

GALIO, Parte 2: de moléculas, retículos y aplicaciones móviles digitales

Gallium, Part 2: from molecules, reticulums, and mobile digital applications

Antonio Reina¹, Héctor García-Ortega², Jesús Gracia-Mora¹, Armando Marín-Becerra¹ y Miguel Reina¹

Resumen

En la primera entrega de esta serie, “*GALIO*, Gaming: Aprendizaje Lúdico de Química Inorgánica y Orgánica Parte 1”, mostramos los diferentes trabajos realizados por profesores de la Facultad de Química de la UNAM en el desarrollo de nuevas estrategias lúdico-didácticas. Presentamos diferentes herramientas, juegos de mesa educativos y en particular juegos de mesa de química, generadas para estudiantes y docentes, así como los resultados obtenidos al emplear dichas herramientas en el aula de clase. De esta manera, mostramos la utilidad y eficiencia de esta metodología pedagógica en términos del aprendizaje. En esta segunda entrega, relatamos nuestras experiencias en el desarrollo de nuevos juegos de mesa de química. También, mostramos el impacto que estas herramientas han tenido entre la comunidad académica mundial, lo que nos llevó a colaborar con grupos en el extranjero para mejorar las estrategias didácticas y pedagógicas. GALIO es un proyecto integral que sigue nutriéndose gracias al entusiasmo y la dedicación de nuestros estudiantes.

Palabras clave: química general; educación superior; enseñanza universitaria; investigación; didáctica de la química; juego educativo; TIC.

Abstract

In the first chapter of this series of contributions, “*GALIO* Gaming: Aprendizaje Lúdico de Química Inorgánica y Orgánica Parte 1” we showcased the various efforts undertaken by professors from the Facultad de Química, UNAM in developing new ludic-didactic strategies. We presented different tools, educational board games, and particularly chemistry board games, created for both students and educators, along with the results obtained from using these tools in the classroom. In this way, we demonstrated the utility and effectiveness of this pedagogical methodology in terms of learning. In this second chapter, we narrate our experiences in developing new chemistry board games. Additionally, we highlight the impact these tools have had on the global academic community, leading us to collaborate with foreign groups to enhance didactic and pedagogical strategies. GALIO is a comprehensive project that continues to thrive thanks to the enthusiasm and dedication of our students.

Keywords : general chemistry; higher education; university teaching; chemistry didactics; educational game; ICT.

CÓMO CITAR:

Reina, A., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., y Reina, M. (2024). *GALIO*, Parte 2: de moléculas, retículos y aplicaciones móviles digitales. *Educación Química*, 35(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87675>

¹ Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Autores de correspondencia: antonio.reina.0711@quimica.unam.mx; mreina@quimica.unam.mx

² Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Introducción

El año pasado, 2023, en el volumen 34, número 2 de esta misma revista, se presentó **GALIO** (*Gaming: Aprendizaje Lúdico de Química Inorgánica y Orgánica*, por sus siglas en español), un proyecto integral y multidisciplinario encabezado por un grupo de profesores de la Facultad de Química de la UNAM (Reina et al., 2023a). El objetivo principal de **GALIO** es el de generar material lúdico como herramienta de apoyo didáctico a las clases. En ese sentido el proyecto está encaminado a apoyar a los estudiantes en su aprendizaje de manera distinta a la convencional, y además plantea la posibilidad para los docentes de explorar nuevas estrategias didácticas que pudieran complementar sus cursos desde una óptica menos restrictiva, pero con la certeza de que los materiales generados ayudan a los estudiantes a abordar distintos conceptos de una forma eficaz, clara, concisa y divertida (Miguel-Gómez, 2022). En ese primer artículo, se sentaron las bases teóricas y contextuales en las que se inserta el proyecto y se hizo hincapié en la importancia de **GALIO** para resolver de una forma innovadora, sencilla y eficaz, la apasionante problemática que conlleva enseñar y aprender química. Es probable que nunca se haya conocido tanto acerca de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y que nunca antes se haya batallado tanto para generar ambientes educativos propicios en el aula y fuera de ella (Pérez-Pérez, 2022). A **GALIO** lo pensamos y dirigimos con la ilusión de acercar la química a los jóvenes estudiantes que han de transitar por la Facultad de Química, para que pudieran pasar un tiempo de ocio, entretenido y educativo, y que pudieran usar los materiales como un instrumento más para aprovechar y mejorar la calidad de sus estudios. Al inicio, pensamos en un juego en particular **Compuestos y Moléculas** que pudiera rendir homenaje a uno de nuestros juegos favoritos de niñez, el famoso **Adivina quién** de Hasbro®, juego que conocíamos de memoria, y que adorábamos. En algún punto de nuestra juventud fue tal la fiebre por el **Adivina quién** que jugábamos torneos; mal llamados internacionales, pues los únicos dos concursantes éramos mi hermano y yo; que empezaban en octavos o cuartos de final según nuestras ganas de competir. Siempre al mejor de cinco partidas. Al ser un juego de azar, las victorias, las decepciones y los enfados se repartían más o menos igual. Conocíamos tan bien las características de los cándidos personajes de las cartas que nos resultó fácil trasladarlo a la química. Además, intuimos que sería igualmente divertido entre los estudiantes. Lo que no se nos pasó por la cabeza es que esa idea fuera seminal. Así, **Compuestos y Moléculas** se presentó someramente aquí y, extensamente y bajo el título *Compounds and molecules: learning how to distinguish them through an educational game* (Reina et al., 2023a; Reina et al., 2022a), en la prestigiosa revista *Journal of Chemical Education*, y en efecto, en unos pocos años, **GALIO** ha pasado de ser un divertimento durante la pandemia a ser un proyecto sólido con algunas ramificaciones muy interesantes. En esta segunda entrega presentamos de manera somera algunos de los trabajos que han sido publicados en el *Journal of Chemical Education*, revista que nos ha hecho soñar y crecer, y otros que están en proceso creativo o en vías de implementarse. Antes de presentar estos resultados en los diferentes apartados, me gustaría agradecer a nuestros coautores. Su ánimo, su rigor y su empeño ha sido determinante para que **GALIO** se haya consolidado. Igualmente, a los estudiantes involucrados, su esfuerzo, imaginación y creatividad han impulsado este proyecto; decirles que es tan suyo como nuestro. Agradecemos igualmente a la revista *Educación Química* por ser el vehículo para que estos trabajos lleguen a más personas (estudiantes, colegas y curiosos de la química) en el idioma en el que fueron concebidos, y sobre todo de manera

gratuita y abierta. Quiero decir finalmente que el último apartado presenta una idea audaz, pero que nos pareció bonita. Ojalá que tenga eco y éxito en la comunidad de la Facultad de Química.

La historia después del juego *Compuestos y Moléculas*

A los pocos meses de haber publicado el juego *Compuestos y Moléculas* en el *Journal of Chemical Education*, Antonio recibió un correo un tanto extraño. Todo en el correo parecía sacado de otro tiempo: la felicitación, la preocupación, la invitación, el idioma y la firma. Lo escribía y firmaba el profesor emérito Hervé This (Figura 1), del Instituto Nacional para la Investigación Agronómica (INRAE), de la Universidad de Paris-Saclay en un inglés tan antiguo como recatado y formal. El correo, según recuerdo, nos felicitaba por la publicación y nos arengaba a batirnos para esclarecer muchos de los conceptos que los ingleses usan sin entender, que ante todo era una injusticia política y que eso no podía quedar así.



FIGURA 1. El profesor emérito Hervé This de la Universidad Paris-Saclay e inventor de la gastronomía molecular.

Nos sorprendió que viera cuestiones políticas en nuestro *Adivina quién químico*. Le comenté a mi hermano que había dos posibilidades: o que no tenía ningún interés o que podía tener mucho, así sin medias tintas. Resultó lo segundo; Hervé además es el fundador e inventor de la gastronomía molecular y un profesor emérito muy querido en su tierra natal. Empezamos entonces una colaboración muy fructífera, llena de intercambios inteligentes, de preguntas que nos llevaban a otras preguntas y de respuestas interesantes que nos obligaron a investigar, buscar y reflexionar. Las respuestas a estas preguntas se encuentran a medio camino entre la filosofía, la historia, la lingüística

y por supuesto, la química. En este primer apartado, se abordará la construcción de un nuevo mapa de clasificación de la materia basado en una nueva definición de *molécula* y en la introducción de un término: *retículo*, hasta ahora inédito, que permite resolver muchas de las dificultades que aparecen cuando se habla de *compuestos*. El lenguaje puede definirse como cualquier conjunto o sistema de símbolos, signos, sonidos o gestos formalizados que se conciben y se utilizan por las personas para comunicarse de manera inteligible (Chomsky, 1975). En este sentido, el lenguaje es fundamentalmente abstracto y sinestésico, y en los mensajes entre un emisor y un receptor, cierta cantidad de información puede perderse. En este sentido, la química es un lenguaje complejo, donde los símbolos de diferentes tipos representan nombres, abstracciones numéricas y procesos (estado de la materia, coeficientes estequiométricos, equilibrio, cambio de entalpía, etc.) que están interrelacionados. Para la enseñanza y aprendizaje de la química, es primordial establecer vínculos conceptuales entre tres niveles de representación: el aspecto fenomenológico, su representación a nivel submicroscópico y su transcripción al lenguaje simbólico (Talanquer, 2011; Sjostrom y Talanquer, 2014; Mahaffy, 2004; Wu y Shah, 2004; Philipp et al., 2014; Lazlo, 2013; Hoffmann y Lazlo, 1991). La necesidad de adquirir un nuevo lenguaje es, sin duda,

una de las mayores barreras para abordar y estudiar la química. En este contexto, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) ha instituido reglas de nomenclatura definidas, para que los químicos puedan comunicarse a nivel mundial (International Union of Pure and Applied Chemistry, 2019). Sin embargo, algunos de los términos más básicos no se definen, por lo que muchas cuestiones a nivel de comunicación no están resueltas. Aunque parezca paradójico, no es una coincidencia que el primer congreso de químicos en Karlsruhe, en 1860, versara sobre todo en la nomenclatura (Hartley, 1966; This, 2021; Fleck, 1963; Metz, 1963). El debate giró entonces en torno a cómo nombrar lo que se nombra y qué es lo que se está nombrando. Más de 150 años después, este tema sigue incluyendo la definición y distinción conceptual entre *elemento*, átomo y *molécula*, y la cuestión gira en torno a cómo proceder ante la ambigüedad. En el aula, es crucial evitar conceptos ambiguos y que las definiciones propuestas respondan con asertividad a lo que se quiera nombrar, separándolo de todo aquello que no se quiere señalar. Se ha mostrado sistemáticamente que los estudiantes confunden conceptos como *elementos*, átomos y *moléculas*, ya sea por un uso indistinto, ya sea por incapacidad a definirlos claramente. En esta serie de trabajos, se discutieron ciertas variaciones en las elecciones de palabras que pueden ayudar a estudiantes, profesores y al público en general a comprender estos términos y expresarse mejor.

