



Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años

Computational Simulations in Physics Education: a critical review of the literature

Juan Velasco, Laura Buteler
Facultad de Matemática Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.
Instituto de Física Enrique Gaviola. Córdoba, Argentina
jjvelasco@famaf.unc.edu.ar, lbuteler@famaf.unc.edu.ar

RESUMEN • Numerosos artículos fueron publicados en el campo de las simulaciones computacionales en los últimos veinte años. Sin embargo, la extensión de esta área y la diversidad de resultados dificultan la iniciación en ella. A pesar de la existencia de algunas revisiones en simulaciones computacionales, no resultan iluminadoras ya que los aspectos metodológicos son excluidos. Con el fin de atender estas necesidades, se realiza una revisión bibliográfica de investigaciones sobre simulaciones computacionales en enseñanza de la física de los últimos diecisiete años. La información se clasificó de acuerdo con categorías según las características de las investigaciones recabadas. Los resultados muestran una fuerte tendencia de los artículos por analizar el impacto que tiene la utilización de simulaciones en el desempeño de los estudiantes. Se destacan diversos puntos de consenso y disenso en la comunidad para los principales temas en discusión.

PALABRAS CLAVE: simulaciones computacionales; TIC; revisión.

ABSTRACT • Many articles were published about computational simulations in the last twenty years. However, the extension of the field and the variety of results make it difficult to take up work in this area of research. In spite of some existing reviews about computational simulations, results are dissimilar and they usually focus on outcomes. The strategies and methodologies are often excluded from compilations, which contribute to the confusing scene of this area. In order to meet these needs, this work offers a critical review of the literature of the last 17 years. This review is oriented to give a general view of the actual state of this field and it is focused on the main nucleus of agreement and discussions in the literature, regarding methodological aspects too. A certain tendency was observed from the results: most of articles are characterized for analyzing the impact of using programs to teach. Agreements and points of discussion are exposed.

KEYWORDS: computational simulations; ICT and multi-media; review.

Recepción: mayo 2016 • Aceptación: abril 2017 • Publicación: junio 2017

Velasco, J., Buteler, L., (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de las Ciencias*, 35.2, pp. 161-178

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología en los últimos tiempos ha impactado de manera directa en la vida cotidiana de las personas. No queda exenta de esta revolución la educación, y menos aún la enseñanza de la física. Numerosas herramientas didácticas han surgido gracias a los avances tecnológicos. Entre una de las más destacadas se encuentran las simulaciones computacionales definidas como «representaciones de algún fenómeno o actividad a través de la cual un usuario aprende interactuando» (Alessi y Trollip, 2001).

Con el transcurrir del tiempo, la cantidad de simulaciones desarrolladas aumentaron exponencialmente, como así también su uso y aplicación en las clases de física de todo el mundo. Acompañando a este crecimiento, la comunidad de investigadores en enseñanza de la física se preocupó por estudiar los beneficios y aportes que podían tener estas representaciones en el aprendizaje. Desde la década de los ochenta, se publicaron diversos artículos en el intento de iluminar este nuevo campo de la enseñanza de la física (Rivers y Vockell, 1987; Wilson y Redish, 1989; Redish, 1993; De Jong *et al.*, 1998). Durante las últimas dos décadas esta área ha sido foco de numerosas publicaciones, lo que denota la intensa actividad sobre estos nuevos desafíos producidos por la tecnología.

En la actualidad puede encontrarse una extensa variedad de investigaciones orientadas a estudiar la utilización de simulaciones computacionales para la enseñanza. Para quienes se introducen en el área, la extensión del conocimiento en este campo puede resultar poco iluminadora a la hora de identificar los principales avances. Existen algunas compilaciones de artículos en los últimos tiempos que ofrecen una visión general para iniciarse en el área (Lee *et al.*, 2011; Smetana y Bell, 2012). Sin embargo, estas compilaciones presentan una sistematización de resultados y conclusiones sin un análisis que permita clarificar los acuerdos y desacuerdos. Por este motivo, se realiza una revisión de las investigaciones publicadas en los últimos años con dos objetivos principales:

- Presentar una revisión actualizada de la bibliografía, contemplando aspectos metodológicos a fin de entender con mayor detalle los resultados obtenidos en esas investigaciones.
- Identificar los puntos de consenso y disenso presentes en la bibliografía, iluminando los núcleos de discusión y áreas de vacancia.

En este trabajo se describen, en primer lugar, los criterios y alcances de la revisión. A continuación, se crean categorías para clasificar la información. Posteriormente se profundiza en el análisis en cada una de las categorías destacando, sobre el final de cada una de ellas, los acuerdos así como también las fuentes de discusión.

METODOLOGÍA

Con el fin de responder a los objetivos de esta revisión, se realiza una búsqueda bibliográfica limitada en tiempo y en revistas, así como también en actas de congresos. Esta contiene cerca de cincuenta artículos publicados desde el año 1999 hasta 2015. La intención es enfatizar el estado actual del campo cubriendo las principales fuentes de publicación afines. A continuación se listan los títulos consultados, junto con la cantidad de artículos revisados en cada uno de ellos:

- AIP Conference Proceedings (7)
- American Journal of Physics Education (3)
- Chemistry Education Research and Practice (1)
- Computers & Education (2)
- Computer Physics Communications (4)

- International Journal of Advanced Computer Science and Applications (1)
- Journal of Research in Science Teaching (4)
- International Journal of Science Education (5)
- Journal of Computer Assisted Learning (8)
- Journal of Interactive Learning Research (1)
- Journal of Science Education and Technology (1)
- Journal of Teaching and Learning with Technology (1)
- Journal of the Learning Science (2)
- Latin American Journal of Physics Education (6)
- Learning, Media and Technology (1)
- Physical Review Special Topic Physics Education Research (2)
- Procedia – Social and Behavioral Sciences (1)
- Revista de Enseñanza de la Física (1)
- Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (4)

En la selección se incluyeron revistas orientadas a la enseñanza de las ciencias y a la tecnología en educación de las ciencias. La selección comenzó con un núcleo de revistas de alto impacto en la comunidad de investigadores en educación en física. Desde ese núcleo, y en función de la bibliografía allí citada, se agregaron otros títulos que permitieron ampliar el espectro de búsqueda con el fin de cubrir las principales fuentes de información científica en este campo. De ese conjunto de revistas se seleccionaron para esta revisión aquellos títulos accesibles por su libre distribución en internet o por incluirse en las bases de datos a las que se accede desde la universidad donde se realiza la investigación.

Es importante destacar que, si bien esta revisión intenta ser amplia y completa en lo que respecta al campo de las simulaciones, existe la posibilidad de que algunos artículos y contribuciones hayan quedado fuera de la presentación. Sin embargo, su extensión permite afirmar que es una muestra representativa de las investigaciones en el área.

