

juegos educativos de química. **GALIO** (*Gaming: Aprendizaje Lúdico de Química Inorgánica y Orgánica*, por sus siglas en español), tiene el objetivo de beneficiar no solamente a los estudiantes en su aprendizaje de una forma recreativa, pero también busca brindar nuevas estrategias y herramientas para los docentes que deseen emplear los juegos de mesa desarrollados para ayudar a los estudiantes a abordar conceptos introductorios de las distintas asignaturas de manera clara, concisa y lúdica. Esta propuesta responde a una problemática importante y propone una solución innovadora, fácil de implementar, divertida y que puede ser muy eficiente para remediar y mejorar la enseñanza-aprendizaje de temas generales de química. En este sentido, se ha demostrado la enorme contribución de jugar para aprender, memorizar y resolver problemas complejos. Cabe mencionar que **GALIO** puede tener un impacto directo en una gran cantidad de estudiantes de la Facultad de Química, dado que el departamento de Química Inorgánica y Nuclear ofrece asignaturas de Química General y Química Inorgánica a más de 4,000 estudiantes de alguna de las seis carreras que se imparten en la Facultad (Química, Química Farmacéutica Biológica, Química de Alimentos, Ingeniería Química, Ingeniería Química Metalúrgica, Química e Ingeniería en Materiales) por semestre; mientras que el departamento de Química Orgánica se centra en las diferentes asignaturas de Química Orgánica, que cursan más de 2,500 estudiantes por semestre.

Este artículo pertenece a una serie de contribuciones en las que discutiremos la generación de material lúdico-didáctico, tanto en su versión física como en digital, además discutiremos las pruebas de concepto llevadas a cabo en el aula de clases y, la organización y desarrollo de una Feria de Juegos de Química acogida en la Facultad de Química. En esta primera entrega, presentaremos los resultados de este primer año de trabajo, *i.e.*, algunos de los juegos generados y ya impresos (Reina et al., 2022; García-Ortega et al., 2022; Lhardy et al., 2022), así como los prometedores resultados mostrados por los estudiantes en el aula de clase en términos de aprendizaje, y mejor todavía, su participación en el proyecto.

Juegos desarrollados: Compuestos y Moléculas, MET-orgánica y Unit Kemps

En esta sección se presentan los tres juegos elaborados por profesores de la Facultad de Química y tanteados por estudiantes de la misma institución. Aquí se discutirá brevemente la forma de jugarlos, la recepción por parte del estudiantado, pero sobre todo los temas que abordan y la necesidad en términos pedagógicos de cubrirlos para mejorar el aprovechamiento escolar de los estudiantes de los primeros semestres de la Facultad de Química. De acuerdo con el trabajo seminal de Jeanne V. Russell (Russell, 1999), los juegos se pueden clasificar por el tópico que abordan (conocimiento general, elementos y estructura atómica, nomenclatura, fórmulas químicas y escritura de ecuaciones químicas, reacciones químicas, o química orgánica), por la forma de jugarlos (tablero, cartas, dados, rompecabezas o juegos electrónicos), por el número de jugadores, por el tipo habilidades puestas a disposición del juego (memorización, ejercicios sencillos, resolución de problemas), si se trata de juegos cooperativos o de oposición y finalmente si derivan de juegos comerciales o populares. En este contexto, la clasificación de los juegos *Compuestos y Moléculas*, *MET-orgánica* y *Unit Kemps* se presenta en la Tabla 1. Además, cabe mencionar que los dos primeros juegos, (*Compuestos y Moléculas* y *MET-orgánica*) corresponden a adaptaciones de juegos comerciales conocidos (*¿Adivina quién?* y *Y UNO*, respectivamente),

por lo que se juegan de manera análoga a sus versiones comerciales, mientras que el juego *Unit Kemps* es una adaptación de un juego de cartas popular en Francia.

Nombre	Tema que aborda	Plataforma	Jugadores	Habilidad
Compuestos y Moléculas	Conocimiento general Elementos y estructura atómica Fórmulas químicas	Tablero	2	Memorización Identificación Interpretación Análisis de datos Integración
MET-orgánica	Nomenclatura Fórmulas químicas Química orgánica	Cartas	2 a 10	Memorización Identificación
Unit Kemps	Conocimiento general	Cartas	4-6-8	Memorización Identificación Análisis de datos Integración

TABLA 1. Clasificación de los juegos Compuestos y Moléculas, MET-orgánica y Unit Kemps.

A continuación, se discutirá sumariamente la forma de jugar cada uno de estos tres juegos.

Compuestos y Moléculas

El uso adecuado de las palabras es fundamental para la comunicación, y en la ciencia esto no es una excepción (Reina et al., 2022). En química es crucial nombrar correctamente cada entidad y cada especie química que se evoque. Sin embargo, y en parte debido a que la terminología química ha cambiado con el tiempo, es frecuente encontrar confusiones entre conceptos como elementos, átomos, moléculas y compuestos (Birch, 2015; Tsaparlis et al., 2010; Griffiths & Preston, 1992; Myers, 2012; Reina et al., 2022). Taber y Othman, entre otros, señalan que frecuentemente los alumnos representan el cloruro de sodio con moléculas de fórmula NaCl en lugar de hacerlo por una estructura cristalina tridimensional (Taber, 2002a; Taber, 2002b; Othman et al., 2008; Barke, 2013; Toplis, 2008; Donaghy & Saxton, 2012). Más aún, los estudiantes tienden a transferir propiedades del bulto a las partículas que lo conforman, afirmando que una sola molécula tiene propiedades físicas macroscópicas (Taber, 2002a; Taber, 2002b; Othman et al., 2008; Barke, 2013). Es común igualmente el uso indistinto de las palabras molécula y elemento, incluso entre educadores de la química, por ejemplo Talanquer y Kahveci, aseguran que el octaazufre (S_8) es el elemento azufre en vez de una molécula (Stains & Talanquer, 2013; Kahveci, 2009; Stains & Talanquer, 2007). Con el objetivo de paliar estos conceptos erróneos, diseñamos *Compuestos y Moléculas*.

En *Compuestos y Moléculas*, dos jugadores se enfrentan para intentar descubrir la carta del oponente realizando preguntas cerradas (Reina et al., 2022). Está basado en el famoso juego de Milton Bradley, *¿Adivina Quién?*, y se juega de forma similar; además está disponible en español e inglés. La principal diferencia radica en que, en vez de descubrir un personaje a partir de sus características, los jugadores deben atinar a encontrar el sistema químico de su adversario a partir de sus propiedades. Por turnos, los jugadores hacen preguntas acerca del sistema de su adversario y con base en la respuesta, van eliminando aquellas sustancias que no cumplen con dicha característica. El juego consta de 50 posibles compuestos o moléculas y está diseñado para incluir siete distintos aspectos acerca de las sustancias:

- Está formada por moléculas, compuestos o ambos.
- Se trata de un compuesto iónico o covalente.
- La geometría de la molécula o la estructura del compuesto.
- La polaridad.
- El estado de agregación.
- El color.
- Su solubilidad o miscibilidad en agua.

El juego es versátil y abierto, por lo que preguntas relacionadas con el tipo de átomos o al tipo de enlace también son posibles. Para mostrar que el juego está bien balanceado con respecto a la jugabilidad, la Figura 1 presenta un diagrama de Venn-Euler en el que se muestran los sistemas químicos en sus diferentes categorías (elementos, moléculas, compuestos y sus correspondientes intersecciones).

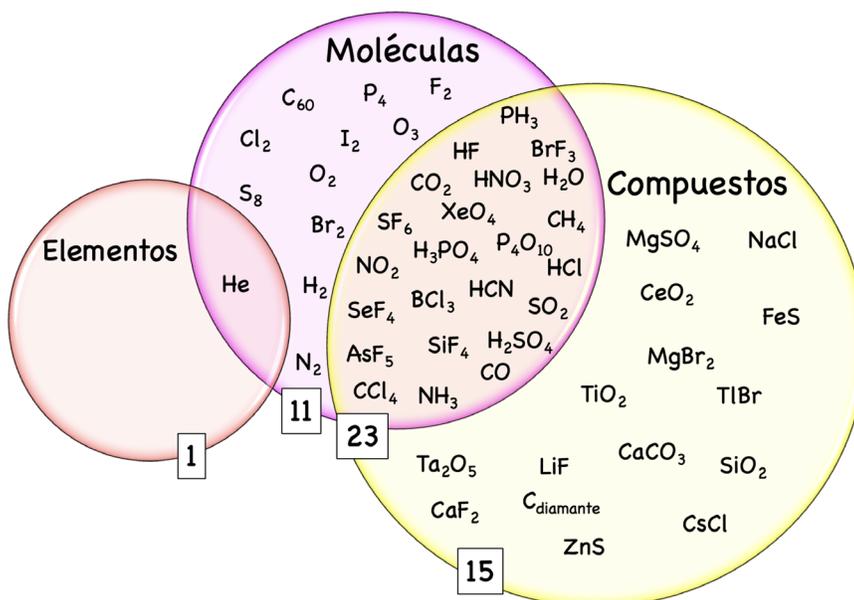


FIGURA 1. Diagrama de Venn-Euler para las categorías de molécula/ambos/compuesto/ para cada una de las especies químicas presentes en el juego *Compuestos y Moléculas*: 12 moléculas, incluyendo el helio (He), 15 compuestos y 23 moléculas/compuestos (Reina et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(3), 1266–1271. Copyright 2022 American Chemical Society.

En particular, el juego permite hacer una clara distinción entre sustancias formadas por moléculas y sustancias formadas por compuestos. Las especies formadas por moléculas son aquellas cuyas entidades químicas tienen un número finito de enlaces químicos (Reina et al., 2022). Mientras que, las especies formadas por estructuras reticulares o por moléculas constituidas a partir de átomos de distintos elementos pueden considerarse como compuestos. De esta manera, el cloro molecular, formado por entidades de fórmula Cl_2 , está formado por moléculas. Por su parte, las entidades que forman el ácido fluorhídrico, de fórmula HF, pueden clasificarse como moléculas, pero también como compuestos, ya que están formados a partir de átomos de dos elementos distintos: hidrógeno y flúor. Finalmente, el cloruro de sodio no está formado por moléculas, sino por una estructura reticular cristalina de iones Na^+ y Cl^- , por lo que sólo puede clasificarse como compuesto, y en la que su fórmula química corresponde a la relación de iones presentes en el sistema. Otros aspectos interesantes que el juego permite discutir en clase con los alumnos son los alótropos de carbono, que evidencian las diferencias estructurales y fisicoquímicas de las especies C_{60} y $\text{C}_{\text{diamante}}$, lo que demuestra claramente que una especie formada por átomos de un mismo elemento no es el elemento en sí (Birch, 2015; Reina et al., 2022; Reina et al., 2022). Un caso muy particular es el del helio, de fórmula He, ya que está formado por átomos aislados de helio. Estas entidades también pueden ser consideradas moléculas de helio, incluso si no forman enlaces químicos (Reina et al., 2022). Se discute también que, entre las especies con estructuras reticulares, no todas forman enlaces iónicos. Mientras que CaF_2 es un compuesto iónico, SiO_2 es un compuesto covalente. La diferencia en la geometría y la polaridad de especies como SiF_4 y SeF_4 , permite la introducción del tema de Teoría de Repulsión de los Pares Electrónicos de la Capa de Valencia (TRPECV) (Figura 2).