El mundo abstracto y el tangible

Ghibaudi et al. (2013) explican claramente el problema filosófico relacionado con la identificación de los constituyentes fundamentales o elementales de las sustancias. Desde el punto de vista material, el problema existe desde la antigua Grecia, sin embargo, la definición formal de elemento es todavía materia de discusión. Hasta hace poco, el concepto de *elemento* permaneció poco claro y, lamentablemente, la IUPAC no pudo eliminar la confusión conceptual, ya que aún contempla dos significados diferentes (IUPAC, 2019). Algunos autores utilizan una definición derivada de la proporcionada por Lavoisier, que define un *elemento* como una sustancia pura (es decir, una muestra de materia) que no puede descomponerse en otras más sencillas (Lavoisier, 1789; Guyton de Morveau et al., 1788). Esta definición implica varios problemas y debería evitarse. Por ejemplo, sugiere que tanto el oxígeno molecular, O_2 , como el ozono, O_3 , constituyen el elemento oxígeno, aunque las moléculas de estas dos especies químicas son diferentes en muchos aspectos, como también lo son los gases a escala macroscópica. Más importante todavía es que genera una confusión entre una categoría abstracta (los elementos) y la materia tangible (sustancia). Por supuesto, las contribuciones de Lavoisier fueron trascendentales para el avance de la química a través de la historia, y solo un examen retrospectivo indica que su definición no es la más apropiada (además, la definición de Lavoisier no toma en cuenta la estructura interna del átomo, es decir que los átomos pueden todavía descomponerse en neutrones, protones y electrones). Pocos años después, Dalton definió el concepto de *elemento* en términos de átomos, sugiriendo que un elemento está compuesto por átomos idénticos y diferentes elementos están formados por átomos diferentes (Dalton, 1808). Del mismo modo, define “elementos compuestos” como la combinación de átomos de más de un elemento en proporciones fijas y definidas. Dalton no acuña el término *molécula* ni lo menciona en sus escritos, y por supuesto, tampoco considera que los átomos tienen estructura interna. Aunque estas dos definiciones son las más empleadas por los autores de los libros de texto más reconocidos, deberían evitarse por ambiguas. Desde nuestro

punto de vista, la definición de Frederick Soddy es la más apropiada, en el sentido de que un *elemento* es una categoría, una entidad inmaterial sin propiedades físicas ni químicas, definida en términos prácticos como una clase o categoría de núcleos; todos con el mismo número atómico y, en términos simbólicos, como una casilla, un nombre y un símbolo en la Tabla Periódica (Soddy, 1920). Así, a un elemento se le asigna un nombre, un símbolo, un número atómico y una posición en la Tabla Periódica. Es decir que, por ejemplo, cualquier núcleo que contenga tres protones pertenece a la categoría del elemento litio. De esta manera se resuelven algunos problemas como la confusión entre oxígeno molecular y ozono antes mencionada, y otros como concebir al carbono diamante, una de las formas alotrópicas del carbono, como el elemento carbono, al octaazufre, S_8 , como el elemento azufre, o al tetrafósforo, P_4 , como el elemento fósforo.

El problema de las escalas: entidades y sustancias

Una entidad es un sistema material que pertenece al mundo submicroscópico, más precisamente es un objeto individual submicroscópico que no tiene en ningún caso propiedades de bulto como color, densidad o puntos de fusión y ebullición. Los átomos, iones y moléculas tienen propiedades electrónicas y, en el caso de iones poliatómicos y moléculas, geométricas (ángulos de enlace, ángulos diedros, geometría molecular). Esto es sumamente importante, pues permite evitar la confusión entre entidad y especie o sustancia. Las especies o sustancias, en contraparte, son conjuntos macroscópicos de entidades químicas iguales y, por lo tanto, tienen propiedades de bulto como las descritas anteriormente (color, densidad, o puntos de fusión y ebullición y otras, como viscosidad y tensión superficial, etc.). Por ejemplo, la molécula de agua está formada por tres átomos: dos de hidrógeno y uno de oxígeno, tiene una geometría angular y el ángulo que es de 104.9° . La molécula tiene un momento dipolar permanente por los dos pares de electrones libres en el átomo de oxígeno. La especie o sustancia agua, constituida por un número de moléculas cercano a la constante de Avogadro, tiene un punto de ebullición de 100°C en condiciones estándar y una densidad de 1 g/mL , es inodora e insípida, entre otras características. La diferencia de escalas resulta trascendental para comprender qué se nombra y por qué se nombra de una u otra manera. La figura 2 presenta esta información resumida.

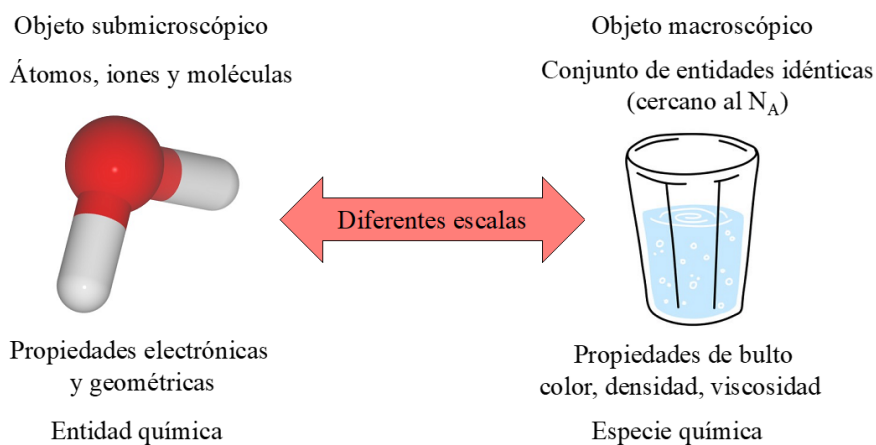
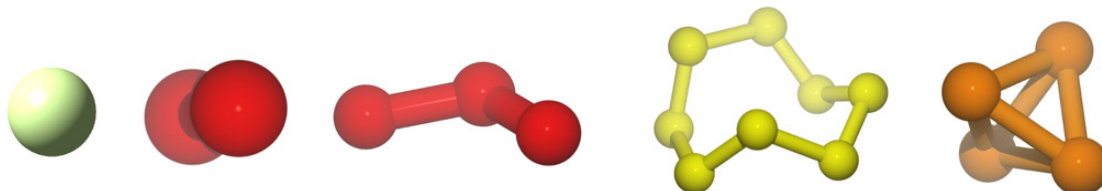


FIGURA 2. Entidades y especies, una diferencia de escalas crucial para comprender qué se nombra y por qué.

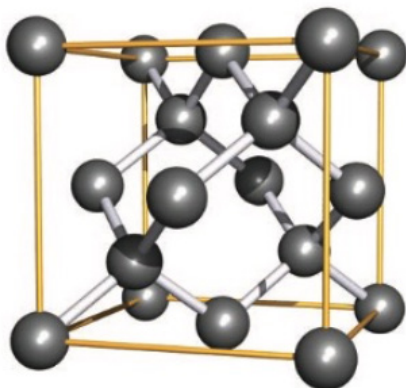
La discusión de lo que es una *molécula* y si está formada por o a partir de átomos o por núcleos y electrones compartidos, es compleja e intrincada. En este trabajo no presentaremos las ideas de Jensen (1998a; 1998b; 1998c), Clark (2010; 2011) y Matson (2011), ni su fuerte intercambio y discusión; nos contentaremos más bien de presentar nuestra opinión y la definición que nos parece que mejor corresponde primero a lo que es un átomo, un *ion* y luego lo que es una *molécula*. Un átomo es una entidad eléctricamente neutra a partir de la que se forman las moléculas. Los átomos son entonces los bloques de construcción más simples de la química. En contraparte, los *iones* son entidades químicas que han ganado o perdido electrones y por lo tanto, presentan carga eléctrica (negativa o positiva, según sea el caso). Los iones pueden ser mononucleares como el cloruro, Cl^- , o poliatómicos, es decir, formados a partir de dos o más núcleos que, a su vez, pueden estar constituidos por átomos del mismo elemento, como el catión mercurioso, Hg_2^{2+} , o por átomos de diferentes elementos como el anión clorato, ClO_3^- . En la colaboración con el profesor Hervé This, propusimos una nueva definición de *molécula* que no toma en cuenta la naturaleza de los átomos involucrados (si son o no del mismo elemento, por ejemplo) pero sí el número de enlaces y la estructura del sistema químico (Reina et al., 2022b). Aunque al principio pueda no parecer intuitiva, se ha demostrado que es muy efectiva para los estudiantes (ver sección: *¿Qué tan efectiva es esta propuesta?*). Así, definimos *molécula* como una entidad estable y eléctricamente neutra con un número finito de enlaces (0 a n , siendo n un número entero finito). Esta definición permite considerar a las sustancias helio, neón y argón como constituidas por moléculas, con $n = 0$, y también permite establecer claramente que el oxígeno molecular, el ozono, el octaazufre y el tetrafósforo son moléculas y no elementos, independientemente de si se encuentran formadas por átomos del mismo elemento o no. El problema se resuelve al conocer la estructura y determinar el número de enlaces como se presenta en la Figura 3.