La metodología de búsqueda de los artículos estuvo sistematizada mediante los buscadores de cada una de las revistas. Se analizaron los trabajos que resultaban de buscar mediante las siguientes palabras claves: simulaciones computacionales, enseñanza de la física.

Para facilitar el análisis de la información, los artículos fueron clasificados en tres categorías: diseño, proceso, impacto. La clasificación se orienta intencionalmente a mostrar características encontradas de la bibliografía en este campo. Es importante enfatizar que la construcción de estas categorías consistió en un proceso directamente vinculado con el análisis de los trabajos, fruto de numerosas iteraciones, y que estuvo orientada principalmente alrededor del análisis de las preguntas de investigación, metodologías, diseño de investigación y resultados. Ninguna de estas categorías es totalmente excluyente, es decir, los artículos podrían tener características de más de una categoría. Debido a esto, el criterio para categorizar tuvo en cuenta las características preponderantes de cada investigación pero ningún artículo se clasifica en dos categorías.

Diseño

En la categoría «diseño» se clasifican aquellos artículos destinados a estudiar aspectos de la configuración y creación de una simulación. Los objetivos en estos trabajos están orientados a obtener información acerca de las simulaciones en sí mismas y de sus características que podrían tener beneficios para la enseñanza. Los resultados de estos trabajos permiten definir características para el diseño de programas, en lo que concierne a interfaz y funcionalidades.

Proceso

Esta categoría aglutina los trabajos enfocados al estudio del proceso de aprendizaje de conceptos físicos mediante simulaciones. La dinámica de estos artículos se centra en estudiar detalladamente el proceso por el cual un estudiante aprende un concepto y la intervención del programa durante este. En este tipo de investigaciones, el foco no está en la simulación per se, sino en su rol como herramienta para el aprendizaje de conceptos.

Impacto

Los artículos que se clasifican en esta categoría son estudios centrados en probar o analizar el impacto de las simulaciones como herramienta instruccional en comparación con otras. Estas investigaciones se caracterizan, por lo general, por utilizar una metodología antes y después, fijando como control una secuencia «tradicional» y, de esta forma, realizar un estudio comparativo. Los resultados se centran en mostrar las mejoras o no en el desempeño, tras la aplicación de una secuencia en la que se utilizan simulaciones.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la revisión arrojaron una distribución desigual a lo largo de las tres categorías (véase figura 1). La bibliografía está orientada en mayor medida a verificar el impacto de las simulaciones frente a otras herramientas de enseñanza, mientras que en menor medida a estudiar minuciosamente la intervención de los programas en el proceso de aprendizaje.

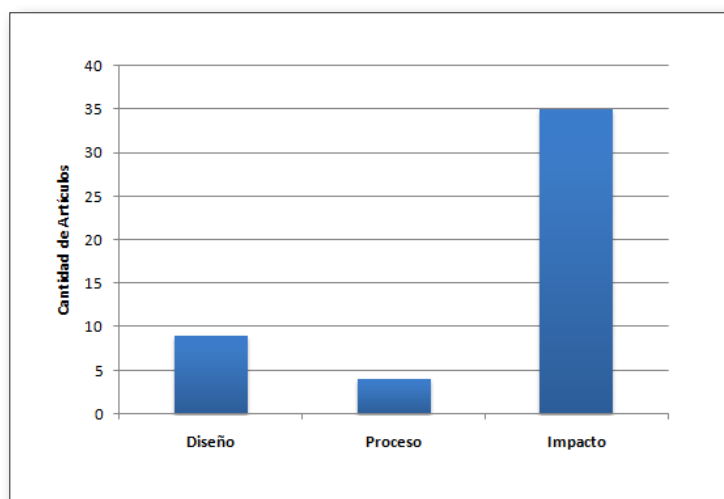


Fig. 1. Distribución de artículos según la categoría.

Este estudio está orientado a resaltar aquellos núcleos de consenso que se pueden encontrar en la bibliografía, así como también los puntos de disenso y discusión latentes en la comunidad de enseñanza de la física respecto a este campo. Por ello, en cada una de las categorías se amplía una discusión acerca de los resultados encontrados por los diversos trabajos, esperando que resulte esclarecedor para aquellos lectores que se están iniciando en este tópico de investigación. A continuación, se detalla el análisis para cada una de las tres secciones correspondientes a las categorías definidas.

A. Diseño

El crecimiento de la tecnología en los últimos años ha producido un gran desarrollo de simulaciones computacionales con fines instruccionales. Los avances también han permitido crear programas cada vez más complejos y sofisticados en lo que a su diseño y funcionalidad respecta. Por tanto, el diseño ha comenzado a formar parte de un nuevo campo para los investigadores y, por qué no también, para los desarrolladores. Focalizados en detectar las características de las simulaciones que mejoraban las prestaciones para los usuarios, se llevaron a cabo diversos trabajos. En esta sección se presentarán los artículos encontrados (véase tabla 1), enfatizando algunos de los aspectos importantes que son disparadores de discusiones y preguntas. Se trata de nueve artículos pertenecientes a *AIP Conference Proceedings* (5), *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* (1), *Journal of Computer Assisted Learning* (1), *Computer Physics Communications* (1) y *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* (1). Las investigaciones en este campo muestran un fuerte núcleo de consenso generalizado; el uso de las simulaciones como herramientas instruccionales es sensible a sus características de diseño, como la interactividad, el nivel de animación, el realismo, la distribución de leyendas, la complejidad de la representación, entre otros. Dentro de este núcleo, es posible identificar algunos puntos de consenso y disenso entre los resultados y las conclusiones encontradas en la bibliografía por parte de diferentes autores. Se enfatizan tres focos de interés: la interactividad, el realismo y la complejidad.

Tabla 1.
Artículos y características de la categoría Diseño

<i>Autor (año)</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Metodología</i>
Abdeljalil Métioui (2013)	Interactividad	Propuesta Didáctica
Adams <i>et al.</i> (2008 <i>b</i>)	Interactividad	Entrevistas
Couture (2004)	Realismo	Entrevistas
Jara <i>et al.</i> (2012)	Realismo	Descriptiva
Martinez <i>et al.</i> (2011)	Realismo	Pre-Postest
Paul <i>et al.</i> (2013)	Complejidad	Entrevistas
Perkins <i>et al.</i> (2012)	Interactividad	Entrevistas
Podolefsky <i>et al.</i> (2009)	Interactividad	Pre-Postest
Podolefsky <i>et al.</i> (2010 <i>a</i>)	Complejidad	Desarrollo teórico

Interactividad

En primer lugar, es importante definir qué se entiende por interactividad en el caso de las simulaciones. El término está asociado a la relación usuario-programa en un sentido amplio, contemplando las posibilidades de este de intervenir, cambiar parámetros, condiciones, modelos, etc. Los programas educativos pueden tener distintos niveles de interactividad, con animaciones puramente demostrativas en los niveles bajos o múltiples opciones y controles para niveles más altos. En este sentido, la bibliografía plantea un común acuerdo; niveles altos de interactividad afectan de mejor manera a los resultados de estudiantes en test que los niveles bajos (Adams *et al.*, 2008*b*; Podolefsky *et al.*, 2010; Podolefsky *et al.*, 2009; Perkins *et al.*, 2012).