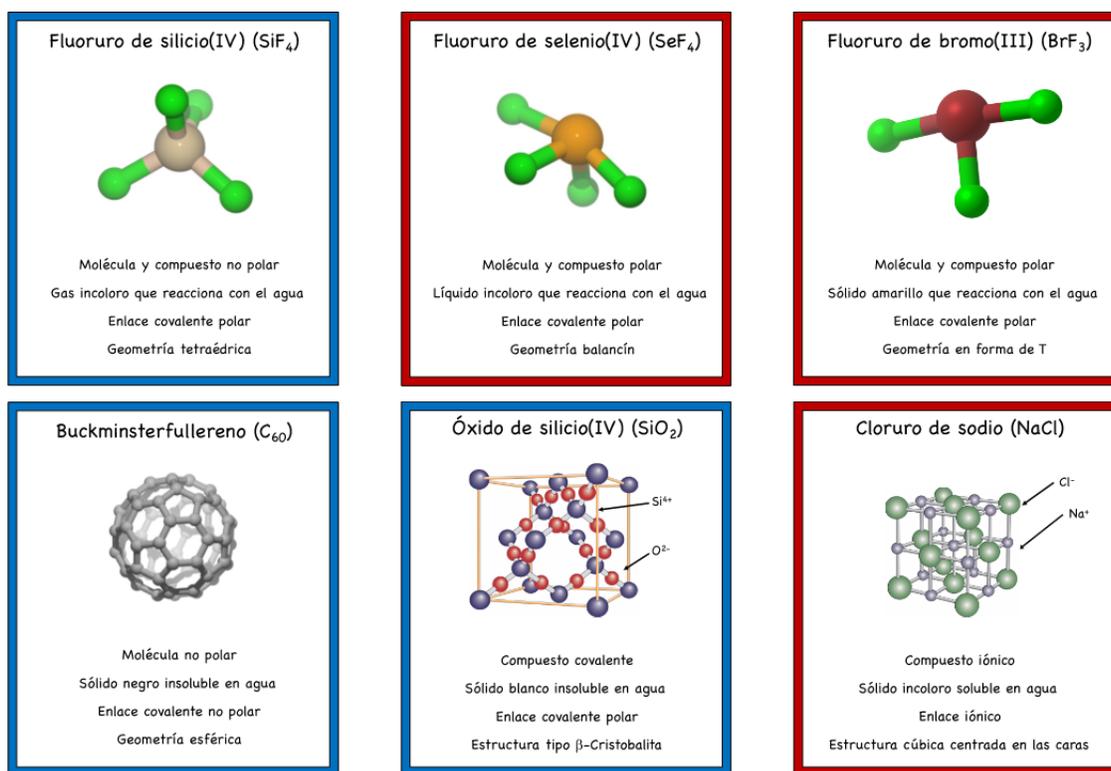


FIGURA 2. Ejemplos de especies químicas presentes en el tablero del juego (los colores azul y rojo son para los jugadores 1 y 2) (Reina et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(3), 1266–1271. Copyright 2022 American Chemical Society.

Para examinar la utilidad del juego, se realizaron diferentes partidas. Primero entre profesores de las asignaturas de Química General I y II de la Facultad de Química de la UNAM, en la que los docentes pudieron conocer y evaluar el juego. A continuación, un pequeño grupo de estudiantes (18) del primer semestre de la carrera probaron el juego y lo evaluaron. Al terminar de jugar, tanto docentes como estudiantes evaluaron *Compuestos y Moléculas*, respondiendo una encuesta de 10 preguntas con una escala de tipo Likert (Likert, 1932), utilizando las aseveraciones planteadas por da Silva Júnior (da Silva Júnior et al., 2019), que se encuentran divididas en diferentes categorías: jugabilidad, contenido y utilidad. En cada una de las categorías evaluadas, el juego fue evaluado de manera muy positiva tanto por los docentes como por los alumnos (Reina et al., 2022). Adicionalmente, los estudiantes respondieron un examen diagnóstico antes y después de jugar, en el que se observó un incremento en su capacidad para distinguir correctamente entre especies químicas formadas por moléculas o por compuestos. Estos resultados prometedores apuntan a que *Compuestos y Moléculas* representa un instrumento didáctico para promover el aprendizaje y la discusión de diversos temas de química general. La dinámica del juego estimula a los alumnos a reflexionar y discutir acerca de la naturaleza de las entidades químicas que conforman a las sustancias, pero también acerca de otras propiedades fisicoquímicas. Al ir descartando sustancias conforme sus preguntas son respondidas, el alumno entrena su capacidad lógica mientras descubre características de ciertas especies químicas y aprende a categorizarlas.

MET-orgánica

La terminología química, como quedó mostrado en el caso anterior, es clave para poder transmitir correctamente los fenómenos macroscópicos y su interpretación mediante modelos submicroscópicos (Talanquer, 2011; Johnstone, 1991; Reina et al., 2022). Uno de los aspectos más complicados de enseñar y aprender, es la nomenclatura de los compuestos orgánicos e inorgánicos (Skonieczny, 2006; Lind, 1992; Report of the Organic Subcommittee of the Curriculum Committee, 1972; Loeffler, 1989; Eggert et al., 1992; Orvis et al., 2016; Fendos, 2021; Mullin & Courtney, 1996; Childs & Sheehan, 2009; Markow & Lonning, 1998; Nakhleh, 1992; Bojczuk, 1982; Ratcliffe, 2002; Pungente & Badger, 2003; Fautch, 2015). A pesar de la necesidad e importancia de nombrar correctamente los compuestos para facilitar la comunicación entre pares, se ha demostrado que existe un importante número de obstáculos para el aprendizaje de la nomenclatura química por parte de los estudiantes de los primeros semestres de las carreras de química (Gómez-Moliné et al., 2008). Más aún, estos obstáculos impactan directamente en el seguimiento del temario por parte de los alumnos, que al no comprender el lenguaje en el que sus profesores se expresan, son incapaces de seguir el ritmo del curso. Algunos de los principales obstáculos que se han encontrado son: la confusión de las reglas y el aprendizaje memorístico, el aislamiento del tema de nomenclatura del resto de los conceptos, la falta de motivación para aprender algo que en principio parece o muy complejo o inútil y el gran número de excepciones a las reglas de nomenclatura que dificultan su uso (Gómez-Moliné et al., 2008). En este contexto, diseñamos *MET-orgánica*, un juego educativo para aprender nomenclatura orgánica.

MET-orgánica es un juego de cartas de química orgánica, para 2 a 10 jugadores, basado en el famoso juego *UNO* (García-Ortega et al., 2022). El objetivo del juego es que un jugador logre deshacerse de las cartas que tiene en la mano colocándolas en la pila central.

El juego se encuentra disponible en español, francés e inglés y en cuatro niveles de dificultad diferentes. A diferencia del *UNO*, en el que hay una correspondencia entre el número o el color de la carta que se juega con la carta del centro, en *MET-orgánica* se deben hacer coincidir el número de carbonos de la molécula o el grupo funcional al que pertenece. Las cartas están divididas en compuestos de 4 a 7 carbonos y pertenecientes a los 11 principales grupos funcionales. Los grupos funcionales presentes en el juego son los más comunes y los que se trabajan en la asignatura de Química Orgánica I: alcanos, alquenos, alquinos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, éteres, aminas y amidas.

Para cada grupo funcional y cada número de carbonos, existen dos cartas correspondientes a dos isómeros. Por ejemplo, para los alcanos C₄, las cartas *butano* y *2-metilpropano* integran el mazo. Cada carta incluye el nombre de la molécula, su fórmula molecular, el grupo funcional al que pertenece, el número de carbonos que tiene y la representación molecular de enlace-línea. De esta manera, al jugar, los estudiantes pueden familiarizarse con los grupos funcionales, pero también con la nomenclatura orgánica (Figura 3).

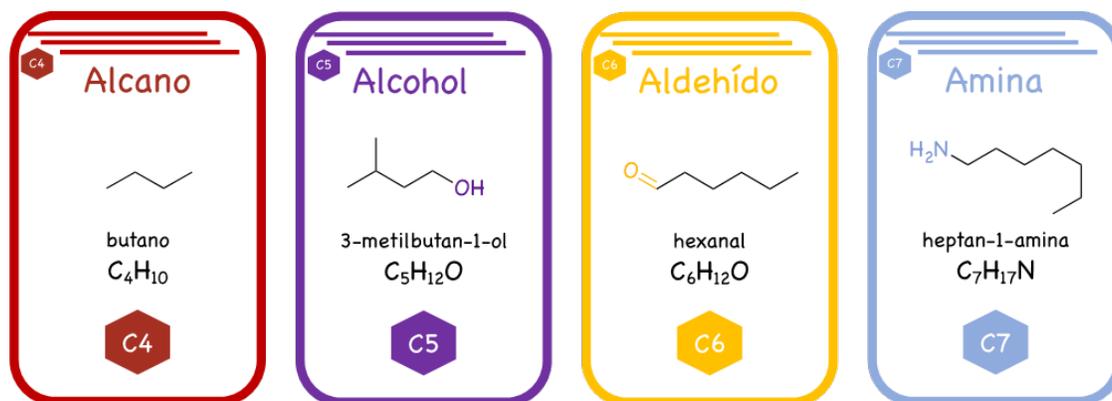
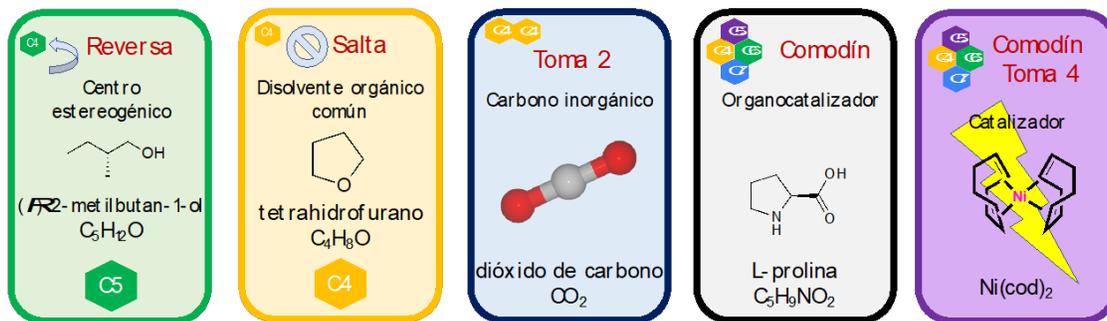


FIGURA 3. Ejemplos de cartas en *MET-organica* (García-Ortega et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 1948–1956. Copyright 2022 American Chemical Society.