FIGURA 3. Una parte fundamental es presentar y conocer las estructuras de las moléculas. Aquí, las del neón, oxígeno molecular, ozono, octaazufre y tetrafósforo.



Con la definición de *elemento* se descartó, entre otros, que el carbono diamante fuera uno; sin embargo, con la definición de *molécula* que se acaba de formular no es posible establecer que el carbono diamante sea una molécula. En efecto, al conocer su estructura (Figura 4), de tipo red cristalina, no es posible contar el número de enlaces. Aunque el carbono diamante se encuentre constituido únicamente por átomos del mismo elemento, el carbono, enlazado de forma covalente, la estructura es reticular, lo que implica un arreglo tridimensional de largo alcance, repetitivo y ordenado y con un número, conceptualmente hablando, infinito de enlaces. El carbono diamante no es una molécula y muchas veces nos referimos a este sistema como un *compuesto*.

FIGURA 4. Celda unitaria de la estructura reticular del carbono diamante.



El hecho de que el carbono diamante no presente un número conceptualmente finito de enlaces y, por lo tanto, no se pueda considerar una molécula, y, en cambio, tenga una estructura reticular, tiene algunas implicaciones muy importantes en el lenguaje y la correspondencia que existe entre lo que es y lo que se nombra.

El dilema y confusión del término compuesto

Estaría uno rápidamente tentado a decir que el carbono diamante es un *compuesto*. Esta respuesta, aunque correcta desde el punto de vista de la tradición científica, causa una serie de dificultades mayúsculas que los docentes transmiten a sus estudiantes de generación en generación, sin realmente reflexionar verdaderamente en qué es lo que se nombra ni por qué. Empecemos por decir que la palabra *compound*, compuesto en inglés, no está definida por la IUPAC (IUPAC, 2019). ¡En el Gold Book de la IUPAC no viene definida la palabra! ¿Cómo es eso posible? Pues así, uno de los términos más empleados todos los días en los salones de clase, en los laboratorios de docencia, en los institutos de investigación básica y en la jerga cotidiana del químico, ¡no existe! Sorpresa y alarma. Aunque el término no esté definido, se utiliza implícitamente en algunas definiciones dadas por la IUPAC, y de forma común en libros y artículos, y en casi todas las ocasiones se emplea, desde nuestro punto de vista, incorrectamente. De nuestra exhaustiva búsqueda bibliográfica concluimos que la palabra *compuesto* se utiliza en cuatro escenarios distintos para nombrar cuestiones diferentes que a continuación se enlistan:

1. Moléculas (mundo tangible, objetos submicroscópicos, entidades) formadas por átomos de distintos elementos químicos. Las moléculas de agua, H_2O , el monóxido de carbono, CO , y amoníaco, NH_3 , son compuestos siguiendo esta definición, pues están formados por átomos de distinta naturaleza (Dalton, 1808).
2. Sustancias (mundo tangible, objetos macroscópicos, especies), *i.e.*, materia de composición constante formada por núcleos de diferentes elementos químicos. El término núcleo se refiere a átomos y a iones. Se dice el compuesto agua, haciendo referencia a un número cercano a la constante de Avogadro de moléculas de agua, pero también el compuesto cloruro de cesio, $CsCl$, que tiene una estructura de red cristalina formada por iones (Brown et al., 1997; Chang, 2009).
3. Categorías de entidades o especies (mundo abstracto, objetos submicroscópicos y macroscópicos) formados por átomos o iones de diferentes elementos químicos. En este caso, se puede hacer referencia a compuestos aromáticos o compuestos iónicos como una categoría de objetos. Tanto los compuestos aromáticos como los compuestos iónicos cumplen ciertos criterios y características que les permiten ubicarse en esas categorías específicas (IUPAC, 2019, Perrin, et al., 2022; Myers, 2012).
4. Especies químicas (mundo tangible, objetos macroscópicos) que no están formadas por moléculas (Reina et al., 2022b; Birch, 2015).

Estas cuatro acepciones se representan gráficamente en la Figura 5.

El término compuesto y sus diferentes acepciones válidas y utilizadas



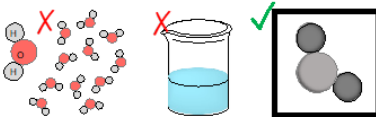
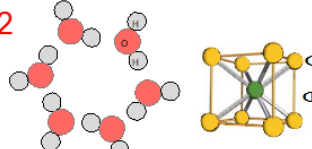
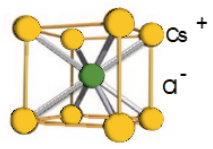
<p>1</p>  <p>Moléculas formadas por átomos de diferentes elementos químicos.</p> 	<p>3 Una categoría de objetos. Más que una colección muy grande de moléculas o una sustancia, es una forma de designar a un conjunto específico de objetos. Es una forma de comunicar.</p> 
<p>2</p>  <p>Sustancias formadas por moléculas de átomos o de iones de diferentes elementos químicos.</p>	<p>4 Especies químicas que no están formadas por moléculas.</p>  <p>Cloruro de cesio</p>

FIGURA 5. El término compuesto y sus diferentes acepciones válidas y utilizadas. Reprinted with permission from (Reina et al., 2024). Copyright 2024 American Chemical Society.

A partir de estas acepciones comúnmente empleadas, es evidente que existen problemas conceptuales con respecto a la palabra *compuesto*. Primero hay una contradicción entre las acepciones 1 y 2, pues, aunque ambas refieren al mundo tangible, lo hacen a escalas diferentes. Por un lado, la acepción 1 hace corresponder el término compuesto al mundo submicroscópico al referirse a moléculas (entidades), mientras que, por el otro lado, la acepción 2 se emplea para describir sustancias (especies), es decir, objetos macroscópicos. En este sentido, el uso del término *compuesto* no está sujeto a un razonamiento lógico sino a una cuestión de tradición, lo que puede resultar confuso para cualquiera, estudiante o no, que no esté familiarizado con el contexto. Resumiendo, el término *compuesto* en la acepción 1 puede sustituirse por molécula, y por sustancia en la acepción 2. Además, la restricción impuesta, que implica que las moléculas o sustancias deben estar formadas por núcleos de distintos elementos, no aporta ninguna ventaja, por lo que proponemos remover dicha restricción. La segunda contradicción proviene de las definiciones 1 y 4, en las que no solamente vuelve a existir el problema de escalas, pero también se agrega una contradicción todavía más evidente: la acepción 1 se refiere a moléculas, mientras que la 4 describe los sistemas que no están constituidos por moléculas. ¿Qué es entonces un *compuesto*? En nuestra opinión, la acepción más acertada deriva de la tercera, que no refiere a un sistema en particular, sino a una categoría abstracta de objetos que tienen o cumplen algunas características y que les permite adherirse a esa categoría. Nosotros proponemos que, para esta definición, se remueva igualmente la restricción impuesta por la frase “*formados por átomos o iones de diferentes elementos químicos*”, ya que es innecesaria. Al corresponder a una categoría abstracta, no importa que se hable de moléculas (entidades) o de sustancias (especies), pues en realidad no se hace referencia al mundo tangible, sino al abstracto. Este tercer significado tiene la ventaja de que corresponde a una forma habitual de pensar y hablar: cuando hablamos de una especie como “gato”, nos referimos más a la categoría

de gatos, que a una raza de gatos, o que a una gran colección de gatos en particular. Desde nuestro punto de vista, esta es la acepción más adecuada de la palabra *compuesto*, la que sólo tiene significado en el mundo abstracto. Además, aunque el término no esté definido por la IUPAC, creemos que implícitamente es a lo que se refiere, pues cuando se hace la búsqueda de compuestos nitrogenados, la definición hace alusión a una categoría. En este sentido, la última pregunta es: ¿cómo resolver la acepción 4?

Retículo y la clasificación de la materia

Regresando a la cuestión del carbono diamante: se podría decir que el carbono diamante es un *compuesto* si estuviera incluido en la categoría de compuestos reticulares o de compuestos formados por átomos del mismo elemento, pero como sistema material y no como un concepto en el mundo abstracto, ya revisamos que la palabra *compuesto* no es la más adecuada. ¿Cómo proceder en este caso? En la segunda colaboración con el profesor Hervé This, resolvimos esta cuestión acuñando un nuevo término: *retículo*. Así, un *retículo* se define como una especie (mundo tangible, objeto macroscópico) química sólida, estable y eléctricamente neutra, con un número infinito de enlaces que conectan todas las entidades químicas dentro de la estructura. En este contexto, la palabra infinito se refiere a la idea de que los retículos están formados por una unidad repetitiva que forma una red tridimensional continua. En ese sentido, no se puede determinar el número de enlaces en un retículo. Con esta definición en mano, la estructura cristalina cloruro de sodio (NaCl), el compuesto covalente reticular de carbono diamante (C), el vidrio amorfo (SiO₂) y el sodio metálico (Na), son ejemplos de retículos. Contrariamente a la definición clásica de compuesto, no existe ningún problema en incluir en la categoría de *retículo* a las especies formadas por entidades químicas de la misma naturaleza, como los metales y la forma alotrópica del carbono diamante. Para ampliar la explicación, tanto las estructuras cristalinas como las amorfas pertenecen a la misma categoría, ya que forman redes con orden, al menos, de corto alcance. Curiosamente, algunas moléculas pueden cristalizar en estado sólido como redes con un número, conceptualmente, infinito de interacciones débiles. Por ejemplo, el benceno en estado sólido forma una red tridimensional de moléculas debido a interacciones débiles. El sólido no podría considerarse un retículo, ya que las entidades químicas, las moléculas de benceno, no están conectadas mediante enlaces químicos dentro de la red. En un sentido extendido de la palabra, se puede debatir que *retículo* también podría referirse a redes sólidas formadas por moléculas, como el agua en estado sólido, donde los puentes de hidrógeno permiten la formación de la red. El hidrógeno molecular bajo una presión muy alta (200 GPa) forma hidrógeno metálico con propiedades conductoras. Por lo tanto, bajo ciertas condiciones físicas, el hidrógeno molecular puede considerarse un retículo. Esta definición ampliada del término también podría incluir cocristales, en los que dos o más redes atómicas, moleculares o iónicas forman una estructura sólida cristalina única con propiedades singulares.

