

Simulaciones virtuales y emociones hacia el estudio de la química: una revisión sistemática

Virtual simulations and emotions toward the study of chemistry: a systematic review

Daniel Moreno-Mediavilla¹, Virginia Pascual¹, Alicia Palacios¹

¹ Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), España

daniel.moreno@unir.net , virginia.pascual@unir.net , alicia.palacios@unir.net

RESUMEN. En la mejora de la enseñanza de la ciencia a nivel conceptual y competencial, las simulaciones virtuales se perfilan como una de las herramientas de mayor interés. En este trabajo se presenta una revisión sistemática con el objetivo de analizar qué contenidos de química son los más trabajados con simulaciones virtuales, qué características tienen estas y cómo afecta su uso a las emociones de los estudiantes de química en Educación Secundaria. Los resultados muestran un uso mayoritario de entornos 2D de acceso abierto y un insuficiente número de simulaciones que relacionen la visualización sub-microscópica y la macroscópica. Las características propias de las simulaciones se muestran como las responsables del aumento de emociones positivas por parte de los estudiantes. Se concluye la importancia de profundizar en el papel que juegan las simulaciones en el fomento de la motivación y las actitudes positivas hacia la ciencia como complemento necesario para el aprendizaje.

ABSTRACT. To improve science teaching at the conceptual and competency levels, virtual simulations are emerging as one of the most interesting tools. In this work, a systematic review has been carried out with the aim of analyzing which chemistry contents are the most worked through virtual simulations, what characteristics these simulations have and how their use affects the emotions of chemistry students in Secondary Education (K-12). The results show a majority use of open access 2D environments and a scarce number of simulations that allow exploiting the relations between the sub-microscopic and macroscopic levels are observed. The features of the simulations are shown to be responsible for the increase in positive emotions on the part of the students. The importance of delving into the role that simulations play in promoting motivation and positive attitudes towards science as a necessary complement to learning is concluded.

PALABRAS CLAVE: Respuesta emocional, Química, Simulación virtual, Enseñanza secundaria, Tecnología educacional.

KEYWORDS: Emotional response, Chemistry, Computer simulation, Secondary education, Educational technology.

1. Introducción

La motivación hacia el estudio de las ciencias por parte del alumnado decrece a medida que se van haciendo mayores (Kang et al., 2019; Robles et al., 2015). Esto, unido a los malos resultados de informes internacionales como PISA 2022 (Instituto Nacional de Evaluación Educativa, 2023), que evalúa el desarrollo de la competencia científica y la motivación por las ciencias de estudiantes de secundaria, ponen de manifiesto la necesidad de introducir cambios en la enseñanza de las ciencias que se centren no solo en el aprendizaje de contenidos, sino también en cómo hacer ciencia (Bybee, 2011; Osborne, 2014). En este sentido, el desarrollo en las aulas de nuevas tecnologías, y el uso de ciertos recursos tecnológicos, tales como las simulaciones virtuales, facilitan un proceso de enseñanza aprendizaje enfocado a la práctica científica (Oliveira et al., 2019).

En los últimos años, el crecimiento de las simulaciones virtuales aplicadas a la educación científica ha sido exponencial. Esto es porque son herramientas que permiten a los usuarios observar e interactuar con un fenómeno o sistema de manera virtual, modificando algunas de las variables de las que dependen (De Jong & Van Joolingen, 1998). En la red existen numerosas simulaciones de acceso libre que tratan la mayoría de los contenidos científicos que componen el currículo de secundaria (Alkhaldi, Pranata & Athauda, 2016; D'Angelo et al., 2014; Martín & Galván, 2019; Campos & Benarroch, 2024; Yohannes & Chen, 2021). Estas simulaciones ofrecen muchas posibilidades en cuanto a su puesta en práctica en el aula, pudiéndose utilizar en cualquier momento de una secuencia didáctica y permitiendo trabajar diferentes objetivos de aprendizaje. Además, son flexibles en cuanto a cuándo y dónde se utilizan, permiten ser usadas por numerosos estudiantes a la vez, repetir la práctica tantas veces como sea necesario y suelen ser bastante intuitivas en su manejo (Correia et al., 2019). Todo esto favorece una enseñanza personalizada y centrada en el alumnado.

En el ámbito concreto de la enseñanza de la química, el uso de estas simulaciones representa una oportunidad para mejorar el aprendizaje de conceptos y fenómenos abstractos, la adquisición de competencias científicas y el desarrollo de emociones positivas hacia la ciencia (Palacios et al., 2024; Peechapol, 2021; Rutten, Van Joolingen & Van Der Veen, 2012; Wen et al., 2020).

En este trabajo se plantea un análisis de las simulaciones virtuales de química y su efecto en las emociones de los estudiantes a través de una revisión sistemática de la literatura mediante el método PRISMA.

2. Revisión de la literatura

En el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química, las prácticas de laboratorio se tornan imprescindibles. Al igual que en el laboratorio presencial (Bretz, 2019), las simulaciones o laboratorios virtuales posibilitan a los alumnos trabajar en condiciones similares a las que se realiza el trabajo científico de investigación (Lynch & Ghergulescu, 2017) y ayudan a profundizar en conceptos y procedimientos propios de la competencia científica (Fiad & Galarza, 2015; Ortiz, Álvarez & Sánchez, 2017). Todo ello, permite a los estudiantes observar, manipular objetos, variables y fenómenos de forma virtual, incluso ver secuencias de un fenómeno a través de diferentes representaciones del mismo, favoreciendo la modelización y la comprensión de conceptos abstractos (Banda & Nzabahimana, 2021; Campbell & Oh, 2015; Ortiz & Piña, 2018; Romero & Quesada, 2014). Además, con las simulaciones se desarrolla el uso de habilidades científicas de investigación como son la observación, la formulación de preguntas, elaboración de hipótesis, verificación de resultados y extracción de conclusiones (De Jong & Van Joolingen, 1998; Fan & Geelan, 2013; Pedaste et al., 2015). Todas estas características hacen que las simulaciones virtuales ayuden a mostrar la ciencia como un proceso (Lynch & Ghergulescu, 2017) fomentando una enseñanza en contexto de la ciencia (Della costa & Ocelli, 2020; Honey & Hilton, 2011).

Las investigaciones sobre simulaciones en el aula de química estudian, principalmente, las ventajas de su uso frente a otros recursos de la enseñanza más tradicional. Estos trabajos señalan que las simulaciones mejoran el rendimiento de los alumnos en las clases de química (Rutten, Van Joolingen & Van Der Veen, 2012; Velasco & Buteler, 2017). Asimismo, indican que, la combinación de laboratorio virtual y real en la enseñanza de la química es una estrategia más exitosa que el uso exclusivo del laboratorio real (Zacharia, 2007; Zacharia,



Olympiou & Papaevripidou, 2008) y que, dependiendo del concepto químico a estudiar, el laboratorio virtual es más eficaz que el real (Finkelstein et al., 2005). A pesar de ello, el uso de una simulación per se, no es suficiente para mejorar el aprendizaje (Velasco y Buteler, 2017), es indispensable introducirla dentro de un contexto adecuado. Es decir, debe incluirse dentro de una secuencia didáctica enfocada a desarrollar la exploración, la indagación, la comprensión del fenómeno y el desarrollo del pensamiento crítico. Además, debe adecuarse al nivel conceptual del estudiante, para que, con ayuda del docente, puedan interpretar la información y el modelo que representa la simulación (Fuentes, López & Pozo, 2019; Rizvi & Nabi, 2021).