Además de las 88 cartas de moléculas, se diseñaron 20 cartas de acción que dotan al juego de dinamismo, al tiempo que permiten a los docentes tratar otros temas de química orgánica (Figura 4):

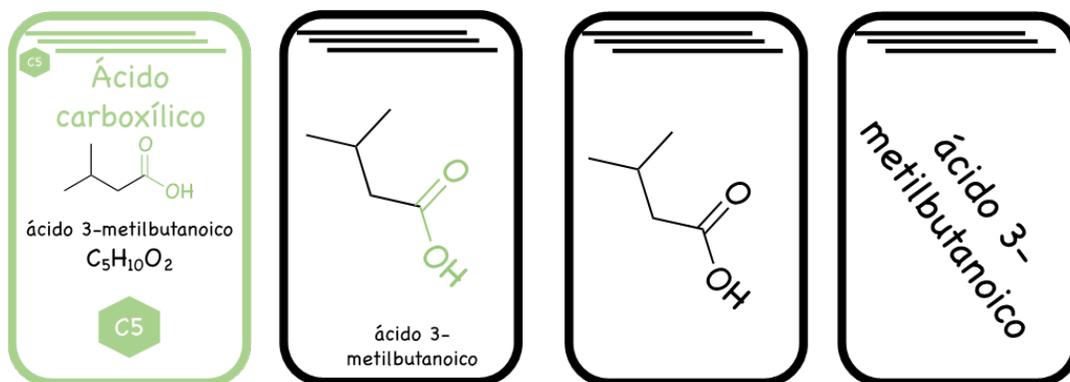
- Las cartas Reversa tratan el tema de centros estereogénicos. Hay una relación entre el cambio de sentido en que los jugadores toman turnos y la rotación del plano de polarización de la luz en este tipo de moléculas.
- Las cartas Salta que corresponden a disolventes orgánicos comunes (THF, piridina, diglima y tolueno).
- Las cartas Toma 2 representan moléculas con carbonos inorgánicos (CO, CO₂, Na₂CO₃ y HCN).
- Las cartas de Comodín introducen a los estudiantes al concepto de organocatálisis (prolina, 1,1,-dietiltiurea, cinchonidina y BINOL).
- Las cartas Comodín, toma 4, muestran catalizadores con metales de transición (Ni(cod)₂, Pd(PPh₃)₄, RhCl(PPh₃)₃ y Cu(salen))

FIGURA 4. Ejemplos de las cartas de acción en *MET-organica* (García-Ortega et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 1948–1956. Copyright 2022 American Chemical Society.



Aunado a esto, se diseñaron otros tres mazos de 108 cartas correspondientes cada uno a un nivel de dificultad diferente: principiante (*carbón*), experto (*grafito*), legendario (*diamante*) y supremo (*nanotubo de carbono*). Conforme el nivel de dificultad aumenta, disminuye la información en las cartas. Mientras que en el nivel *carbón*, toda la información se encuentra presente en las cartas, en el nivel *diamante*, el jugador debe ser capaz de contar el número de carbonos y de identificar el grupo funcional sin ayuda (Figura 5).

FIGURA 5. Ejemplos de las cartas *MET-organica* en los diferentes niveles disponibles: principiante (*carbón*), experto (*grafito*), legendario (*diamante*) y supremo (*nanotubo de carbono*) (García-Ortega et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 1948–1956. Copyright 2022 American Chemical Society.

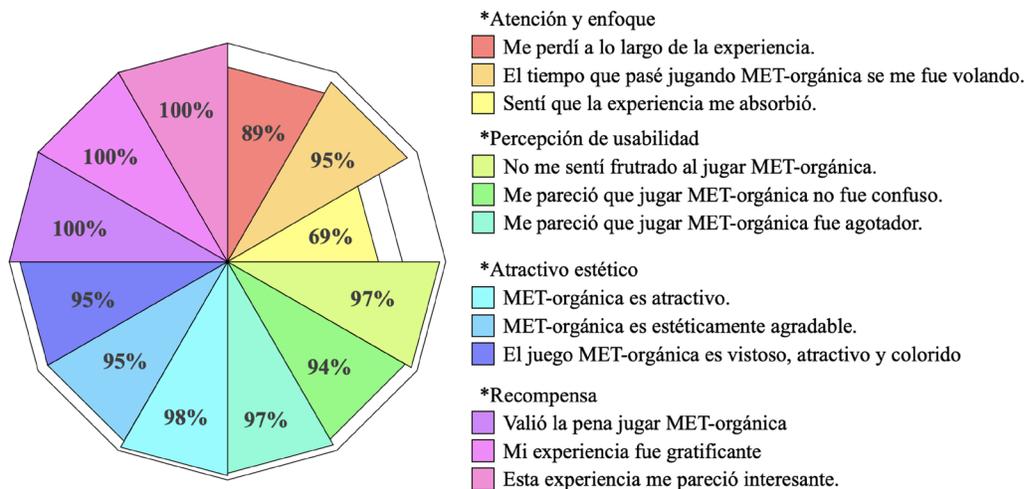


El juego, en su nivel *carbón*, fue probado con 62 alumnos de los primeros semestres de la Facultad de Química de la UNAM. Ninguno de los estudiantes había cursado química orgánica a nivel universitario antes de probar el juego. Además de contestar una encuesta de tipo Likert como en el juego mostrado anteriormente, los alumnos contestaron preguntas para generar una escala de compromiso del usuario (User Engagement Scale) tal y como propone Hall (O'Brien et al., 2018). Este tipo de escalas muestra el agrado del usuario en distintos aspectos que incluyen la sensación de inmersión durante el juego, la facilidad para jugar, el aspecto estético del material y la sensación de qué tan valioso y gratificante es realmente el juego. Los resultados de ambas encuestas fueron sobresalientes en todos los aspectos, demostrando que el juego es atractivo, útil y divertido (Figura 6).

Asimismo, los estudiantes respondieron una evaluación diagnóstica antes y después de jugar *MET-orgánica*. Puesto que ningún estudiante había cursado ninguna asignatura universitaria de química orgánica, tenían como mucho algunas nociones básicas de bachillerato. En ese sentido, es normal que los resultados previos arrojen que los estudiantes no fueran capaces de identificar grupos funcionales ni de nombrar compuestos orgánicos. En contraste, después de jugar se aprecia un incremento importante en la capacidad que tienen para realizar estas dos tareas. Observamos, sin embargo, que el error más común entre el alumnado es confundir algunos grupos funcionales como éteres y ésteres, o

aldehídos y cetonas. Además de revelar una clara mejora en el aprendizaje, los alumnos lograron responder acertadamente preguntas acerca de las cartas de acción. Muchos de ellos fueron capaces de nombrar un carbono de tipo inorgánico, conocían disolventes de uso común en el laboratorio y pudieron identificar algunos organocatalizadores. Esto demuestra que el juego, además de ayudar a identificar grupos funcionales y nombrar compuestos orgánicos, permite abordar y discutir otros aspectos de química orgánica en el aula de clase. En conclusión, *MET-orgánica* es un juego divertido, atractivo y fácil de jugar. Se trata de un instrumento pedagógico eficiente, tal y como muestran los resultados previos y posteriores de los estudiantes, en los que se ilustra una clara mejora en el aprendizaje. Más aún, el juego permite abordar diversos tópicos de química orgánica más allá de la identificación de grupos funcionales y de nomenclatura, haciéndolo versátil y valioso. Por último, ayuda a generar comunidad entre el alumnado, tal y como se indica en la escala de compromiso del usuario.

FIGURA 6. Respuestas de los estudiantes a la escala de compromiso del usuario para *MET-orgánica* (García-Ortega et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 1948–1956. Copyright 2022 American Chemical Society.



Unit Kemps

Desde la antigüedad, los seres humanos han tenido necesidad de medir magnitudes físicas. Las primeras unidades hacían referencia al cuerpo humano, el cúbito es la distancia del antebrazo entre el codo y la última falange del dedo medio; la yarda, definida en el siglo XV, es la distancia entre la nariz de un hombre y la última falange del dedo medio de su brazo estirado (McGlashan, 1968). Para garantizar la homogeneidad de las mediciones y favorecer el intercambio mercantil en Europa, se adoptó el sistema métrico poco después de la Revolución francesa de 1897 (Anderton & Bigg, 1969). Muchos esfuerzos se han realizado desde entonces para tener medidas y unidades estándar, de allí la generación de la Conferencia General de Pesos y Medidas (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) que constituyó el Sistema Internacional de Medidas (International Bureau of Weights and Measures [BIPM], 2018; Giunta, 2019; BIPM, 2018). A cada magnitud física, le corresponde un símbolo, una unidad con su respectivo símbolo, y un instrumento de medida (Davies & Moore, 1980). En ciencia, es crucial describir fenómenos físicos y químicos de manera clara y precisa, y poder cuantificar las magnitudes observadas mediante el uso de unidades. A pesar de que este tema es básico y fundamental para poder expresar fenómenos macroscópicos y submicroscópicos, se ha observado repetidamente

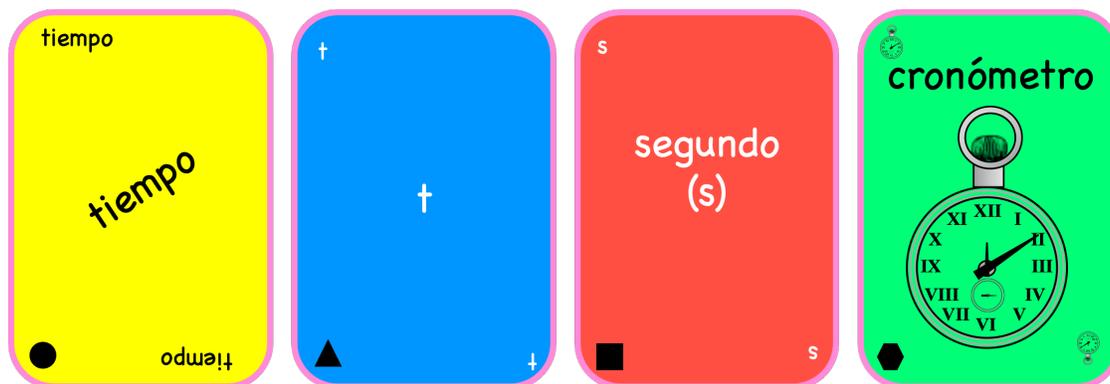
que estudiantes de los primeros semestres de la formación universitaria no dominan los conceptos de magnitudes y unidades (Guggenheim, 1958). Comúnmente los estudiantes usan indistintamente las magnitudes (*masa*) y unidades (*gramos*) para expresarse, lo que implica que no entienden conceptualmente la diferencia: "Los gramos de sulfato de sodio se miden con una balanza". Para tratar de resolver estos conceptos erróneos, diseñamos un juego educativo que busca hacerles ver la diferencia entre magnitudes y unidades (Lhardy et al., 2022).

