

## Percepciones del profesorado ante el uso de simuladores virtuales en el aula de ciencias

Jorge POZUELO MUÑOZ  
Jorge MARTÍN GARCÍA  
Beatriz CARRASQUER ÁLVAREZ  
Esther CASCAROSA SALILLAS

Datos de contacto:

Jorge Pozuelo Muñoz  
Dpto. Didácticas Específicas,  
Facultad de Educación,  
Universidad de Zaragoza  
[jpozuelo@unizar.es](mailto:jpozuelo@unizar.es)

Jorge Martín García  
Dpto. Didácticas Específicas,  
Facultad de Educación,  
Universidad de Zaragoza  
[araujo@unizar.es](mailto:araujo@unizar.es)

Beatriz Carrasquer Álvarez  
Dpto. Didácticas Específicas,  
Facultad de Educación,  
Universidad de Zaragoza  
[becarras@unizar.es](mailto:becarras@unizar.es)

Esther Cascarosa Salillas  
Dpto. Didácticas Específicas,  
Facultad de Educación,  
Universidad de Zaragoza  
[ecascano@unizar.es](mailto:ecascano@unizar.es)

Recibido: 30/07/2022

Aceptado: 01/03/2023

### RESUMEN

Los nuevos currículos educativos incluyen entre las herramientas a aplicar en las aulas de ciencias, las simulaciones virtuales, lo que supone un cambio de paradigma con el anterior currículo escolar. Algunos docentes de ciencias vienen utilizando dichos simuladores de manera habitual, mientras que otros se están formando en ellos. El objetivo de este trabajo de investigación ha sido conocer las percepciones de una muestra de 11 docentes de ciencias en activo, de educación primaria y secundaria, contextualizada en el estudio de caso. Se han recogido datos a través de un cuestionario estructurado y una entrevista personal, para analizar las percepciones sobre el uso de simuladores en el aula, en torno a: a) el proceso de aprendizaje del alumnado; b) el proceso de enseñanza del profesorado; c) las posibilidades didácticas de los simuladores. Los resultados recogidos han permitido establecer categorías emergentes que muestran como los docentes perciben los simuladores como herramientas que ayudan a la modelización a través del acercamiento a los alumnos de conceptos abstractos, facilitan la repetición de experimentos por la menor necesidad de tiempo y materiales, favorece la motivación y el interés hacia las ciencias, entre otros resultados. En resumen, los resultados muestran que el profesorado percibe los simuladores como una herramienta útil para el desarrollo de la competencia científica del alumnado. Para conseguir un uso más habitual de esta herramienta, demandan una formación específica que les ayude a diseñar secuencias de actividades en torno a contenidos concretos.

**PALABRAS CLAVE:** Aula virtual; Enseñanza de las Ciencias; Simuladores; Percepciones.

## **Title: Teachers' perceptions about the use of virtual simulators in the science classroom**

### **ABSTRACT**

The new educational curricula in Spain include among the tools to be applied in the classrooms sciences, virtual simulations, which represents a paradigm shift with the previous school curriculum. Some science's teachers have been using these simulators during the last years, while others are being formed in them. The main objective of this research has been to know the perceptions of a sample of 11 science's teachers in active, primary and secondary education, contextualized in the case study. In order to analyze the perceptions about the use of simulators in the classroom, data through a structured questionnaire and a personal interview have been collected, regarding: a) the process of student learning; b) the teaching process; c) the didactic possibilities of the simulator training. The results allow to establish emergent categories that show how teachers perceived simulators as tools that help the modeling by introducing students to abstract concepts, facilitate the repetition of experiments due to the less need for time and materials, favor motivation and interest in science, among other results. In summary, the results show that teachers perceive simulators as a useful instrument for the development of scientific competence of students. To get a more common use of this tool, they require specific training to help them design sequences of activities around specific contents.

**KEYWORDS:** Virtual Classroom; Science education; Simulators; Perceptions.

### **Introducción y fundamentación**

El desarrollo de las nuevas tecnologías aplicadas al aula ha supuesto la aparición de nuevas metodologías y herramientas para la enseñanza (Ardura & Zamora, 2014; Brandl, 2005), entre las que se encuentran las simulaciones interactivas y los laboratorios virtuales. Estas herramientas están teniendo una influencia cada vez mayor en la educación científica y las ventajas asociadas a su uso se muestran en un gran número de publicaciones (Bo et al., 2018; Chang et al., 2008; Dori & Barak, 2001; Fernández-Cesar & Aguirre-Pérez, 2012; Khan, 2008; Pontes, 2005; Riveros & Mendoza, 2005; Torres-Zúñiga, 2011; Ocelli & García, 2018; Ocelli & Malin, 2018; Zhang et al., 2006). Tal es así que, en el contexto actual, con la aprobación reciente de un nuevo currículum estatal, en éste se incorpora el enfoque STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) para el aprendizaje de las ciencias, y a su vez, se fomenta el uso de herramientas como las simulaciones virtuales, tanto en la educación de ciencias en la etapa de primaria (Real Decreto 157/2022), como en secundaria (Real Decreto 217/2022). Por otro lado, las adaptaciones autonómicas a este currículum también muestran esta tendencia. Por ejemplo, en el caso del currículo aragonés se invita al profesorado a usar este tipo de herramientas para la enseñanza de algunas materias de ciencias como la Física y Química o la Cultura Científica. Otros

currículos consultados que muestran esta tendencia son el de Andalucía, Madrid, Extremadura o Murcia, entre otras. Esto demuestra que existe una sintonía general en la comunidad educativa para tantear la posibilidad de solventar algunas dificultades en el aprendizaje de las ciencias, complementando la experimentación en laboratorio con el uso de simuladores virtuales.

### **Simuladores en la enseñanza de las ciencias**

El proceso de enseñanza aprendizaje es un proceso diseñado para la confluencia entre los objetivos de enseñanza del docente, normalmente basados en el marco curricular, y por otro lado los procesos de aprendizaje del alumnado, que son variados y de distinta naturaleza epistémica (Hernández & Infante, 2017).

Los simuladores han sido utilizados como herramienta en estos procesos de enseñanza aprendizaje, en distintos ámbitos educativos, generalmente en destrezas como la informática, las comunicaciones o la medicina (Cabero-Almenara & Costas, 2016; Vidal et al., 2019). Algunos de los beneficios que se han encontrado, especialmente en el campo de la medicina, el uso de simuladores se muestra como una herramienta muy potente ya que no es intrusiva en el paciente, acorta el tiempo de aprendizaje, debido a la inmediatez tanto del proceso como de resultados y facilita el aprendizaje de las habilidades por la facilidad de repetición del proceso.

En este trabajo nos referimos a simuladores o laboratorios virtuales como las herramientas para realizar una representación no estática de un fenómeno que es simulado por un ordenador, en la que el usuario puede modificar una o más variables en la interfaz del programa (Bo et al., 2018), manipulando el modelo del sistema científico representado y observándolo en distintas condiciones (Khan, 2011). Estas herramientas permiten observar el desarrollo de una experimentación real, con la particularidad de que la misma se está produciendo de forma virtual. Así, el usuario puede observar tanto el desarrollo de los procesos, la evolución del sistema y la interacción de las variables que influyen en él, como las consecuencias de la experimentación (Occelli & García, 2018). Estas cualidades hacen de los simuladores herramientas que pueden ayudar a solventar dificultades asociadas a la gestión de los recursos materiales y de los espacios que implica la experimentación real en los centros escolares (Infante, 2014).

