

RECIBIDO EL 2 DE NOVIEMBRE DE 2020 - ACEPTADO EL 3 DE FEBRERO DE 2021

Evaluación de simuladores como estrategia para el aprendizaje de la electricidad en la asignatura de física en la educación media

Evaluation of simulators as a strategy for the learning of electricity in the subject of physics in middle education.

Pablo Luis Rodríguez Abril¹

Ariel Adolfo Rodríguez-Hernández²

Fanny Avella-Forero³

Grupo de Investigación TICA - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

RESUMEN

Este trabajo de investigación identificó y evaluó los simuladores gráficos computacionales que

¹ pabloluis.rodriguez@uptc.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-0493-791X>

Grupo Investigación TICA. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

² ariel.rodriguez@uptc.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-1906-7734>

Grupo de Investigación TICA / Tecno Innovaciones / TelemaTICs - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

³ Fanny.avella@uptc.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4207-1777>

Grupo de Investigación TICA - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

pueden ser utilizados como parte del diseño de una estrategia pedagógica que integre su uso para la apropiación de conceptos de electrodinámica en estudiantes de grado once. Como aporte a la solución de problemática generada por la enseñanza descontextualizada de la física eléctrica que dificulta que el estudiante resuelva problemas usando la ciencia, baja su interés por la asignatura, baja gradualmente los resultados en pruebas externas, y retarda los avances en la dinámica social de los municipios. Por lo que se hace necesario usar en el aula herramientas de calidad inviertan esta tendencia. Para la

evaluación de los simuladores se usó la guía para el análisis descriptivo de la funcionalidad del software de simulación propuesta por Ayala y Salinas (2019), la cual propone evaluar software tipo simulador bajo ocho aspectos significativos (identificación, funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenimiento y portabilidad y propuesta didáctica). Se realizó la revisión de simuladores y se logró identificar dos simuladores PHET y Crocodile que por sus características presentan un mayor grado de adaptabilidad al contexto, al cumplimiento de los objetivos de aprendizaje y competencias a desarrollar dentro del proceso de aprendizaje de la electrodinámica en la educación media.

PALABRAS CLAVE:

simuladores gráficos computacionales, evaluación de simuladores educativos, simulación en la educación.

ABSTRACT

This research work identified and evaluated computational graphic simulators that can be used as part of the design of a pedagogical strategy that integrates their use for the appropriation of electrodynamic concepts in eleventh grade students. As a contribution to the solution of problems generated by the decontextualized teaching of electrical physics that makes it difficult for the student to solve problems using science, lowers their interest in the subject, gradually lowers the results in external tests, and delays progress in social dynamics of the municipalities. Therefore, it is necessary to use quality tools in the classroom to reverse this trend. For the evaluation of the simulators, the guide for the descriptive analysis of the functionality of the simulation software proposed by Ayala and Salinas (2019) was used, which proposes to evaluate simulator-type software under eight significant aspects (identification, functionality, reliability, usability, efficiency, maintenance and portability and

didactic proposal). The simulator review was carried out and it was possible to identify two PHET and Crocodile simulators that, due to their characteristics, present a greater degree of adaptability to the context, to the fulfillment of the learning objectives and skills to be developed within the learning process of electrodynamics in education.

KEY WORDS:

computer graphics simulators, evaluation of educational simulators, simulation in Education.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el rápido avance de la sociedad en temas de desarrollo, economía y tecnología, surge la necesidad de brindar formación de calidad en ciencias que propenda por favorecer procesos de participación activa en la sociedad por medio de la solución de problemas (Nieda & Macedo, 1997). La UNESCO plantea la relevancia de enseñar las ciencias como la física, química para garantizar el derecho a la educación e incentivar la formación de ciudadanos activos e informados por medio de capacidades científicas endógenas de la población (UNESCO, 1999).

Tomando como referente a Ostermann & Moreira (2020) se explica como por medio de la enseñanza de las ciencias se promueve el cambio de los contextos para llevar a cabo un proceso educativo de calidad. De igual forma, se evidencia que la enseñanza de las ciencias en grados superiores es considerada difícil y abstracta por la mayoría de los estudiantes lo que dificulta su proceso escolar. Además, Parra et al. (2015) identifican la dificultad que se presenta en la aplicación de estrategias de enseñanza de las ciencias debido a la falta de recursos de las instituciones educativas para brindar ambientes de aprendizaje adecuados que incluyan laboratorios de mediana complejidad.

Los resultados de las pruebas saber, en área de ciencias, aplicadas entre los años 2016 y 2019 a estudiantes de secundaria de la Institución Educativa Enrique Suárez del municipio de Almeida en Boyacá, reflejan que, en cuanto a las competencias del uso comprensivo del conocimiento científico, explicación de fenómenos e indagación y los conceptos del componente físico, los estudiantes presentan un promedio de error superior al compararlos con los resultados departamentales y nacionales. De igual manera, se constata que el porcentaje de error se eleva con cada año que transcurre. Los porcentajes de error elevados traen como consecuencia un bajo desempeño y la disminución de la calidad del aprendizaje de las ciencias.

Por las anteriores razones surge el proyecto de investigación en curso: "Aprendizaje de conceptos en física eléctrica integrando simuladores." que plantea la pregunta: "¿Cómo la integración de una propuesta pedagógica utilizando simuladores en el aula influye en la apropiación de conceptos en física eléctrica en estudiantes de grado once de la institución educativa Enrique Suarez del municipio de Almeida?" y pretende: integrar una propuesta pedagógica con el uso simuladores en el aula, para la apropiación de los conceptos de física eléctrica en estudiantes de grado once de la Institución Educativa Enrique Suarez de Almeida, Boyacá.