Además, creemos que la palabra *retículo* es una palabra bonita y evocadora, ya que el término también se utiliza en astronomía. *Reticulum* es una constelación pequeña y tenue en el cielo del sur. Su nombre en latín significa red pequeña o retícula. En este contexto, nos permitimos agregar a la química una palabra de otra esfera del conocimiento. Con toda esta discusión se puede proponer un diagrama de Venn-Euler de átomos, iones, moléculas y retículos (Figura 6).

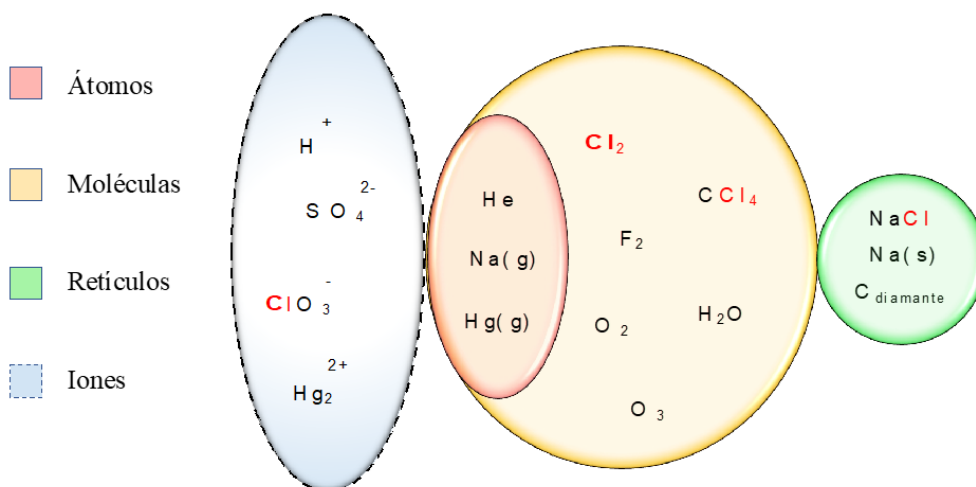


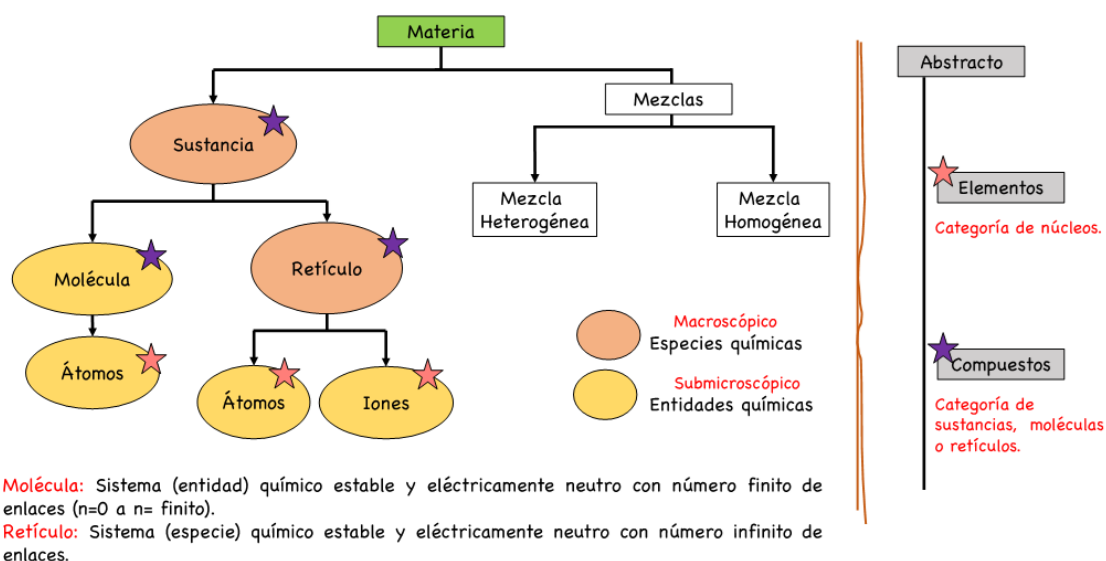
FIGURA 6. Diagrama de Venn-Euler de átomos, iones, moléculas y retículos. Reprinted with permission from (Reina et al., 2024). Copyright 2024 American Chemical Society.

Ahora, y con todo lo que se ha discutido, se puede construir un nuevo mapa de la clasificación de la materia. Se trata de una propuesta en la que el término *compuesto* aparece en el mundo abstracto, y en la que la química parte ya sea de las *moléculas*, objetos discretos con un número finito de enlaces, o de *retículos*, especies en las que conceptualmente el número de enlaces es infinito. En la Figura 7, se presenta el mapa conceptual de la clasificación de la materia. En este mapa, los átomos son los bloques de construcción de las moléculas, mientras que los átomos y los iones, de los retículos (C_{diamante} y NaCl, por citar dos ejemplos). Uno de los aspectos más importantes de este mapa es la diferencia de escalas marcada por los círculos naranjas y amarillos. Mientras que los átomos, iones y moléculas son entidades submicroscópicas, es decir, objetos sin propiedades de bulto; tanto los retículos como las sustancias (es decir, un agregado de moléculas) pertenecen al mundo macroscópico y, por tanto, tienen propiedades macroscópicas como densidad, punto de fusión y punto de ebullición, entre otras. Finalmente, el mapa diferencia el mundo tangible (izquierda) del abstracto (derecha: elementos y compuestos, como categorías de objetos). La intención de toda esta discusión fue esclarecer y sobre todo ayudar a nuestros estudiantes a distinguir sistemas químicos. En la siguiente sección se aborda cómo fue la respuesta de los estudiantes, antes y después de conocer la nueva definición de *molécula*, de haber revisitado el término *compuesto* y luego de haber acuñado el concepto de *retículo* como aquí se ha presentado. Los resultados son en términos generales muy positivos.

¿Qué tan efectiva es esta propuesta?

En esta última sección, se discuten brevemente los resultados de las actividades realizadas después de haber discutido y estudiado estos conceptos con los estudiantes de los primeros semestres de la Facultad de Química de la UNAM. Se trata de estudiantes de todas las carreras, pues las asignaturas en las que se hicieron las pruebas corresponden a aquellas de tronco común: Química General I de primer semestre, Química General II de segundo semestre y Química Inorgánica I de tercer semestre. En términos generales, los resultados son sobresalientes, esto quiere decir que los estudiantes saben establecer con claridad las diferencias entre escalas (submicroscópica y macroscópica) y mundos (tangible y abstracto), y luego entonces pueden nombrar los diferentes sistemas químicos de manera asertiva. Un punto a considerar es que siempre o en la medida de lo posible, se mostraron las estructuras químicas de los sistemas a los estudiantes. Esto resulta crucial para la toma

de decisiones de los estudiantes, así que sugerimos que los docentes muestren las estructuras químicas a sus estudiantes. Además de favorecer un conocimiento más amplio, se está asegurando que el estudiante tenga las herramientas necesarias para poder tomar decisiones acertadas. En la Figura 8, se presentan algunos de los resultados, mientras que la discusión detallada, así como todos los pormenores metodológicos, se pueden encontrar en la serie de trabajos y reflexiones publicados en el *Journal of Chemical Education*, bajo los títulos: *Improving the Understanding of Chemistry by Using the Right Words: A Clear-Cut Strategy to Avoid Misconceptions When Talking about Elements, Atoms, and Molecules* (Reina et al., 2022b), *Reply to "Using the Right Words in the Right Way: Atom, Molecule, Element, and Compound"* (Reina et al., 2023b), y *Improving the understanding of chemistry by using the right words: Why is talking about compounds so messy?* (Reina et al., 2024).



Determina si el sistema es una molécula o un retículo.

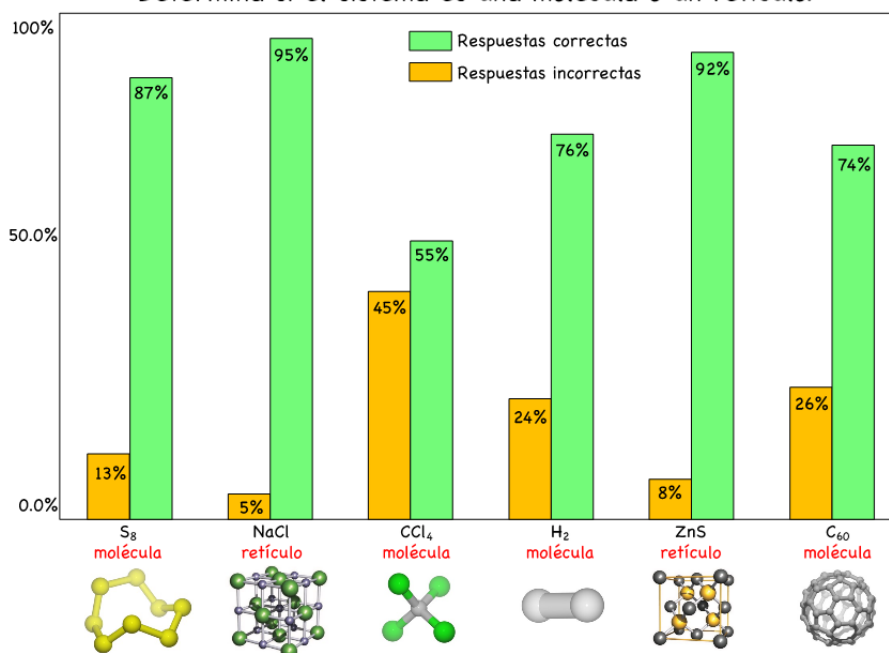


FIGURA 8. Algunos resultados obtenidos con los estudiantes de los primeros semestres de la Facultad de Química de la UNAM. En verde la respuesta correcta. 78 estudiantes de los tres primeros semestres participaron en la actividad.