Además de estas ventajas vinculadas a la gestión de los centros educativos, los simuladores y los laboratorios virtuales han demostrado su eficacia para el desarrollo de distintos aspectos de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: destrezas para resolver problemas cuantitativos (Diederer et al., 2005), utilización de la medida de variables físicas para desarrollar conceptos y procedimientos asociados (Kiboss, 2002), la modelización de conceptos fundamentales de la física y la química (Trindade et al., 2002; Venkataraman, 2009; Zucker & Hug, 2008) o su aplicación para la enseñanza de la biología (López & Morcillo, 2007). Adicionalmente, el componente más visual de la simulación puede despertar la curiosidad de los estudiantes (Banda & Nzabahimana, 2021), aumentando su compromiso con la temática estudiada y los contenidos científicos implicados.

El desarrollo de los conocimientos asociados a los distintos contenidos de ciencias debe promover un aprendizaje de la ciencia en su ámbito más general, de forma que se trabajen las prácticas científicas de indagación, argumentación y modelización

(Osborne, 2014). En este sentido, el valor de una herramienta para la enseñanza de las ciencias debe tener en cuenta sus cualidades para desarrollar dichas prácticas científicas en el aula. Por ello, se ha realizado una revisión de las investigaciones publicadas al respecto, encontrando como resultado que los simuladores son herramientas válidas para el desarrollo de las tres prácticas científicas (López et al., 2017). En primer lugar, los simuladores ofrecen un contexto en el que se pueden trabajar las distintas etapas de la indagación (Pedaste et al., 2015) de forma virtual. El planteamiento de preguntas sobre un sistema, o la modificación de parámetros que en la experimentación real no sería posible (Cataldi et al., 2013), son algunas de las destrezas de la indagación que hacen que los simuladores sean herramientas útiles para trabajar en el aula (Minner et al., 2010; Sandoval & Reiser, 2004). Por otro lado, las simulaciones suelen estar alojadas en entornos virtuales que incluyen aplicaciones colaborativas que permiten la interacción entre estudiantes, como pueden ser foros o chats (López et al., 2017), que con ayuda del profesorado pueden ser utilizadas adecuadamente para favorecer el debate y la argumentación (Romero & Quesada, 2014). Ahora bien, el mayor potencial de los simuladores está en el desarrollo de la práctica científica de la modelización (Campbell & Oh, 2015; Ortiz & Piña, 2018; Romero & Quesada, 2014). Si tomamos la definición simplificada de modelo, como la representación de la conexión existente entre el campo teórico y el empírico (Adúriz-Bravo & Ariza 2014; Giere 2005), los simuladores pueden ser considerados como una representación de modelos de forma dinámica e interactiva (Della costa & Occelli, 2020). Por otro lado, en la naturaleza no todos los modelos pueden ser estudiados como objetos físicos o pictóricos (Cataldi et al., 2013) y los simuladores son una herramienta útil para mostrar conceptos abstractos (Alessi & Trollip, 2001; Foresman & Frisch, 1996; McElhaney & Linn, 2011; Wu & Huang, 2007;) y proponer modelos alternativos para explicar los fenómenos (López & Morcillo, 2007; Schwarz, 2009), poniendo a disposición del docente la eficacia de las imágenes para representar y hacer mucho más visibles los modelos y teorías abstractas de la ciencia, facilitando su asimilación y permitiendo la conexión entre el ámbito macroscópico o físico y el microscópico o teórico.

La naturaleza dinámica de la mayoría de herramientas de simulación permite a los estudiantes la manipulación sencilla de variables y objetos virtuales, por lo que autores como Amadeu y Leal (2013) argumentan que proporcionan una oportunidad inmejorable para que puedan descubrir las propiedades de un modelo a través de la recopilación y el tratamiento de la información proporcionada por el simulador. De la misma forma, los simuladores enfrentan al aprendiz a situaciones concretas e interactivas que promueven la confrontación entre las ideas previas, los conocimientos y las creencias del estudiante y los resultados y observaciones que se le presentan al emplear el simulador. En este sentido, el poder comparar sus previsiones iniciales con el comportamiento observado en el simulador, y la inmediatez de la retroalimentación que este proporciona, facilita la reestructuración de los modelos mentales del alumnado (López et al., 2018), porque les permite ser más conscientes de las limitaciones de sus razonamientos (Jaakkola et al., 2011) y reforzar sus decisiones acertadas (Guzmán & del Moral, 2018). Sin embargo, también hay investigaciones que muestran la aparición de obstáculos de carácter epistemológico en la adquisición de modelos con el uso de simuladores (Pessanha et al., 2013).

La gama de simuladores a disposición del docente aumenta permanentemente. En

particular, las PhET Interactive Simulations<sup>1</sup> creadas por la Universidad de Colorado, han tenido un desarrollo cada vez mayor. Al mismo tiempo, su representación en las aulas y los estudios sobre sus posibilidades en el aula sigue creciendo por su versatilidad, fácil manejo y variedad de simulaciones en distintos campos de estudio (Alzugaray et al., 2009; Della costa y Occelli, 2020; Martín & Galván, 2019; Montenegro et al., 2015; Tavares & Martínez, 2017).

Sin tomar las simulaciones como un sustituto de la observación y la experimentación real, suponen una herramienta de gran valor en el aprendizaje de las ciencias (Garófalo et al., 2016; Romero & Quesada, 2014). De hecho, estudios como los de Smetana y Bell (2012) o Ajredini et al. (2014), entre otros, proporcionan evidencias de que, en la mayoría de los casos, no existen diferencias en cuanto al aprendizaje que se genera en actividades científicas apoyadas en la experimentación en el laboratorio y aquellas que se apoyan en experimentos simulados por ordenador, equiparando el aprendizaje de los alumnos a través de ambas orientaciones.

### **Dificultades, posibilidades y formación del profesorado**

De acuerdo con las investigaciones analizadas previamente, el desarrollo de los simuladores sigue creciendo tanto en cantidad como en profundidad, sin embargo, el proceso de incorporación de los simuladores al aula sigue siendo lento (Bo et al., 2018). Los motivos de que su uso siga siendo un reto, se pueden agrupar en tres: materiales, temporales y de uso. Los problemas relacionados con los recursos materiales siguen estando asociados a la no disponibilidad continua de sistemas informáticos por parte del alumnado, el acceso al software y el soporte técnico (Inan & Lowther, 2010; Kopcha 2012; Pelgrum, 2001; Schwarz & Gwekwerere, 2007), aunque estos problemas son cada vez menores por la mayor presencia de equipos en las aulas y por el uso generalizado de smartphones que permiten el uso de estas aplicaciones (Brenner & Brill, 2016). La gestión del tiempo sigue siendo una de las mayores dificultades para su aplicación tanto por motivos de falta de tiempo en el aula (Perkins, 2010), como por la falta de tiempo del profesorado para la preparación de esta herramienta (Bo et al., 2018). Finalmente, ha existido una falta general de habilidades tecnológicas (entendiendo por habilidades tecnológicas “conocimientos teóricos e instrumentales de carácter informático e informacional” según Casillas y Ramírez, 2021) por parte del profesorado de ciencias para usar los simuladores de forma que se favorezca una comprensión profunda del fenómeno a estudiar (Bang & Luft, 2013; Brenner & Brill, 2016; Hennessy et al., 2007; Schrum, 1999; Pringle et al., 2015; Romero & Quesada, 2014; Strudler & Welzel, 1999).