Las investigaciones han hallado aspectos importantes de esta característica de las simulaciones. Diversos autores destacan que la interactividad es lo que hace útil a una simulación. La interacción permite que el usuario le asigne un significado a los programas permitiendo entre otras cosas la conexión

de las animaciones con el fenómeno físico (Adams *et al.*, 2008b). Más aún, las simulaciones limitadas al análisis en forma de gráfico cartesiano son cuestionadas por algunos estudios, los cuales consideran esencial que las simulaciones sean interactivas, ya que posibilita contemplar las representaciones erróneas de los usuarios, confrontar ideas y promover la reconstrucción de nuevas representaciones (Abdeljalil Métioui, 2013).

Realismo

Las animaciones, dibujos y esquemas presentes en el cúmulo de simulaciones desarrolladas se muestran en una amplia variedad de sofisticación. Se encuentran aquellas que hacen un fuerte hincapié en el detalle, tanto en el gráfico como en la modelización, es decir, con un alto nivel de realismo, como también aquellas que son más esquemáticas, sin tanto detalle y con más énfasis en la simplificación del modelo físico (Jara *et al.*, 2012). Dado este panorama en los desarrolladores, surge una pregunta natural: ¿cuáles favorecen el aprendizaje y en qué contexto? La bibliografía responde a parte de este interrogante, pero no de manera completa.

Los trabajos orientados en este sentido acuerdan que niveles altos de realismo producen un mejor desempeño de los estudiantes (Martínez *et al.*, 2011; Couture *et al.*, 2004). Los estudios muestran que el realismo de una simulación mejora el rendimiento en test en el tópico de aberraciones (Martínez *et al.*, 2011) y contribuye a la verosimilitud y credibilidad del modelo según datos relevados de un estudio de caso (Couture *et al.*, 2004).

Los autores de estos trabajos acuerdan que es una línea de investigación en crecimiento y que existen numerosos interrogantes sin respuesta aún. No son muchos los trabajos dedicados a esto, por lo que preguntas acerca del contexto, la relación entre el nivel del aprendiz y el realismo, la visualización del modelo en la complejidad, entre otras, continúan sin respuesta.

Complejidad

Como se describió anteriormente, la bibliografía acuerda y sugiere promover la interactividad y el realismo en las simulaciones computacionales. Sin embargo, ha sido posible hallar un punto conflictivo aquí: ¿la interactividad y/o el realismo afectan a la complejidad de la simulación, sumando elementos que a fin de cuentas dificulten el diseño intuitivo de esta?

Se hallaron investigaciones que afirman que las simulaciones deben presentar un diseño intuitivo, es decir, que el usuario pueda comprender la dinámica y el uso del programa por sí mismo, ya que favorece la exploración y potencia los beneficios de este (Adams *et al.*, 2008; Paul *et al.*, 2013).

Posiblemente el análisis de la complejidad de la simulación conlleve una discusión fuertemente relacionada con los dos focos anteriormente discutidos. Tanto la interactividad como el realismo pueden ser factores que dificulten el diseño intuitivo. El primero por el agregado de funcionalidades, cuadros de texto, representaciones, etc., mientras que el segundo por la carga de la representación en la visualización del modelo.

Existe un antecedente de un modelo para caracterizar la complejidad de una simulación. Podolsky *et al.* (2010a) diseñaron un modelo para cuantificar la complejidad de una simulación. En su modelo proponen dos aspectos: por un lado, la complejidad de la simulación en sí misma y, por otro lado, la prioridad de conocimiento establecida por el usuario (un factor que influye en la complejidad de los programas). El modelo da cuenta de la complejidad mediante el número de controles y las interacciones entre los elementos de la simulación, y también a través de cómo se ajusta a las prioridades de conocimiento del usuario. Resultados preliminares parecen fundamentar la utilidad del modelo.

A pesar de la existencia de este modelo, la bibliografía está lejos de ser vasta en mecanismos para caracterizar la complejidad, así como también en estudios sobre la influencia de esta en procesos de aprendizaje y su relación con otros aspectos de las simulaciones. Por tanto esta línea de investigación dentro del diseño presenta aún numerosos interrogantes para responder y conocimiento para explorar.

Síntesis

En resumen, las publicaciones de los últimos quince años referidas al diseño de simulaciones acuerdan que niveles altos de interactividad y realismo así como también diseños intuitivos mejoran el desempeño de los estudiantes. Sin embargo, no resulta clara la relación entre la intuitividad de una simulación y la interactividad y el realismo. En este sentido, la complejidad del diseño ha sido poco explorada y continúa siendo una línea de investigación emergente.

B. Proceso

En la revisión de artículos en este campo, es posible distinguir un grupo de artículos orientados a estudiar de manera más detallada el proceso de aprendizaje mediado por simulaciones, con énfasis en el proceso. Se trata de artículos que realizan análisis de tipo microgenético, utilizando entrevistas clínicas durante y/o a posteriori de la actividad planteada a los sujetos participantes y estudiando la evolución de la comprensión en pequeñas etapas y con grupos reducidos en número. Si bien estos tipos de estudios no abundan, es importante destacar algunos resultados identificados en la bibliografía debido a sus importantes contribuciones a la hora de entender el aprendizaje mediante representaciones computacionales (véase tabla 2). Se clasificaron 4 artículos en esta categoría correspondientes a las revistas *Journal of the Learning Sciences* (2), *International Journal of Science Education* (1) y *Journal of Research in Science Teaching* (1).

Tabla 2.
Artículos y características de la categoría Proceso

<i>Autores (Año)</i>	<i>Aspectos Metodológicos</i>
Parnafes (2007)	Microgenético
Sengupta (2015)	Microgenético
Tao y Gunstone (1999)	Microgenético
Tao (2004)	Microgenético

Los estudios en este campo se orientan al análisis del desarrollo conceptual a través de las representaciones computacionales. El principal consenso que es posible hallar en los resultados de los trabajos es que la interacción de los estudiantes con las diversas características de este tipo de representaciones favorece el desarrollo conceptual. Así también, las investigaciones destacan el análisis microgenético como una herramienta efectiva a la hora de estudiar estructuras de conocimiento y la evolución del pensamiento de los estudiantes (Parnafes, 2007; Tao, 2004; Tao y Gunstone, 1999; Sengupta *et al.*, 2015).