Unit Kemps es un juego de cartas basado en el clásico juego francés *Kemps*. *Unit Kemps* se juega de 2 a 8 jugadores, por parejas. Cada jugador tiene 4 cartas en la mano y hay 4 cartas en el centro. Sin necesidad de tomar turnos, cada jugador puede intercambiar una de sus cartas por una del centro. Cuando todos los jugadores aceptan, las cartas del centro se retiran y se colocan cuatro nuevas cartas. El objetivo del juego es conseguir cuatro cartas de la misma propiedad: magnitud, símbolo, unidad y su respectivo símbolo e instrumento de medición (Figura 7). Al conseguir 4 cartas emparejadas, el jugador debe hacer una señal discreta a su compañero, que a su vez debe decir "Unit Kemps" para ganar un punto. En este sentido, a partir de un clásico mazo, se diseñaron 52 cartas correspondientes a 13 magnitudes físicas y químicas, incluyendo las 7 magnitudes fundamentales pertenecientes al Sistema Internacional de unidades (Tabla 1). Además de estas magnitudes, se diseñaron cartas suplementarias para que cada profesor pueda discutir temas distintos como propiedades eléctricas (resistencia eléctrica, potencial eléctrico) o magnitudes importantes en química (molaridad, molalidad y pH).

TABLA 1. Composición de las cartas de "Unit Kemps".

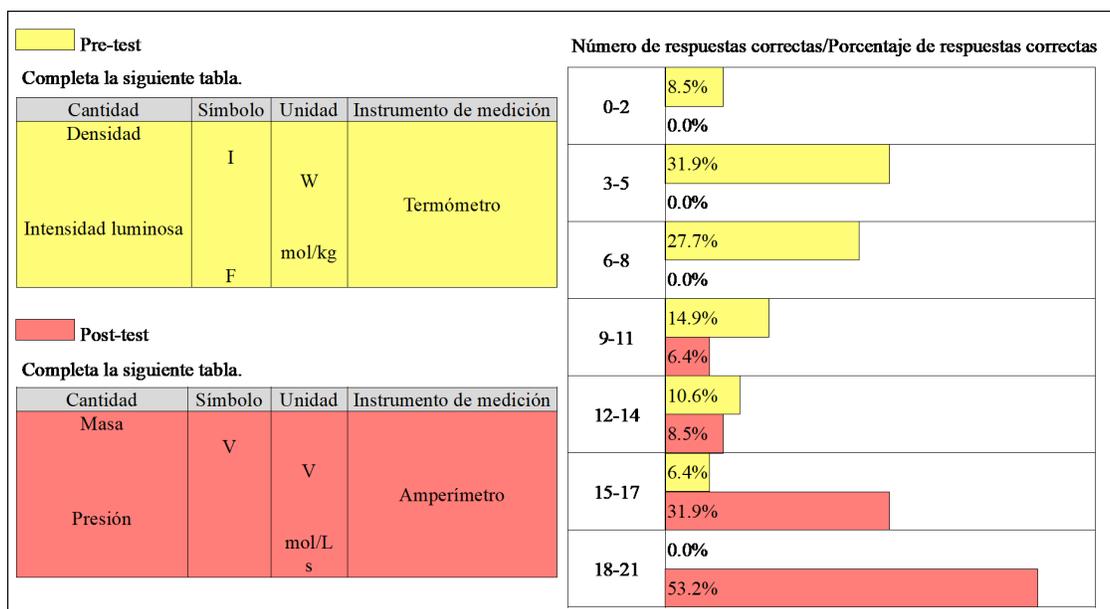
Magnitud física	Símbolo	Unidad	Símbolo de la unidad	Instrumento de medición
Unidades del SI				
cantidad de sustancia	n	mol	mol	Indirectamente con una balanza y material volumétrico
masa	m	kilogramo	kg	balanza
tiempo	t	segundo	s	cronómetro
longitud	l	metro	m	cinta métrica
temperatura termodinámica	T	kelvin	K	termómetro
intensidad de la corriente eléctrica	I	ampere	A	amperímetro
intensidad luminosa	I _v	candela	cd	indirectamente con un luxómetro
Unidades derivadas del SI con nombre				
energía	E	joule (kg·m ² /s ²)	J	indirectamente, por ejemplo, con un espectrofotómetro
fuerza	F	newton (kg·m/s ²)	N	dinamómetro
presión	p	pascal (kg/m·s ²)	Pa	manómetro
carga eléctrica	Q	coulomb (A·s)	C	indirectamente con un voltímetro
Otras unidades derivadas del SI				
volumen	V	metro cúbico	m ³	probeta, bureta o pipeta
densidad	r	kilogramo por metro cúbico	kg/m ³	indirectamente con una balanza y material volumétrico

FIGURA 7. Ejemplo de cuatro cartas emparejadas de *Unit Kemps* (Lhardy et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 3170-3176. Copyright 2022 American Chemical Society.



Al igual que para *MET-orgánica*, estudiantes de la Facultad de Química de la UNAM contestaron preguntas de tipo Likert y la escala de compromiso del usuario. En ambos aspectos, el juego fue altamente evaluado como un instrumento divertido, estético, relevante y valioso. Por su parte, la evaluación diagnóstica antes y después de jugar *Unit Kemp*, reveló el impacto en el aprendizaje de los alumnos (Figura 8). Las pruebas, previo y posterior, consistieron en dos ejercicios. El primero en responder una serie de preguntas de verdadero o falso, y el segundo en completar una tabla acerca de 7 magnitudes físicas o químicas. Mientras que, en el primer ejercicio, no hubo una diferencia significativa antes y después de jugar, en el segundo ejercicio se observan resultados contrastantes. Antes de jugar *Unit Kemp*, solamente 6% de los estudiantes pudo completar correctamente la tabla (15 respuestas correctas de 21), mientras que después de jugar, la proporción se incrementó a 85%. Los errores más comúnmente encontrados fueron confundir el símbolo del potencial eléctrico (U) con el símbolo de su unidad (V), y asociar correctamente que la intensidad de la corriente eléctrica (I) se mide con un amperímetro. Estos resultados son muy prometedores y muestran que *Unit Kemp* puede ser una herramienta útil para docentes y estudiantes de cualquiera de las ramas científicas.

FIGURA 8. Resultados de los estudiantes antes y después de jugar *Unit Kemp* (Lhardy et al., 2022). Reprinted with permission from *J. Chem. Educ.* 2022, 99(5), 3170-3176. Copyright 2022 American Chemical Society.



Para realizar una lectura mucho más precisa, se invita al lector interesado a revisar las referencias: Reina et al., 2022; García-Ortega et al., 2022 y Lhardy et al., 2022. 74, 75 y 76.

Impacto de galio en la Facultad de Química

En esta sección se discutirá el impacto positivo que ha tenido el proyecto de galio en términos de aceptación e involucramiento por parte de la comunidad estudiantil de la Facultad de Química. En este contexto, se mencionará cómo los estudiantes, a partir de diversas actividades curriculares y extracurriculares, han hecho posible extender el proyecto, en términos académicos, más allá de los objetivos y metas iniciales, visibilizando y convenciéndose de que el material lúdico-didáctico tiene posibilidades exitosas en el aprovechamiento escolar, ya sea como una herramienta de aprendizaje, de remediación o simplemente, de ocio.

Galio y la idea de generar juegos educativos fue presentado a un grupo de estudiantes pertenecientes a la asignatura de Química Inorgánica en el rubro de laboratorio como un proyecto de final de semestre, así como fue promovido como sendos talleres extracurriculares antes del inicio de los semestres 2022-2 y 2023-1. Finalmente, este grupo de profesores organizamos una pequeña feria de juegos dedicados a la química dentro del marco de la bienvenida de la generación 2023 y organizada por la Secretaría de Apoyo Académico. En términos generales, los resultados fueron tan satisfactorios y promisorios con respecto a la participación de la comunidad estudiantil, que se planea ampliar estas actividades los próximos años.

Proyecto de fin de cursos en el Laboratorio de Química Inorgánica I

La asignatura de Química Inorgánica I es para muchos estudiantes de la Facultad de Química, la última asignatura del Departamento de Química Inorgánica y Nuclear en la que se inscribirán. En ese sentido, se trata de una asignatura crucial que aborda, desde la óptica de la Química Inorgánica, numerosos temas y conceptos referentes a la estructura atómica y su relación con las propiedades periódicas, como herramienta fundamental en el estudio de las propiedades físicas y químicas de las sustancias inorgánicas, a la explicación del comportamiento de las sustancias a partir de principios químicos fundamentales, y a la descripción de los materiales desde el punto de vista estructural y de reactividad química empleando modelos pertinentes que permitan explicar las diferentes propiedades macroscópicas, entre otros. En este contexto, en las sesiones de laboratorio, se promueve el análisis crítico, la discusión reflexiva y la pertinencia de adagios comunes o de ideas ampliamente difundidas a partir de experiencias prácticas orientadas a descubrir, vincular y resaltar la importancia de la Química Inorgánica dentro del marco de la generación del conocimiento científico.

En la Facultad de Química, los grupos de laboratorio de la asignatura de Química Inorgánica I se componen de alrededor de 18 estudiantes de todas las carreras y durante el semestre se llevan a cabo entre 10 y 14 prácticas diferentes, destinadas a responder experimentalmente diversas cuestiones de reactividad en general. Para el grupo de laboratorio 26 del semestre 2021-1, que se impartió en línea con las enormes dificultades que eso conllevó, pues la experimentación fue imposible, se llevó a cabo un proyecto final

de semestre con la finalidad de integrar el conocimiento aprendido a lo largo del semestre. El proyecto trató de generar un "Escape room" (Sala de escape) digital integrando al menos un conocimiento o aprendizaje importante de cada una de las prácticas vistas en clase. Un "Escape room" o sala de escape es un juego que se desarrolla en una habitación de la que se debe salir o escapar, resolviendo una serie de acertijos concatenados de diferente dificultad antes de que el límite de tiempo, generalmente una hora, se cumpla. Se trata de un juego colaborativo, es decir, que se juega en equipos de 3 a 6 personas normalmente, y apto para todos los públicos en los que una parte importante es la temática de la sala. Normalmente, el cuarto está ambientado en algún género popular: misterio, terror, aventuras, fantasía, ciencia ficción, y los acertijos pueden ser tanto físicos como cognitivos. A diferencia de los "Escape rooms" comerciales en los que no se requiere de ningún conocimiento o habilidad específica para resolverlos, en el proyecto desarrollado por los estudiantes del grupo 26, para resolver los enigmas y rompecabezas, se requería de los conocimientos aprendidos durante el semestre. De hecho, una de las reglas fue que algún conocimiento de cada una de las prácticas estudiadas se viera plasmado en el juego. En el grupo había 17 estudiantes inscritos, por lo que se organizaron 4 equipos, 3 equipos de 4 integrantes y uno de 5 estudiantes. En este trabajo, se presentará de forma sucinta el trabajo del equipo ganador, resaltando dos cuestiones principalmente: la complejidad de los acertijos diseñados, y la capacidad de los estudiantes para integrar conocimiento y plasmarlo en un juego.