La resolución a estos problemas se ha afrontado en algunos casos con la formación de los docentes, dado que los cambios en el aprendizaje no los produce la herramienta, sino el uso pedagógico que se haga de ella (Romero & Quesada, 2014). Dicha formación se ha focalizado en conocer las características de estas herramientas como primer paso, las limitaciones y las posibilidades de las mismas, y finalmente el desarrollo de estrategias didácticas para su uso (Cataldi et al., 2013; Contreras-Gelves & Carreño, 2012; Khan, 2011; Kopcha, 2012; Reis & Santos, 2016; Schwarz & Gwekewerere, 2007;

---

<sup>1</sup> PhET Interactive Simulations en <https://phet.colorado.edu>

Valverde-Crespo et al., 2018).

A diferencia de otros perfiles, el profesorado de ciencias destaca por su compromiso con el uso de las TIC en general (Howard et al. 2015) y de los simuladores en particular (Bo et al., 2018) ya que, a priori, se sienten con seguridad para utilizar dichas herramientas en su quehacer docente (Yerdelen-Damar et al., 2017). Sin embargo, en la práctica, existen numerosas investigaciones que muestran las dificultades del profesorado en la aplicación didáctica de las TIC en sus secuencias de enseñanza (Coll et al., 2008; Garófalo et al., 2016; Gómez et al., 2014; López & Morcillo, 2007; Piscitelli, 2009; Rodríguez-García et al., 2018). Las actitudes, junto con el conocimiento y la percepción sobre la herramienta y su uso, son un factor decisivo en la voluntad del docente para usarlos (Baek et al, 2008; Khan 2011; Schwarz & Gwekwerere, 2007; Wozney et al, 2006).

Esta problemática está en la línea con uno de los cinco problemas de la formación docente propuestos por De Pro Bueno et al. (2022), las creencias y opiniones sobre la práctica docente. En este sentido, es necesario seguir investigando sobre el papel del profesorado en la implementación de los simuladores en el aula, prestando atención a sus percepciones tanto en la implementación, como de forma previa a dicha implementación. Esto va a permitir mejorar el enfoque de las propuestas de formación del profesorado sobre el uso de los simuladores y laboratorios virtuales.

En este contexto, se plantea una investigación contextualizada en el estudio de caso, en la que se pretenden conocer y analizar las percepciones de 11 docentes en activo, de ciencias, de las etapas de educación primaria y secundaria, sobre el uso de simuladores en el aula, en torno a: a) el proceso de aprendizaje del alumnado; b) el proceso de enseñanza del profesorado; c) las posibilidades didácticas de los simuladores. La pregunta de investigación es: ¿cuáles y por qué son las percepciones del profesorado sobre el uso de simuladores en el aula de ciencias tras recibir formación específica?

## ***Metodología de investigación***

La metodología de la investigación se ha apoyado en dos claves. En primer lugar, se ha utilizado una aproximación de carácter cualitativo centrada en el estudio de caso (Simons, 2011). En segundo lugar, el planteamiento general de la investigación tiene presente el papel fundamental del profesorado como el agente más relevante para la producción de un cambio educativo (Blanco-López et al., 2018) y así plantear una investigación que sirva a su vez para facilitar dicho cambio.

### **Contexto**

La investigación se enmarca en un programa de formación del profesorado de ciencias, de educación primaria y secundaria, en el enfoque de enseñanza STEM. En esta formación, se imparten talleres de capacitación en el uso tanto de herramientas, como de metodologías, que puedan aplicarse dentro de este enfoque, siendo uno de ellos un taller introductorio sobre el uso de simuladores y laboratorios virtuales para docentes. El diseño del taller se llevó a cabo a partir de una adaptación y simplificación del trabajo propuesto por Reis y Santos (2016). Los tres objetivos fundamentales del

taller fueron: que los y las docentes en activo conozcan la herramienta de los simuladores; explorar con ellos/as un grupo concreto de simuladores (simuladores PhET); y realizar una introducción al diseño de una secuencia de enseñanza en la que se haga uso de estas herramientas. Al final del taller, cada participante debe preparar y exponer una propuesta didáctica para trabajar ciencias con simuladores y responder a una serie de cuestiones sobre sus percepciones en el uso de los mismos.

Los participantes fueron docentes en activo de educación primaria y secundaria fundamentalmente, aunque también podían participar profesores/as que, teniendo su origen en la educación secundaria, actualmente ejercen como formadores/as de profesorado. Teniendo libertad para seleccionar a los participantes en el taller, los criterios utilizados para la elección de los asistentes responden a una estrategia de máxima variación (Shakir, 2002): a) etapa de educación a la que se dedican; b) materias que imparten; y c) conocimientos previos en el uso de simuladores. Así, se han elegido 2 maestras de educación primaria, 7 profesores/as de secundaria y 2 docentes dedicados a la formación del profesorado de ciencias. La Tabla 1 proporciona un resumen del perfil de los participantes, teniendo en cuenta la variable de género.

**Tabla 1**

*Participantes en la investigación*

<b>D</b>	<b>Nivel</b>	<b>Materias que actualmente imparte</b>	<b>Conoce los simuladores</b>	<b>Uso habitual en el aula</b>
<b>1 (M)</b>	Primaria	Ciencias Naturales	No	-
<b>2 (M)</b>	Primaria	Ciencias Naturales	No	-
<b>3 (M)</b>	Sec. y Bach.	Física y Química	Sí	Sí
<b>4 (M)</b>	Sec. y Bach.	Física y Química	Sí	No
<b>5 (H)</b>	Sec. y Bach.	Física y Química	Sí	No
<b>6 (M)</b>	Sec. y Bach.	Física y Química	Sí	No
<b>7 (M)</b>	Sec. y Bach.	Física y Química; Tecnología	No	-
<b>8 (M)</b>	Sec. y Bach.	Biología y Geología	No	-
<b>9 (M)</b>	Sec. y Bach.	Biología y Geología	No	-
<b>10 (H)</b>	Formación Profesorado	Formación del Profesorado (Tecnología)	Sí	No
<b>11 (M)</b>	Formación Profesorado	Formación del Profesorado (Matemáticas)	Sí	No

**Recopilación y análisis de datos**

Para recoger los datos que permitan concluir sobre los tres objetivos de investigación planteados (percepciones sobre el uso de simuladores en: el proceso de aprendizaje de ciencias del alumnado, el proceso de enseñanza de ciencias del profesorado y sobre las posibilidades didácticas de los simuladores), se pasó un cuestionario y se realizó una entrevista semiestructurada a los y las docentes. Ambos instrumentos hacen uso de preguntas que abordan cuestiones como: las ventajas y

desventajas en el uso de simuladores, formas de utilización en el aula, grupos de edad a los que se pueden dirigir, características más importantes que debe tener un simulador para que sea útil y las posibles aportaciones que pueden hacer los simuladores a la enseñanza de las ciencias.

Por otro lado, a lo largo de la implementación del taller, los investigadores recogieron anotaciones sobre las dudas, comentarios y reflexiones de los/las docentes con mayor relevancia para la investigación, que han sido analizadas. Y finalmente, se estudiaron las propuestas didácticas con simuladores realizadas por los/las docentes.