Se han encontrado diversas características de la interacción con las simulaciones que promueven el desarrollo conceptual. La naturaleza dinámica de las simulaciones apoya la visualización y experimentación con aspectos del fenómeno estudiado. Este tipo de representaciones contrastan con la complejidad visual del mundo físico, lo que permite centrarse en aspectos específicos de manera simple

y accesible (Tao, 2004). Así también, ayudan a los estudiantes a promover su razonamiento intuitivo acerca del mundo físico iluminando las fronteras de los contextos de sus conocimientos previos si se cuenta con una interacción que involucre los conceptos relevantes de la situación (Sengupta *et al.*, 2015). Es importante recalcar que los resultados muestran que la simulación en sí misma no es suficiente para promover el cambio conceptual, sino que se necesita que los estudiantes reflexionen sobre sus concepciones y las reconstruyan (Tao y Gunstone, 1999).

Las múltiples visualizaciones hacen explícitas inconsistencias conceptuales, lo cual promueve en los estudiantes una búsqueda de coherencia conceptual. El control de parámetros y condiciones contribuye a los progresos conceptuales de los estudiantes, así como también las animaciones, que permiten un puente entre el mundo dinámico real y las representaciones virtuales. Una herramienta valiosa que presentan las simulaciones es la facultad de transformar eventos temporales de fenómenos físicos en espaciales. Una representación espacial de un evento temporal permite focalizar características específicas una y otra vez, así como también la misma característica en diferentes contextos (Parnafes, 2007).

Síntesis

En resumen, estos trabajos iluminan parte del proceso de aprendizaje mediado por simulaciones. Se encuentran relaciones específicas entre determinadas características de las representaciones y el desarrollo conceptual, siempre vinculado a un contexto particular. Según la bibliografía, algunos aspectos de los programas favorecen el cambio conceptual para algunos entornos particulares. Los trabajos presentan metodologías comunes, predominando los estudios microgenéticos como consenso para estudiar procesos de aprendizajes mediados por ordenador.

C. Impacto

Sin duda, uno de los principales focos de la investigación en enseñanza de la física en este campo está en la comparación de esta herramienta respecto a otras para evaluar su impacto en el momento del aprendizaje. Es así que diversos estudios comparativos se desarrollaron en los últimos tiempos, en particular en esta orientación. Es notable cómo esta categoría destaca en cantidad y diversidad de estudios (véase tabla 3). El auge de los desarrolladores de programas se vio acompañado por una fuerte intención de evaluarlos frente a otras opciones instruccionales. Se encontraron 36 artículos en esta categoría en revistas distribuidos en *AIP Conference Proceedings* (2); *Latin American Journal of Physics Education* (3); *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (3); *Journal of Computer Assisted Learning* (7); *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (1); *Chemistry Education Research and Practice* (1); *Computers y Education* (2); *Revista Enseñanza de la Física* (1); *Journal of Research in Science Teaching* (2); *Learning, Media and Technology* (1); *Computer Physics Communications* (4); *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* (1); *American Journal of Physics Education* (3); *International Journal of Science Education* (3); *Journal of Teaching and Learning with Technology* (1); *Journal of Science Education and Technology* (1).

Tabla3.
Artículos y características de la categoría Impacto

<i>Autor (Año)</i>	<i>Subcategoría</i>	<i>Aspectos metodológicos</i>
Adams <i>et al.</i> (2008a)	Nivel de orientación	Entrevistas
Alvarez (2010)	Beneficios	Pre-Postest
Alzugaray <i>et al.</i> (2014)	Beneficios	Observaciones - Test
Andrés <i>et al.</i> (2006)	Beneficios	Test
Barneto y Raya (2008)	Beneficios	Pre-Postest
Blake y Scanlon (2007)	Beneficios	Entrevista de a pares
Bozkurt y Ilik (2010)	Beneficios	Pre-Postest
Chamberlain <i>et al.</i> (2014)	Nivel de orientación	Pre-Postest
Chang <i>et al.</i> (2008)	Beneficios	Pre-Postest
Chirino (2015)	Beneficios	Pre-Postest
Clark y Jorde (2004)	Beneficios	Pre-Postest
de Freitas <i>et al.</i> (2006)	Beneficios	Encuesta
Esquembre (2004)	Beneficios	Revisión
Finkelstein <i>et al.</i> (2005)	Laboratorio	Pre-Postest
Fund <i>et al.</i> (2007)	Nivel de orientación	Pre-Postest
Garcia <i>et al.</i> (2014)	Beneficios	Revisión
Hsu y Thomas (2002)	Beneficios	Pre-Postest
Jimoyiannis y Komis (2001)	Beneficios	Pre-Postest
Keller <i>et al.</i> (2007)	Beneficios	Pre-Postest
Landau (2007)	Beneficios	Encuestas
Landau <i>et al.</i> (2011)	Beneficios	Encuestas
Olde <i>et al.</i> (2006)	Nivel de orientación	Pre-Postest
Rehn <i>et al.</i> (2013)	Nivel de orientación	Estudios de Caso-Entrevistas
Ríos <i>et al.</i> (2011)	Beneficios	Test
Rodríguez-Llerena y Llovera-González (2010)	Laboratorio	Test
Ronen y Eliahu (2000)	Beneficios	Pre-Postest
Sánchez (2007)	Beneficios	Revisión
Sánchez (2013b)	Beneficios	Revisión
Sánchez (2013b)	Beneficios	Revisión
Schulze <i>et al.</i> (2000)	Beneficios	Revisión
Smetana y Bell (2012)	Beneficios	Revisión
Steinberg (2000)	Beneficios	Pre-Postest
Stern <i>et al.</i> (2008)	Beneficios	Pre-Postest
Swaak y De Jong (2001)	Beneficios	Pre-Postest
Zacharia (2007)	Laboratorio	Pre-Postest
Zacharia <i>et al.</i> (2008)	Laboratorio	Pre-Postest
Zacharia (2005)	Beneficios	Entrevistas
Zacharia y Anderson (2003)	Beneficios	Entrevistas- Test
Zhang <i>et al.</i> (2004)	Nivel de orientación	Pre-Postest

La revisión permite, como en otras categorías, detectar un núcleo de consenso generalizado entre los autores; las simulaciones computacionales resultan más efectivas como herramienta instruccional que varias de las «tradicionales» (Chang *et al.*, 2008; de Freitas *et al.*, 2006; Finkelstein *et al.*, 2005; Keller *et al.*, 2007; Keller *et al.*, 2006; Podolefsky *et al.*, 2009; Podolefsky *et al.*, 2010; Ronen y Eliahu, 2000; Smetana y Bell, 2012; Stern *et al.*, 2008; Zacharia, 2005; Zacharia, 2007; Zacharia y Anderson, 2003). Más allá de esta concordancia en los resultados de las investigaciones, resulta imprescindible considerar los contextos en que estos se obtuvieron. Con la misma dinámica que en secciones anteriores, se plantean algunos focos de discusión encontrados en la bibliografía en tres subcategorías: nivel de orientación, beneficios y laboratorio.