Otro de los puntos clave que destacan las investigaciones es el diseño propio de la simulación, pues determinan que un nivel alto de interactividad y realismo del recurso, además de que su uso sea intuitivo y propicie el descubrimiento, mejora el aprendizaje (Adams et al., 2008; Podolefsky, Perkins & Adams, 2010). Asimismo, permite trabajar conectando conceptos generales de esta disciplina con los otros más abstractos y complejos (Karayilan et al., 2021).

Pero las características técnicas o didácticas no son las únicas que deben considerarse ante el uso de una simulación virtual, también debe tenerse en cuenta la componente afectiva que implica el uso de cualquier tecnología educativa (Ruiz-Lázaro, Jiménez-García & Huetos-Domínguez, 2025). De Pablos y Lorente-Vaquero (2020) identifican algunos elementos asociados a las emociones, como la edad o la competencia digital, que favorecen la interacción con las TIC y el aumento de la motivación y el interés por la tecnología (Karaseva, Pruulmann-Vengerfeldt & Siibak, 2018). El uso de simulaciones virtuales en la educación química genera efectos positivos en los logros y actitudes de los estudiantes en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales y mejora la confianza del alumnado en sí mismo (Peechapol, 2021). Se debe destacar pues, la importancia que debe darse a las emociones a la hora de utilizar cualquier recurso, técnica o metodología didáctica (Jiménez-Palacios & Cuenca López, 2021) puesto que tanto la motivación como las emociones son aspectos clave en el ámbito escolar debido a su clara relación con el rendimiento académico (Gutiérrez-de-Rozas & Carpiñero, 2021).

La presente revisión sistemática analiza la investigación desarrollada entre los años 2011 y 2021 en el uso de simulaciones virtuales de química para determinar qué contenidos se enseñan a través de ellas, cuáles son las principales características que poseen y si su uso mejora la componente afectiva del aprendizaje de la química por parte de los estudiantes de Educación Secundaria (K12).

3. Metodología

3.1. Revisión sistemática previa

Como punto de partida del trabajo de revisión se realizó una búsqueda de trabajos de revisión sistemática precedentes. Las bases de datos utilizadas para ello fueron SCOPUS y WoS (Web of Science).

Con la búsqueda se obtuvieron 15 artículos de revisión sistemática iniciales, que se redujeron a 5 al eliminar aquellos que no estaban centrados en química o en simulaciones virtuales de manera específica.

Las publicaciones encontradas destacan la importancia del uso de las simulaciones en el aula, insistiendo en la complementariedad al trabajo de laboratorio presencial (Chan et al., 2021). A pesar de ello, los trabajos marcan la necesidad de profundizar en cómo se deben aplicar las simulaciones metodológicamente, qué rol debe tomar el docente (Alzahrani, 2020; Rutten, Van Joolingen & Van Der Veen, 2012) o que otros materiales didácticos son necesarios para la plena integración de estas en clase (Hamilton et al., 2020). Respecto a las emociones que provoca su uso no hay ninguna revisión sistemática previa, por lo que esta es una de las temáticas en las que se centra este trabajo.

3.2. Objetivo y preguntas de investigación

El objetivo del trabajo es realizar una revisión sistemática sobre los artículos publicados en WoS y SCOPUS

entre los años 2011-2021, acerca del uso de simulaciones virtuales en el aula de química en Educación Secundaria (K-12).

Para alcanzarlo se plantean las siguientes preguntas de investigación:

RQ1. ¿Qué contenidos se enseñan en las simulaciones de química en educación secundaria?

RQ2. ¿Cuáles son las principales características de las simulaciones utilizadas para la enseñanza de la química en educación secundaria?

RQ3. ¿Se produce una mejora de la componente afectiva del alumnado cuando usan simulaciones computacionales?

3.3. Procedimiento de recogida y análisis de datos

La revisión sistemática se ha realizado siguiendo el método PRISMA 2020 (Page et al., 2021) tal y como queda recogido en la “Figura 1”.

Como motor de búsqueda de la revisión se han utilizado las bases de datos de WoS (Web of Science) y SCOPUS. Siendo la secuencia de búsqueda la siguiente:

"virtual lab*" OR "simulation" OR "interactive learning environment" AND educat* OR learn* OR train* OR teach* AND "secondary education" OR "post-secondary education" OR "K-12" OR "K-16" OR "elementary secondary education" OR "postsecondary education" OR "secondary school*" OR "tertiary education" OR "tertiary school*" OR "middle school*" OR "high school*" AND "chemist"

Con la búsqueda se obtuvieron inicialmente 685 artículos de revistas científicas revisadas por pares, escritos en inglés y publicados entre 2011 y 2021, que incluyen como tema central las simulaciones aplicadas a la enseñanza de la química en alumnos de 11 a 18 años (6º grade a 12º grade). Tras la eliminación de duplicados se redujeron a 521 títulos. La última búsqueda se realizó el 20/07/2021.

Considerando los objetivos del trabajo, y las preguntas de investigación propuestas, se definieron los criterios de inclusión y exclusión de la revisión sistemática, recogidos en la Tabla 1:

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos de revisión por pares	Artículos basados en software o diseño de simulaciones desde el punto de vista de la programación informática
Escritos en inglés	Los contenidos curriculares no se centran en química
Describe el uso de simulaciones interactivas en el aula	No están enfocados para alumnado de secundaria y/o bachillerato
Incluye análisis cuantitativo o cualitativo sobre los beneficios del uso de la simulación	Artículos que se centren en simulaciones que no cumplan con la definición de interactividad (ej.: animaciones)
	Centrados en laboratorios en remoto, e-book, ambientes de aprendizaje basado en web, juegos, realidad virtual, realidad aumentada y laboratorios asistidos por ordenador
	Se excluyen propuestas didácticas que no sean de análisis específico de simulaciones
	Material gris (comunicaciones a congresos, tesis, etc.)

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de selección y análisis de artículos fue realizado por tres expertos en dos fases de trabajo. La primera consistió en seleccionar los artículos que cumplieran con los requisitos definidos tras lectura de título y resumen. Tras dicha revisión y puesta en común, la muestra se redujo a 32 artículos (Figura 1).