Para analizar los datos recogidos, se ha utilizado la metodología del análisis por temáticas (Fereday & Muir-Cochrane, 2006; Fraenkel et al., 2012; Miles & Huberman, 1994). A partir de los datos recogidos se ha adaptado el sistema de categorización propuesto por Bo et al. (2018), se ha diseñado una herramienta para analizar las percepciones del profesorado. Para ello, se han identificado patrones en las respuestas de los docentes, a los que denominamos “categorías”. Estas categorías se agrupan en dimensiones, que son las que van a permitir analizar las percepciones del profesorado desde los tres enfoques propuestos (ver Tabla 2, en el apartado Resultados). Por ejemplo, la categoría que hace referencia a la “ayuda de los simuladores a la adquisición de modelos” agrupa la mención de los docentes a áreas temáticas diversas (modelo atómico de la materia, movimiento orbital, herencia genética, concepto de densidad; mundo microscópico, las fuerzas, entre otros muchos). A su vez, esta categoría se incluye dentro de la dimensión “Mejora del proceso de aprendizaje”, que a su vez es objeto de estudio como percepción del profesorado sobre el aprendizaje con simuladores.

## **Resultados**

Los resultados se estructuran para intentar dar respuesta a la pregunta de investigación y los tres objetivos, asociados a las percepciones del profesorado sobre el uso de los simuladores para la enseñanza de las ciencias. Por lo cual, se presenta una tabla para cada objetivo, en la que la primera y la segunda columna hacen referencia a la dimensión encontrada y las categorías asociadas, la tercera columna “D” hace referencia a los docentes incluidos en cada categoría, la cuarta columna “f”, se muestra la frecuencia con la que los docentes hacen referencia a la misma y finalmente en la última columna se muestran algunas citas textuales de los docentes en la realización de la entrevista.

### **Percepción sobre el proceso de aprendizaje del alumnado**

En primer lugar, se presentan los resultados en relación a las percepciones de los docentes sobre el aprendizaje del alumnado debido al uso de simuladores (Tabla 2). A través del análisis de los datos recogidos, se han establecido categorías emergentes. La naturaleza de estas categorías ha permitido catalogarlas en tres dimensiones: “Mejora el proceso de aprendizaje”; “Complica el proceso de aprendizaje” y “Etapa educativa adecuada para su uso”. Es decir, los resultados se agruparon en categorías emergentes, y estas por dimensiones (también emergentes).

Tabla 2

Dimensión, categorías, docentes frecuencia y citas en la percepción sobre el aprendizaje

Dimensión	Categorías	D	Ejemplos de citas	f
<b>Mejora el proceso de aprendizaje</b>	Motiva en general al alumnado.	D2, D5, D6, D9	D2: "Seguro que atrae mucho a los alumnos".	4
	Ayuda a la construcción de modelos y a tratar conceptos abstractos con los que no se puede experimentar.	D1, D3, D5; D7, D10	D3: "Para trabajar conceptos que no se pueden manipular en la realidad micro y macro en clase. Por ejemplo, el átomo o el movimiento de satélites"; D1: "para mostrar la rotación y la traslación".	5
	Ayuda a afianzar conocimientos de forma manipulativa como apoyo a otros materiales.	D2; D4, D5, D7, D9	D4: "pone imagen al texto"; D6: "permite cambiar de escalas"; D7: "mejora la comprensión de lo que se trabaja en clase".	5
	Fomenta la vocación científica y acerca la ciencia a todos.	D3, D5	D3: "fomenta la vocación científica y acerca la ciencia a todos".	2
	Desarrollar competencia tecnológica a través del desarrollo de conocimientos.	D8, D10, D11	D8: "se desarrolla la competencia digital."	3
	Desarrolla habilidades propias de las prácticas científicas de indagación y argumentación.	D5, D11	D5: "les hace generar preguntar, indagar en las respuestas y transmitir de forma oral el conocimiento."	2
<b>Complica el proceso de aprendizaje</b>	Puede obstaculizar la modelización de los conceptos.			0
	Muestra información engañosa en el software que puede llevar a error.	D3, D7	D3: "hay que vigilar que el contenido científico sea adecuado".	2
	Se ejecuta el simulador una y otra vez sin una reflexión previa.	D4, D5, D3, D6	D5: "se lo tomarían como un juego y no sacan provecho".	3
	Se pierden habilidades propias del laboratorio y la manipulación de materiales.	D5, D8, D11	D5: "no se debe perder la idea de que la experimentación manipulativa es prioritaria".	3
<b>Etapa educativa adecuada para su uso</b>	Para cualquier curso si se adapta adecuadamente.	D2, D4, D5, D8; D9	D2: "en los primeros cursos de primaria lo tomarían como un juego, pero les ayudaría a entender conceptos".	5
	Para los últimos cursos de primaria y el resto de cursos superiores.	D1, D3, D11		3
	Para los cursos de secundaria y superior.	D6, D7, D10		3

La primera de las dimensiones alude a la forma en la que el uso de simuladores favorece el aprendizaje del alumnado, ya sea a través del desarrollo de conocimientos o habilidades, o por una incidencia en la mejora de la motivación gracias a su uso. Entre las mejoras que el profesorado percibe con mayor énfasis, está la posible mejora en la construcción de modelos abstractos y el favorecimiento de la consolidación de conocimientos. Por otro lado, se observa que el profesorado también percibe la utilidad de la herramienta para motivar al alumnado y, mejorar el interés por la ciencia del mismo. Finalmente, se detectan las posibilidades de la herramienta para desarrollar la competencia científica. Todos los docentes ven en la herramienta algún aspecto para desarrollar positivamente el aprendizaje del alumnado y, por otro lado, profesorado de todas las etapas aluden a las posibilidades de la herramienta para desarrollar o afianzar conceptos.

Por otro lado, entre los principales riesgos que percibe el profesorado en el uso de los simuladores, está que se pierdan habilidades propias de laboratorio y manipulación de materiales, junto con la posibilidad de que los propios simuladores muestren el contenido científico de forma confusa o errónea. También se detecta el riesgo de que el alumnado use el simulador como un juego, repitiendo los experimentos de forma sucesiva sin que exista un proceso reflexivo sobre dichas modificaciones. En definitiva, 5 de los 11 docentes perciben algunas dificultades asociadas al aprendizaje del alumnado. Ahora bien, entre estos 5 docentes, solamente una (D3), alude a dichos dos posibles tipos de complicaciones.

Al mismo tiempo, es importante dejar constancia de que ningún docente tiene la opinión de que los simuladores puedan entorpecer la adquisición de modelos, como sí ocurre según la bibliografía (Pessanha et al., 2013).

Finalmente, en cuanto a la etapa educativa más adecuada en la que aplicar estas herramientas, no existe consenso, se ha manifestado que puede ser utilizada para trabajar las ciencias tanto en educación primaria como secundaria.