Los estudiantes Axel Aguilar, Nayeli Arroyo, Joshua García y Gabriel Hernández, de segundo año de la carrera, nombraron a su escape room *Infierno orbital* (Figura 9), mismo que se sitúa en un ambiente espacial del género de ciencia ficción y terror muy parecido al de *Alien: el octavo pasajero*, película dirigida por Ridley Scott y estrenada en 1979. En *Infierno orbital*, la Tierra ha sido declarada inhabitable e inhóspita, por lo que una expedición de científicos mexicanos de la UNAM seleccionados por la NASA viaja al espacio para determinar si en un planeta lejano llamado Nova, existen las condiciones necesarias para la vida, y así poder habitarlo. Al llegar, la expedición se ve confrontada a la presencia de un ser maligno que buscará matarlos y destruir su nave, haciendo la misión estéril.

En lo que prosigue se presentará un acertijo situado a la mitad de la misión. Además, se presentará su respuesta intentando poner de relieve cómo, a través del juego, los estudiantes son capaces de integrar conocimiento al tiempo que proponer material lúdico-didáctico interesante.

Acertijo 1 y su resolución.

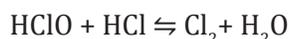
Enunciado:

Ahora analizarás la sangre del alien, y por la batalla anterior sabes que su sangre es muy corrosiva. En el equipo que conforma la expedición saben que los ácidos y bases fuertes pueden ser corrosivos, por lo que, infieren que la sangre se compone de este tipo de sustancias, pero no saben cuál en específico. Para comprobarlo, tratan la sangre con diferentes sustancias. Primero, prueban agregando ácido hipocloroso a una muestra de sangre en disolución acuosa, y observan el desprendimiento de un gas verde. Posteriormente, a otra muestra de sangre en disolución, añaden unas gotas de hidróxido de sodio, y observan la formación de un sólido insoluble naranja. Por último, pretenden analizar qué tan corrosiva es la sangre del alienígena, por lo que introducen un trozo de plata a la sangre en disolución, y observan cómo se desprende un gas color ámbar.

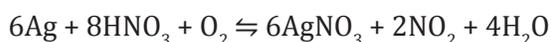
Después de realizar las pruebas, ¿la sangre es ácida o básica? Propón justificadamente la composición principal de la sangre del alien y explica ¿cuál es el papel de la especie que forma el sólido insoluble en la sangre?

Respuesta: La sangre tiene una composición ácida, más precisamente está constituida por agua regia (HCl y HNO₃) y por iones Hg²⁺ disueltos.

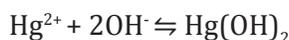
Se sabe que hay HCl porque al reaccionar con HClO forma Cl₂ (gas verde) en la reacción representada por la ecuación:



Además, la existencia de ácido nítrico, HNO₃, queda demostrada en el experimento de oxidación de la plata por el agente oxidante, NO₃⁻, y la producción de un gas ámbar (NO₂). La siguiente ecuación química representa dicho fenómeno:



Finalmente, se puede advertir la presencia del catión Hg²⁺, pues al reaccionar la sangre del alienígena con NaOH, se forma un sólido insoluble que corresponde al hidróxido de mercurio(II), según la ecuación:



La función de Hg²⁺ es que, al ser un catión ácido, debido a su alta electronegatividad, puede hidrolizar el escaso contenido de agua en la sangre de acuerdo con la ecuación tipo:



Por lo que contribuye todavía más (aunque de forma muy marginal) a la acidez de la sangre de la criatura.

Este es uno de los 12 acertijos propuestos por el equipo en el juego *Infierno orbital*. Cabe mencionar que no todos tienen la misma dificultad, hay algunos directos y que sirven para reforzar conocimiento básico, y otros como el que se presenta en este trabajo, que demuestra la imaginación, la creatividad y el trabajo de integración del conocimiento en un caso imaginario, pero académicamente válido. Para descifrar la composición de la sangre del alienígena se deben tener conocimientos sólidos de varias prácticas realizadas en el laboratorio (UNAM, 2023).



FIGURA 9. Portada del "Escape room" *Infierno orbital*.

Cursos intersemestrales extracurriculares

En los intersemestres 2022-1 y 2022-2 se llevaron a cabo sendos cursos intersemestrales extracurriculares titulados: *Un acercamiento lúdico a conceptos básicos de Química* y *La química a partir de la elaboración de material lúdico didáctico*. La oferta de cursos extracurriculares en la Facultad de Química es muy variada y cada intersemestre los estudiantes interesados aprovechan parte del periodo vacacional para completar su formación de muy diversas maneras. En ese sentido, los cursos propuestos cumplen el objetivo principal de este tipo de actividades académicas. El primer curso contó con la asistencia de 80 estudiantes y se centró en que los estudiantes probaran el juego de *MET-orgánica* y aprendieran el tema de grupos funcionales, mientras que el segundo con 16 participantes, y derivado de la muy grata experiencia mencionada en la sección anterior, tuvo la intención de poner a los estudiantes al centro de su aprendizaje al retarlos a proponer, diseñar y generar juegos de química. El primer curso extracurricular fue un éxito porque se pudo demostrar la eficacia de los juegos como herramientas válidas para aprender tópicos introductorios y de dificultad superior. Estos éxitos ya fueron descritos en la sección 2.2 de este trabajo. En opinión de los autores, el segundo curso fue todavía más exitoso, pues los estudiantes demostraron todo su ingenio y creatividad para, en una semana, seleccionar un tema, desarrollarlo y generar material lúdico-didáctico. A continuación, se exponen los dos juegos sugeridos por los estudiantes participantes. Cabe mencionar que los juegos diseñados abordan temáticas muy diferentes, se basan en mecánicas de juego completamente distintas y que la estructura de pensamiento es prácticamente opuesta; sin que, por ello, los juegos dejen de ser divertidos, retadores y útiles desde el punto de vista docente.



FIGURA 10. Profesores y estudiantes durante el Curso Intersemestral 2022-2.

Orbitopoly

Orbitopoly es un juego para repasar y profundizar en el tema de estructura atómica desarrollado por Jesús Erubiel Miguel, Sebastián Maldonado y Dennise Salazar. *Orbitopoly* es un juego a la imagen del clásico Monopoly, en el que los jugadores deberán demostrar sus amplios conocimientos en el tema de estructura atómica para poder asegurar la victoria. *Orbitopoly* es una competencia entre dos parejas, en la que cada una representa un par de electrones con espines opuestos. Estos electrones se moverán a lo largo de un tablero que representa un átomo con siete niveles energéticos. El objetivo del juego es comprar un orbital en cada nivel energético para crear una trayectoria que le permita a una pareja llegar al orbital de menor energía, *i.e.*, 1s. Cada pareja deberá unir sus fotones, emitir y absorber energía, contestar preguntas, someterse a batallas, comprar propiedades, y más, para lograr el objetivo de llegar al orbital 1s y así ganar la partida.

El tablero (Figura 11) consiste en una representación de un átomo en el que se describen siete niveles energéticos, cada uno con sus respectivos subniveles de energía. Al inicio, cada jugador debe posicionar su electrón en un cuadro fuera del átomo y se le hará entrega de 300 fotones (los fotones funcionan como moneda en este juego). Para moverse en el tablero se escogen las fichas que contienen las configuraciones electrónicas de diferentes átomos (en estado fundamental). En este caso la ubicación a la que se llega depende del último orbital que se llena en el átomo de la ficha.

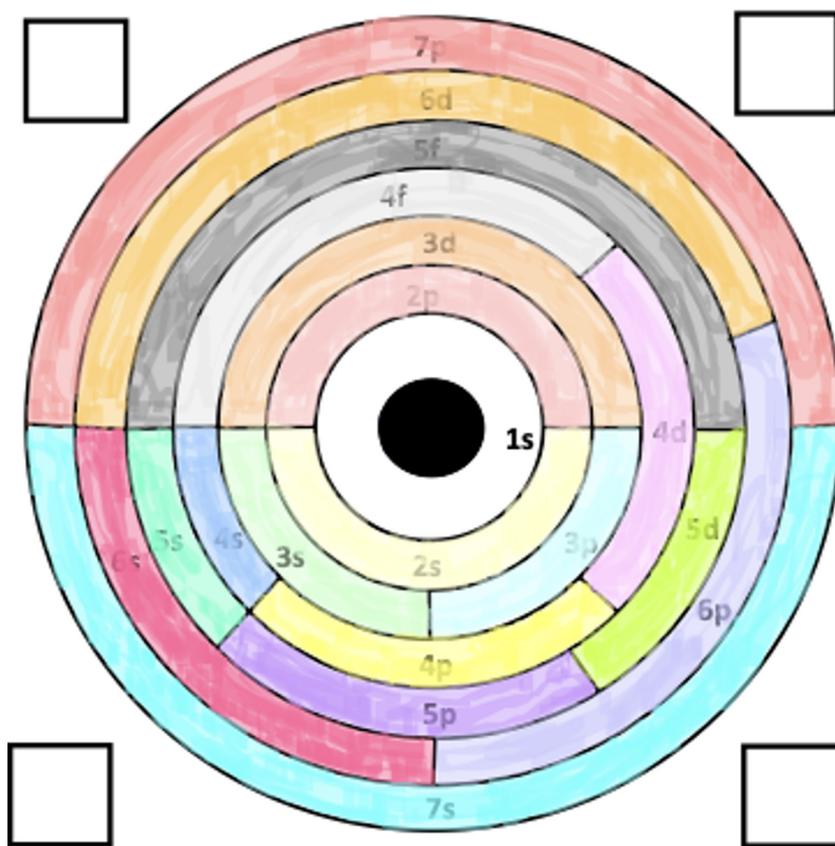


FIGURA 11. Tablero de Orbitopoly con los siete niveles de energía y los subniveles asociados.

- ¿Qué sucede al llegar a un orbital en el tablero?

I. *Compra de orbitales s, p y d*: si cumples con los requisitos del orbital en el que te ubicas (cantidad de fotones y preguntas), puedes comprar el orbital. Al comprar un orbital, aseguras pasos para cumplir el objetivo del juego. Además de que son una fuente segura de dinero porque si un jugador del equipo contrario cae en un orbital de tu propiedad, este deberá pagar cierta cantidad de fotones proporcional al valor de la propiedad (de manera análoga a una renta, Figura 12). Si no se hace la compra del orbital, entonces el jugador no puede permanecer ahí, por lo que deberá retroceder a la posición en la que estaba.



FIGURA 12. Ejemplo de fichas de fotones.

II. *Renta de orbitales s, p, y d*: si un jugador cae en un orbital del equipo contrario, deberá pagar la cantidad de fotones especificada.

III. *Trampa electrónica, orbitales f*: si la posición a la que llega un jugador es un orbital f, deberá permanecer ahí a modo de prisión. Hay varios métodos para salir de la prisión: contestar preguntas, usar comodines o, en caso de que otro jugador con espín paralelo caiga en la misma trampa, se librará una batalla contestando preguntas especiales. Algunas de estas preguntas se muestran en la Figura 13.