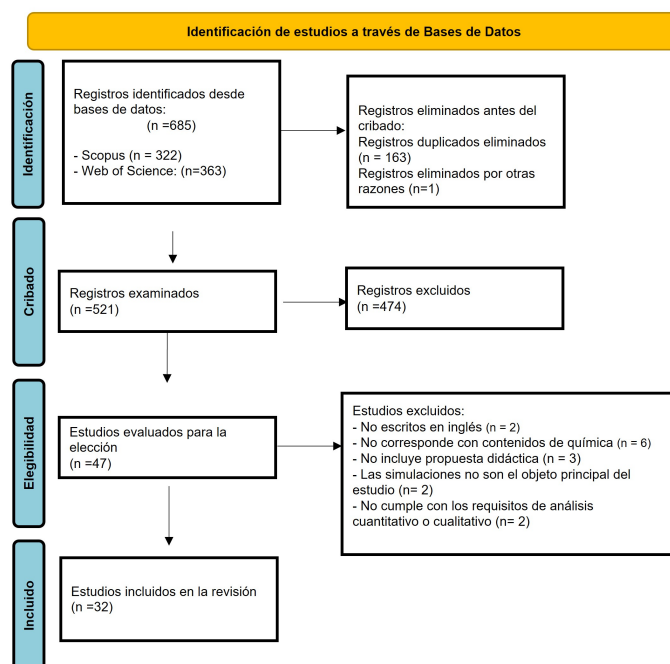


Figura 1. Esquema del método PRISMA 2020. Fuente: Elaboración propia adaptado de Page et al. (2021).

La segunda fase consistió en analizar cada uno de los 32 estudios siguiendo la codificación establecida en la Tabla 2:

Codificación	Descripción
A	Analizan el efecto sobre el aprendizaje al usar simulaciones
E	Estudios que analizan el efecto sobre las emociones de las simulaciones
C	Estudios que analizan el desarrollo de las competencias del alumno al usar simulaciones
PA	Estudios que describen la percepción del alumno sobre el uso de las simulaciones.
PP	Estudios que describen la percepción del profesor sobre el uso de las simulaciones.
ACT	Estudios con análisis cuantitativo de los datos. Incluye al menos una estadística descriptiva.
ACL	Estudios con análisis cualitativo de los datos. Incluye un análisis de os resultados obtenidos a través, de entrevistas, <i>focus group</i> o recogida de opiniones.

Tabla 2. Codificación de las características de los artículos. Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

La Tabla 3 muestra los resultados generales de la revisión sistemática, donde se aprecia que un 91% de los trabajos analizados incluyen análisis cuantitativo de los resultados mientras que un 41% recoge análisis cualitativos. En cuanto a los resultados analizados, un 84% de los artículos incluyen un análisis del efecto que tiene el uso de las simulaciones sobre el aprendizaje de conceptos o modelos químicos, un 19% analiza el efecto sobre las competencias del estudiante y otro 19% analizan el efecto de las simulaciones virtuales sobre las emociones de los estudiantes hacia su uso y hacia el estudio de la química.

Referencia	Contenido de la simulación	A	E	C	PA	PP	ACL	ACT
(Amin & Ikhsan, 2021)	Equilibrio químico			C				ACT
(Chang & Linn, 2013)	Termodinámica química	A					ACL	ACT
(Chen et al., 2014)	Ley de Boyle	A	E	C	PA		ACL	ACT
(Chien et al., 2015)	Ley de Boyle	A						ACT
(Correia et al., 2019)	Comportamiento de los gases a nivel sub-microscópico	A			PA		ACL	ACT
(Davenport, Rafferty & Yaron, 2018)	Disoluciones (el mol)	A						ACT
(Donnelly, O'Reilly & McGarr, 2013)	No especificada			C		PP	ACL	ACT
(Gambari et al., 2016)	Periodicidad y ecuaciones químicas	A	E		PA		ACL	ACT
(Gambari, Kawu & Falode, 2018)	Identificación de cationes	A						ACT
(Hale-Hanes, 2015)	Reactividad ácido-base	A	E		PA		ACL	ACT
(Homer & Plass, 2014)	Teoría cinética molecular y ley de los gases ideales	A						ACT
(Karlsson et al., 2013)	Solubilidad de gases	A			PA	PP	ACL	
(Lamb & Annetta, 2013)	Mol, ecuaciones químicas y estequiometría	A	E		PA			ACT
(Levy, 2013)	Estados de agregación y cambios de fase			C				ACT
(Moli et al., 2017)	Propiedades de la materia	A						ACT
(Olakanmi, 2015)	Reacciones químicas	A	E				ACL	ACT
(Osman & Lee, 2013)	Electroquímica	A	E					ACT
(Papadimitropoulos, Dalacosta & Pavlatou, 2021)	Ácidos y bases (propiedades, Teoría de Arrhenius y pH)	A						ACT
(Plass et al., 2012)	Teoría cinética molecular	A		C				ACT
(Pratidhina, Pujinato & Sumardi, 2019)	Leyes de los gases	A						ACT
(Ryoo, Bedell & Swearingen, 2018)	Propiedades de la materia y reacciones químicas	A						ACT
(Smetana & Bell, 2014)	Estructura atómica	A			PA	PP	ACL	ACT
(Stieff, 2019)	Naturaleza de la materia, reactividad y equilibrio químico	A						ACT
(Tatli & Ays, 2012)	Cambios químicos	A			PA		ACL	ACT
(Tatli & Ays, 2013)	Cambios químicos	A						ACT
(Udo & Etiubon, 2011)	Combinación química	A						ACT
(Ullah, Ali & Rahman, 2016)	Sustancias puras y mezclas	A			PA			ACT
(Vandenplas et al., 2021)	Fuerza y energía, en enlaces y atracciones intermoleculares	A						ACT
(Waight et al. 2014)	Química general	A			PA	PP	ACL	
(Waight & Gillmeister, 2014)	Química general	A			PA	PP	ACL	
(Wen et al., 2020)	Química de fluidos			C				ACT
(Zohar & Levy, 2019)	Enlace químico	A			PA		ACL	ACT

Tabla 3. Resultados del análisis de los 32 artículos recogidos en la revisión sistemática ordenados alfabéticamente. Fuente: Elaboración propia.

4.1. RQ1. ¿Qué contenidos de química se desarrollan en los trabajos analizados?

Los contenidos abarcan la mayor parte de los conceptos químicos que se trabajan en secundaria (National Research Council, 2012). En la Figura 2 se recoge la variabilidad de contenidos incluidos en las simulaciones virtuales, si bien los contenidos relacionados con la materia son mayoritarios: las propiedades de la materia (8 trabajos), los estados de la materia (6 trabajos), la estructura atómica (4 trabajos) y el enlace químico (4 trabajos). Esto evidencia el interés de utilizar las simulaciones virtuales para mostrar lo que ocurre a nivel atómico y molecular, y relacionarlo con lo que observamos macroscópicamente, como se muestra en Plass et al. (2012) y Homer y Plass (2014). En este sentido, las simulaciones virtuales ofrecen una capacidad que los laboratorios reales no tienen, como es la visualización de los fenómenos a escala submicroscópica. En estos trabajos es común la búsqueda de una mejora en la construcción mental de modelos, por ejemplo, en Zohar y Levy (2019) y Vandenplas, et al. (2021), y el uso de contextos reales que ayuden al estudiante a relacionar el concepto con su vida real, como hacen Chang y Linn (2013) o Tatli y Ayas, (2013).