Se hace referencia con «nivel de orientación» a la subcategoría que incluye el conjunto de investigaciones que estudian el impacto de la simulación en relación con las características de la estrategia didáctica en la cual la simulación se encuentra incorporada. La subcategoría «beneficios» incluye estudios comparativos entre instrucción guiada con ordenador y otras formas sin ordenador. Finalmente, la subcategoría «laboratorio» se orienta a estudios comparativos entre instrucción mediada por laboratorio real y virtual.

Nivel de orientación

La bibliografía denota un profundo acuerdo en que las simulaciones en sí mismas no tienen ninguna funcionalidad, sino que deben estar enmarcadas en una secuencia didáctica. Sin embargo, la profundización en este tema despierta diversos interrogantes: ¿De qué manera deben estar guiadas las actividades con estos programas? ¿Qué estructura debe acompañar a las simulaciones para optimizar sus beneficios? ¿Cómo de rígidas deben ser las instrucciones para los usuarios? En el marco de estos interrogantes, diversas investigaciones se desarrollaron en los últimos años buscando darles respuesta.

Es posible observar un acuerdo común en las conclusiones de las investigaciones que indican que niveles bajos de orientación favorecen optimizar los beneficios de las simulaciones como la exploración, la interactividad, las discusiones, entre otras (Adams *et al.*, 2008a; Chamberlain *et al.*, 2014). Tiene sentido pensar entonces que, a pesar del gran consenso en que la simulación debe estar acompañada por instrucción, la intervención no debe ser muy estructurada, ya que desfavorece las ventajas de esta herramienta.

En particular, los experimentos de las investigaciones identifican que estudiantes provistos con una simulación interactiva y una mínima orientación en clase interactúan con la simulación y atienden a sus principales características. Más aún, actividades fuertemente guiadas disminuyen significativamente la interacción de los estudiantes y la exploración de la simulación, limitando a estos a centrarse solo en las características mencionadas en las instrucciones (Chamberlain *et al.*, 2014). Más aún, afirman que la exploración favorece la visión física de los estudiantes a partir de preguntas propias (Adams *et al.*, 2008a).

Ahora, resulta natural preguntarse: ¿cuándo una instrucción tiene «bajo nivel de orientación»? o ¿cómo caracterizarla? Teniendo estas respuestas, posiblemente existan mejores condiciones para identificar el nivel óptimo de orientación, y más aún, que contemple también las circunstancias de contexto. En los últimos años, se detectan intentos de desarrollar guías orientadoras que contribuyan a esta causa (Olde *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2004; Fund *et al.*, 2007; Rehn *et al.*, 2013).

Beneficios

Los trabajos en esta subcategoría acuerdan en general que las simulaciones no tienen efectos negativos en el rendimiento de estudiantes. Más aun, en la mayoría de los casos resultan efectivas como

herramientas instruccionales y destacan diversos beneficios al ser usadas para enseñar (Chang *et al.*, 2008; Keller *et al.*, 2007; Smetana y Bell, 2012; Stern *et al.*, 2000; Bozkurt y Ilik, 2010; Blake y Scanlon, 2007; Schulze *et al.*, 2000; Alvarez, 2010; Alzugaray *et al.*, 2014; Andrés *et al.*, 2006; Ríos *et al.* 2011; Sánchez, 2007; Sánchez, 2013a; Sánchez, 2013b; Zacharia y Anderson, 2003). Los resultados muestran que los estudiantes mejoran sus desempeños en test conceptuales suministrados después de ser instruidos mediante simulaciones en tópicos como óptica geométrica (Chang *et al.*, 2008; Chirino, 2015), oscilaciones (Swaak y De Jong, 2001; Barneto y Raya, 2008), circuitos de corriente continua (Keller *et al.*, 2007; Ronen y Eliahu, 2000; Swaak y De Jong, 2001), péndulo y difracción (Blake y Scanlon, 2007), campo electromagnético (Alvarez, 2010; Garcia *et al.*, 2014), ondas mecánicas (Andrés *et al.*, 2006), equilibrio térmico (Clark y Jorde, 2004) y cinemática (Stern *et al.*, 2008). Los programas contribuyen a una realimentación constructiva, lo que ayuda a los estudiantes a identificar y corregir sus concepciones alternativas (Ronen y Eliahu, 2000). También en la formación de profesores, el uso de programas computacionales afecta positivamente a la calidad y la naturaleza de las explicaciones en relación con fenómenos térmicos, mecánicos y ondulatorios (Zacharia, 2005).

En menor medida se encuentran estudios que, tras un experimento de las mismas características, no encuentran diferencias significativas entre estudiantes instruidos mediante simulaciones y estudiantes instruidos con un conjunto de actividades en lápiz y papel (Steinberg, 2000; Hsu y Thomas, 2002). Steinberg (2000) no presenta argumentos específicos para estos resultados, concluyendo que el impacto de las simulaciones está vinculado con el contexto. Por otro lado, en el trabajo de Hsu y Thomas (2002) resulta interesante destacar que las simulaciones tenían un impacto nulo respecto a otros recorridos instruccionales en pre y postest. Sin embargo, un análisis más profundo mediante entrevistas les permitió identificar impactos favorables en los estudiantes para el caso del uso de ordenador.

Es posible destacar dos aspectos importantes comunes en estos artículos. Por un lado, el consenso generalizado es que las simulaciones no tienen un efecto negativo en el rendimiento de estudiantes en física. Dentro de ese conjunto, se identifica una gran mayoría que acuerda que el uso del ordenador tiene un efecto positivo, mientras que una pequeña minoría no encontró evidencias de mejoras significativas respecto a otras herramientas. Por otro lado, es relevante notar que estas investigaciones comparten una metodología común, caracterizada por la realización de pruebas antes y después de secuencias didácticas diferentes para grupos que son comparados. Si bien los resultados muestran un contundente acuerdo respecto a que las simulaciones otorgan beneficios para el aprendizaje, la metodología no permite identificar en profundidad cuáles son específicamente, en qué contextos, para qué circunstancias, cómo lo hacen, etc.

Laboratorio

Resulta natural notar que las simulaciones otorgan beneficios como herramienta instruccional en cuanto a practicidad respecta. En algunas ocasiones, los experimentos de laboratorio requieren espacio, tiempo, materiales, etc., lo que dificulta la posibilidad de ser llevados a cabo, así como también la visualización de ciertos fenómenos debido a su configuración o tamaño. En este sentido, los programas aparecen como una alternativa que podría ser favorable ante estas circunstancias. Sin embargo, es importante no dejar de preguntarse si las simulaciones son realmente una alternativa favorable para resolver estas cuestiones, qué beneficios presentan respecto al laboratorio real y qué aspectos del real no pueden ser reemplazados por programas. Entre el sinfín de preguntas que existen alrededor de esta discusión, la comunidad de investigadores ha comenzado, en este último tiempo, a ofrecer algunas respuestas.