Algunas de las soluciones a la problemática expuesta contemplan el uso de simuladores graficos computaciones (e.g. Martinez, 2016). Debido a que el proyecto está en curso, la presente ponencia expone el proceso que se lleva a cabo para lograr la selección de los simuladores gráficos computacionales idóneos que permitan abordar la problemática y propenda por mejorar las condiciones del proceso de formación en ciencias, específicamente en el área de la física eléctrica en el tema electrodinámica

abordado por los estudiantes de secundaria de la institución educativa y con ello promover su participación activa en la comunidad.

En concordancia realizar un análisis profundo y concienzudo de los simuladores, permite que el docente planifique adecuadamente la estrategia pedagógica, el tipo de competencia y el nivel de construcción o estructuración de conocimiento se pretende desarrollar en el estudiante y potenciar eficientemente el uso de los simuladores (Ayala & Salinas, 2019). Además, el identificar las particularidades, el tipo de construcción de las simulaciones. Si es una simulación deductiva, inductiva, de modelos causales cualitativos o de modelos semánticos, (Jonassen, 2004). Permite intuir como va a interactuar el estudiante con los elementos dispuestos en el simulador (componentes, variables, reacciones entre otros).

REFERENTE TEÓRICO

En las últimas décadas surge una variación al paradigma de la enseñanza-aprendizaje tradicional que abarca aspectos sobre el proceso de aprendizaje. Primero los seres humanos diariamente se enfrentan al desafío de producir conocimiento y no simplemente de reproducirlo, ya que la repetición no genera desafíos (S. Torres, 2005). Los estudiantes pueden alcanzar un nivel de competencia óptimo cuando son motivados a involucrarse de activamente en el proceso de aprendizaje (Crawford, 2004).

De esta manera, según los avances en la psicología del aprendizaje, este deber ser activo, situado, contextual, interactivo, significativo y colaborativo, (Martinez, 2016). Se debe recordar la idea del cerebro funcionando en múltiples tareas. De tal modo, para generar un verdadero aprendizaje, debe entenderse que la mente procesa en paralelo múltiples tipos de información y estímulos simultáneamente (Sánchez, 2002).

En virtud de estimular el aprendizaje se integra a la propuesta pedagógica el uso de simuladores por computadora. Cuya definición es amplia y variada. De este modo, el simulador es señalado como “un modelo científico de un sistema o proceso real o teórico que contiene información sobre el comportamiento del sistema el cual permite que haya experimentación” (Thomas & Milligan, 2004), con la finalidad de aprender o evaluar estrategias para el funcionamiento del sistema (Shannon, 1988). Este entorno dinámico permite experimentar, lleva aproximaciones de una situación real de la teoría a la práctica, permitiendo al estudiante aprender manipulando y observando (Cunguan, 2019).

Un simulador es una mezcla de hardware y software en la que usando algoritmos se reproduce el comportamiento de un proceso, sistema o fenómeno físico, es decir que las condiciones reales son creadas artificialmente con el objeto de aprender, practicar acciones o habilidades que posteriormente pasan a una a un entorno real (Fiallos, 2012). Como es el caso de los pilotos aéreos, ellos practican en entornos simulados que asemejan las condiciones reales de un vuelo, les permiten practicar e incluso fallar para adquirir habilidades que posteriormente son llevadas a vuelos reales. Entonces, un simulador funciona como un sistema técnico que al imitar unas circunstancias reales, reproduce las condiciones propias de una actividad (Navarro, 2015).

Finalmente, los simuladores de calidad se caracterizan por contar con representaciones visuales de fenómenos naturales, modelos gráficos intuitivos, interactivos y con alto nivel de realismo, que apoyan la naturaleza activa del aprendizaje, interactividad con el conocimiento previo y el reacomodamiento de las nuevas estructuras cognitivas (adhieren nuevo conocimiento)(Velásquez, 2009). Su uso adecuado en determinados contextos del aprendizaje favorece el desarrollo conceptual en diversos campos (Velasco & Buteler, 2017).

El descubrimiento de las formas de aprender la física se ha adaptado a lo largo de las últimas décadas. Se ha pasado de la transmisión de información con tableros verdes, tiza y laboratorios físicos intocables para los estudiantes, a la gran cantidad de herramientas de material educativo computarizado que se encuentra disponible en la red y que usados adecuadamente potencializan un aprendizaje activo (Duart & Sangrá, 2005). En este punto surgen las dudas de ¿cuál usar, como hacerlo, y cuál es la estrategia adecuada para integrarlo a un aula? Por lo anterior se realiza una revisión de los antecedentes investigativos asociados al uso de simuladores en el aprendizaje conceptual de la física dentro de una ventana de tiempo de 2011 a 2019 agrupados por aportes.

La mayoría de investigaciones destaca las bondades, aportes e impacto *a nivel enseñanza-aprendizaje de la física* con el uso de la simulación (e.g. Albarracín & Ramírez, 2017; Amaya, 2011; Benjumea, 2016; Cortes, 2016; Cunguan, 2019; Duran, 2019; Faúndez et al., 2017; Hernández et al., 2016; Lucero, 2015; Macías, 2018; Méndez, 2015; Morales, 2018; Peñata et al., 2019; Raviolo et al., 2011; Ruiz-Macías & Duarte, 2018; Sanchez, 2018; Sanhueza et al., 2018; Á. Torres et al., 2017; Yáñez, 2018). Sin embargo no se evidencian los aspectos o metodologías bajo los cuales se eligen la herramientas TIC a utilizar para garantizar una óptima intervención pedagógica.