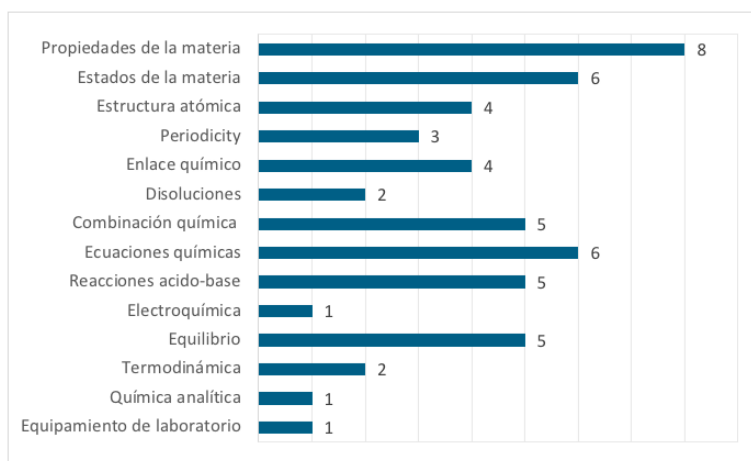


Figura 2. Número de trabajos analizados por contenidos de química incluidos. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 también muestra un elevado número de trabajos que se centran en la reactividad química, destacando los de ecuaciones químicas (6 artículos), combinación química (5 artículos), reacciones ácido-base (5 artículos) y equilibrio de las reacciones químicas (5 artículos). En este grupo de trabajos sobre reactividad química se observan principalmente dos tipos de simulaciones. Por un lado, las simulaciones que se centran en mostrar las reacciones a nivel molecular y lo que esto significa a escala macroscópica, como en Chang y Linn (2013). Por otro lado, se centran en mostrar el aspecto procedimental en el desarrollo de reacciones químicas, mostrando los materiales reales de laboratorio o su equipamiento (Papadimitropoulos, Dalacosta & Pavlatou, 2021; Tatli & Ayas, 2013; Ullah, Ali & Rahman, 2016). En esta idea de mostrar el desarrollo procedimental, el trabajo de Gambari, Kawu y Falode, (2018), llega incluso a mostrar el trabajo de análisis cualitativo con videos de laboratorio que describen cómo lo realiza un analista en la vida real. Además, hay trabajos como el de Tatli y Ayas, (2012), que tratan de mostrar a la vez el desarrollo procedimental y lo que ocurre a nivel submicroscópico.

4.2. RQ2. ¿Cuáles son las características de las simulaciones virtuales utilizadas?

Considerando el entorno del diseño de la simulación, el 75% de los trabajos utilizan simulaciones virtuales 2D, mientras que tan solo el 22% usan entornos 3D. Dentro de los trabajos que utilizan simulaciones 2D, la mayoría utilizan simulaciones prediseñadas como simulaciones PhET (Correia et al., 2019; Hale-Hanes, 2015; Moli et al., 2017; Pratidhina, Pujinato & Sumardi, 2019; Vandenplas et al., 2021), Molecular Workbench (Chang & Linn, 2013; Levy, 2013), o ChemCollective (Davenport, Rafferty & Yaron, 2018; Donnelly,

O'Reily & McGarr, 2013). Estos entornos ofrecen un conjunto de simulaciones virtuales interactivas que incluyen representaciones simbólicas y a escala macroscópica y/o submicroscópica. Estas simulaciones, escritas principalmente en JAVA, Flash o HTML5, permiten observar de manera directa y sencilla, cómo los cambios en las variables modifican directamente el fenómeno a estudiar. El resto de las simulaciones 2D utilizadas son diseñadas ad hoc por los investigadores para el desarrollo de la investigación analizada. La mayor parte de ellas mantiene unas características similares a las prediseñadas (Chen et al., 2014; Chien et al., 2015; Plass et al., 2012; Waight et al., 2014), aunque algunas tienen características que las diferencian, como contener un agente pedagógico (Osman & Lee, 2014), ofrecer situaciones contextualizadas (Ryoo, Bedell & Swearingen, 2018), o haber sido diseñadas con lenguajes de programación como Scratch (Papadimitropoulos, Dalacosta & Pavlatou, 2021) o NetLogo (Homer & Plass, 2014; Waight et al., 2014). Respecto a las simulaciones 3D que utilizan el 22% de los trabajos analizados, estas suelen recrear un entorno de trabajo de laboratorio real con material y equipos de trabajo (Tatli & Ayas, 2012; Tatli & Ayas, 2013; Ullah, Ali & Rahman, 2016). Además, en Amin e Ikhsan (2021) utilizan un laboratorio 3D con semisecondlife, que permite manipular avatares que interactúan con el medio. Esta forma de representación en el fondo no altera la interactividad del usuario, solo modifica la manera en la que el usuario visualiza la información.

Desde el punto de vista del tipo de visualización, como se recoge en la Figura 3, el 59 % de las simulaciones representan conjuntamente visualizaciones microscópicas y macroscópicas de los fenómenos observados. El 22% utilizan visualizaciones que se centran en mostrar la visión macroscópica, sin atender a lo que ocurre en la escala atómica (Gambari, Kawu & Falode, 2018; Ullah, Ali & Rahman, 2016). En estas simulaciones se le da más peso al procedimiento de laboratorio que a la reacción química que tiene lugar, mostrando incluso materiales reales o comparativas entre sistemas de medida (Chen et al., 2014; Chien et al., 2015; Gambari, Kawu & Falode, 2018; Plass et al., 2012). En otros trabajos (13%) se muestra de manera aislada la visión atómica, sin atender a su relación con lo que observamos a nivel macroscópico. Estas simulaciones están enfocadas principalmente a transmitir conceptos relacionados con la estructura interna de la materia (Smetana & Bell, 2014) y los enlaces químicos (Vandenplas, et al., 2021; Zohar & Levy, 2019).

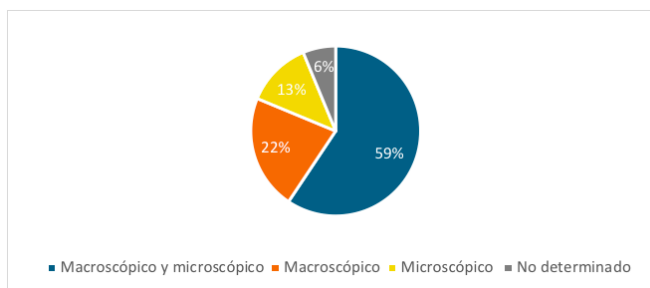


Figura 3. Porcentaje de simulaciones virtuales que ofrecen visión macroscópica y microscópica de manera conjunta, frente a los que muestran la visión macroscópica o microscópica aislada. Fuente: Elaboración propia.