La bibliografía acuerda que, para determinados contextos, las simulaciones ofrecen posibilidades para favorecer el aprendizaje y beneficios en practicidad y viabilidad, que incluso pueden ser supera-

doras de la experiencia real. Sin embargo, la metodología de estas investigaciones no permite realizar inferencias más precisas sobre estos resultados.

Finkelstein *et al.* (2005) comparan dos grupos de estudiantes que realizan un laboratorio: uno real y el otro virtual. Mediante test conceptual y medición de tiempo de tareas entre otros, llegan a la conclusión de que el laboratorio virtual es más eficiente que el real para el aprendizaje de conceptos en electricidad. En otros estudios, Zacharia (2007), Zacharia *et al.* (2008) y Rodríguez-Llerena y Llovera-González (2010) demuestran que una secuencia instruccional con entornos virtuales y reales produce mejores desempeños de los alumnos que entornos exclusivamente reales.

Síntesis

Se pueden destacar los siguientes núcleos de consenso en la comunidad de investigadores respecto a esta categoría:

- *Las simulaciones en sí mismas no tienen ninguna funcionalidad, sino que por el contrario deben ser incluidas como herramientas en una secuencia que debe contar con una guía instruccional que oriente la actividad con estas. Esta orientación no debe ser fuertemente estructurada, sino que debe ser lo suficientemente flexible para guiar al estudiante en un marco de libertad de exploración e interacción que promueva el potencial de esta herramienta. Aún no se ha caracterizado el nivel óptimo de orientación a pesar de diversos intentos por producir guías de trabajo con ordenador.*
- *Las simulaciones no afectan negativamente en los desempeños de estudiantes en pruebas conceptuales en comparación con otras herramientas «tradicionales» o que no incluyan estas. Dentro de ese conjunto, la mayor cantidad de los trabajos han encontrado efectos positivos en el rendimiento de los estudiantes a la hora de utilizar el ordenador. A pesar de que los resultados muestran un contundente acuerdo respecto a que las simulaciones otorgan beneficios para el aprendizaje, la metodología no permite identificar en profundidad cuáles son, en qué contextos, para qué circunstancias ni cómo lo hacen.*
- *Entornos virtuales, o virtuales combinados con reales, favorecen el desempeño de estudiantes en test conceptuales en comparación con ambientes de laboratorio exclusivamente reales.*

Las metodologías presentadas en las investigaciones de esta categoría se caracterizan por ser del tipo pre y postest. Si bien sus resultados aportan e iluminan este campo de conocimiento, así como también gestan y fomentan nuevas preguntas, no ofrecen respuestas respecto al proceso de aprendizaje en sí mismo mediado por simulaciones.

CONCLUSIONES

Se realiza una revisión de los artículos publicados relacionados con simulaciones computacionales y enseñanza de la física en los últimos años para ciertas revistas seleccionadas. De la revisión se lograron identificar los principales núcleos de consenso, así como también los de disenso y fuentes de discusión.

En relación con el diseño de las simulaciones, existe un acuerdo en que estas deben ser interactivas, intuitivas y presentar altos niveles de realismo. Un aspecto poco explorado y emergente es el rol de la complejidad de la simulación, en particular la relación entre la interactividad y el realismo con la intuitividad de esta.

Los estudios orientados al proceso de aprendizaje mediado por simulaciones acuerdan que ciertas características de las simulaciones en determinados contextos favorecen el desarrollo conceptual. Así también destacan el análisis microgenético como una herramienta apropiada para estudiar la estructura del conocimiento y la evolución del aprendizaje de estudiantes.

En la categoría impacto, se destacan diversos resultados. En primer lugar, se identifica un gran consenso en que las simulaciones en sí mismas no son suficientes para mejorar el aprendizaje, sino que

deben estar incluidas en una secuencia instruccional. Algunos estudios muestran que las secuencias que presentan actividades flexibles y levemente estructuradas favorecen el aprendizaje. No hay un consenso específico respecto a cómo caracterizar la flexibilidad y cuál es el nivel óptimo. Un fuerte acuerdo se encuentra en relación con la mejora en los desempeños de estudiantes tras la implementación de una secuencia mediada por ordenador respecto de otra que no. Una pequeña minoría de estudios no identifica diferencias significativas entre ambas. Por último, los resultados concuerdan en que los entornos virtuales benefician el rendimiento de los estudiantes por encima de los entornos reales de laboratorios.

En relación con la metodología, se observa que la mayoría de los trabajos analizados utilizan pre y postest para comparar los desempeños de los estudiantes. A pesar de ser un campo extenso en cuanto a cantidad de artículos, son pocos aquellos dedicados a iluminar de manera más profunda este proceso, lo que permitiría identificar con mayor precisión qué aspectos de las simulaciones son beneficiosos para el aprendizaje, en qué contexto, para qué objetivos, entre otros.

Contemplando el estado actual del área de las simulaciones computacionales en la enseñanza de la física, no cabe duda, como se mencionó anteriormente, que las simulaciones presentan características que pueden favorecer el aprendizaje. Sin embargo, analizando los artículos y en particular las metodologías, resulta inmediato notar una fuerte tendencia a estudiar el impacto del uso de programas por encima de todas las cosas. En una visión general, se puede observar que gran parte de los trabajos tienden a responder a la pregunta ¿Qué ocurre si se utiliza una simulación para enseñar física? Esto no debe entenderse como un defecto ni una virtud, sino como una realidad de este campo en la actualidad.

Sin embargo, en vista de que la comunidad reconoce las simulaciones como una herramienta para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en física, resultaría natural estudiar sus características y cómo cada una de estas interactúan en el proceso, qué contextos potencian sus funcionalidades, qué soluciones pueden brindar para superar dificultades de aprendizaje, etc., es decir, analizar cómo es la herramienta y cómo utilizarla a lo largo del proceso de aprendizaje. De esta manera, se podría contar con conocimiento para decidir cuándo, cómo, dónde y para qué usar una simulación a la hora de enseñar física. Si bien se cuenta con trabajos orientados en este sentido, sería oportuno que este campo continúe el crecimiento en esta dirección para contar con respuestas más certeras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELJALIL MÉTIOUI, L. T. (2013). Contribution of the Computer Technologies in the Teaching of Physics: Critical Review and Conception of an Interactive Simulation Software. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 4(7), 72-76. Disponible en línea: <<http://ijacsa.thesai.org/>>.
- ADAMS, W. K., PAULSON, A. y WIEMAN, C. E. (2008a). What levels of guidance promote engaged exploration with interactive simulations? *AIP Conference Proceedings*, 1064, 59-62. <https://doi.org/10.1063/1.3021273>
- ADAMS, W. K., REID, S., LEMASTER, R., MCKAGAN, S. B., PERKINS, K. K., DUBSON, M. y WIEMAN, C. E. (2008b). A study of educational simulations part II - Interface design. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(4), 551-577.
- ALESSI, S. M. y R.TROLLIP, S. (2001). *Learning Principles and Approaches. Multimedia for Learning: Methods and Development*. Pearson. ISBN-13: 978020533462
- ALVAREZ, T. (2010). La visualización de conceptos matemáticos y el aprendizaje del electromagnetismo. *Latin American Journal of Physics Education*, 4, 143-148.