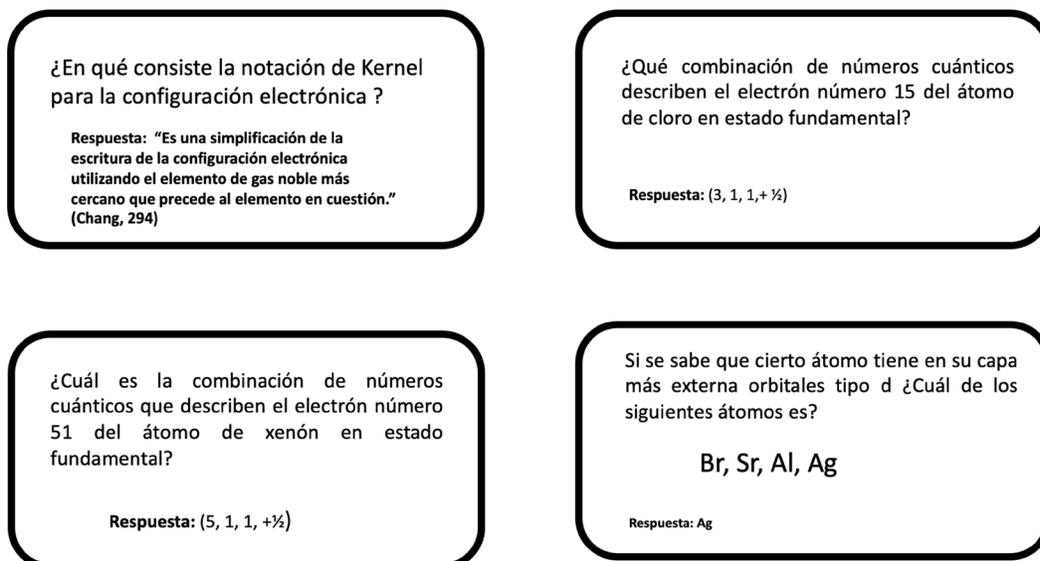


FIGURA 13. Ejemplo de fichas de preguntas.

- ¿Qué sucede si decido conservar mi posición?

En ese caso el jugador deberá tomar una carta de otro mazo que le indicará la acción a realizar (preguntas, ganancia o pérdida de fotones, entre otras opciones).

- ¿Cómo se llega al orbital 1s?

Para poder llegar al orbital 1s cada equipo debe ser propietario de al menos un subnivel de energía por cada nivel energético, de esa forma se podrá trazar la trayectoria del electrón del nivel más externo al orbital 1s. Además, para conseguir el orbital se requiere cumplir con los requisitos de la ficha del orbital 1s, es decir, contestar la clase de preguntas que se piden y pagar la cantidad de fotones requerida. Finalmente, ambos miembros del equipo deben estar en el orbital.

Aunque el juego no ha sido probado con muchos estudiantes, algunas pruebas de concepto se han efectuado con resultados promisorios. La intención es comprobar su eficacia en estudiantes de segundo y tercer año de carrera de la Facultad de Química de la UNAM.

Quimиаudaz

Los estudiantes Wendy Domínguez, Daniel Jarquín, Karen Morín y Lizbeth Rodríguez diseñaron *Quimиаudaz*, un juego de velocidad y destreza en el que varias parejas (de 2 a 6) se oponen para encontrar las tarjetas ganadoras. *Quimиаudaz* fue generado con el objetivo de reforzar de manera lúdica los conocimientos básicos sobre la identificación y representación de los grupos funcionales en diversas sustancias químicas comunes. La dinámica del juego se basa en el lanzamiento de dos dados que contienen los nombres de los diferentes grupos funcionales presentes en el juego. A continuación, los jugadores, por parejas, deben identificar el grupo funcional entre una serie de 50 tarjetas dispuestas al azar en una mesa antes de que se cumpla un minuto. Los jugadores que más tarjetas correctas acumulen ganan; sin embargo, si escogen una tarjeta equivocada y sus oponentes son capaces de nombrar el grupo funcional escrito en la tarjeta, el punto pasa a la pareja que atinó el nombre. El juego está diseñado para tener una duración de cuatro partidas, es decir, que se lanzan los dados cuatro veces, y en los que nuevos grupos funcionales van apareciendo. En *Quimиаudaz*, están presentes los once grupos funcionales más comunes y que sirven de introducción a la nomenclatura y reactividad de la Química Orgánica, mismos que a continuación se enlistan:

- Ácido carboxílico
- Alcohol
- Aldehído
- Alqueno
- Amida
- Amina
- Cetona
- Éster
- Éter
- Halogenuro
- Nitro

Los estudiantes diseñaron además varios niveles para incrementar el tiempo de vida útil del juego. En los siguientes niveles, las tarjetas contienen dos y hasta tres grupos funcionales. En las Figuras 14 y 15, se presentan los dados utilizados en el juego, así como el frente y el reverso de una tarjeta del juego. Aunque el juego se desarrolla con el frente de las tarjetas, es decir, mostrando la estructura de línea de las moléculas de las sustancias, el reverso de las tarjetas tiene información adicional, misma que puede ser consultada por los jugadores durante o después de la partida. En ese sentido, el reverso de las tarjetas muestra la fórmula química condensada, algunas propiedades fisicoquímicas como la densidad o el punto de fusión y ebullición de la sustancia, y sobre todo el uso de la sustancia. Este aspecto en particular tiene el objetivo de que los estudiantes reconozcan que las sustancias con las que están jugando en *Quimiaudaz* son de uso común y tienen aplicaciones directas. En la Figura 15, se muestra la información de la tarjeta del éter etílico, en la que se resalta su aplicación como anestésico.

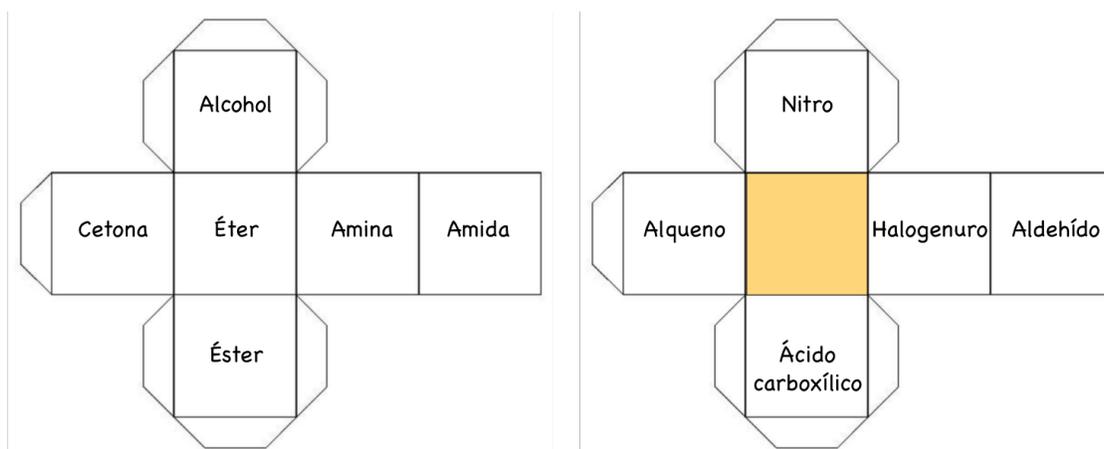


FIGURA 14. Dados de *Quimiaudaz*.

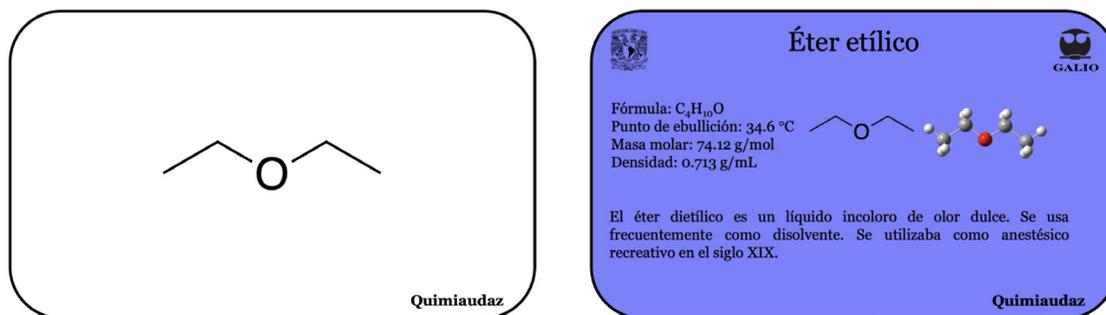


FIGURA 15. Tarjeta de frente y reverso para el éter etílico.

Quimiaudaz en su nivel más básico, fue probado durante el curso intersemestral extracurricular por cerca de 15 estudiantes de la Facultad de Química de diferentes semestres y por tres profesores de la misma institución. En términos generales, el juego es explosivamente divertido, fácil de jugar y genera una sana competencia. Esto se debe principalmente a que los jugadores se encuentran alrededor de una mesa, están en constante movimiento para tomar las tarjetas y sólo tienen un minuto por partida.

- Bienvenida estudiantes generación 2023 en la Facultad de Química

En el marco de la semana de Bienvenida para los estudiantes de la generación 2023 en la Facultad de Química de la UNAM, en la que se recibió a más de 1,400 estudiantes, se organizaron durante el segundo día una Feria de Bienvenida, diferentes módulos y stands con información acerca de algunos temas de interés para la comunidad estudiantil entre las que se incluyeron temas de protección civil, posibilidades de mercado laboral para egresados, demostraciones de los laboratorios de química, actividades de educación de género y de respeto a la diversidad, entre otros (Figura 16) (Facultad de Química, 2023). Entre dichos puestos, los integrantes de Galio, con la ayuda de los estudiantes Erick Díaz, Joshua Máximo, Jesús Erubiel Miguel, Daniel Ocampo y Dennise Salazar, prepararon cinco mesas para que los estudiantes de nuevo ingreso pudieran jugar con algunos de los juegos educativos de química diseñados para ellos. Durante la sesión, que duró alrededor de 4 horas, más de 400 jóvenes participaron activamente en los stands de Galio disfrutando del material lúdico-didáctico propuesto. Los estudiantes recibieron la propuesta lúdica con entusiasmo, se sintieron rápidamente acogidos en el seno del campus y pudieron conocer a otros estudiantes en un ambiente didáctico distendido.



FIGURA 16. Foto de la Feria de Bienvenida.