FÍSICA ELÉCTRICA EN LA EDUCACIÓN MEDIA

La electricidad se deriva de la raíz griega *elektron*, que significa ámbar. “Electricidad se define como un fenómeno físico que se origina del movimiento de partículas subatómicas por medio de cargas eléctricas a través de la atracción y repulsión de las mismas” (Llamas, 2015). Es la fuente de energía básica que hace funcionar la tecnología que nos rodea; por lo que la física

eléctrica en una rama importante de la básica al estudiar los fenómenos relacionados con las cargas eléctricas en reposo o movimiento.

De esta manera, los conceptos establecidos para impartir en física básica de secundaria en lo referente a física eléctrica deben abordar electricidad, con subtemas como electrostática y electrodinámica, además de magnetismo

(incluyendo el tema electromagnetismo (Ministerio de Educación Nacional, 2006; Neira *et al.*, 2018). Según las editoriales Santillana, McGraw-Hill y Norma para educación secundaria es básico abordar un desglose de temas como carga, campo, potencial y corriente eléctrica (Gutiérrez, 2019; I. Morales & Infante, 2005; Rojas & Castaño, 2016) (Figura 1).

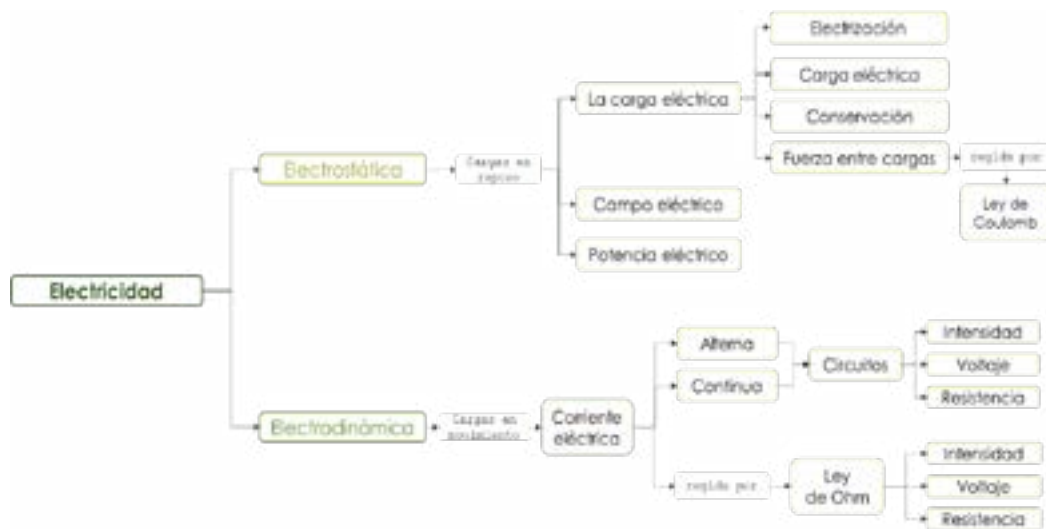


Figura 1. Ontología de la electricidad de la física eléctrica para la educación media

Fuente: Elaboración propia

BENEFICIOS DE INTEGRAR LOS SIMULADORES EN LA EDUCACIÓN

Los simuladores, ha posibilitado múltiples efectos positivos en el proceso de enseñanza (Figura 2). En la experimentación, genera manipulación de las variables para probar hipótesis, realización de un número ilimitado y espontaneo de veces los experimentos en un entorno seguro y sin riesgo. Los estudiantes pueden inferir a través de la experimentación las características del modelo del fenómeno estudiado al comparar los resultados de una serie de experimentos. La repetición del mismo experimento bajo diferentes condiciones contribuye a la comprensión teórica de un fenómeno (Batanero, 2001). De igual manera, permiten al estudiante imitar el quehacer de un científico en la vida

real, propiciando el desarrollo de habilidades científicas (Quevedo, 2013).

En el proceso de aprendizaje, permite al estudiante aprender a su ritmo, mejorar su comprensión y reflexión al cometer errores que cuestionan su aprendizaje, generan preguntas y guían la exploración dentro del simulador. Adicional, en el proceso de ensayo error (implícito en el uso de simuladores) se puede generar un proceso reflexivo de aprendizaje, orientado permanente por el docente (e.g. Huppert *et al.*, 2002; Wieman *et al.*, 2008).

En la enseñanza, faculta a los estudiantes la construcción de modelos representativos de un fenómeno y la posibilidad de comprobarlos. Además, ayuda a fortalecer los conceptos, pues genera más posibilidad de practica;

igualmente incrementa las oportunidades para generar relaciones causales entre el fenómeno de estudio y su significado (Amaya, 2011). Otra característica destacable es la facilitación de cambio conceptual que se genera cuando se aprende. La simulación muestra la naturaleza de un fenómeno, por lo que el estudiante puede libremente explorar, manipular y experimentar cambiando las condiciones y observando el resultado de forma inmediata, es decir recibe un *feedback* inmediato (Thomas & Milligan, 2004).