- ALZUGARAY, G. E., MASSA, M. B. y MOREIRA, M. A. (2014). La potencialidad de las simulaciones de campo eléctrico desde la perspectiva de La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(1), 91-99.
- ANDRÉS, Z. M. M., PESA, M. A. y MENESES, V. J. (2006). Desarrollo conceptual acerca de ondas mecánicas en un laboratorio guiado por el modelo MATLaF. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 5(2), 260-288.
- BARNETO, A. G. y RAYA, J. P. B. (2008). Efecto de las simulaciones interactivas sobre las concepciones de los alumnos en relación con el movimiento armónico simple. *REEC: Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 7(3), 681-703. Disponible en línea: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2855517>>.
- BLAKE, C. y SCANLON, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(6), 491-502.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00239.x>
- BOZKURT, E. y ILIK, A. (2010). The effect of computer simulations over students' beliefs on physics and physics success. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 4587-4591.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.735>
- CHAMBERLAIN, J. M., LANCASTER, K., PARSON, R. y PERKINS, K. (2014). How guidance affects student engagement with an interactive simulation. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 628-638.
<https://doi.org/10.1039/C4RP00009A>
- CHANG, K.-E., CHEN, Y.-L., LIN, H.-Y. y SUNG, Y.-T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers y Education*, 51(4), 1486-1498.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.01.007>
- CHIRINO, S. A. (2015). Aprendizaje de contenidos de óptica geométrica utilizando software didáctico. *Revista de Enseñanza de La Física*, 27, 1-8.
- CLARK, D. y JORDE, D. (2004). Helping Students Revise Disruptive Experientially Supported Ideas about Thermodynamics: Computer Visualizations and Tactile Models. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(1), 1-23.
<https://doi.org/10.1002/tea.10097>
- COUTURE, M. (2004). Realism in the design process and credibility of a simulation-based virtual laboratory. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(1), 40-49.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2004.00064.x>
- DE FREITAS, S. I. (2006). Using games and simulations for supporting learning. *Learning, Media and Technology*, 31(4), 343-358.
<https://doi.org/10.1080/17439880601021967>
- DE JONG, T. y 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>
- ESQUEMBRE, F. (2004). Easy Java Simulations: A software tool to create scientific simulations in Java. *Computer Physics Communications*, 156(2), 199-204.
[https://doi.org/10.1016/S0010-4655\(03\)00440-5](https://doi.org/10.1016/S0010-4655(03)00440-5)
- 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), 1-8.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>
- FUND, Z. (2007). The effects of scaffolded computerized science problem-solving on achievement outcomes: a comparative study of support programs. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(5), 410-424.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00226.x>

- GARCIA DOMÍNGUEZ, D., STIPCICH, A. y SILVIA (2014). El modelo TPACK como encuadre para enseñar electrostática con simulaciones. *Latin American Journal of Physics Education*, 8(1), 81-90.
- HSU, Y.-S. y THOMAS, R. A. (2002). The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. *International Journal of Science Education*, 24(9), 955-979.
<https://doi.org/10.1080/09500690110095258>
- JARA, C. A., ESQUEMBRE, F., CHRISTIAN, W., CANDELAS, F. A., TORRES, F. y DORMIDO, S. (2012). A new 3D visualization Java framework based on physics principles. *Computer Physics Communications*, 183(2), 231-244.
<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2011.08.007>
- JIMOYIANNIS, A. y KOMIS, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers y Education*, 36(2), 183-204.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(00)00059-2)
- KELLER, C. J., FINKELSTEIN, N. D., PERKINS, K. K. y POLLOCK, S. J. (2006). Assessing the effectiveness of a computer simulation in conjunction with tutorials in introductory physics in undergraduate physics recitations. *AIP Conference Proceedings*, 818(May 2015), 109-112.
<https://doi.org/10.1063/1.2177035>
- KELLER, C. J., FINKELSTEIN, N. D., PERKINS, K. K. y POLLOCK, S. J. (2007). Assessing the effectiveness of a computer simulation in introductory undergraduate environments. *AIP Conference Proceedings*, 883, 121-124.
<https://doi.org/10.1063/1.2508707>
- LANDAU, R. H. (2007). Computational Physics Education; why, what and how. *Computer Physics Communications*, 177(1-2 SPEC. ISS.), 191-194.
<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2007.02.040>
- LANDAU, R. H., PAEZ, M. J., BORDEIANU, C. y HAERER, S. (2011). Making physics education more relevant and accessible via computation and eTextBooks. *Computer Physics Communications*, 182(9), 2071-2075.
<https://doi.org/10.1016/j.cpc.2010.11.006>
- LEE, S. W., TSAI, C., WU, Y., TSAI, M., LIU, T., HWANG, F., LAI, C., LIANG, J., WU, H., CHANG, C. (2011). Internet-based Science Learning: A review of journal publications. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1893-1925.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536998>
- MARTÍNEZ, G., NARANJO, F. L., PÉREZ, A. L., SUERO, M. I. y PARDO, P. J. (2011). Comparative study of the effectiveness of three learning environments: Hyper-realistic virtual simulations, traditional schematic simulations and traditional laboratory. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 020111.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020111>
- OLDE, C. V. y JONG, T. DE (2006). Scaffolding Learners in Designing Investigation Assignments for a Computer Simulation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22(1), 63-73.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00160.x>
- PARNAFES, O. (2007). What Does «Fast» Mean? Understanding the Physical World Through Computational Representations. *Journal of the Learning Sciences*, 16:3, 415-450.
<https://doi.org/10.1080/10508400701413443>
- PAUL, A., PODOLEFSKY, N. y PERKINS, K. (2013). Guiding without feeling guided: Implicit scaffolding through interactive simulation design. *AIP Conference Proceedings*, 302(May), 302-305.
<https://doi.org/10.1063/1.4789712>