Los juegos que se ofrecieron durante el evento fueron *Unit Kemps*, *Quimiaudaz*, presentados en las secciones anteriores, y un ejemplo de un juego llamado *Quimdoku*. Es una adaptación del popular juego de lógica matemático japonés Sudoku. El sudoku es uno de los juegos de puzzle más populares de las últimas décadas. El objetivo del sudoku es rellenar una cuadrícula de 9x9 con números, de forma que cada fila, columna y bloque de 3x3 contenga cada uno de los dígitos entre 1 y 9. En este caso, los recuadros se completan empleando conocimientos de química. El ejemplo probado durante la Feria de Bienvenida, versa sobre los elementos químicos, la alquimia y los planetas del sistema solar. En ese sentido se integra el conocimiento de simbología química moderna y alquímica con los nombres de 9 elementos químicos. En particular, es interesante el símbolo alquímico de algunos elementos relacionados con cuerpos celestes. Al jugar este *Quimdoku* los estudiantes amplían su cultura general con respecto a la historia de la química, al tiempo que refuerzan su conocimiento de nombres y símbolos químicos (Figura 17). Aunado a esto, el *Quimdoku*

está organizado de tal manera los elementos de la diagonal corresponden al orden de los planetas en el sistema solar, del más cercano al más lejano al Sol. En el reverso de la hoja, se propone información acerca de símbolo alquímico y del planeta que representa (Figura 18). El objetivo a mediano plazo es diseñar una plataforma digital para poder jugar todas las versiones de *Quimdoku* que han sido diseñadas, que incluyen temas de química general, química orgánica y química de coordinación.

♀	♃	♂	♄	♅	♆	♁	♂	♁
cobre	estaño	hierro	mercurio	neptunio	litio	plomo	plutonio	uranio
Cu	Sn	Fe	Hg	Np	Li	Pb	Pu	U

	♂	♁	Cu	Li		plutonio		
♅			Sn		Hg	litio		uranio
♃	♁			Fe			mercurio	neptunio
uranio	neptunio				♁	Hg		Sn
hierro		cobre	♄		♁		Pb	
litio			♅	♂		Fe	U	
Pu		Np	plomo				♁	♂
	Li			uranio	estaño	♁		♄
	U	Hg		neptunio	hierro		♀	

FIGURA 17. *Quimdoku* de los elementos químicos, alquimia y los planetas del sistema solar.

Los símbolos astronómicos planetarios y su relación con los elementos químicos.

Cada uno de los siete metales conocidos en la antigüedad, estaba relacionado con uno de los siete cuerpos celestes conocidos. Aunque tenían su propio símbolo, fueron representados por el símbolo del cuerpo celeste correspondiente (cobre, estaño, hierro, mercurio, plomo, oro y plata). Los demás planetas fueron descubiertos posteriormente y no forman parte de símbolos alquímicos tradicionales. Algunos alquimistas modernos consideran apropiados los símbolos de estos planetas para representar al litio y a los metales radiactivos plutonio, uranio y neptunio.

- ♀: Símbolo en honor a la diosa romana del amor, la belleza y la fertilidad y también se utiliza para representar al género femenino. Se cree que es la representación estilizada del espejo de mano de esta diosa del amor.
- ♃: Símbolo en honor del dios principal de la mitología romana. representa un jeroglífico del águila, el pájaro de Jove, o que es la letra inicial de Zeus con una línea dibujada a través de ella para indicar su abreviatura.
- ♂: El símbolo representa el escudo y la lanza del dios de la guerra de la mitología romana. También es el símbolo masculino.
- ♄: El símbolo representa la cabeza y la gorra alada del dios romano del comercio y la comunicación, el caduceo.
- ♅: El símbolo representa el tridente del dios del mar.
- ♁: Es el símbolo muestra un globo dividido por líneas meridianas en cuatro cuartos.
- ♁: El símbolo representa una antigua guadaña u hoz en honor al dios romano de la agricultura y la cosecha.
- ♂: El símbolo es un monograma formado por las letras P y L, iniciales de Percival Lowell, quien predijo su descubrimiento.
- ♁: El símbolo representa dos dispositivos combinados que indican el Sol más la lanza de Marte, en honor al dios griego que era la personificación del cielo.
- ♁: Asociado al elemento oro. El símbolo representa un escudo con un círculo en su interior.
- ♁: Asociado al elemento plata. El símbolo representa una media luna.

En una hoja representa el sistema solar con un dibujo, colocando el símbolo planetario "alquímico" y del elemento correspondiente.

Referencias:
<https://solarsystem.nasa.gov/resources/680/solar-system-symbols/>
<https://www.symboloteca.com/simbolos-planetas/>

FIGURA 18. Reverso del juego *Quimdoku* con información acerca de los cuerpos celestes presentes en el juego y sus símbolos alquímicos.

Conclusiones y perspectivas

El proyecto ***GALIO Gaming: Aprendizaje Lúdico de Química Inorgánica y Orgánica***, busca ofrecerles a los estudiantes y a los docentes de la Facultad de Química de la UNAM instrumentos alternativos para la revisión de conceptos inscritos en los temarios de las materias de tronco común de la Facultad. Se llevó a cabo el desarrollo, prueba e impresión de una serie de juegos educativos que tratan los temas de terminología química, nomenclatura orgánica y, magnitudes y unidades. La aceptación de estos materiales lúdico-didácticos por parte de la comunidad universitaria, tanto del alumnado como de la planta docente, aunado a los prometedores resultados en términos de incremento del aprendizaje, hacen de ***GALIO*** un proyecto didáctico y pedagógico integral y multidisciplinario. Los resultados de las evaluaciones del material lúdico-didáctico por parte de estudiantes y profesores, aunado a los prometedores resultados en el mejoramiento del aprendizaje, han permitido que el proyecto siga creciendo, generando nuevos materiales e incluyendo a cada vez más estudiantes y profesores. Los cursos intersemestrales extracurriculares propuestos en la Facultad de Química fueron un éxito rotundo y como consecuencia de ello, pudimos participar en la Feria de Bienvenida de la generación 2023 con excelentes resultados.

En los meses venideros, trabajaremos en el desarrollo de nuevos juegos educativos en formato digital para favorecer la interacción entre el alumnado, al tiempo que se corrigen concepciones alternativas o se abordan nuevos temas didácticos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la valiosa discusión científica con Dra. Karla Salas (FQ, UNAM), M. en C. Adrián Espinoza-Guillén (Laboratorio de Química Inorgánica Medicinal, FQ, UNAM), y M. en C. Mario Rodríguez Varela (Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental, ICAT, UNAM). Igualmente, agradecen a Grisell Moreno Morales por la invitación a la Feria académica de bienvenida de la generación 2023, y por supuesto a todos los estudiantes participantes. Este trabajo fue llevado a cabo con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIME-PE208822 y PAPIME-PE203123.

Referencias

- Akkuzu, N., & Uyulgan, M. A. (2015). How to improve students' comprehension concerning the major terms of functional groups? In the experiment of OrCheTaboo game. *International Journal of Higher Education*, 5(2), 196-212. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v5n2p196>
- Anderton, P., & Bigg, P. H. (1969). Changing to the metric system (3rd ed.). *H.M.S.O.*
- Antunes, M., Pacheco, M. A. R., & Giovanela, M. (2012). Design and implementation of an educational game for teaching chemistry in higher education. *Journal of Chemical Education*, 89(4), 517-521.
- Barke, H.-D. (2013). Structure of matter – Diagnosis of misconceptions and challenge. *Bulletin of the Chemical Society of Bosnia and Herzegovina*, 40, 9-14.

- Bayir, E., & Deniz, C. (2013). Designing a chemistry educational game and examining reflections about it. *Journal of Science Education*, 14(2), 92-93.
- Bell, P. T., Martinez-Ortega, B. A., & Birkenfeld, A. (2020). Organic chemistry I cassino: A card game for learning functional group transformations for first-semester students. *Journal of Chemical Education*, 97(6), 1625-1628. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01084>
- BIPM. (2018). The International System of Units (SI) (9th ed., draft). *BIPM*. <https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-EN.pdf>
- Birch, H. (2015). *50 Chemistry ideas you really need to know* (1st ed.). Quercus Publishing.
- Bojczuk, M. (1982). Topic difficulties in O and A level Chemistry. *School Science Review*, 63(224), 545-551.
- Brown, T. L., LeMay Jr, H. E., Bursten, B. E., & Brunauer, L. S. (1997). *Chemistry: The central science* (Vol. 13). Prentice Hall.
- Calvo Pascual, M. A. (2014). Using product content labels to engage students in learning chemical nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 91(5), 757-759. <https://doi.org/10.1021/ed400553a>
- Cha, J., Kan, S. Y., & Chia, P. W. (2018). "Spot the differences" game: An interactive method that engage students in organic chemistry learning. *Journal of the Korean Chemical Society*, 62(2), 159-165. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2018.62.2.159>
- Cha, J., Kan, S. Y., Wahab, N. H. A., Aziz, A. N., & Chia, P. W. (2017). Incorporation of brainteaser game in basic organic chemistry course to enhance students' attitude and academic achievement. *Journal of the Korean Chemical Society*, 61
- Cherif, A. A., Adams, G. E., & Cannon, C. E. (1997). Nonconventional methods in teaching matter, atoms, molecules & the periodic table for nonmajor students. *American Biology Teacher*, 59(7), 428-438.
- Childs, P. E., & Sheehan, M. (2009). What's difficult about chemistry? An Irish perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 10(3), 204-218.
- Crute, T. D. (2000). Classroom nomenclature games - BINGO. *Journal of Chemical Education*, 77(4), 481-482. <https://doi.org/10.1021/ed077p481>
- da Silva Júnior, J. N., de Andrade Uchoa, D. E., Sousa Lima, M. A., & Monteiro, A. J. (2019). Stereochemistry game: Creating and playing a fun board game to engage students in reviewing stereochemistry concepts. *Journal of Chemical Education*, 96(8), 1680-1685. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00361>
- da Silva Júnior, J. N., Nobre, D. J., do Nascimento, R. S., Schaffer-Torres, G. Jr., Melo Leite Junior, A. J., Monterio, A. J., Alexandre, F. S. O., Rodríguez, M. T., & Rojo, M. J. (2018). Interactive computer game that engages students in reviewing organic compound nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 95(5), 899-902.