Teniendo en cuenta los aportes de (Amaya, 2011; Batanero, 2001; Cungan, 2019; Fiallos, 2012; Huppert et al., 2002; Navarro, 2015; Quevedo, 2013; Thomas & Milligan, 2004; Velasco & Buteler, 2017; Velásquez, 2009;

Wieman et al., 2008) para esta investigación se define simulador como herramienta que intenta modelar aproximadamente el comportamiento de un fenómeno físico o entorno real, por medio de un programa por computadora., cuyas características deseadas son: la calidad gráfica, inductividad, interactividad, atractivo visualmente, fidelidad a la realidad del fenómeno, de fácil acceso, portabilidad, multiplataforma y seguro (no hay riesgo) para el usuario. El simulador debe permitir en relación al fenómeno simulado: observar, experimentar, explorar, manipular variables, repetir, probar hipótesis, inferir, comparar, reflexionar, generar preguntas, cometer errores, establecer relaciones causales y construir modelos representativos apoyados en el contexto del estudiante (Figura 2).

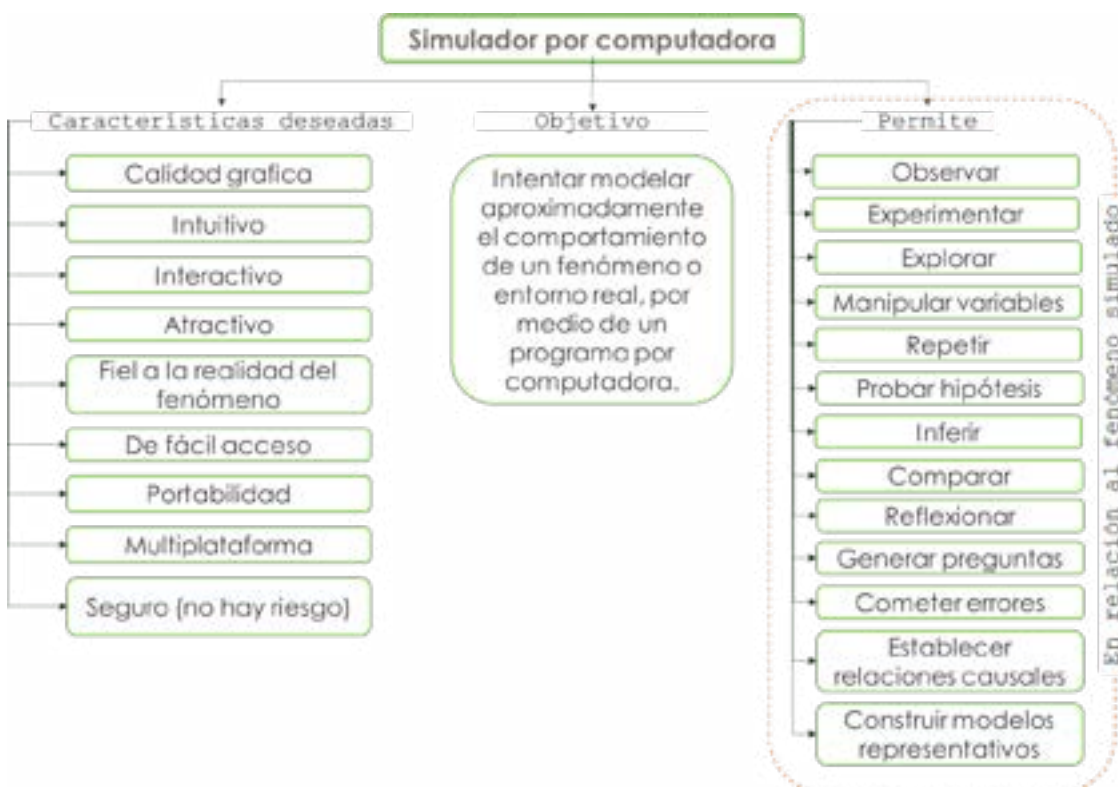


Figura 2. Características de un simulador.

Fuente: Autor. Basado en (Amaya, 2011; Batanero, 2001; Huppert *et al.*, 2002; Quevedo, 2013; Thomas & Milligan, 2004; Wieman *et al.*, 2008)

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la identificación y evaluación de los simuladores gráficos computacionales a ser usados como parte del diseño de una propuesta pedagógica. Se realiza el análisis descriptivo de la funcionalidad del software de simulación según la guía propuesta por Salinas y Ayala (2019) a dos simuladores disponibles en la web.

INSTRUMENTO DE ANÁLISIS PARA SELECCIONAR SIMULADORES EDUCATIVOS

Ayala y Salinas (2019) que afirman que la tercera forma de hacer ciencia se basa en la modelación y la simulación ya que permite que el proceso de formación adquiera un nivel alto para ello se tienen en cuenta características de análisis funcional e instruccionales.

Como base se tienen en cuenta aspectos de análisis *funcional* que toma como referente: la identificación que establece la relación entre las características de los recursos, la funcionalidad determina la competencia y nivel de estructuración, la fiabilidad define hasta qué punto logra emular la realidad, la confiabilidad posibilita la validación de los resultados, la usabilidad identifica la facilidad con la que se instala y usa el simulador, la eficiencia mide el rendimiento de la herramienta al abordar procesos complejos.

Identificar las características *instruccionales* se basa en: el mantenimiento que hace referencia a la facilidad de modificar o adaptar el simulador, la portabilidad que permite transferir datos del simulador entre entornos y la propuesta didáctica que establece las herramientas que apoyan el proceso educativo.

POBLACIÓN

Dentro de la identificación de los simuladores gráficos computacionales se establece como criterio de búsqueda únicamente los simuladores orientados a la enseñanza de la física eléctrica para educación media técnica.