Juegos desarrollados: Identificat'ions, Lotería de los elementos químicos y Reagens

Identificat'ions

Desde las primeras etapas de la formación en ciencias exactas, los estudiantes se ven confrontados al aprendizaje del método científico como herramienta para entender y explicar los fenómenos naturales que ocurren a su alrededor. En las aulas de química, el método científico constituye un punto de referencia que permite a los estudiantes hacerse preguntas, generar hipótesis, diseñar experimentos, realizar observaciones detalladas y analizar e interpretar los resultados, con el fin de esgrimir conclusiones (Hofstein y Lunetta, 1982; Hofstein y Lunetta, 2004; Young, 1957).

Sin embargo, durante el desarrollo de esta habilidad, deben afrontar diversas dificultades asociadas con cada una de dichas etapas. En particular, la observación suele ser una etapa complicada para alumnos de secundaria y preparatoria. Esto se debe principalmente a que los estudiantes confunden una observación con una interpretación, sobre todo en laboratorios basados en la indagación. Por ejemplo, cuando una disolución cambia de color, algunos estudiantes afirmarían como observación que ocurrió una reacción química. Por lo tanto, es crucial que los estudiantes comprendan claramente las diferencias entre cada paso del método científico y sepan cómo comunicarse al utilizar el término correcto (Reina et al., 2022b; Reina et al., 2023b; Reina et al., 2024).

Las pruebas de identificación se utilizan de manera cualitativa para reconocer la naturaleza de las sustancias a través de su reactividad química. En estas pruebas, la observación es clave para determinar correctamente la naturaleza del analito. Por ejemplo, el oxígeno molecular es un comburente, por lo que puede hacer que una astilla incandescente se encienda. Además, los iones de cobre(II) pueden reaccionar con la sosa cáustica para formar un precipitado azul de hidróxido de cobre(II) (Chang, 2009). En los programas de estudio de la escuela secundaria y preparatoria, las pruebas químicas son herramientas útiles que permiten a los maestros abordar varios temas, incluida la descripción y caracterización de la materia a escala macroscópica, y la descripción de las transformaciones químicas (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2023). En una prueba de identificación, los estudiantes deben movilizar conceptos y terminología relacionados tanto con el método científico como con la química (Talanquer, 2011; Mahaffy, 2004; Wu y Shah, 2004; Guggenheim, 1958; Overman et al., 2014; Johnstone, 1991; Petillon y McNeil, 2020; Reina et al., 2021), respetando en todo momento las regulaciones de seguridad en el laboratorio (Reina y Reina, 2021).

En este contexto, se propuso el desarrollo de un juego educativo llamado *Identificat'ions* basado en 10 pruebas de identificación y enfocado a estudiantes de secundaria y preparatoria (Lhardy y Reina, 2024). El objetivo es que los estudiantes conozcan estas pruebas de identificación y el vocabulario asociado con ellas y enseñarles a no descuidar el paso de la observación en el método científico. Es importante mencionar que, además del juego, se recomienda utilizar pruebas químicas en el laboratorio para que los estudiantes puedan asociar las cartas y el vocabulario con experiencias del mundo real.

Identificat'ions es un juego de cartas para 4 jugadores, disponible en inglés, francés y español. Está compuesto de 30 cartas, 10 cartas de analitos, 10 cartas de reactivos y 10 cartas de observación (Tabla 1). Estas cartas forman triadas, ya que cada analito se detecta mediante un reactivo y se produce una observación específica.

Analito	Reactivo detector	Observación
oxígeno molecular	astilla incandescente	se enciende
hidrógeno molecular	cerillo encendido	explota
dióxido de carbono	agua de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2(ac)$)	disolución turbia
iones cobre(II)	hidróxido de sodio	precipitado azul
iones hierro(II)	hidróxido de sodio	precipitado verde
iones hierro(III)	hidróxido de sodio	precipitado rojo
iones cinc	hidróxido de sodio	precipitado blanco
iones cloruro	nitrato de plata(I)	precipitado blanco que se oscurece con la luz
piedra caliza ($\text{CaCO}_3(s)$)	ácido clorhídrico	efervescencia
agua	sulfato de cobre(II) anhidro	se torna azul

TABLA 1. Composición de las cartas de *Identificat'ions*.

Las evocadoras cartas de *Identificat'ions* fueron diseñadas de tal forma que cualquier estudiante pueda utilizarlas, incluso en casos de daltonismo o deficiencias visuales (Tol, 2021). La Figura 9 muestra las triadas correspondientes a los analitos agua y oxígeno molecular.

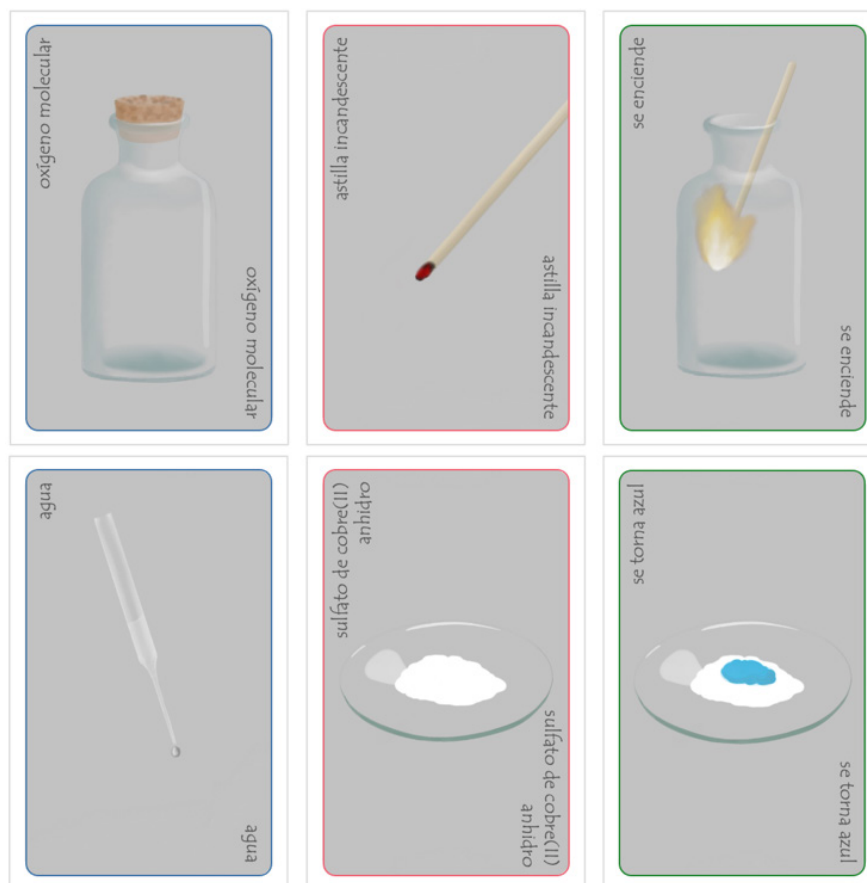


FIGURA 9. Triadas correspondientes a los analitos agua y oxígeno molecular. Reprinted with permission from reference (Lhardy y Reina, 2024). Copyright 2024 American Chemical Society.

Las reglas del juego, que tiene una duración aproximada de 15 a 30 minutos, se presentan a continuación:

1. Los jugadores forman parejas y estas se enfrentan. Se trata de un juego en equipo para 4 jugadores.
2. El mazo de cartas de observación se baraja y se coloca boca abajo sobre la mesa.
3. Las cartas restantes se barajan y se distribuyen entre los jugadores de manera que cada jugador reciba cinco cartas que contienen cartas de analito y cartas de reactivo de detección.
4. El Jugador 1 voltea una carta de observación de la pila. Posteriormente, puede elegir lanzar un ataque contra uno de sus oponentes utilizando el reactivo de detección correspondiente relacionado con la carta de observación revelada.
5. Si el jugador que recibe el ataque posee el analito coincidente, debe entregárselo al jugador atacante, quien gana la terna de cartas. Si no es así, el jugador atacado gana la carta de reactivo de detección, la incorpora a su mano y adquiere la capacidad de usarla.
6. El proceso luego pasa al Jugador 2, quien repite los pasos 4 y 5.
7. El objetivo de *Identificat'ions* es acumular tantas triadas como sea posible. Lograr este objetivo requiere que los jugadores roben los analitos de sus oponentes atacándolos estratégicamente con sus reactivos de detección.

Esta actividad respalda el aprendizaje experimental, sirviendo como un complemento a los experimentos tradicionales, pues complementa los experimentos químicos con una estrategia de aprendizaje basada en juegos ofrece varias posibilidades para los educadores de la química, y permite el refuerzo de diferentes aspectos discutidos en el laboratorio dentro de un entorno divertido y atractivo. Además, *Identificat'ions* fomenta el aprendizaje activo de los estudiantes. Aunque no registramos citas directas de los estudiantes con respecto a su experiencia con esta actividad, su participación fue evidente a través de discusiones y preguntas intercambiadas entre juegos, interacciones entre estudiantes y la participación dinámica con los profesores, promoviendo retroalimentación inmediata. El juego permite además abordar diferentes aspectos como observaciones no visuales (el sonido característico de la explosión del hidrógeno molecular), la descripción detallada de una observación (que permite distinguir entre cloruro de plata(I) e hidróxido de cinc) lo que se traduce en el llenado correcto de la bitácora de laboratorio, la diferencia entre observaciones físicas y químicas (ebullición vs efervescencia), entre otros. Finalmente, el estudio detallado de las observaciones permite a los educadores de la química introducir el método científico.