### **Percepción sobre el proceso de enseñanza del profesorado**

En segundo lugar, se presentan los resultados sobre las percepciones de los docentes acerca del uso de los simuladores en su labor docente, tanto para el proceso de enseñanza como para el diseño de secuencias didácticas. En este caso, se han agrupado las percepciones según si se percibe el uso de los simuladores como una herramienta que “facilita el proceso de enseñanza”, o si, por el contrario, “complica el proceso de enseñanza” y, por último, el “modo de uso” que el o la docente haría de los mismos. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Dimensión, categorías, docentes, frecuencia y citas en la percepción sobre la enseñanza*

<b>Dimensión</b>	<b>Categorías</b>	<b>D</b>	<b>Ejemplos de citas</b>	<b>f</b>
<b>Facilita el proceso de enseñanza y el diseño de secuencias</b>	Las nuevas tecnologías siempre ayudan al proceso de aprendizaje.	D4	D4: "nunca sobran las nuevas herramientas".	1
	No necesita materiales adicionales.	D6, D7, D10	D7: "Es un método sencillo en el que solo necesitas un ordenador como material".	3
	Se ahorra tiempo y material en visitar laboratorio y preparar dispositivos experimentales.	D1, D2, D3, D4, D6, D7, D8, D10, D11	D1 "Ahorra tiempo en visitar laboratorio"; D2: "lo bueno es que se puede repetir muchas veces sin perder recursos".	9
	Poder repetir la experimentación tantas veces como sea necesario.	D6, D7, D9, D10	D7: "Se puede repetir las veces necesarias".	4
	En grupos con muchas personas facilita la enseñanza.	D8, D11	D8: "si el grupo es muy numeroso es mejor trabajar con simuladores por la gestión del grupo".	2
<b>Complica el proceso de enseñanza</b>	Tiempo de clase limitado para cubrir el currículum usando estos instrumentos.	D5	D5: "Resultan muy visuales solo para algo muy concreto".	1
	Mucho tiempo para buscar los simuladores y diseñar actividades.	D1; D4; D5; D8; D10	D1: "se pierde mucho tiempo en buscar los simuladores y elegir cuál es el adecuado"; D4: "hasta que encuentras lo que necesitas se pierde mucho tiempo".	5
	No hay suficientes simuladores para mi materia.	D8		1
	En el examen no se usan simuladores.	D11	D11: "Deberían incluirse en los exámenes para ampliar su uso".	1
	Necesita otros materiales y un seguimiento cercano para que sean eficaces.	D3; D4; D5; D8	D3: "Necesita material adicional, como hojas de trabajo"; D5: "La experiencia por sí misma no garantiza el aprendizaje, necesita de un material adicional".	4
<b>Modo de uso</b>	Para realizar demostraciones el aula.	D1, D2, D3, D5; D6; D11	D1: "para mostrar la rotación y la traslación"; D2: "para complementar las clases".	6
	Para sustituir la experimentación real por la virtual cuando sea necesario.	D3; D6	D3: "en algunos cursos como bachillerato utilizo estos experimentos en lugar de los reales". D6: "se pueden realizar prácticas directamente en el aula".	2
	Para combinar simulación y experimentación real para una misma temática.	D4, D10	D4: "Complementa la experimentación en el laboratorio";	2

Para realizar actividades de indagación guiada.	D1, D5	D1: "se puede utilizar para hacer indagación"; D5: "como actividad de exploratoria guiada individual".	2
Para resolución y comprobación de actividades en el aula o en casa.	D3; D4; D6; D10, D11	D4: "pueden corregirse los problemas en casa".	5
Como soporte y complemento a otras actividades.	D4, D9	D4: "pone imagen al texto". D9: "Complemento a la teoría y el laboratorio".	2

En la primera dimensión, dedicada a la forma en la que los simuladores podrían ayudar a la labor docente, ya sea en la implementación en el aula como la preparación previa, se han agrupado 5 categorías. Entre las ventajas que, mayoritariamente, perciben los docentes se encuentra el "ahorro en tiempo y materiales" gracias a esta herramienta, al evitar los problemas relacionados con las visitas al laboratorio y preparar dichas prácticas experimentales. En esta línea, también se percibe como facilitador de la labor docente, la posibilidad de repetir las experiencias tantas veces como sea necesario, o la facilidad de uso para grupos muy numerosos. Por último, llama la atención la percepción de algunos docentes sobre el innecesario uso de materiales adicionales para su implementación y la concepción de las tecnologías como positivas por sí mismas para su uso en el aula.

En cuanto a las percepciones del profesorado asociadas a las dificultades para la introducción de los simuladores en el aula, se han identificado 5 categorías. El que mayor incidencia ha tenido está asociado a la inversión temporal que supone buscar un simulador adecuado y diseñar una secuencia didáctica. En línea con esta categoría, también destacan las dificultades asociadas a la necesidad de material complementario para su uso, como por ejemplo "hojas de trabajo". El resto de categorías emergentes aluden a la extensión del currículum para poder usar estos métodos, la inexistencia de suficientes simuladores para la materia y la no utilización de esta herramienta en las pruebas escritas y por ello, no resultan útiles.

La última dimensión analizada en este punto alude a la forma en la que los y las docentes utilizarían los simuladores, estableciendo 6 categorías de uso. Las dos formas de uso que los docentes estiman más oportunas incluyen la realización de demostraciones de aula y la resolución y comprobación de actividades, ya sea en el aula o en casa. Entre todos ellos, de nuevo se encuentran docentes de todas las etapas educativas. Por otro lado, se propone su uso para realizar actividades de indagación guiada, de forma que se combine la experimentación real y la virtual y finalmente, sustituyendo la experimentación real por la virtual cuando la situación lo requiera.

En relación al tipo de actividades, se observa que fundamentalmente los y las docentes harían uso de los simuladores como apoyo a otros materiales (clases expositivas, libro etc.) o en su caso para realizar demostraciones experimentales. Esto nos lleva a pensar, que en las actividades presentadas en la formación del profesorado se deben incluir secuencias de enseñanza que hagan uso de los mismos con objetivos diferentes, como la realización de pequeñas investigaciones o actividades para desarrollar las prácticas científicas de indagación (mencionada por 2 docentes), o de argumentación.

## Percepción sobre las características de los simuladores

En último lugar, se analizan las percepciones del profesorado en torno a las características intrínsecas de los simuladores que los posibilitan como herramienta para el trabajo de las ciencias en el aula. Las dimensiones en las que se han clasificado las percepciones son: "Acceso a las TIC y conexión a la red"; la "Interfaz" del simulador; y "otras características". Los resultados se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Dimensión, categorías, frecuencia y citas en la percepción sobre los simuladores*

Dimensión	Categorías	D	Ejemplos de citas	f
<b>Acceso a las TIC y conexión a la red</b>	Solo hay un ordenador disponible para ello.	D2, D9	D2: "solo hay un ordenador y no todos podrán participar".	2
	El alumnado no tiene dispositivos para trabajar las simulaciones en sus hogares.	D4	D4: "solo tienen los móviles y no pierden el tiempo".	1
	No todos los sistemas operativos son válidos.	D3, D11	D3: "a veces pueden no funcionar con todos los sistemas operativos".	2
	La conexión en los centros es demasiado lenta para su uso.	D2	D2 "la conexión es muy inestable".	1
<b>Interfaz</b>	La interfaz debe ser sencilla, muy visual y con buenos gráficos.	D2; D3; D5; D6, D7, D9, D10	D2: "no debería ser demasiado difícil usarlo".	7
	Debe ser lo suficiente interactivo y las variables generen efectos evidentes.	D4; D5, D10	D5: "la modificación de las variables debe producir cambios muy claros en la simulación".	3
<b>Otras características</b>	Debería representar fielmente el fenómeno que pretende mostrar.	D3, D7, D11	D7: "Debe representar fielmente la realidad".	3
	Debería incluir herramientas para analizar el trabajo del alumnado cuando lo manipula.	D4	D4: "debe incorporar una herramienta para que el docente pueda analizar los procesos y datos que encuentre el alumnado".	1
	Debería incluir la posibilidad de guardar los diseños experimentales realizados y compartir bancos de actividades.	D5, D11	D5: "se podrían crear bancos de actividades haciendo uso de las simulaciones".	2

En el análisis de la primera dimensión, los resultados muestran que el profesorado no percibe que el acceso a los medios técnicos sea un problema. El aspecto más

reseñable es la percepción de que la existencia general de un único ordenador por aula puede ser un problema y las posibles dificultades relacionadas con la validez de los sistemas operativos. La conexión a la red y la problemática asociada a la falta de recursos por parte del alumnado en sus hogares no es un factor relevante para el uso de los simuladores, ya sea porque prevén no usarlos fuera del aula o porque no creen que exista dicha problemática. Respecto a la interfaz de la simulación, los docentes perciben que la sencillez y claridad es un factor relevante para que su uso resulte de utilidad para el alumnado. También se considera relevante para su utilización que sea lo suficientemente interactiva y al mismo tiempo, que la modificación de las variables implique cambios visibles para el alumnado.