En relación a la identificación se revisó la oferta de simuladores tanto en software libre como de pago que tengan propósito educativo y se enfoquen al abordaje de la enseñanza e la física eléctrica. Rodríguez-Hernández, A. (2010) realizó un estudio que identificó y catalogó simuladores en software para el aprendizaje y la enseñanza de la física, del cual se revisó los posibles recursos de software y se identificó el PhET Interactive Simulations, proyecto de la Universidad de Colorado, disponible en varios idiomas, y siendo el simulador en software libre de mayor oportunidad de uso en ambientes de educación media.

Al no identificar otros simuladores en software libre para física eléctrica, se analizó software de pago, identificando Crocodile Physics Technology como una de las alternativas de mayor oferta en el mercado educativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la identificación y análisis descriptivo de la funcionalidad del software de simulación se presentan conforme a los aspectos propuestos por Ayala y Salinas (2019) para dos simuladores PhET y Crocodile Physics – Technology que se presentan en las tablas 1 a la tabla 8.

IDENTIFICACIÓN

Los simuladores comparados presentan similitudes en su descripción general, diferencias en el año de publicación y requerimientos técnicos (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Análisis comparativo en relación con la identificación de simuladores

Identificación		
Nombre del software:	Simuladores PHET (Kit de construcción de circuitos (CA y CC), Laboratorio Virtual, Circuito de la Resistencia de una Batería, Ley de Ohm)	Crocodile Physics - Technology
Versión:	1.1.5	6,05
Año:	2019	2006
URL:	https://phet.colorado.edu/es_PE/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab	http://seducativo.blogspot.com/2012/12/crocodile-physics-v605-full.html
Tipo de licencia:	Software libre	Licenciado
Descripción cualitativa del programa:	<p>Galería simulaciones que permiten la construcción de circuitos con condensadores, bobinas, resistencias y fuentes de tensión de AC o DC, e inspecciónalos utilizando instrumentos de laboratorio tales como voltímetros y amperímetros.</p> <p>Es posible observar el interior de componentes como resistencia, batería, condensadores, inductores para conocer los fenómenos invisibles a simple vista.</p>	En su versión: Crocodile Physics es un simulador para la enseñanza de la física. La animación revela conceptos ocultos e ilustra experimentos que no pueden ser estudiados en laboratorios escolares. Los usuarios pueden modelar experimentos en electricidad.
Especificación de requerimientos técnicos.	Hardware:	No presenta requerimientos mínimos
	Sistema operativo o navegador:	Windows, XP/Vista/7/8.1/10, o superior con Java Macintosh OS X 10.9.5 o superior Linux, algunas librerías se pueden empaquetar para Android
		PC (Windows 2000/XP o superior, Pentium III, 500 MHz o superior, 128MB RAM, 16-bit tarjeta de audio, Navegador). MAC (OS 10.3.9 o superior, G3 700 MHz o superior, 128MB RAM, 16-bit tarjeta de audio, Navegador)
		Windows, Macintosh o Linux

Fuente: Elaboración propia

FUNCIONALIDAD

La Tabla 2 muestra la comparativa en términos de tipo de construcción del simulador, tipo de exploración del modelo simulado, fenómeno que se modela, interacción, resistencia a errores, recursividad, descripción de las variables y adecuación al currículo.

Tabla 2. Análisis comparativo en relación con la funcionalidad de simuladores

Funcionabilidad			PHET	Crocodile
Tipo de construcción de la simulación:	Construcción de simulación deductiva	Permite que el estudiante construya y compruebe modelos de sistemas cerrados controlados por reacción.	X	X
		El modelo de simulación dinámica representa conceptualmente la naturaleza cambiante de fenómenos de sistemas de una forma similar al fenómeno real.	X	X
		En este tipo de herramientas el modelo se concibe y se implementa antes de ser comprobado.	X	X
	Construcción de simulación inductiva	Permiten construir modelos dinámicos abiertos de sistemas de fenómeno.	X	X
		Cada vez que se añade un elemento al sistema, se puede comprobar el modelo para observar el efecto del nuevo elemento en el funcionamiento del sistema.	X	X
	Construcción de modelos causales cualitativos	Permite construir sistemas expertos basados en descripciones cualitativas de relaciones causales con hechos y reglas si- entonces, para la toma de decisiones.		
Construcción de modelos semánticos	Permite la representación de asociaciones semánticas entre conceptos dominantes dentro de un campo de conceptos.			
Tipo de Exploración del modelo simulado:	De caja negra	La simulación está previamente construida para que los estudiantes exploren y experimenten.	X	X
		No se explica el modelo implícito.	X	X
		Permite la manipulación de variables y la comprobación de los resultados de estas.	X	X
	De caja de cristal	El sistema necesita que el estudiante construya el modelo de forma explícita antes de comprobarlo.		
		Se puede hacer seguimiento al comportamiento del modelo subyacente en la simulación.		
		Permite la manipulación de variables y la comprobación de los resultados de estas.		

CONFIABILIDAD /FIABILIDAD

En la Tabla 3 se comparan aspectos de confiabilidad / fiabilidad en cuanto los sistemas de representación, nivel de abstracción, profundización, respaldo y validación de los simuladores PHET y Crocodile.