- PERKINS, K., MOORE, E., PODOLEFSKY, N., LANCASTER, K. y DENISON, C. (2012). Towards research-based strategies for using PhET simulations in middle school physical science classes. *AIP Conference Proceedings*, 1413, 295-298.
<https://doi.org/10.1063/1.3680053>
- PODOLEFSKY, N. S., ADAMS, W. K., LANCASTER, K. y PERKINS, K. K. (2010a). Characterizing complexity of computer simulations and implications for student learning. *AIP Conference Proceedings*, 1289(May 2015), 257-260.
<https://doi.org/10.1063/1.3515215>
- PODOLEFSKY, N. S., PERKINS, K. K. y ADAMS, W. K. (2009). Computer simulations to classrooms: Tools for change. *AIP Conference Proceedings*, 1179(May 2015), 233-236.
<https://doi.org/10.1063/1.3266723>
- (2010b). Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 1-32.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020117>
- REDISH, E. F. (1993). Are computers appropriate for teaching physics? *Computers in Physics*, 7(6), 613.
<https://doi.org/10.1063/1.4823227>
- REHN, D. A., MOORE, E. B., PODOLEFSKY, N. S. y FINKELSTEIN, N. D. (2013). Tools for high-tech tool use : A framework and heuristics for using interactive simulations. *Journal of Teaching and Learning with Technology*, 2(1), 31-55.
- RÍOS, S. L., VEIT, E. y SOLANO, I. (2011). Modelación computacional apoyada en el uso del diagrama V de Gowin para el aprendizaje de conceptos de dinámica newtoniana. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 202-226. Disponible en línea: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART10_Vol10_N1.pdf>.
- RIVERS, R. H. y VOCKELL, E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), 403-415.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660240504>
- RODRIGUEZ-LLERENA, D. y LLOVERA-GONZÁLEZ, J. (2010). Estudio comparativo de las potencialidades didácticas de las simulaciones virtuales y de los experimentos reales en la enseñanza de la Física General para estudiantes universitarios de ciencias técnicas. *Latin American Journal of Physics Education*, 4(1), 181-187.
- RONEN, M. y ELIAHU, M. (2000). Simulation — a bridge between theory and reality : the case of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16 14-26.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2729.2000.00112.x>
- SÁNCHEZ, M. A. (2007). Animaciones Modellus y videos de experiencias de laboratorio para dar un nuevo impulso a la enseñanza de la mecánica newtoniana. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 729-745.
- SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, R. (2013a). Simulación de órbitas post-newtonianas usando EJS para una clase de Física. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(2), 235-256.
- SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, R. (2013b). Simulación en Java para el campo de Poynting de un circuito circular. *Latin American Journal of Physics Education*, 7(2), 222-231.
- SCHULZE, K. G., SHELBY, R. N., TREACY, D. J. y WINTERSGILL, M. C. (2000). Andes: A Coached Learning Environment for Classical Newtonian Physics. *11th International Conference on College Teaching and Learning*, 1-6.
- SENGUPTA, P., KRINKS, K. D. y CLARK, D. B. (2015). Learning to Deflect: Conceptual Change in Physics During Digital Game Play. *Journal of the Learning Sciences*, 24:4, 638-674.
<https://doi.org/10.1080/10508406.2015.1082912>

- 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>
- STEINBERG, R. N. (2000). Computers in teaching science: To simulate or not to simulate? *American Journal of Physics*, 68(S1), S37. <https://doi.org/10.1119/1.19517>
- STERN, L., BARNEA, N. y SHAULI, S. (2008). The effect of a computerized simulation on middle school students' understanding of the kinetic molecular theory. *Journal of Science Education and Technology*, 17(4), 305-315. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9100-z>
- SWAAK, J. y De JONG, T. (2001). Discovery simulations and the assessment of intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 17(May), 284-294. <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2001.00183.x>
- TAO, P. (2004). Developing understanding of image formation by lenses through collaborative learning mediated by multimedia computer-assisted learning programs. *International Journal of Science Education*, 26:10, 1171-1197. <https://doi.org/10.1080/0950069032000138879>
- TAO, P.-K. y GUNSTONE, R. F. (1999). The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 859-882. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<859::AID-TEA7>3.0.CO;2-J) [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199909\)36:7<859::AID-TEA7>3.3.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199909)36:7<859::AID-TEA7>3.3.CO;2-A)
- WILSON, J. M. y REDISH, E. F. (1989). Using Computers. *Physics Today* (January), 34-41. <https://doi.org/10.1063/1.881202>
- ZACHARIA, Z. C. (2005). The Impact of Interactive Computer Simulations on the Nature and Quality of Postgraduate Science Teachers' Explanations in Physics. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1741-1767. <https://doi.org/10.1080/09500690500239664>
- 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. y ANDERSON, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71(6), 618. <https://doi.org/10.1119/1.1566427>
- ZACHARIA, Z. C., OLYMPIOU, G. y PAPAERVIPIDOU, 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), 1021-1035. <https://doi.org/10.1002/tea.20260>
- ZHANG, J., CHEN, Q., SUN, Y. y REID, D. J. (2004). Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: Experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(4), 269-282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2004.00062.x>

Computational Simulations in Physics Education: a critical review of the literature

Juan Velasco, Laura Buteler

Facultad de Matemática Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.

Instituto de Física Enrique Gaviola. Córdoba, Argentina

jvelasco@famaf.unc.edu.ar, lbuteler@famaf.unc.edu.ar

Computational simulations have become important tools in physics classrooms as much as a focus of attention of the PER community. Many articles have been published in this field in the last twenty years. However, the extension of the field and the variety of results makes it difficult to take up work in this area of research. In spite of some existing reviews about computational simulations, results are dissimilar and they usually focus on outcomes. The strategies and methodologies are often excluded from compilations, which contribute to the confusing scene of this area.

In order to meet these needs, this work offers a critical review of the literature of the last 17 years. This review aims to provide a general view of the actual state of the field and it is focused on the main nucleus of agreement and discussions in the literature, regarding methodological aspects too.

The review contains more than 60 articles which were classified in three categories: design (articles oriented to the interface development), process (those dedicated to the study of the learning process through simulations in detail) and effectiveness (comparative papers which center on the analysis of how effective this tool is as compared to others).

A certain tendency was observed from the results: the majority of the articles are characterized for presenting a pre-posttest methodology. Many papers in the «effectiveness» category were found, while there are only a few of them in the «process». Category Some strong agreements can be found in the literature: computational simulations are an effective learning tool for many contexts; their effectiveness depends on their design's features like the interface, interactivity possibilities, realism, among others; the programs have to be guided by light instructions and they can replace the laboratory in certain contexts.

On the other hand, some papers affirm that no benefits were found in an instructional sequence from simulations. Some discussion points were found about the relationship between interactivity and complexity, simulations vs. lab, features of support, among others.

There are a few items dedicated to illuminate the process of learning through a simulation in detail. Valuable results are exposed but still, it remains an unexplored field. This kind of study gives a more precise information about which features of a simulation favour (or not) learning and in which context.

The present work offers a view of the actual state of the field of computational simulations in physics education research, highlighting the main consensus and discussions. A future work is planned in order to approach the process of learning through simulations in detail. For this, the frame of coordination classes will be used.