Para comprobar la utilidad de esta propuesta se realizó una evaluación diagnóstica, antes de jugar y un examen posterior al juego. Los resultados de estas pruebas, indican una mejora clara en la comprensión de las pruebas de identificación, lo que es evidente por el aumento en la calificación promedio de 3.76 a 5.88 sobre 10. Una prueba t de Student, indicó que el aumento en las calificaciones de los estudiantes es estadísticamente significativo, con un nivel de confianza de 99 %. La evaluación del juego, se llevó a cabo

con profesores de química, y los resultados muestran que *Identificat'ions* es un juego que posee un diseño cuidado y de calidad y sobre todo es útil para reforzar las habilidades y conocimientos de los estudiantes a partir de una propuesta eficiente desde el punto de vista didáctico como se pone de manifiesto en el trabajo completo y publicado en el *Journal of Chemical Education*.

Lotería de los elementos químicos

Uno de los primeros temas que se abordan en las aulas de clase de química es el de los elementos químicos, tanto de manera conceptual como desde una perspectiva histórica. Como se menciona en la sección *El mundo abstracto y el tangible*, el concepto de elemento químico suele provocar confusiones entre los estudiantes, ya que no distinguen entre el mundo abstracto y el mundo tangible. Este problema es inherente a la forma en la que se estudian los elementos químicos en los primeros años de estudio, ya que se confunden constantemente las sustancias y los elementos, y se les asigna a estos últimas propiedades físicas y químicas (Reina et al., 2022b). Sin embargo, respondiendo a una tradición pedagógica enraizada en la comunidad científica, se diseñó un juego con el objetivo de que los estudiantes conozcan las propiedades de algunas de las sustancias características de cada elemento. Este juego puede fallar en la misión de ayudar a los estudiantes a distinguir correctamente los conceptos de *elemento* y *sustancia*, pero busca dotar al alumnado de cultura general de la química de una forma divertida y relajada. Las licencias que se tomaron para el diseño del juego deben ser comprendidas en el contexto en el que se emplee el juego, y se espera que el docente sea capaz de hacer hincapié en la terminología correcta.

La *Lotería de los elementos químicos* es un juego para varios jugadores basado en el clásico juego familiar de la Lotería Mexicana. La Lotería Mexicana es un juego tradicional y popular en México que combina elementos de azar, estrategia y cultura. La lotería tradicional tuvo su origen en el siglo XV en Italia y posteriormente fue adoptada en España. Desde España, el juego se expandió a México en el siglo XVIII, alrededor de 1769 (Amigo Energy, 2022; Saavedra, 2022).

La Lotería Mexicana es un juego similar al bingo, consiste en un paquete de 54 cartas que representan diferentes animales, objetos y personajes, y 10 cartones de juego que contienen, cada uno, 16 de las 54 imágenes, elegidas sistemáticamente para que no se repitan 2 o más personajes en el mismo cartón de juego distribuidos de forma aleatoria. Para jugar, se necesita un cantor, una persona que recite la descripción de la carta extraída de la baraja “cantando” de forma muy original, una pequeña descripción, adivinanza o pista del personaje que aparece en la carta. Una vez que los jugadores identifican la imagen en sus tableros, la marcan con cualquier objeto pequeño, generalmente un frijol. El juego continúa hasta que alguno de los jugadores complete su cartón de juego con los 16 frijoles sobre las diferentes imágenes y grita “¡Lotería!” (Amigo Energy, 2022; Saavedra, 2022). La habilidad del cantor y la forma en que canta las cartas es esencial para la diversión fraternal de los jugadores. La popularidad del juego se debe, en gran medida, a Clemente Jacques, quien distribuyó gratuitamente la Lotería Mexicana junto a sus productos enlatados durante la Guerra de Independencia de México (1810-1821).

Algunos de los cantares más populares (Figura 10) son los que Gloria Libertad Juárez recopiló en *Coplas de la lotería en México* para la Revista de Literaturas Populares (Libertad, 2007). Algunas de estas cantadas se muestran a continuación.



El que le cantó a San Pedro, no le volverá a cantar.



El diablo son las mujeres, cuando se quieren casar.



Don Ferruco en la Alameda, su bastón quería empuñar.



El auxilio de San Luis, que le llaman el nopal.



¡No levantes esa piedra, que te pica ese animal!



Rema y rema, Joaquinita, y no dejes de remar.

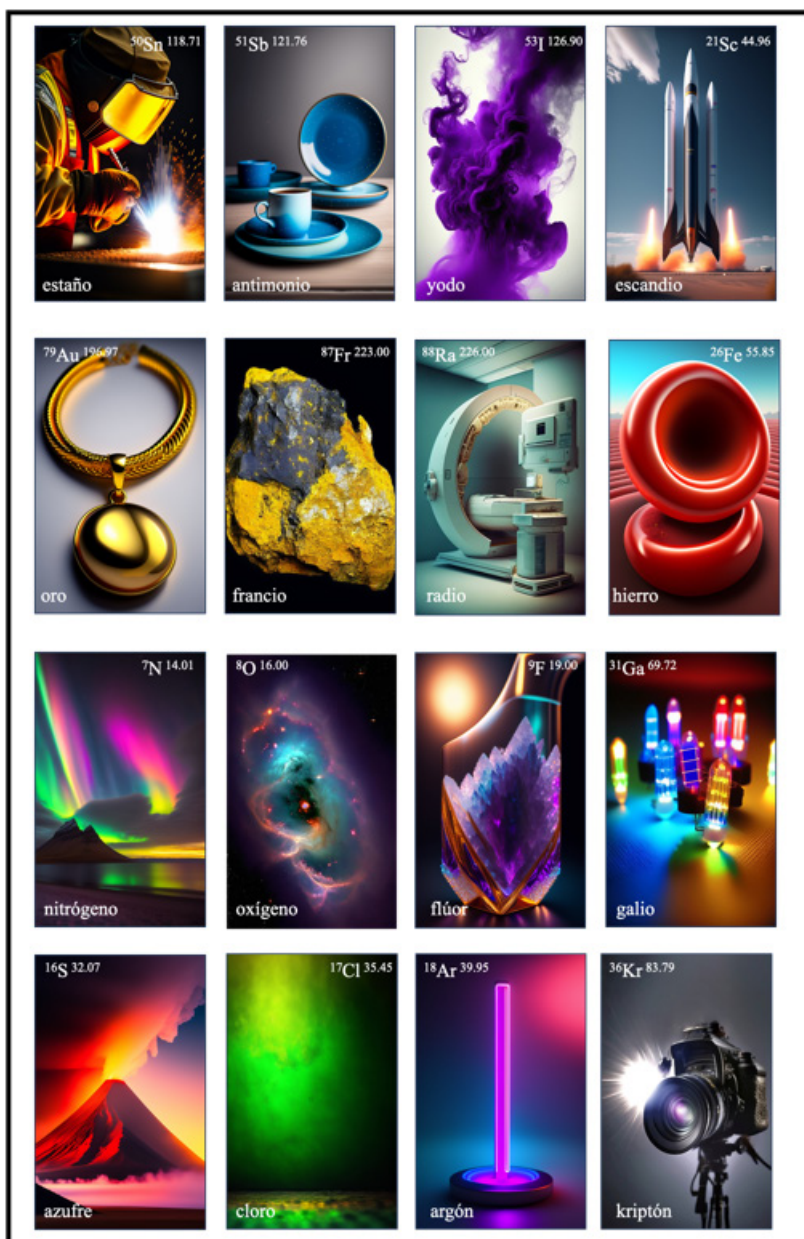
FIGURA 10. Cartas de la Lotería Mexicana.

La *Lotería de los elementos químicos* está estructurada de la misma manera que la Lotería mexicana, pero con la diferencia de que cada carta corresponde a un elemento químico y cada cantada evoca las características de los elementos y sus principales sustancias. Para las 54 cartas se eligieron los primeros 38 elementos de la Tabla Periódica y otros 16 escogidos por su abundancia o por las aplicaciones de sus sustancias (Figura 11).

H																											He
Li	Be													B	C	N	O	F		Ne							
Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr										
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe										
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn										
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og										
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu												
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr												

FIGURA 11. Elementos químicos representados en la *Lotería de los elementos químicos*. En gris, los elementos que no fueron tomados en cuenta para el diseño del juego.

Análogamente, a la Lotería Mexicana, cada tablero está compuesto de 16 elementos y el cantor tiene un mazo de 54 cartas con cantadas que permiten a los jugadores adivinar de qué elemento se trata. Los 10 cartones o tableros contienen imágenes evocadoras de las aplicaciones de alguna de las sustancias de cada elemento. Además, se incluye el nombre del elemento, su símbolo, número atómico y masa molar (Figura 12).



Por su parte, las 54 cartas contienen la imagen presente en el tablero y cuatro cantadas en orden decreciente de dificultad. Para comenzar el juego se reparten los tableros de tal forma que cada jugador tenga uno. El maestro de juego o cantor conserva el paquete de cartas y tras revolverlas, saca una carta y lee las primeras tres cantadas. Si un jugador reconoce, a partir de dichas cantadas, uno de los elementos presentes en su tablero, coloca un frijol encima. Este proceso se repite hasta leer las 54 cartas. Si ningún jugador ha completado su tablero, se realiza una segunda lectura, leyendo únicamente la cuarta cantada que viene en cada carta. Una vez que un jugador ha completado su tablero, debe gritar "¡Lotería!", para poder ganar. Como se puede apreciar en la Figura 13, la cuarta cantada de cada carta es mucho más explícita. El contenido de las cantadas gira en torno a propiedades de las sustancias características de cada elemento, la etimología del nombre, la historia de su descubrimiento o a juegos de palabras. Cabe mencionar que las imágenes se generaron mediante aplicaciones

FIGURA 12. Uno de los tableros de la Lotería de los elementos químicos.


gratuitas de inteligencia artificial (Midjourney, 2023; Lexica, 2023; Dreamlike, 2023). En este proyecto participaron José Omar Zamudio Pérez, quien realizó su tesis de licenciatura, y Jesús Erubiel Miguel Gómez, en una estancia corta de investigación.