El modo en el que se presentan las instrucciones de trabajo a los usuarios es otra de las características que diferencia a las simulaciones analizadas. Por un lado, están los trabajos que utilizan simulaciones con instrucciones o guías de trabajo incluidas en el propio software (Chang & Linn, 2013; Correia et al., 2019; Gambari, Kawu & Falode, 2018; Homer & Plass, 2014; Karlsson et al., 2013; Levy, 2013; Ryoo, Bedell & Swearingen, 2018). Por otro lado, están los trabajos que usan simulaciones sin guía, de modo que las instrucciones se van aportando de manera externa a través de explicaciones del profesor (Olanmi, 2015; Tatli & Ayas, 2013; Waight et al., 2014) o a través de guías de apoyo externas al simulador (Amin & Ikhsan, 2021; Chen et al., 2014; Chien et al., 2015; Hasyim et al., 2020; Moli et al., 2017; Osman & Lee, 2014; Smetana & Bell, 2014; Stieff, 2019). En el trabajo de Vandenplas et al. (2021) incluso acompañan estas simulaciones con capturas de pantalla a modo de guía. La combinación de instrucciones incluidas en la simulación e instrucciones externas aportadas por el docente también se observa en otros trabajos (Davenport, Rafferty & Yaron, 2018; Plass et al., 2012). Además de unas instrucciones o guías, las simulaciones suelen ir acompañadas de preguntas que acompañan al usuario a lo largo del proceso de uso de la simulación (Papa

Papadimitropoulos, Dalacosta & Pavlatou, 2021; Pratidhina, Pujinato & Sumardi, 2019; Tatli & Ayas, 2013; VandenPlas et al., 2021). El uso o funcionalidad de estas preguntas es variado. Por ejemplo, en el trabajo de Homer y Plass (2014) estas preguntas sirven para conocer el grado de comprensión del fenómeno simulado; en Gambari, Kawu y Falode (2018) y en Osman y Lee (2013) se plantean preguntas de chequeo; en Ryoo, Bedell y Swearingen (2018) se utilizan para ir analizando de modo crítico los pasos seguidos en el proceso; en Karlsson et al. (2013) y Plass et al. (2012) sirven para establecer predicciones; y en otras como Correia et al. (2019) favorecen el análisis o el contraste de los resultados obtenidos.

4.3. RQ3. ¿Se produce un cambio en la actitud y la motivación del alumnado hacia el aprendizaje cuando se usan simulaciones virtuales?

Del total de trabajos analizados, el grado en que los estudiantes modifican su actitud hacia la química, se implican en su aprendizaje y expresan interés o motivación por su estudio, es tratado en 6 de ellos, siempre de una manera complementaria al estudio de mejora de la comprensión de conceptos químicos.

En todo ellos, excepto en uno (Osman & Lee, 2014), se observa una mejora significativa de la componente afectiva que los diferentes autores relacionan con las características propias de los simuladores. Además, es interesante destacar que, como se observa en la Figura 4, los artículos sobre emociones analizados en esta revisión sistemática utilizaron metodologías de instrucción muy distintas, pero todos ellos, excepto uno que utilizaba instrucción guiada paso a paso, obtuvieron un aumento significativo de la componente afectiva (actitudes y emociones) con la introducción de simulaciones virtuales.



Figura 4. Tipo de metodologías utilizadas en los trabajos que estudian la componente afectiva. Se muestran en azul los estudios que muestran mejora significativa de la componente afectiva y en rojo cuando no se observa mejora significativa. Fuente: Elaboración propia.

En el trabajo de Olakanmi (2015) se observa un incremento significativo en las actitudes positivas hacia el aprendizaje de la química en el grupo que usó simulaciones respecto al grupo que usó un método convencional de enseñanza. Además, se concluye que la elección de una simulación computacional interactiva, atractiva y adecuada a la edad del alumnado, es crucial para su éxito. De manera similar, en el trabajo de Lamb y Annetta (2012), encontraron una mejora significativa de la actitud hacia la química en los estudiantes que utilizaban las simulaciones virtuales mediante ABP durante cuatro módulos de química. Además, mientras que la actitud en grupos control con profesores diferentes variaba, al utilizar las simulaciones se producía una mejora de la actitud que era independiente del profesor.

La motivación tanto extrínseca como intrínseca de los estudiantes fue analizada en el trabajo de Gambari et al. (2016) mediante un diseño pretest-postest. Los autores observaron un aumento significativo en la motivación del alumnado, tanto extrínseca como intrínseca, hacia la química en el grupo que usó simulaciones computacionales mediante aprendizaje guiado paso a paso frente a los otros grupos. Mientras que en el grupo control afirmaban que la química es aburrida y no hay forma de entenderla, el grupo que utilizó simulaciones se divirtió, les pareció emocionante usarlas y se mostraron más comprometidos con su aprendizaje, mejorando especialmente su motivación hacia la exploración de conceptos difíciles o abstractos por su cuenta. Este resultado difiere del encontrado por Osman y Lee (2014) en el que tras desarrollar un experimento pretest-postest con grupo control, no se observa una mejora significativa en la motivación de los estudiantes tras usar el módulo interactivo por instrucción guiada paso a paso frente a la enseñanza convencional. Los autores plantean la necesidad de revisar el propio módulo de aprendizaje para encontrar respuestas. Cabe resaltar que este es el único trabajo en el que no se ha observado una mejora significativa de la motivación con la introducción de simulaciones virtuales.

En relación con el uso de laboratorios reales y simulaciones virtuales, los resultados del trabajo de Hale-Hanes (2015) muestran que los laboratorios virtuales mediante indagación abierta incrementaron la confianza de los estudiantes respecto al uso de laboratorios reales. Los alumnos encontraron que los laboratorios virtuales eran más sencillos, más fáciles de manejar y de entender, por lo que les intimidaba menos y les parecía más sencillo corregir un error. Sin embargo, calificaban a los laboratorios reales como los más divertidos. Esto contradice, en parte, lo encontrado en el trabajo de Chen et al. (2014), donde los estudiantes afirman divertirse más al usar simulaciones mediante indagación abierta que en el laboratorio tradicional o en lecciones magistrales. Por otro lado, y de acuerdo con lo obtenido por Hale-Hanes (2015) y Gambari et al. (2016), los estudiantes están más involucrados en el aprendizaje al usar simulaciones que en el laboratorio tradicional o lecciones magistrales. A pesar de estos puntos positivos los alumnos también plantean inconvenientes como que se pierde la manipulación física y una cierta pérdida de autenticidad al usar simulaciones (Chen et al, 2014).

5. Conclusiones

En este artículo se ha desarrollado una revisión sistemática sobre qué tipos de contenidos de química son los más extendidos en el uso de simulaciones virtuales, qué características tienen esas simulaciones y cómo afecta su uso a las emociones del alumnado en el proceso de enseñanza-aprendizaje de química en el nivel K-12.

La primera pregunta de investigación trata de determinar los contenidos principales de química en los que se centran las simulaciones virtuales incluidas en los trabajos analizados. Destacan dos contenidos centrales, los relacionados con las propiedades y estados de la materia y los contenidos relacionados con reactividad química. Esto denota el interés de utilizar las simulaciones virtuales para mostrar lo que ocurre a nivel atómico y molecular, y relacionarlo con lo que observamos macroscópicamente, así como para mostrar desarrollos procedimentales.