Tabla 3. Análisis comparativo en relación con la Confiabilidad /fiabilidad de simuladores

Confiabilidad / fiabilidad			
Sistema de representación	Los elementos del modelo o fenómeno a simular se representan con		
		PHET	Crocodile
	Íconos.	X	X
	Imágenes planas.	X	X
	Imágenes 3D de baja definición.	X	X
	Imágenes 3D de alta definición		
	Realidad aumentada		
	Otro: _____		
	Los cambios en el modelo o fenómeno a simular se representan con:		
	Datos numéricos o texto.	X	X
	Cambio de imágenes 2D.	X	X
	Movimiento animado.	X	X
	Otro:		
	El escenario donde se encuentra el modelo o fenómeno a simular se representan con:		
	Fondo unicolor.	X	X
	Imagen plana estática.	X	X
	Imagen plana en movimiento.		
	Imagen 3D estática.		
	Animación 3D con movimiento.		
	Otro: Animación plana _____	X	
	Simuladores PHET	Crocodile Physics - Technology	
Descripción del nivel de Abstracción de la simulación:	Presenta elementos contextualizados a la realidad e iconografía técnica	Presenta elementos contextualizados a la realidad e iconografía técnica dependiendo el módulo seleccionado.	
Descripción del nivel de profundización de la simulación:	permite de forma gráfica observar el movimiento de electrones, formas de onda, comportamiento de elemento, reacción en cadena de los fallos, valores de los elementos de forma dinámica	permite formas de onda, comportamiento de elemento, reacción en cadena de los fallos, valores de los elementos de forma dinámica	

Respaldo del software:	Fundado por Carl Wieman Premio Nobel de Física por su investigación experimental en física atómica. PhET interactivo simulación. Desarrollado por la Universidad de Colorado. Patrocinado por empresas como: Google.org, The William and Flora Hewlett Fundación JILA, ERCSME at King Saud University, Moore Foundation, New Schools Venture Fund, The National Science Foundation, The O'Donnell Foundation, C. Wieman and S. Gilbert, King Saud University, The Kavli Operating Institute	Modelos diseñados por Sumdog Ltd (Crocodile Clips).
Descripción de la validación de los resultados de simulación:	Los principios de diseño de simulación PhET se basan en la investigación sobre cómo aprenden los estudiantes (Bransford et al., 2000) y de las entrevistas de simulación. Entre cuatro y seis entrevistas de estilo Piensa en Voz Alta se realizan con estudiantes individuales con cada simulación. Estas entrevistas son una fuente rica de datos para el estudio de diseño de la interfaz y el aprendizaje del estudiante. El PhET Look and Fiel describe brevemente los principios de diseño de interfaz y una discusión completa se encuentra en varios artículos por Adams et al., (2008)	No se evidencia por parte los creadores las pruebas hechas para validar los resultados de la simulación.

Fuente: Elaboración propia

USABILIDAD

La Tabla 4 muestra la evaluación en términos de usabilidad en aspectos como la facilidad de instalación, disponibilidad de manual de usuario, entrenamiento, facilidad de uso e identificación de errores del simulador y si posible conectar sus resultados a otros softwares.

Tabla 4. Análisis comparativo en relación con la usabilidad de simuladores

Usabilidad		
	PHET	Crocodile
Facilidad de la instalación:	No requiere instalación.	Instalación sencilla tiempo estimado 2 minutos
Manual de usuario:	No se presenta manual de usuario oficial. Entorno presenta mensajes emergentes de ayuda.	Presenta pestaña de ayuda y manual en idioma inglés, y soporte técnico al usar licencias de pago.
Entrenamiento:	No requiere entrenamiento previo ya que presenta un menú básico de componentes y opciones en un solo tablero.	Por su mediana complejidad requiere tiempo de entrenamiento con espacio de trabajo librerías.
Facilidad de uso:	El entorno es intuitivo, iconos y lenguaje son habituales, el software presenta una complejidad de uso media.	el entorno es intuitivo, iconos y lenguaje son habituales, el software presenta una complejidad alta para estudiantes de educación media sin experiencia en uso de simuladores,
Aporte a errores de uso:	Indica los posibles errores mediante mensajes de alerta o gráficos de comportamiento.	Indica los posibles errores mediante mensajes de alerta o gráficos de comportamiento.
Posibilita la conexión de redes y bases de datos:	No permite extraer datos o bases de datos ni guarda perfiles de la simulación.	Permite exportar e importar archivos de simulación, bases de datos de las respuestas de los componentes o sistema simulado.

Fuente: Elaboración propia

EFICIENCIA

La Tabla 5 presenta los resultados comparativos frente a la eficiencia de los simuladores frente al rendimiento, comportamiento en el tiempo y uso de recursos.

Tabla 5. Análisis comparativo en relación con la eficiencia de simuladores

Eficiencia		
	PHET	Crocodile
Rendimiento:	Presenta rendimiento óptimo en relación a capacidad de maquina y exigencia de la simulación.	Presenta rendimiento óptimo en relación a capacidad de maquina y exigencia de la simulación.
Comportamiento con el tiempo:	es posible variar la velocidad de animación, indica cuando los valores exceden la capacidad de proceso	Es posible variar la velocidad de animación, indica cuando los valores exceden la capacidad de proceso
Uso de recursos:	Requerimiento básico ligado a navegador de internet o instalación de Java	Durante simulaciones complejas se generan tasas de uso de CPU y RAM superiores a 50% (tomado como referencia equipo Core i5 segunda generación, 4 kb de RAM)

Fuente: Elaboración propia

MANTENIMIENTO

La Tabla 6 muestra la comparativa frente al mantenimiento de los simuladores para lo cual no se evidencio manuales de mantenimiento.

Tabla 6. Comparativa en elemento mantenimiento de simuladores

Mantenimiento	
PHET	Crocodile
No se evidencia manual de mantenimiento, pero es posible apostar en el desarrollo o mejora de la herramienta.	No se evidencia manual de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

PORTABILIDAD

La Tabla 7 presenta las características de portabilidad de PHET y Crocodile.