HELIO



- 1.- Helios o Hiperión, estoy en el Sol.
- 2.- Es un gas que flota noblemente sobre el aire.
- 3.- Como niño hablarás si me llegas a aspirar.
- 4.- El helio se utiliza para inflar globos de cumpleaños, y aparece en semiconductores y en el Gran Colisionador de Hadrones. Su nombre se debe a la línea amarilla del espectro solar descubierta en 1868 por el astrónomo francés Janssen durante un eclipse solar. ¡Helio!

CARBONO

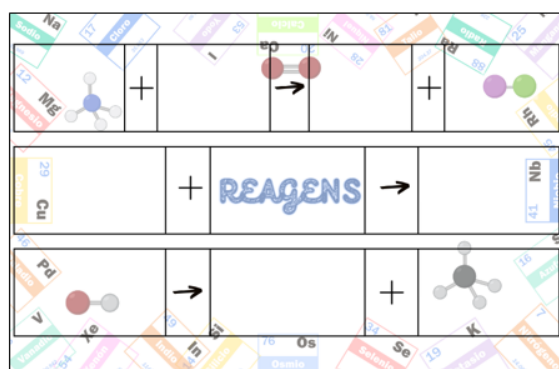


- 1.- El que con solo 14, conoce a todos los dinosaurios.
- 2.- ¡Que no soy pentavalente!
- 3.- Del lápiz al diamante, en un instante.
- 4.- Es único en la química porque forma un número de compuestos mayor que la suma total de compuestos formados por átomos de todos los otros elementos. ¡Carbono!

FIGURA 13. Ejemplos de cartas de la Lotería de los elementos químicos.

Reagens

La estudiante Yutsury Itzel Bernabé Arciniega realizó su Trabajo de Investigación I, asignatura de 20 créditos para la carrera de Química, en la que diseñó un juego llamado *Reagens*, que significa reaccionando en latín, dado que el juego trata sobre reacciones químicas y la forma de escribirlas en el lenguaje simbólico. *Reagens* es un juego para 6 jugadores cuyo objetivo es acumular el mayor número de cartas posibles. Cada jugador tiene una planilla en la que deberá colocar algunas de las 228 cartas para formar y balancear ecuaciones químicas que representan distintas reacciones. De las 228 cartas, hay 216 que corresponden a las fórmulas químicas de las sustancias y otras 12 son comodines. En la Figura 14 se presenta la planilla del juego, el anverso y reverso de una carta como ejemplo.



Planilla



Carta de hidróxido de plata(I)

FIGURA 14. Planilla y una carta (reverso y anverso) de *Reagens*.

Para empezar a jugar se deben revolver las cartas. A continuación, se reparte del mazo, el mismo número de cartas para cada jugador, mostrando el reverso; esto quiere decir que ningún jugador conoce todavía las fórmulas químicas de las sustancias. Sin ver las cartas, cada jugador coloca una de su mazo al centro y la voltea. Al estar las cartas sobre la mesa, los jugadores deberán tomar las cartas correspondientes para formar tríadas o cuartetos correspondientes a las ecuaciones químicas de reacciones conocidas. Para ello, los jugadores deberán tomar las cartas lo más rápidamente posible y colocarlas en su planilla. Una vez completada la ecuación de alguna reacción, esta debe ser balanceada de forma correcta, en caso de no lograrlo un jugador podrá robarla y balancearla correctamente, de igual manera se debe indicar qué tipo de reacción es (óxido-reducción, ácido-base o

precipitación y sustitución simple, doble, descomposición o síntesis). Las cartas en blanco permiten escribir compuestos que falten para completar la ecuación de una reacción en particular. Estas cartas solo se pueden utilizar cuando falte una tarjeta para completar la triada o cuarteto de una ecuación de la reacción. El juego contempla 17 reacciones de óxido-reducción, 13 reacciones de ácido-base y 25 reacciones de precipitación. Además, se pueden formar siete reacciones de sustitución simple, 41 reacciones de sustitución doble, una de descomposición y tres de síntesis. En la Figura 14 se presenta la plantilla de juego y una carta de muestra (anverso y reverso). Lo más sorprendente de *Reagens*, es que sólo se utilizan 74 sustancias diferentes. Además, el juego contempla una breve explicación de cada uno de los reactivos. Por ejemplo, para el hidróxido de plata, presentado en la Figura 14, se describe que *es una sal blanca cristalina incolora e inodora, poco soluble, altamente inestable que se descompone fácilmente en presencia de luz y calor. Es un compuesto con propiedades antisépticas, bactericidas y fungicidas. Históricamente, se utiliza para el tratamiento de enfermedades infecciosas, reduciendo la cantidad de microorganismos, así como también se utiliza como conservador en alimentos, bebidas, productos lácteos, medicamentos y cosméticos.* Se espera que el próximo semestre se puedan llevar a cabo las pruebas con los estudiantes, sin embargo, estamos convencidos de que se trata de un juego dinámico, retador, que integra el conocimiento y que puede ser muy útil para los estudiantes interesados en aprender química tanto en el bachillerato como en los primeros semestres de la licenciatura.

GALIO como aplicación móvil digital y como mascota de la Facultad de Química

En el año 2023, y con el apoyo del proyecto PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación) con clave PE203123, la idea fue convertir a **GALIO** en una herramienta digital, más precisamente en una aplicación gratuita para dispositivos móviles, con la finalidad de alcanzar un público más numeroso. Sin embargo, pasada la pandemia, nos dimos cuenta de que los juegos debían jugarse de manera presencial, manipular las cartas, tener un tablero y pasar un buen momento en comunidad; ya sea en el aula de clases o en algún sitio de la Facultad, pues los juegos se encuentran disponibles para jugar en la ludoteca, la Biblioteca, la jefatura de los Departamentos de Química Inorgánica y Nuclear y Química Orgánica. ¿Cómo resolver entonces la cuestión? ¡Pues con imaginación! En una de las muy interesantes charlas que tenemos a menudo con el Dr. Carlos Hernández Garcíadiago del Instituto de Matemáticas de la UNAM, nos platicó de los calendarios matemáticos. Los calendarios matemáticos eran, y digo eran, porque tristemente han desaparecido, una herramienta que cumplía muchas funciones. Primero se trataba de un calendario anual en el que de lunes a viernes había un ejercicio de algún tema relacionado con las matemáticas: estadística, geometría, álgebra y trigonometría, principalmente. Después, funcionaban como una herramienta de divulgación diseñada para todo público, desde profesionales de las matemáticas hasta estudiantes de bachillerato, es decir que los ejercicios mostraban el alcance e interés de las matemáticas en la vida diaria y tenían dificultad variada, lo que los hacía atractivos para el público en general; y finalmente, como un instrumento de preparación para las olimpiadas de matemáticas. La idea, de bote pronto nos pareció genial, y mejor todavía, que se podría llevar al ámbito de la química muy fácilmente con la misma intención: entretener a los estudiantes de la Facultad, inculcarles de una forma lúdica y con ejemplos precisos que la química se encuentra efectivamente en la vida de todos los días, que los estudiantes de bachillerato pudieran prepararse para las olimpiadas de química,

que los curiosos pudieran aprender química y sobre todo, y más importante quizá, que pudiera servir como una herramienta de orientación vocacional en la Escuela Nacional Preparatoria, ENP, y en el Colegio de Ciencias y Humanidades, CCH, los subsistemas de bachillerato de la UNAM; para que los jóvenes interesados en estudiar química llegaran a la Facultad con una idea clara de lo que esto significa realmente. Mejor aún, dejar de imprimirlo y llevarlo al mundo digital nos pareció crucial porque reduciríamos cualquier problema relacionado con dinero. Así nació primero el proyecto *La vuelta al semestre en 80 ejercicios* como Trabajo de Investigación, en el que varios estudiantes han generado ejercicios de muy diferente índole, de acuerdo con sus intereses, inclinaciones y áreas de interés de la química, y luego gracias a los estudiantes Kevin Hernández, primero, y luego Italia Pascual, el diseño, desarrollo e implementación de la aplicación. Dado que **GALIO** en su versión calendario es una base de datos de reactivos, es decir de ejercicios de química, puede ser una fuente interesante de ejercicios para tareas, exámenes parciales, ordinarios y extraordinarios; y como ha dependido del trabajo e interés de los estudiantes, muchos temas y de forma muy diversa se han desarrollado. En ese sentido, se trata de un proyecto *de los estudiantes para los estudiantes, por los estudiantes*, de tal forma que se cumple un propósito importante: el de formar comunidad. En un país y en una situación como la que vivimos todos los días, la palabra comunidad y la voluntad de generarla no debería pasar de largo. Finalmente, en la Figura 15, se presentan unas pantallas preliminares de cómo la aplicación se verá a partir de febrero del 2025, y de la mascota del proyecto, un búho llamado **GALIO**.