- da Silva Júnior, J. N., Sousa Lima, M. A., Nunes Miranda, F., Melo Leite Junior, A. J., Alexandre, F. S. O., de Oliveira Assis, D. C., & Nobre, D. J. (2018). Nomenclature bets: An innovative computer-based game to aid students in the study of nomenclature of organic compounds. *Journal of Chemical Education*, 95(11), 2055–2058.
- Davies, W. G., & Moore, J. W. (1980). Adopting SI units in introductory chemistry. *Journal of Chemical Education*, 57(4), 303.
- de Freitas, S., & Oliver, M. (2006). How can exploratory learning with games and simulations within the curriculum be most effectively evaluated? *Computers & Education*, 46(3), 249-264.
- Donaghy, K. J., & Saxton, K. J. (2012). Connecting geometry and chemistry: A three-step approach to three-dimensional thinking. *Journal of Chemical Education*, 89, 917-920. doi: 10.1021/ed100648f
- Eggert, A. A., Jacob, A. T., & Middlecamp, C. H. (1992). Converting chemical formulas to names: An expert strategy. *J. Chem. Inf. Model.*, 32(3), 227-233.
- Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. (2021). *Plan de desarrollo institucional 2019-2023*. https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2021/02/PlanDeDesarrollo_FQ_19-23_.pdf
- Facultad de Química. (2023). ¡Bienvenida generación 2023! <https://quimica.unam.mx/bienvenida-generacion-2023/>
- Fautch, J. M. (2015). The flipped classroom for teaching organic chemistry in small classes: is it effective? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(1), 179-186.
- Fendos, J. (2021). Combining jigsaws, rule-based learning, and retrieval practice improves IUPAC nomenclature competence. *J. Chem. Educ.*, 98(5), 1503-1517.
- Flynn, A. B., Caron, J., Laroche, J., Daviau-Duguay, M., Marcoux, C., & Richard, G. (2014). Nomenclature101.com: A free, student-driven organic chemistry nomenclature learning tool. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1855–1859.
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M., & Bernal-Maquez, S. (2012). Una revisión bibliográfica sobre el papel de los juegos didácticos en el estudio de los elementos químicos. Primera parte: los juegos al servicio del conocimiento de la Tabla Periódica. *Educ. Quím.*, 23(3), 338-345.
- García-Ortega, H., Lhardy, C., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., Reina, M., & Reina, A. (2022). MET-organic: A multi-level card game to promote the learning of organic chemistry nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 99(5), 1948-1956. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00011>
- Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in Chemistry: A review research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/03057269508560087>
- Giunta, C. J. (2019). What chemistry teachers should know about the revised International System of Units (Système International). *Journal of Chemical Education*, 96(4), 613-617.

- Gómez-Moliné, M., Morales, M. L., & Reyes-Sánchez, L. B. (2008). Obstáculos detectados en el aprendizaje de la nomenclatura química. *Educación Química*, 19(3), 201-206. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2008.3.32302>
- Granath, P. L., & Russell, J. V. (1999). Using games to teach chemistry. 1. The old prof card game. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 485-486. <https://doi.org/10.1021/ed076p485>
- Greengold, S. L. (2005). The match game: A discovery of the laboratory equipment used in high school chemistry. *Journal of Chemical Education*, 82(4), 547-548.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611-628. doi: 10.1002/tea.3660290609
- Guggenheim, E. A. (1958). Notations in physics and chemistry. *Journal of Chemical Education*, 35(12), 606.
- Hohenstein, J., & Manning, A. (2010). Thinking about learning. In *Good Practice in Science Education: What Research has to Say* (pp. 68–81). Berkshire: Open University.
- International Bureau of Weights and Measures (BIPM). (2018). Resolutions adopted/ Résolutions adoptées 26e CGPM Versailles 13–16 novembre 2018. *BIPM*. <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM-2018/26th-CGPM-Resolutions.pdf>
- Jacobsen, E. K. (2009). National Chemistry Week 2009: Chemistry - It's Elemental! JCE resources for chemistry and the periodic table. *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1154-1161.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00204.x>
- Kahveci, A. (2009). Exploring chemistry teacher candidates' profile characteristics, teaching attitudes and beliefs, and chemistry conceptions. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 109-120. doi: 10.1039/B8RP90034K
- Kletsch, R. A. (1978). Learning organic by playing cards. *Journal of Chemical Education*, 55(2), 104.
- Knudtson, C. A. (2015). ChemKarta: A card game for teaching functional groups in undergraduate organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1514-1517. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00200>
- Kucukkal, T. G., & Kahveci, A. (2019). PChem Challenge Game: Reinforcing Learning in Physical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1187–1193. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b01094>
- Kurushkin, M., & Mikhaylenko, M. (2016). Orbital Battleship: A guessing game to reinforce atomic structure. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1595-1598.

- Lhardy, C., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., Reina, A., & Reina, M. (2022). Unit Kemps: A Matching Card Game to learn Physical Quantities, its Units, and its Symbols. *Journal of Chemical Education*, 99(5), 3170-3176. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01485>
- Likert, R. (1932). A Technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1-55. <http://psycnet.apa.org/record/1933-01194-001>
- Lind, G. (1992). Teaching inorganic nomenclature. A systematic approach. *J. Chem. Educ.*, 69(8), 613-614.
- Loeffler, P. A. (1989). Fundamental concepts in the teaching of chemistry: Part 1. The two worlds of the chemist make nomenclature manageable. *J. Chem. Educ.*, 66(11), 928-930.
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229-245. <https://doi.org/10.1039/b4rp90023h>
- Markow, P. G., & Lonning, R. A. (1998). Usefulness of concept maps in college chemistry laboratories: students' perceptions and effects on achievement. *J. Res. Sci. Teach.*, 35(9), 1015-1029.
- McGlashan, M. L. (1968). Physico-chemical quantities and units. *The Royal Institute of Chemistry*.
- Moreira, R. F. (2013). A game for the early and rapid assimilation of organic nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 90(8), 1035-1037. <https://doi.org/10.1021/ed300594d>
- Mullin, J., & Courtney, P. (1996). Using inexpensive "Find & Circle" word search software in the study of chemical nomenclature. *J. Chem. Educ.*, 73(6), A130-A131.
- Myers, R. J. (2012). What Are Elements and Compounds? *J. Chem. Educ.*, 89(7), 832-833.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *J. Chem. Educ.*, 69(3), 191-196.
- Novak, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15(1), 77-101. <https://doi.org/10.1080>
- O'Brien, H. L., Cairns, P., & Hall, M. (2018). A practical approach to measuring user engagement with the refined user engagement scale (UES) and new UES short form. *International Journal of Human-Computer Studies*, 112, 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.11.004>
- O'Halloran, K. P. (2017). Teaching classes of organic compounds with a sticky note on forehead game. *Journal of Chemical Education*, 94(12), 1929-1932. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00575>
- Orvis, J., Sturges, D., Rhodes, S., White, K., Maurer, T. W., & Landge, S. M. (2016). A Mailman analogy: Retaining student learning gains in alkane nomenclature. *J. Chem. Educ.*, 93(5), 879-885.

- Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1531-1550. doi: 10.1080/09500690701731152
- Overman, M., Vermunt, J. D., Meijer, P. C., Bulte, A. M., & Brekelmans, M. (2014). Students' perceptions of teaching in context-based and traditional chemistry classrooms: Comparing content, learning activities, and interpersonal perspectives. *Int. J. Sci. Educ.*, 36(11), 1871-1901.
- Palacios, J. (2006). Octachem model: Organic chemistry nomenclature companion. *Journal of Chemical Education*, 83(6), 890-892. <https://doi.org/10.1021/ed083p890>
- Petillion, R. J., & McNeil, W. S. (2020). Johnstone's Triangle as a Pedagogical Framework for Flipped-Class Instructional Videos in Introductory Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(6), 1536-1542. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00244>
- Philipp, S. B., Johnson, D. K., & Yeziarski, E. J. (2014). Development of a protocol to evaluate the use of representations in secondary chemistry instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 777-786. <https://doi.org/10.1039/c4rp00096b>
- Pieroni, O. I., Vuano, B. M., & Ciolino, A. E. (2000). Classroom innovation: games to make chemistry more interesting and fun. *Chem. Educ.*, 5(4), 167-170.
- Pungente, M. D., & Badger, R. A. (2003). Teaching introductory organic chemistry: 'Blooming' beyond a simple taxonomy. *J. Chem. Educ.*, 80(7), 779-784.
- Ratcliffe, M. (2002). What's difficult about A-level Chemistry? *J. Educ. Chem.*, 39(3), 76-80.
- Reina, A., & Reina, M. (2021). Seguridad en el laboratorio: una aproximación práctica. *Educación Química*, 32(5), 45-58. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.81211>
- Reina, A., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., & Reina, M. (2021). CADMIO: Creating and Curating an Educational YouTube Channel with Chemistry Videos. *Journal of Chemical Education*, 98(11), 3593-3599. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00230>
- Reina, A., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., & Reina, M. (2022). Compounds and molecules: learning how to distinguish them through an educational game. *Journal of Chemical Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00975>
- Reina, M., This, H., & Reina, A. (2022). Improving the understanding of chemistry by using the right words: A clear-cut strategy to avoid misconceptions when talking about elements, atoms and molecules. *J. Chem. Educ.*, 99(5), 2999-3006.
- Report of the Organic Subcommittee of the Curriculum Committee. (1972). *J. Chem. Educ.*, 49(11), 761-763. DOI: 10.1021/ed049p761
- Russell, J. V. (1999). Using games to teach chemistry: An annotated bibliography. *J. Chem. Educ.*, 76(4), 481-484.

- Samide, M. J., & Wilson, A. M. (2014). Games, games, games; playing to engage with chemistry concepts. *Chem. Educ.*, 14, 167-170.
- Sánchez-Martín, J., Cañada-Cañada, F., & Dávila-Acedo, M.A. (2017). Just a game? Gamifying a general science class at university: Collaborative and competitive work implications. *Thinking Skills and Creativity*, 26, 51-59.
- Sen, S. (2021). ChemistDice: A game for organic functional groups. *Journal of Chemical Education*, 98, 535-539.
- Sjostrom, J., & Talanquer, V. (2014). Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1125-1131. <https://doi.org/10.1021/ed300415z>
- Skonieczny, S. (2006). The IUPAC rules for naming organic molecules. *J. Chem. Educ.*, 83(11), 1633-1637.
- Stains, M., & Talanquer, V. (2007). A2: Element or compound? *Journal of Chemical Education*, 84(5), 880-883. doi: 10.1021/ed084p880
- Stains, M., & Talanquer, V. (2013). Classification of chemical substances using particulate representations of matter: An analysis of student thinking. *Journal of Chemical Education*, 90, 900-907. doi: 10.1021/ed300554w
- Taber, K. (2002a). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure (Volume I: Theoretical background)*. Royal Society of Chemistry.
- Taber, K. (2002b). *Chemical misconceptions: Prevention, diagnosis and cure (Volume II: Classroom resources)*. Royal Society of Chemistry.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518644>
- Toplis, R. (2008). Probing student teachers' subject content knowledge in chemistry: Case studies dynamic computer models. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 11-17. doi: 10.1039/B806898A
- Tsaparlis, G., Kolioulis, D., & Pappa, E. (2010). Lower-secondary introductory chemistry course: A novel approach based on science-education theories, with emphasis on the macroscopic approach, and the delayed meaningful teaching of the concepts of molecule and atom. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 107-117. doi: 10.1039/C0RP90005C
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2023). *Manual de practicas de Laboratorio de Química Inorgánica I*. <https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=568§ion=1>
- Vogelzang, J., & Admiraal, W. F. (2017). Classroom action research on formative assessment in a context-based chemistry course. *Educ. Action Res.*, 25(1), 155-166.

- Welsh, M. J. (2003). Organic functional group playing card deck. *Journal of Chemical Education*, 80(4), 426-427. <https://doi.org/10.1021/ed080p426>
- Wu, H., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10110>
- Yenikalaycı, N., Çelikler, D., & Aksan, Z. (2019). Ion Hunters: Playing a game to practice identifying anions and cations and writing their names and formulas. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2532-2534.