En relación a la posibilidad de incluir otras características, hay docentes que reiteran que los simuladores deben representar de forma fiel la realidad del fenómeno a simular. Por otro lado, se identifican necesidades en los docentes en las funciones que ofrecen los simuladores. Asociadas a la función intrínseca de los mismos, se requiere que los simuladores incorporen herramientas para registrar el trabajo que el alumnado realiza con los mismos y que a su vez, el docente pueda tener acceso a ellos para poder evaluar. También se expone la mejora que supondría incluir simuladores en los que se puedan diseñar actividades de aprendizaje que queden registradas y al mismo tiempo, generándose así un banco de actividades al que poder acceder.

## **Conclusiones**

Una vez analizados los resultados obtenidos se puede concluir sobre la pregunta de investigación planteada al inicio de este trabajo: ¿cuáles son las percepciones del profesorado sobre el uso de simuladores en el aula de ciencias tras recibir formación específica?

En relación a las percepciones del profesorado en cuanto al proceso de aprendizaje del alumnado, el profesorado participante en esta investigación destaca que el uso de simuladores en la clase de ciencias es una herramienta capaz de mejorar el aprendizaje del alumno en cualquiera de las etapas educativas. Esta mejora del aprendizaje se basa en un aumento de la motivación (Banda & Nzabahimana, 2021), ayuda a la construcción de modelos de conocimiento (Venkataraman, 2009; Zucker & Hug, 2008), facilita el aprendizaje de conceptos abstractos y desarrolla habilidades propias de las prácticas científicas de indagación y argumentación (López et al., 2017; Pedaste et al., 2015). Sin embargo, cabe destacar que el profesorado muestra la percepción de que el alumnado pueda confundir el simulador con un juego y no darle el uso adecuado o bien, creer que el uso de esta herramienta pueda sustituir a la experimentación manipulativa (Garófalo et al., 2016). Es necesario, por lo tanto, mantener el mensaje de que los simuladores no deben sustituir la experimentación real, para evitar que los docentes dejen de utilizarlos con el argumento de evitar problemas asociados a la falta de uso de los laboratorios y la experimentación real.

Ningún docente percibe que el uso de simuladores pueda entorpecer la construcción de modelos de conocimiento. Se puede concluir, que una de las causas del limitado uso de los simuladores en el aula de ciencias no se debe a una percepción

negativa del profesorado frente al aprendizaje del alumnado, sino a las dificultades que el propio docente encuentra en su uso (De Pro Bueno et al., 2022; Rodríguez-García et al., 2018). Esto podría servir para incluir en los programas de capacitación, el uso de los simuladores e intentar resolver así las dificultades del profesorado ante el uso de los mismos.

En relación a las percepciones del profesorado en cuanto al proceso de enseñanza (considerando este como un proceso articulado didácticamente para facilitar conocimientos, ya sean contenidos o procedimientos, y ofrecer acciones mediadoras de aprendizajes al alumnado según Barcia & Carvajal, 2015) y las posibilidades didácticas de los simuladores, la percepción mayoritaria es que el uso de estos recursos virtuales facilita el proceso de enseñanza y el diseño de secuencias didácticas. Estos resultados, en concordancia con la bibliografía revisada, muestran los posibles beneficios de los simuladores en cuanto al ahorro de tiempo y la posibilidad de solucionar la carencia de materiales, en comparación con la experimentación real llevada a cabo en el laboratorio (Infante, 2014). No obstante, se identifica como dificultad el conocimiento de simuladores para temáticas concretas y el tiempo que se ha de invertir para su búsqueda y para la preparación de secuencias, por lo que creen que perderían mucho tiempo en formarse de manera autónoma (De Pro Bueno et al., 2022). Esto implica que es necesario que programas de formación como el propuesto, se sigan implementando y que, por otro lado, se incorporen materiales que vinculen conocimientos concretos con simuladores específicos para ello y al mismo tiempo, se ofrezca la posibilidad de incluir actividades en las que se haga uso de los mismos y que sirvan de punto de análisis para futuras investigaciones.

Los resultados recogidos muestran una preocupación planteada en torno a la evaluación. Se plantean si al trabajar en el aula a través de simuladores, los docentes deberían evaluar los aprendizajes por medio de la misma herramienta. Entendemos esto como un punto de partida que puede abrir la posibilidad de evaluar los aprendizajes en el aula de ciencias más allá de lo demostrado en un examen teórico. Por último, los docentes creen que esta herramienta puede tener múltiples usos en el aula como, por ejemplo, para realizar actividades de indagación guiada, para demostraciones o para llevar a cabo experimentación combinada con otra manipulativa en laboratorio (Amadeu & Leal, 2013; Ortiz & Piña, 2018).

Estas percepciones del profesorado en activo, sin diferenciar etapa educativa en la que desarrollan su labor, ni diferenciar si han usado simuladores antes de la formación, indican una predisposición a utilizar dicha herramienta en el aula de ciencias, siempre y cuando tengan acceso fácil y directo a simuladores concretos y puedan recibir formación específica para usarlos en el aula.

La presente investigación se llevó a cabo en el contexto de un estudio de caso, por lo que la muestra de análisis no permite la generalización de los resultados más allá del marco teórico que permite la fundamentación del estudio de caso. Por otro lado, este estudio podría ampliarse en un futuro, utilizando instrumentos adicionales para el análisis de las percepciones de los docentes.

En conclusión, en este estudio se querían analizar las percepciones generales del profesorado ante el uso de simuladores en las aulas de ciencias. Se puede concluir que

perciben los simuladores como una herramienta con beneficios educativos claros y concretos como los descritos, pero antes y durante el uso de dicha herramienta en el aula, hay que tener presentes puntualizaciones que le permitan darle el uso adecuado. En general, se percibe motivación ante el uso de simuladores, pero indican como fundamental tener una formación básica antes de su implementación en las aulas, que además de orientar su docencia, reduzca el tiempo que invierten en la búsqueda de recursos docentes.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecemos a nuestro grupo de investigación BEAGLE (S27-23R), de referencia en la Universidad de Zaragoza y al Instituto IUCA a los que todos los autores pertenecemos. También agradecemos al proyecto de investigación Nacional PID2021-1236150A-100, su apoyo en esta investigación.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de datos; en la redacción del manuscrito, o en la decisión de publicar los resultados.

### **Contribuciones de los autores**

Todos los autores de esa publicación han participado en el trabajo de investigación con el mismo alcance.