Tabla 7. Comparativa en elemento portabilidad de simuladores

Portabilidad		
	PHET	Crocodile
Posibilidad de transferir el software de un entorno a otro:	Es fácilmente trasferible en entornos con sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux; También es posible empaquetar las versiones htm5 en aplicación para Android.	Es fácilmente trasferible en entornos con sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux.

Intercambio de datos:	Permite guardar esquemáticos de los circuitos simulados. Y ser usados con otras simulaciones de PHET.	Permite guardar esquemáticos de los circuitos simulados. Y ser usados con otras simulaciones.
-----------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA DIDÁCTICA

Tabla 8. muestra la estrategias o propuestas didácticas brindadas por los simuladores y disponibles para integrar su uso en el aula.

Tabla 8. Comparativa en elemento propuesta didáctica de simuladores

Propuesta didáctica	
PHET	Crocodile
Pone a disposición de los usuarios el procedimiento de uso libre para creación de actividades con las simulaciones interactivas bajo enfoque de indagación guiada.	No se evidencia.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Los simuladores gráficos computacionales identificados presentan diferencia significativa en el año de publicación y Crocodile tiene desventaja ya no es posible instalarlo en dispositivos con sistema operativo Android. Así mismo PHET presenta ventaja al ser un software de uso libre de a tabla 1.

En términos de funcionalidad los simuladores PHET y Crocodile presenta similitudes en el tipo de construcción de la simulación evaluados desde la perspectiva propuesta por Jonassen, (2004) , al presentar una construcción con aspectos de simulación deductiva e inductiva según el módulo o librería que se use. Adicional presentan un tipo de exploración del modelo simulado de caja negra ya que la simulación esta previamente construida y no se explica el modelo implícito.

Frente a la comparativa de confiabilidad/fiabilidad de los simuladores PHET y Crocodile, presentan similitud en el sistema de representación y nivel de abstracción. Pero PHET establece

un nivel de profundización grafico ajustado a educación media; esta característica puede ser aprovecha en la implementación de la propuesta pedagógica ya que, al reconocer el tipo de sistema simbólico, el docente planifica a intensión el uso del simulador en el proceso de aprendizaje teniendo en cuenta que las personas usan los sistemas simbólicos para regular sus procesos mentales y la actividad de las otras personas mediante la interacción y comunicación (Coll, 2004).

Se resalta que los simuladores PHET a presenta respaldo de un equipo interdisciplinario de la universidad del colorado y más de 50 organizaciones internacionales que patrocinan su desarrollo(Colorado, 2020), frente a Crocodile desarrollado por la empresa Sumdog Ltd.

En cuanto a la usabilidad de Crocodile presenta manuales de usuario, posibilidad de exportar datos y por su complejidad requiere entrenamiento previo a su uso para estudiantes de ecuación media. En cuanto a su entono ambos son intuitivos y presentan sistemas de alerta en mensajes e iconos.

Respecto a la eficiencia los simuladores presentan características similares, pero para su uso Crocodile consume mayores recursos de máquina. En temas de mantenimiento los simuladores no evidencian requerimientos. Como característica de portabilidad ambos pueden ser ejecutados en sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux, pero únicamente PHET puede ser usado desde Android en su versión html5.

Aplicada la guía de Ayala y Salinas (2019) para el análisis descriptivo de la funcionalidad de los simuladores PHET y Crocodile, se establece que por sus características los simuladores PHET presentan un mayor grado de adaptabilidad al contexto, aporte al cumplimiento de los objetivos de aprendizaje y competencias a desarrollar dentro del proyecto de investigación “aprendizaje de conceptos en física eléctrica integrando simuladores”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, W. K., Reid, S., Lemaster, R., McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., & Wieman, C. E. (2008). A study of educational simulations Part 1 - Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397–419.
- Albarracín, R., & Ramírez, M. (2017). Aplicación del sistema 4MAT apoyado en las simulaciones PhET para el desarrollo de competencias científicas empleando como eje de aprendizaje el tema de ondas. *Latin-American Journal of Physics Education*, 11(3), 8. <http://www.lajpe.org>
- Amaya, G. (2011). La simulación computarizada como instrumento del método en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la física, desde la cognición situada: ley de OHM. *Actualidades Investigativas en Educación*, 8(1). <https://doi.org/10.15517/aie.v8i1.9321>
- Ayala, J., & Salinas, J. (2019). Instrumento de análisis para seleccionar simuladores educativos. *XXII Congreso internacional tecnología e innovación para la diversidad de los aprendizajes EDUTEC*. https://www.researchgate.net/publication/340633383_Instrumento_de_analisis_para_seleccionar_simuladores_educativos
- Batanero, C. (2001). *Aleatoriedad, Modelización, Simulación*. <http://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/Jaem2001.pdf>
- Benjumea, A. L. (2016). La Simulación, una herramienta para el aprendizaje de los conceptos físicos. *Tesis*, 91.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Suzanne Donovan, M., & Pellegrino, J. W. (2000). *How People Learn*. <http://www.nap.edu>
- Coll, C. (2004). Psicología de la educación y prácticas educativas mediadas por las tecnologías de la información y la comunicación: una mirada constructivista. *Sinéctica*, 25, 1–24. http://biblio.uoc.es:443/docs_elec/2704.htm
- Colorado, U. de. (2013). *Física - Simulaciones PhET*. <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics>
- Cortes, A. B. (2016). *Desarrollo de un entorno de simulación 3D como herramienta de apoyo para la enseñanza de la física Universidad de monterrelos facultad de ingeniería y tecnología*.
- Crawford, M. L. (2004). *Enseñanza Contextual. Investigación, Fundamentos y Técnicas para Mejorar la Motivación y el Logro de los Estudiantes en Matemática y Ciencias*. www.cord.org
- Cunguan, M. L. (2019). Modelización de las Leyes de Newton en el cuerpo humano y la enseñanza interactiva mediante el uso

del simulador PhET en los estudiantes de primero de bachillerato técnico en mecánica automotriz (EMA) de la Unidad Educativa Rumiñahui ubicada en la ciudad d. Quito: UCE.