En relación con la segunda pregunta de investigación, referida a la caracterización de las simulaciones virtuales utilizadas, cabe destacar que en K-12 sigue siendo mayoritario el uso de simulaciones virtuales 2D de acceso abierto centradas en mejorar la comprensión del fenómeno a estudiar. A pesar de esto, se echa en falta en las simulaciones una mayor presencia de la conexión entre lo que ocurre a nivel macroscópico y a nivel submicroscópico, considerando que este es uno de los principales aportes de las simulaciones a la comprensión de la química (Kozma, 2000; Kozma & Russell, 2005; Lamb & Anetta, 2013; Plass, 2012). Del análisis realizado, se desprenden una serie de cuestiones que pueden servirnos como guía a la hora de seleccionar adecuadamente la simulación virtual. En este sentido, se muestra que son más útiles las simulaciones no demasiado complejas, de manera que faciliten al estudiante centrar su atención en la práctica diseñada (Homer & Plass, 2014). Además de esto, es interesante tener en cuenta que la simulación debe posibilitar el análisis a nivel microscópico, macroscópico y gráfico de la situación (Plass et al, 2012), y que las propuestas didácticas de prácticas con simulaciones deben partir de situaciones cotidianas que despierten el interés del alumnado (Chang & Linn, 2013; Ryoo, Bedell & Swearingen, 2018; Tatli & Ayas, 2013) y de sus ideas previas (Moli et al., 2017; Zohar & Levy, 2019). Además, es indispensable que el material didáctico que acompaña a la simulación, ya sea insertado en la propia simulación o desarrollado por el docente, parta también de las ideas previas del alumnado (Zohar & Levy, 2019), incluya preguntas que guíen el aprendizaje (Ryoo, Bedell & Swearingen, 2018), y ofrezca una retroalimentación al estudiante (Correia, 2019).

La tercera pregunta de investigación se centra en dilucidar si se produce un cambio en las emociones del estudiante cuando usan simulaciones virtuales. De los seis estudios en los que se han analizado estas cuestiones, en cinco de ellos se obtienen mejoras significativas en la actitud y motivación hacia el estudio de la química. En un único trabajo no se observa una mejora significativa de la motivación de los estudiantes al usar simulaciones virtuales, siendo esta justificada por un inadecuado diseño de la simulación computacional utilizada (Osman & Lee, 2014). Uno de los puntos clave para fomentar las emociones y actitudes positivas hacia la química en los estudiantes, es el hecho de que la simulación debe ser atractiva y adecuada a la edad



del alumnado (Olakanmi, 2015). Además, el análisis apunta a que son las características propias de las simulaciones las que favorecen las actitudes positivas de los estudiantes más que el hecho de usarlas con una u otra metodología en el aula o con un profesor u otro (Lamb & Annetta, 2013), aunque estas cuestiones innegablemente sean cruciales para la mejora global del aprendizaje (Tüysüz, 2010). Así, su carácter dinámico, interactivo y de fácil manejo (Udo & Etiubon, 2011), el hecho de poder experimentar sin temor a equivocarse tantas veces como uno quiera (Amin and Ikhsan, 2021), y la facilidad para poder explorar de forma sencilla conceptos abstractos y observar diferentes tipos de representación (Correia et al., 2019; Hale-Hanes, 2015; Lamb & Annetta, 2013; Levy, 2013; Plass et al., 2012), son aspectos que repercuten de manera positiva en las emociones del estudiante (Gambari, 2016; Hale-Hanes, 2015). En este sentido, utilizar conjuntamente prácticas de laboratorio reales y simulaciones tiene enormes beneficios, pues al manejo real del material y a la autenticidad en el aprendizaje que proporciona la experimentación real (Chen et al., 2014) se le suman las ventajas didácticas que aporta el uso de simulaciones.

Algunas de las limitaciones del trabajo proceden de la estrategia de búsqueda centrada en artículos de Scopus y WoS, lo que ha podido acarrear la pérdida de trabajos de interés publicados en congresos o en revistas indexadas en otras bases de datos. La temática objeto de estudio se ha acotado a alumnos K-12 y contenidos de química, debido al peso que estos tienen en la formación científica y las dificultades asociadas de estos alumnos. Además, el análisis se ha centrado en artículos que incluían el uso de simulaciones o laboratorios virtuales, pero se han excluido aquellos que utilizaban animaciones no interactivas, realidad virtual, realidad aumentada o mixta, lo que puede plantearse como una limitación en la extracción de resultados.

En definitiva, con esta revisión se complementa lo observado en revisiones precedentes en cuanto a la caracterización de las simulaciones virtuales de química y se aporta información relevante sobre las emociones y actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y hacia su aprendizaje gracias al uso de simulaciones, cuestión que no había sido estudiada en las revisiones precedentes. Este trabajo plantea como prospectiva la necesidad de realizar comparaciones en las que entre la muestra control y la experimental, se hayan realizado cambios concretos y precisos, de manera que se puedan extraer conclusiones más claras sobre cómo afectan las diferentes características y métodos de instrucción a las emociones de los estudiantes. Así mismo, sería interesante estudiar cómo se ve afectada la motivación con el uso continuado de simulaciones virtuales, dando respuesta a la cuestión de si dicho aumento de la motivación es un efecto debido a la novedad del recurso o si realmente es un efecto que se mantiene en el tiempo.

Financiación

Los autores agradecen el apoyo del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Investigación financiada por la Convocatoria "Proyectos propios de Investigación UNIR 2022" con número de referencia PP-2022-14.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Moreno-Mediavilla, D.; Pascual, V.; Palacios, A. (2025). Simulaciones virtuales y emociones hacia el estudio de la química: una revisión sistemática. *Campus Virtuales*, 14(2), 139-152. <https://doi.org/10.54988/cv.2025.2.1604>

Referencias

- Adams, W. K.; Reid, S.; LeMaster, R.; McKagan, S.; Perkins, K.; Dubson, M.; Wieman, C. E. (2008). A Study of Educational Simulations Part II – Interface Design. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(4), 551-577. (<https://www.learntechlib.org/p/24364>).
- Alkhalidi, T.; Pranata, I.; Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: Observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3), 329-351. <https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z>.
- Alzahrani, N. M. (2020). Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(16). <https://doi.org/10.3390/app10165660>.

Moreno-Mediavilla, D.; Pascual, V.; Palacios, A. (2025). Simulaciones virtuales y emociones hacia el estudio de la química: una revisión sistemática. *Campus Virtuales*, 14(2), 139-152. <https://doi.org/10.54988/cv.2025.2.1604>