### **Referencias**

- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Bio-grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, 7(13), 25-34. <https://doi.org/10.17227/20271034>
- Ajredini, F., Izairi, N. y Zajkov, O. (2014). Real Experiments versus Phet Simulations for Better High-School Students' Understanding of Electrostatic Charging. *European Journal of Physics Education*, 5(1), 59. <https://doi.org/10.20308/ejpe.38416>
- Alessi, S.M. y Trollip, S.R. (2001). *Multimedia for Learning: Methods and Development* (3rd ed.). Allyn & Bacon.
- Alzugaray, G.E., Carreri, R.A. y Marino, L.A. (2009). *Aportes del laboratorio virtual al aprendizaje del campo y potencial eléctrico*. Memorias de la XVI Reunión Nacional de Educación en la Física. San Juan, Argentina. <http://dea.unsj.edu.ar/said/FILES/p70.pdf>
- Amadeu, R. y Leal, J.P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(3), 177-188. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.765>
- Ardura, D. y Zamora, A. (2014). ¿En qué medida utilizan los estudiantes de Física de Bachillerato sus propios errores para aprender? Una experiencia de autorregulación en el aula de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 253-268. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1067>

- Baek, Y., Jung, J. y Kim, B. (2008). What makes teachers use technology in the classroom? Exploring the factors affecting facilitation of technology with a Korean sample. *Computers & Education*, 50(1), 224-234. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.05.002>
- Banda, H.J. y Nzabahimana, 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>
- Bang, E. y Luft, J.A. (2013). Secondary science teachers' use of technology in the classroom during their first 5 years. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 29(4), 118-126. <https://doi.org/10.1080/21532974.2013.10784715>
- Barcia Menendez, J.J. y Carvajal Zambrano B.T. (2015). El proceso de enseñanza aprendizaje en la educación superior. *Revista electrónica formación y calidad educativa (REFCaIE)*, 3(3) 139-154.
- Blanco-López, A., Martínez-Peña, B. y Jiménez-Liso, M.R. (2018). ¿Puede la investigación iluminar el cambio educativo? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 15-28. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4612>
- Bo, W.V., Fulmer, G.W., Lee, C.K.E. y Chen, D.T.V. (2018). How Do Secondary Science Teachers Perceive the Use of Interactive Simulations? The Affordance in Singapore Context. *J. Sci. Educ. Technol.*, 27, 550-565.. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9744-2>
- Brandl, K. (2005). Are you ready to Moodle? *Language Learning & Technology*, 9(2), 16-23.
- Brenner, A.M. y Brill, J.M. (2016). Investigating practices in teacher education that promote and inhibit technology integration transfer in early career teachers. *TechTrends*, 60(2), 136-144. <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0025-8>.
- Cabero-Almenara, J. y Costas, J. (2016). La utilización de simuladores para la formación de los alumnos. *Prisma Social*, 17, 343-372.
- Campbell, T. y 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>.
- Cataldi, Z., Lage, F. J. y Dominighini, C. (2013). Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza. *Revista de informática educativa y medios audiovisuales*, 10(17), 8-16.
- Casillas, M. y Ramírez Martinell, A. (2021). *Saberes digitales en la educación. Una investigación sobre el capital tecnológico incorporado de los agentes de la educación*. Brujas.
- Chang, K.E., Chen, Y.L., Lin, H.Y. y Sung, Y.T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51(4), 1486-1498. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.01.007>
- Coll, C., Mauri, T. y Onrubia, J. (2008). La utilización de las tecnologías de la información y la comunicación en la educación: Del diseño tecno-pedagógico a las prácticas de uso. En C. Coll, y C. Monereo (Eds.), *Psicología de la educación virtual*. Aprender

- y enseñar con las tecnologías de la información y la comunicación. Ediciones Morata.
- Contreras-Gelves G.A. y Carreño Moreno P. (2012). Simuladores en el ámbito educativo: un recurso didáctico para la enseñanza. *INGENIUM Revista de la Facultad de Ingeniería* 13(25), 107-119. <https://doi.org/10.21500/01247492.1313>
- Della costa, G.M. y Ocelli, 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 ensin divulg cienc.2020.v17.i2.2201>
- De Pro Bueno, A., de Pro Chereguini, C. y Cantó Doménech, J. (2022). Cinco problemas en la formación de maestros y maestras para enseñar ciencias en Educación Primaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 97(36.1), 185-202. <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92510>
- Diederer, J., Gruppen, H., Hartog, R.J.M. y Voragen, A.G.J. (2005). Design and Evaluation of Digital Learning Material to Support Acquisition of Quantitative Problem-Solving Skills Within Food Chemistry. *J. Sci. Educ. Technol.*, 14, 495-507. <https://doi.org/10.1007/s10956-005-0224-0>
- Dori, Y.J. y Barak, M. (2001). Virtual and physical molecular modelling: Fostering model perception and spatial understanding. *Educational Technology & Society*, 4(1), 61-74.
- Fereday, J. y Muir-Cochrane, E. (2006). Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. *International Journal of Qualitative Methods*, 5(1), 80-92. <https://doi.org/10.1177/160940690600500107>
- Fernández-Cesar, R. y Aguirre-Pérez, C. (2012) ¿Mejoran las simulaciones en los laboratorios de química el aprendizaje de los alumnos? Percepciones de alumnos universitarios de primer curso de Química General. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 47-65. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2793>
- Foresman, J.B. y Frisch, M.J. (1996). Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods, Gaussian, Inc., Pittsburgh, PA.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E. y Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education (8th ed.)*. McGraw-Hill.
- Garófalo, S. J., Chemes, L. B. y Alonso, M. (2016). Propuesta didáctica de enseñanza con simulaciones para estudiantes del profesorado en Ciencias Biológicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14. <http://dx.doi.org/10.25267/Rev Eureka ensin divulg cienc.2016.v13.i2.09>
- Giere, R.N. (2005). *Scientific Realism: Old and new problems*. Erkenntnis.
- Gómez Crespo, M.A., Cañas Cortazar, A.M., Gutiérrez Julián, M.S. y Martín-Díaz, M.J. (2014). Ordenadores en el aula: ¿estamos preparados los profesores? *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 239-250. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.939>
- Guzmán Duque, A.P. y del Moral Pérez, M.E. (2018). Percepción de los universitarios sobre la utilidad didáctica de los simuladores virtuales en su formación. Pixel-

- Bit, *Revista de Medios y Educación*, 53, 41-60. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2018.i53.03>
- Hennessy, S., Wishart, J., Whitelock, D., Deane, R., Brawn, R., La Velle, L., McFarlane, A., Ruthven, K. y Winterbottom, M. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers & Education*, 48(1), 137-152. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2006.02.004>
- Hernández Infante, R.C. e Infante Miranda, M.E. (2017). Aproximación al proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollador. *UNIANDÉS EPISTEME: Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 4(3), 365-375.
- Howard, S.K., Chan, A. y Caputi, P. (2015). More than beliefs: Subject areas and teachers' integration of laptops in secondary teaching. *British Journal of Educational Technology*, 46(2), 360-369. <https://doi.org/10.1111/bjet.12139>
- Inan, F.A. y Lowther, D.L. (2010). Factors affecting technology integration in K-12 classrooms: A path model. *Educational Technology Research and Development*, 58(2), 137-154. <https://doi.org/10.1007/s11423-009-9132-y>
- Infante Jiménez, C. (2014). Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. *Revista mexicana de investigación educativa*, 19(62), 917-937.
- Jaakkola, T., Nurmi, S. y Veermans, K. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 71-93. <https://doi.org/10.1002/tea.20386>
- Khan, S. (2008). What if scenarios for testing student models in chemistry. In J. Clement & M. A. Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science*. Springer.
- Khan, S. (2011). New pedagogies on teaching science with computer simulations. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 215-232. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9247-2>
- Kiboss, J.K. (2002). Impact of a Computer-Based Physics Instruction Program on Pupils' Understanding of Measurement Concepts and Methods Associated with School Science. *Journal of Science Education and Technology*, 11, 193-198. <https://doi.org/10.1023/A:1014673615275>
- Kopcha, T.J. (2012). Teachers' perceptions of the barriers to technology integration and practices with technology under situated professional development. *Computers & Education*, 59(4), 1109-1121. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.014>
- López M. y Morcillo J. (2007). Las TIC en la enseñanza de la Biología en la educación secundaria: los laboratorios virtuales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, 6(3), 562-576.
- López Guerrero, M. del M., López Guerrero, G. y Rojano Ramos, S. (2018). Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las Reacciones de Óxido-Reducción. Estudio de caso en la Universidad de Málaga. *Educación Química*, 29(3), 79. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.63728>
- López Simó, V., Couso, D., Simarro Rodríguez, C., Garrido Espeja, A., Grimalt-Álvaro, C., Hernández Rodríguez, M.I. y Pintó, R. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza