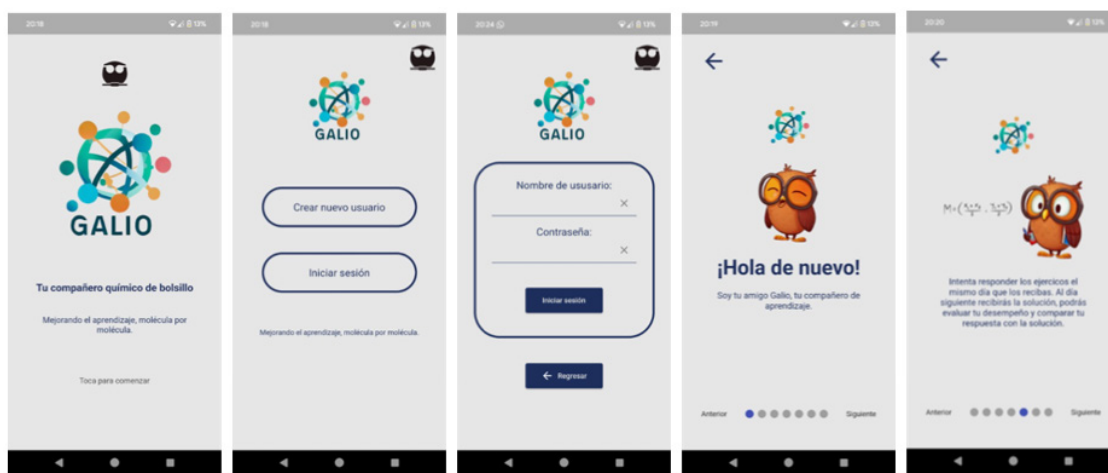


FIGURA 15. Algunas pantallas preliminares de **GALIO** como calendario, y **GALIO**, la mascota de la aplicación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto PAPIIME PE203123, a los doctores Carlos Hernández Garciadiego, Mario Ricardo Israel Rodríguez Varela, Karla Salas Martín, y a los M. en C. Adrián Espinoza Guillén y Chloé Lhardy por su apoyo en el desarrollo de los distintos proyectos, así como a todos los estudiantes involucrados.

Referencias

- Amigo Energy. (2022, 28 de junio). La Lotería Mexicana: Una breve historia de un juego famoso. <https://amigoenergy.com/blog/es/la-loteria-mexicana-una-breve-historia-de-un-juego-famoso>
- Birch, H. (2015). *50 chemistry ideas you really need to know* (1st ed., pp. 22-23). Quercus Publishing.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., y Brunauer, L. S. (1997). *Chemistry: The central science* (Vol. 13). Prentice Hall.
- Chang, R. (2009). *Chemistry* (10th ed.). McGraw Hill.
- Chomsky, N. (1975). *Reflections on language*. Pantheon.
- Clark, R. W. (2010). Logic lessons lost. *Journal of Chemical Education*, 87(9), 901-902. <https://doi.org/10.1021/ed1002916>
- Clark, R. W. (2011). Atom versus nuclei: The author of logic lessons lost responds. *Journal of Chemical Education*, 88(4), 382. <https://doi.org/10.1021/ed100920p>
- Dalton, J. (1808). *A new system of chemical philosophy* (Vol. 1, Part 1). R. Bickerstaff.
- Dreamlike. (2023). <https://dreamlike.art/>
- Fleck, G. M. (1963). Atomism in late nineteenth-century physical chemistry. *Journal of the History of Ideas*, 24(1), 106-114. <https://doi.org/10.2307/2707861>
- Ghibaudi, E., Regis, A., y Roletto, E. (2013). What do chemists mean when they talk about elements? *Journal of Chemical Education*, 90(12), 1626-1631. <https://doi.org/10.1021/ed3004275>
- Guggenheim, E. A. (1958). Notations in physics and chemistry. *Journal of Chemical Education*, 35(12), 606-607. <https://doi.org/10.1021/ed035p606>
- Guyton de Morveau, L. B., Lavoisier, A. L., Berthollet, C. L., y Fourcroy, A. F. (1788). *Méthode de nomenclature chimique*. Cuchet.
- Hartley, H. B. (1966). Stanislao Cannizzaro, F. R. S. (1826-1910) and the first international chemical conference at Karlsruhe in 1860. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 21(1), 56-63. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1966.0006>
- Hoffmann, R., y Lazlo, P. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie International Edition*, 30(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/anie.199100013>
- Hofstein, A., y Lunetta, V. N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>
- Hofstein, A., y Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>

- IUPAC. (1997). *Compendium of chemical terminology* (2nd ed.). Blackwell Scientific Publications. <https://doi.org/10.1351/goldbook>
- Jensen, W. (1998a). Logic, history, and the chemistry textbook: I. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 679-687. <https://doi.org/10.1021/ed075p679>
- Jensen, W. (1998b). Logic, history, and the chemistry textbook: II. Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817-828. <https://doi.org/10.1021/ed075p817>
- Jensen, W. (1998c). Logic, history and the chemistry textbook: II. One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75(8), 961-969. <https://doi.org/10.1021/ed075p961>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Lavoisier, A. L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. Cuchet.
- Lazlo, P. (2013). Towards teaching chemistry as a language. *Science Education*, 22, 1669-1706. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9408-6>
- Lexica. (2023). Retrieved from <https://lexica.art/>
- Lhardy, C., y Reina, A. (2024). Identificat'ions: A battle card game to learn chemical tests and practice observation and reasoning. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01142>
- Libertad, G. (2007, enero-junio). Coplas de la lotería en México. *Revista de Literaturas Populares*. <http://www.rlp.culturaspopulares.org/textcit.php?textdisplay=387>
- Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 229-245. <https://doi.org/10.1039/B4RP90026J>
- Matson, M. L. (2011). Atom versus nuclei: Response to logic lessons lost. *Journal of Chemical Education*, 88(4), 381-382. <https://doi.org/10.1021/ed100878j>
- Metz, A. (1963). La notation atomique et la théorie atomique en France à la fin du XIXe siècle. *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 16(3), 233-239.
- Midjourney. (2023). Retrieved from www.midjourney.com
- Miguel-Gómez, J. E., Salazar-Hernández, D., y Reina, M. (2023). Dominoes! A game for aiding students in their revision of intermolecular forces. *Journal of Chemical Education*, 100, 1895-1904. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00035>
- Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. (2023). Les programmes du collège. Cycle 4 – Cycle des approfondissements (Classes de cinquième, quatrième et troisième). Physique-chimie. <https://www.education.gouv.fr/les-programmes-du-college-3203>

- Myers, R. J. (2012). What are elements and compounds? *Journal of Chemical Education*, 89(7), 832-833. <https://doi.org/10.1021/ed200269e>
- Overman, M., Vermunt, J. D., Meijer, P. C., Bulte, A. M., y Brekelmans, M. (2014). Students' perceptions of teaching in context-based and traditional chemistry classrooms: Comparing content, learning activities, and interpersonal perspectives. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1871-1901. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.880004>
- Pérez-Pérez, C. (2022). ¿Es educar en competencias educar sin contenidos? *The Conversation*. <https://theconversation.com/es-educar-en-competencias-educar-sin-contenidos-192038>
- Perrin, C. L., Agranat, I., Bagno, A., Braslavsky, S. E., Fernandes, P. A., Gal, J.-F., Lloyd-Jones, G. C., Mayr, H., Murdoch, J. R., Nudelman, N. S., Radom, L., Rappoport, Z., Ruasse, M.-F., Siehl, H.-U., Takeuchi, Y., Tidwell, T. T., Uggerud, E., y Williams, I. H. (2022). Glossary of terms used in physical organic chemistry (IUPAC Recommendations 2021). *Pure and Applied Chemistry*, 94(4), 353-534. <https://doi.org/10.1515/pac-2018-1010>
- Petillion, R. J., y 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.9b01105>
- Philipp, S. B., Johnson, D. K., y Yeziarski, E. J. (2014). Development of a protocol to evaluate the use of representations in secondary chemistry instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 777-786. <https://doi.org/10.1039/C4RP00098F>
- Reina, A., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., y Reina, M. (2021). CADMIO: Creating and curating an educational YouTube channel with chemistry videos. *Journal of Chemical Education*, 98(11), 3593-3599.
- Reina, A., García-Ortega, H., Hernández-Áyala, L. F., Guerrero-Ríos, I. Gracia-Mora, J., y Reina, M. (2022a). Compounds and molecules: Learning how to distinguish them through an educational game. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1266-1271. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00975>
- Reina, A., Lhardy, C., García-Ortega, H., Gracia-Mora, J., Marín-Becerra, A., y Reina, M. (2023a). GALIO gaming: Aprendizaje lúdico de química inorgánica y orgánica parte 1: Desarrollo de un proyecto lúdico-didáctico en la Facultad de Química de la UNAM. *Educación Química*, 34(2), 108-138. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.83704>
- Reina, A., y Reina, M. (2021). Seguridad en el laboratorio: una aproximación práctica. *Educación Química*, 32(5), 45-58. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78772>
- Reina, M., This, H., y Reina, A. (2022b). Improving the understanding of chemistry by using the right words: A clear-cut strategy to avoid misconceptions when talking about elements, atoms, and molecules. *Journal of Chemical Education*, 99(8), 2999-3006. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00411>
- Reina, M., This, H., y Reina, A. (2023b). Reply to using the right words in the right way: Atom, molecule, element, and compound. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 7-9. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00946>

- Reina, M., This, H., y Reina, A. (2024). Improving the understanding of chemistry by using the right words: Why is talking about compounds so messy? *Journal of Chemical Education*, 101, 39-48. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00557>
- Saavedra, T. A. (2022). Historia del juego de la lotería mexicana y los 54 versos para cantarla. *México Desconocido*. <https://www.mexicodesconocido.com.mx/historia-del-juego-de-la-loteria-y-los-54-versos-para-cantarla.html>
- Sjostrom, J., y 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/ed5000718>
- Soddy, F. (1920). *Science and life: Aberdeen addresses*. E. P. Dutton and Company.
- 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/10.1080/09500690903386435>
- This, H. (2021). The right words for improving communication in food science, food technology and between food science and technology and a broader audience. In R. M. Burke, A. L. Kelly, C. Lavelle, y H. This (Eds.), *Handbook of molecular gastronomy* (1st ed., pp. 623-631). New York: Francis and Taylor.
- Tol, P. (2021). Color schemes. *SRON Netherlands Institute for Space Research*. <https://personal.sron.nl/~pault/data/colourschemes.pdf>
- Wu, H., y Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>
- Young, J. A. (1957). Teaching the scientific method in college general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 34(5), 238. <https://doi.org/10.1021/ed034p238>