- Amin, D. I.; Ikhsan, J. (2021). Improving higher order thinking skills via semi second life. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 261-274. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.1.261>.
- Banda, H. J.; Nzabanimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical review physics education research*, 17(2), 023108. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>.
- Bretz, S. L. (2019). Evidence for the Importance of Laboratory Courses. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 193-195. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00874>.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms. *The Science Teacher*, 78(9), 34-40.
- Campbell, T.; Oh, P.S. (2015). Engaging students in modelling as an epistemic practice of science: An introduction to the special issue of the journal of science education and technology. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 125-131. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9544-2>.
- Campos Mera, G.; Benarroch Benarroch, A. (2024). Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 109-129. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040>.
- Chang, H.; Linn, M. C. (2013). Scaffolding learning from molecular visualizations. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(7), 858-886. <https://doi.org/10.1002/tea.21089>.
- Chan, P.; Van Gerven, T.; Dubois, J. C.; Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>.
- Chen, S.; Chang, W.; Lai, C.; Tsai, C. (2014). A Comparison of Students' Approaches to Inquiry, Conceptual Learning, and Attitudes in Simulation-Based and Microcomputer-Based Laboratories. *Science Education*, 98(5), 905-935. <https://doi.org/10.1002/sce.21126>.
- Chien, K.; Tsai, C.; Chen, H.; Chang, W.; Chen, S. (2015). Learning differences and eye fixation patterns in virtual and physical science laboratories. *Computers y Education*, 82, 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.11.023>.
- Correia, A.; Koehler, N.; Thompson, A.; Phye, G. (2019). The application of PhET simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level: secondary school students' perceptions. *Research in Science y Technological Education*, 37(2), 193-217. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1487834>.
- D'Angelo, C.; Rutstein, D.; Harris, C.; Bernard, R.; Borokhovski, E.; Haertel, G. (2014). Simulations for STEM learning: systematic review and meta-analysis. *SRI Education*. (<https://bit.ly/4eSEvzz>).
- Davenport, J. L.; Rafferty, A. N.; Yaron, D. J. (2018). Whether and How Authentic Contexts Using a Virtual Chemistry Lab Support Learning. *Journal of Chemical Education*, 95(8), 1250-1259. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00048>.
- De Jong, T.; Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>.
- De Pablos Pons, J.; Llorent-Vaquero, M. (2020). Las emociones en la interacción con la tecnología en el profesorado y el alumnado de centros con buenas prácticas TIC. *Educatio Siglo XXI*, 38(2 Jul-Oct), 155-170. <https://doi.org/10.6018/educatio.432951>.
- Della costa, G. M.; Occelli, M. (2020). Análisis de simulaciones computacionales para la enseñanza del modelo de evolución biológica por selección natural. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 2201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2201.
- Donnelly, D.; O'Reilly, J.; McGarr, O. (2013). Enhancing the Student Experiment Experience: Visible Scientific Inquiry Through a Virtual Chemistry Laboratory. *Research in Science Education*, 43(4), 1571-1592. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9322-1>.
- Fan, X.; Geelan, D. R. (2013). Enhancing students' scientific literacy in science education using interactive simulations: A critical literature review. *J. Computer in Mathematics y Science Teaching*, 32(2), 125-171.
- Fiad, S. B.; Galarza, O. D. (2015). El Laboratorio Virtual como Estrategia para el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje del Concepto de Mol. *Formación Universitaria*, 8(4), 3. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062015000400002>.
- Finkelstein, N. D.; Adams, W. K.; Keller, C. J.; Kohl, P. B.; Perkins, K. K.; Podolefsky, N. S.; Reid, S.; LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1103/physrevstper.1.010103>.
- Fuentes, A.; López, J.; Pozo, S. (2019). Analysis of the digital teaching competence: Key factor in the performance of active pedagogies with augmented reality. [Análisis de la competencia digital docente: Factor clave en el desempeño de pedagogías activas con realidad aumentada] *REICE. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia Y Cambio En Educacion*, 17(2), 27-42. <https://doi.org/10.15366/reice2019.17.2.002>.
- Gambari, A. I.; Kawu, H.; Falode, O. C. (2018). Impact of Virtual Laboratory on the Achievement of Secondary School Chemistry Students in Homogeneous and Heterogeneous Collaborative Environments. *Contemporary Educational Technology*, 9(3), 246-263. <https://doi.org/10.30935/cet.444108>.
- Gambari, I. A.; Gbodi, B. E.; Olakanmi, E. U.; Abalaka, E. N. (2016). Promoting Intrinsic and Extrinsic Motivation among Chemistry Students using Computer-Assisted Instruction. *Contemporary Educational Technology*, 7(1), 25. <https://doi.org/10.30935/cetech/6161>.
- Gutiérrez-de-Rozas, B.; Carpintero Molina, E. (2021). Análisis de la evaluación de programas de educación emocional y motivación en Educación Secundaria. *Revista de Investigación Educativa*, 39(2), 503-525. <https://doi.org/10.6018/rie.442341>.
- Hale-Hanes, C. (2015). Promoting Student Development of Models and Scientific Inquiry Skills in Acid Base Chemistry: An Important Skill Development in Preparation for AP Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1320-1324. <https://doi.org/10.1021/ed500814n>.
- Hamilton, D.; McKechnie, J.; Edgerton, E.; Wilson, C. (2020). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 10(8), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>.



- Homer, B. D.; Plass, J. L. (2014). Level of interactivity and executive functions as predictors of learning in computer-based chemistry simulations. *Computers in Human Behavior*, 36, 365-375. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.041>.
- Honey, M.; Hilton, M. (2011). *Learning Science Through Computer Games and Simulations*. Washinton D.C. (USA): National academies.
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa (2023). PISA 2022. Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes. Informe español. Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes. (<https://bit.ly/3Y3n3wK>).
- Jiménez-Palacios, R.; Cuenca López, J. M. (2021). La enseñanza y aprendizaje de las Ciencias Sociales a través del patrimonio, videojuegos y emociones. Estudio de caso en un IES de Huelva (España). *Panta Rei. Revista digital de Historia y Didáctica de la Historia*, 15, 103-133. <https://doi.org/10.6018/pantarei.466601>.
- Kang, J.; Hense, J.; Scheersoi, A.; Keinonen, T. (2019). Gender study on the relationships between science interest and future career perspectives. *International Journal of Science Education*, 41(1), 80-101. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1534021>.
- Karayılan, M.; Vakil, J.; Fowler, D.; Becker, M. L.; Cox, C. T. (2021). Zooming in on polymer chemistry and designing synthesis of high sulfur-content polymers for virtual undergraduate laboratory experiment. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 2062-2073. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00105>.
- Karaseva, A.; Pruulmann-Vengerfeldt, P.; Siibak, A. (2018). Relationships between in-service teacher achievement motivation and use of educational technology: case study with Latvian and Estonian teachers. *Technology, Pedagogy and Education*, 27(1), 33-47. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2017.1339633>.
- Karlsson, G.; Ivarsson, J.; Lindstrom, B. (2013). Agreed discoveries: students' negotiations in a virtual laboratory experiment. *Instructional Science*, 41(3), 455-480. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9238-1>.
- Kozma, R. B. (2000). The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. In M. Jacobson y R. Kozma (Eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning* (pp. 11-46). Mahwah NJ (USA): Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kozma, R.; Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualisation in science education* (pp. 121-146). Dordrecht (The Netherlands): Springer.
- Lamb, R. L.; Annetta, L. (2013). The Use of Online Modules and the Effect on Student Outcomes in a High School Chemistry Class. *Journal of Science Education and Technology*, 22(5), 603-613. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9417-5>.
- Levy, D. (2013). How Dynamic Visualization Technology can Support Molecular Reasoning. *Journal of Science Education and Technology*, 22(5), 702-717. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9424-6>.
- Lynch, T.; Ghergulescu, I. (2017). Review of virtual labs as the emerging technologies for teaching STEM subjects. Paper presented at the INTED2017 Proc. 11th Int. Technol. Educ. Dev. Conf, 6(8) 6082-6091. <https://doi.org/10.21125/inted.2017.1422>.
- Martín, J. I.; Galván, J. J. M. (2019). PhET, simulaciones interactivas para Ciencias y Matemáticas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 95, 82-83.
- Moli, L.; Delserieys, A. P.; Impedovo, M. A.; Castera, J. (2017). Learning density in Vanuatu high school with computer simulation: Influence of different levels of guidance. *Educ Inf Technol*, 22, 1947-1964. <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9527-4>.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>.
- Olakanmi, E. E. (2015). The Effects of a Web-Based Computer Simulation on Students' Conceptual Understanding of Rate of Reaction and Attitude Towards Chemistry. *Journal of Baltic Science Education*, 14(5), 627-640. <https://doi.org/10.33225/jbse/15.14.627>.
- Oliveira, A.; Feyzi Behnagh, R.; Ni, L.; Mohsinah, A. A.; Burgess, K. J.; Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: A literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 149-160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>.
- Ortiz, C. P. M.; Álvarez, J. S. O.; Sánchez, L. T. M. (2017). Laboratorio virtual de química: una experiencia de diseño interdisciplinar. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 51, 98-110.
- Ortiz F.; Piña C. (2018). Estrategia tecno-didáctica para la solución de problemas de genética en estudiantes de educación a distancia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2301
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.
- Osman, K.; Lee, T. T. (2013). Impact of Interactive Multimedia Module with Pedagogical Agents on Students' Understanding and Motivation in the Learning of Electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(2), 395-421. <https://doi.org/10.1007/s10763-013-9407-y>.
- Page, M. J.; Mckenzie, J. E.; Bossuyt, P. M.; Boutron, I.; Hoffmann, T. C.; Mulrow, C. D.; Shamseer, L.; Tetzlaff, J. M.; Akl, E. A.; Brennan, S. E.; Chou, R.; Glanville, J.; Grimshaw, J. M.; Hróbjartsson, A.; Lalu, M. M.; Li, T.; Loder, E. W.; Mayo-Wilson, E.; Mcdonald, S.; Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Palacios, A.; Pascual, V.; Moreno-Mediavilla, D. (2024). Methodological design in the use of virtual simulations in chemistry: a systematic review. *Journal of Technology and Science Education*, 14(3), 701-719. <https://doi.org/10.3926/jotse.2357>.
- Papadimitropoulos, N.; Dalacosta, K.; Pavlatou, E. A. (2021). Teaching Chemistry with Arduino Experiments in a Mixed Virtual-Physical Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550-566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>.
- Pedaste, M.; Mäeots, M.; Siiman, L. A.; De Jong, T.; Van Riesen, S. A. N.; Kamp, E. T.; Manoli, C. C.; Zacharia, Z. C.; Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.