- de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias, (Extra)*, 0691-698.
- Martín, J.I. y Galván, J.J.M. (2019). PhET, simulaciones interactivas para Ciencias y Matemáticas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 95, 82-83.
- McElhaney, K.W. y Linn, M. C. (2011). Investigations of a complex, realistic task: Intentional, unsystematic, and exhaustive experimenters. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 745-770. <https://doi.org/10.1002/tea.20423>
- Miles, M.B. y Huberman, A.M. (1994). *Qualitative data analysis: A sourcebook*. Sage Publications.
- Minner, D.D., Levy, A. J. y Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. <https://doi.org/10.1002/tea.20347>.
- Montenegro, M.R., Pandiella, S. y Benegas, J. (2015). Física en tiempo real y simulación (PHET): una experiencia exitosa de aprendizaje activo en circuitos eléctricos en la escuela secundaria. *Anuario Digital de Investigación Educativa*, 26.
- Occelli M. y García Romano L. (2018). Las simulaciones en la enseñanza de la Biología. *Docentes conectados*, 1(1), 3-16.
- Occelli M., Malin Vilar T. (2018). Capítulo 13: Los videojuegos ¿un problema de distracción o una oportunidad para aprender? En M. Occelli, L. Garcia Romano, N. Valeiras, M. Quintanilla (Comp.), *Las tecnologías de la información y la comunicación como herramientas mediadoras de los procesos educativos. Volumen I: Fundamentos y Reflexiones*. Bellaterra Ltda.
- Ortiz F. y 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 ensin 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>
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L.A., De Jong, T., Van Riesen, S.A.N., Kamp, E.T., Manoli, C.C., Zacharia, Z.C. y 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>
- Pelgrum, W.J. (2001). Obstacles to the integration of ICT in education: Results from a worldwide educational assessment. *Computers & Education*, 37(2), 163-178. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00045-8)
- Perkins, D. (2010). *El aprendizaje pleno. Principios de la enseñanza para transformar la educación*. Paidós.
- Pessanha M., Pietrocola M. y Couso D. (2013). Obstáculos epistemológicos no estudo de modelos atômicos com o uso de simulações computacionais. Em *XX Simpósio Nacional de Ensino de Física*. São Paulo.
- Piscitelli, A. (2009). Nativos e inmigrantes digitales: una dialéctica intrincada pero indispensable. *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*, 71.

- Pontes, A. (2005) Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. Primera parte: funciones y recursos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(1), 2-18. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3930>
- Pringle, R.M., Dawson, K. y Ritzhaupt, A.D. (2015). Integrating science and technology: Using technological pedagogical content knowledge as a framework to study the practices of science teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 24(5), 648-662.
- Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*, 52, de 2 de marzo de 2022, 2022-3296.
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, de 30 de marzo de 2022, 41571-41789.
- Reis, S.A. y Santos, F. (2016). In-Service Education of Science Teachers: Virtual Simulators as a Resource for Experimental Work. *Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado*, 19(2), 209-220. <https://doi.org/10.6018/reifop.19.2.253691>
- Riveros, V. y Mendoza, M.I. (2005). Bases teóricas para el uso de las TIC en educación. *Encuentro Educativo*, 12(3), 315-336.
- Rodríguez-García, A. M., Reche, M. P. C. y García, S. A. (2018). La competencia digital del futuro docente: Análisis bibliométrico de la productividad científica indexada en Scopus The digital competence of the future teacher: Bibliometric analysis of scientific productivity indexed in Scopus. *International Journal of Educational Research and Innovation*, 10, 317-333.
- Romero Ariza, M. y Quesada Armenteros, 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>
- Sandoval, W.A. y Reiser, B.J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science education*, 88(3), 345-372. <https://doi.org/10.1002/sce.10130>
- Schrum, L. (1999). Technology professional development for teachers. *Educational Technology Research and Development*, 47(4), 83-90.
- Schwarz, C.V. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modelling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744. <https://doi.org/10.1002/sce.20324>
- Schwarz, C.V. y Gwekwerere, Y.N. (2007). Using a guided inquiry and modelling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186. <https://doi.org/10.1002/sce.20177>
- Shakir, M. (2002), The selection of case studies: strategies and their applications to IS implementation case studies, *Research Letters in the Information and Mathematical Sciences*, 3, 69-77.
- Simons, H. (2011). *El estudio de caso*. Teoría y práctica. Morata.

- Smetana, L.K. y Bell, R.L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Strudler, N. y Wetzell, K. (1999). Lessons from exemplary colleges of education: Factors affecting technology integration in preservice programs. *Educational Technology Research and Development*, 47(4), 63–81.
- Tavares, D.B.L. y Martínez, J.O. (2017). Clases Interactivas Demostrativas con el uso de simulaciones PhET para Mecánica en Preparatoria. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(2), 1-10.
- Torres-Zúñiga, V. (2011). Aplicación de weblogs para incrementar el aprendizaje sobre termodinámica a nivel preuniversitario. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(1), 71-83. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2011.v8.i1.06](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.i1.06)
- Trindade, J., Fiolhais, C. y Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: A descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471-488. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8535.00283>
- Valverde-Crespo, D., De Pro, A. y González-Sánchez, J. (2018). La competencia informacional digital en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en la educación secundaria obligatoria actual: una revisión teórica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2015. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2105](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2105)
- Venkataraman, B. (2009). Visualization and interactivity in the teaching of chemistry to science and non-science students. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 62-69. <http://dx.doi.org/10.1039/b901462b>
- Vidal Ledo, M.J., Avello Martínez, R., Rodríguez Monteagudo, M.A. y Menéndez Bravo, J.A. (2019). Simuladores como medios de enseñanza. *Educación Médica Superior*, 33(4), 37-49.
- Wozney, L., Venkatesh, V. y Abrami, P. C. (2006). Implementing compute technologies: Teachers' perceptions and practices. *Journal of Technology and Teacher Education*, 14(1), 173.
- Wu, H.K. y Huang, Y.L. (2007). Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student-centered technology-enhanced learning environments. *Science Education*, 91(5), 727–749. <https://doi.org/10.1002/sce.20216>
- Yerdelen-Damar, S., Boz, Y. y Aydın-Günbatar, S. (2017). Mediated effects of technology competencies and experiences on relations among attitudes towards technology use, technology ownership, and self-efficacy about technological pedagogical content knowledge. *Journal of Science Education and Technology*, 26(4), 394–405.
- Zhang, B., Liu, X. y Krajcik, J.S. (2006). Expert models and modelling processes associated with a computer-modelling tool. *Science Education*, 90(4), 579–604. <https://doi.org/10.1002/sce.20129>
- Zucker, A.A. y Hug, S.T. (2008). Teaching and learning physics in a 1:1 laptop school. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 586-594. <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-008-9125-3>