- Peechapol, C. (2021). Investigating the Effect of Virtual Laboratory Simulation in Chemistry on Learning Achievement, Self-efficacy, and Learning Experience. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(20), 196-207. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i20.23561>.
- Plass, J. L.; Milne, C.; Homer, B. D.; Schwartz, R. N.; Hayward, E. O.; Jordan, T.; Verkuilen, J.; Ng, F.; Wang, Y.; Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 394-419. <https://doi.org/10.1002/tea.21008>.
- Podolefsky, N. S.; Perkins, K. K.; Adams, W. K. (2010). Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020117>.
- Pratidhina, E.; Pujianto, P.; Sumardi, Y. (2019). Developing Computer Program as a Learning Resource on Gas Law Topics for High School Students. *International Journal of Instruction*, 12(2), 133-146. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.1229a>.
- Rizvi, Y. S.; Nabi, A. (2021). Transformation of learning from real to virtual: an exploratory-descriptive analysis of issues and challenges. *Journal of Research in Innovative Teaching and Learning*, 14(1), 5-17. <https://doi.org/10.1108/jrit-10-2020-0052>.
- Robles, A.; Solbes, J.; Cantó, R.; Lozano, Ó. R. (2015). Actitudes de los estudiantes hacia la ciencia escolar en el primer ciclo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 14(3), 361-376.
- Romero, M.; Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 0101-115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>.
- Ruiz-Lázaro, J.; Jiménez-García, E.; Huetos-Domínguez, M. (2025). Revisión sistemática sobre el uso de la tecnología en educación y el compromiso de los estudiantes en la última década. *Campus Virtuales*, 14(1), 139-152. <https://doi.org/10.54988/cv.2025.1.1318>.
- Rutten, N.; Van Joolingen, W. R.; Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.
- Ryoo, K.; Bedell, K.; Swearingen, A. (2018). Promoting Linguistically Diverse Students' Short-Term and Long-Term Understanding of Chemical Phenomena Using Visualizations. *Journal of Science Education and Technology*, 27(6), 508-522. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9739-z>.
- Smetana, L. K.; Bell, R. L. (2014). Which setting to choose: Comparison of whole-class vs. small-group computer simulation use. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 481-495. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9479-z>.
- Stieff, M. (2019). Improving Learning Outcomes in Secondary Chemistry with Visualization-Supported Inquiry Activities. *Journal of Chemical Education*, 96(7), 1300-1307. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00205>.
- Tatli, Z.; Ayas, A. (2012). Virtual Chemistry Laboratory: Effect Of Constructivist Learning Environment. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 13(1), 183-199.
- Tatli, Z.; Ayas, A. (2013). Effect of a Virtual Chemistry Laboratory on Students' Achievement. *Journal of Educational Technology y Society*, 16(1), 159-170. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.16.1.159>.
- Tüysüz, C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1), 37-53.
- Udo, M. E.; Etiubon, R. U. (2011). Computer-Based Science Simulations, Guided-Discovery and Students' Performance in Chemistry. *Modern Applied Science*, 5(6). <https://doi.org/10.5539/mas.v5n6p211>.
- Ullah, S.; Ali, N.; Rahman, S. U. (2016). The Effect of Procedural Guidance on Students' Skill Enhancement in a Virtual Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93(12), 2018-2025. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00969>.
- Vandenplas, J. R.; Herrington, D. G.; Shrode, A. D.; Sweeder, R. D. (2021). Use of Simulations and Screencasts to Increase Student Understanding of Energy Concepts in Bonding. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 730-744. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00470>.
- Velasco, J.; Buteler, L. (2017). Computational simulations in physics education: A critical review of the literature. [Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años]. *Enseñanza De Las Ciencias*, 35(2), 161-178. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2117>.
- Waight, N.; Liu, X.; Gregorius, R. M.; Smith, E.; Park, M. (2014). Teacher Conceptions and Approaches Associated with an Immersive Instructional Implementation of Computer-Based Models and Assessment in a Secondary Chemistry Classroom. *International Journal of Science Education*, 36(3), 467-505. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.787506>.
- Waight, N.; Gillmeister, K. (2014). Teachers and Students' Conceptions of Computer-Based Models in the Context of High School Chemistry: Elicitations at the Pre-intervention Stage. *Research in Science Education*, 44(2), 335-361. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9385-7>.
- Wen, C.; Liu, C.; Chang, H.; Chang, C.; Chang, M.; Chiang, S. F.; Yang, C.; Hwang, F. (2020). Students' guided inquiry with simulation and its relation to school science achievement and scientific literacy. *Computers and Education*, 149, 103830. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103830>.
- Yohannes, A.; Chen, H. (2021). GeoGebra in mathematics education: a systematic review of journal articles published from 2010 to 2020. *Interactive Learning Environments*, 31, 5682 - 5697. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.2016861>.
- Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 120-132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x>.
- Zacharia, Z. C.; Olympiou, G.; Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(9). <https://doi.org/10.1002/tea.20260>.
- Zohar, A. R.; Levy, S. T. (2019). Attraction vs. repulsion - learning about forces and energy in chemical bonding with the ELI-Chem simulation. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 667-684. <https://doi.org/10.1039/c9rp00007k>.