- Duart, J. M., & Sangrá, A. (2005). Formación universitaria por medio de la web: un modelo integrador para el aprendizaje superior (23-49), Aprender a lo largo de la vida y las nuevas tecnologías (51-60), Educar en valores por medio de la web (61-75), La motivación como interacción entre. *Aprender En La Virtualidad*.
- Duran, D. (2019). Actitud de los estudiantes hacia la física con la implementación del uso de simuladores de fenómenos físicos en clases.
- Faúndez, C. A., Bravo, A. A., Ramírez, G. P., & Astudillo, H. F. (2017). Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el proceso de enseñanza-aprendizaje de conceptos de termodinámica como herramienta para futuros docentes. *Formacion Universitaria*, 10(4), 43–54. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000400005>
- Fiallos, C. (2012). *Los simuladores educativos*. <http://cinthyaarquelfiallos.blogspot.com/2012/04/simuladores.html>
- Gutierrez, C. (2019). *FISICA II* (MC GRAW HILL (ed.)).
- Hernández, J. E., Timóteo, D. J. A., & Kuleshov, V. (2016). *PhET: Alternative and effective tool in the teaching of the topic “Alternating Current”*; PhET: Herramienta alternativa y eficaz en la enseñanza del tema “Corriente Alterna.” *Proceedings 4to Coloquio Internacional CIFAC*, 11 pages.
- Huppert, J., Lomask, S., & Lazarowitz, R. (2002). Computer simulations in the high school: Students’ cognitive stages, science process skills and academic achievement in microbiology. *International Journal of Science Education*, 24(8), 803–821. <https://doi.org/10.1080/09500690110049150>
- Jonassen, D. (2004). *Del Docente Presencial Al Docente Virtual*. <https://www.slideshare.net/marlonint45/del-docente-presencial-al-docente-virtual>
- Llamas, L. (2015). *Física II*. Secretaría de Educación Pública. <https://www.dgb.sep.gob.mx/servicios-educativos/telebachillerato/LIBROS/4- semestre-2016/Fisica-II.pdf>
- Lucero, I. (2015). Resolviendo problemas de Física con simulaciones: un ejemplo para el ciclo básico de la educación secundaria. *X Congreso de Tecnología En Educación & Educación En Tecnología*, 645–653. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/49071>
- Macías, E. R. (2018). Desarrollo de una estrategia didáctica mediada por MEC para el estudio de oscilaciones y ondas. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2329>
- Martinez, J. E. (2016). PhET. Percepciones y contribucion del uso de simulaciones en el aprendizaje de los conceptos de energia para un curso de fisica general de la ensenanza tecnica. <http://arxiv.org/abs/1606.00245>
- Méndez, D. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educacion XX1*, 18(2), 215–235. <https://doi.org/10.5944/educXX1.14016>

- Ministerio de Educación Nacional. (2006). Estándares Básicos de Competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas. *Revolución Educativa*, 3, 1–184. https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-340021.html?_noredirect=1
- Morales, G. N. (2018). Simulación computacional del concepto de gradiente alternante: una propuesta para el acercamiento a la física de aceleradores. Trabajo de grado <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/11273>
- Morales, I., & Infante, E. (2005). *Física 2* (Norma (ed.)).
- Navarro, J. (2015). Definición de Simulador. Definición ABC. <https://www.definicionabc.com/tecnologia/simulador.php>
- Neira, A., Ochoa, O., Avendaño, O., & Vacca, J. (2018). Plan de área ciencias naturales y educación ambiental - *Institución Educativa Enrique Suarez - Almeida* (p. 50).
- Nieda, J., & Macedo, B. (1997). Importancia de la enseñanza de las ciencias en la sociedad actual. In *Un Currículo Científico Para Estudiantes De 11 a 14 Años* (pp. 19–24). <https://www.oei.es/historico/oeivirt/curricie/curri01.htm>
- Peñata, A. E., Camargo, E. A., & Garcia, L. F. (2019). Implementación de simulaciones virtuales en la enseñanza de física y química para la educación media en la subregión de Urabá, Antioquia. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Quevedo, L. (2013). *Diseño instruccional en simuladores de física*. https://repositorial.cuaed.unam.mx:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4413/Lidice_Quevedo_Diseño_Instruccional_en_simuladores_de_fisica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Raviolo, A., Alvarez, M., & Aguilar, A. (2011). La hoja de cálculo en la enseñanza de la Física: re-creando simulaciones. *Revista de Enseñanza de La Física*, 24(1), 97–107. <http://rid.unrn.edu.ar/jspui/handle/20.500.12049/2356>
- Rodríguez-Hernández, A. (2010). Definición, descripción y estudio de los simuladores en SOFTWARE libre utilizados para el aprendizaje de la física. *Revista De Investigaciones UNAD*, 9(1), 153-169. <https://doi.org/10.22490/25391887.657>
- Rojas, D., & Castaño, J. (2016). *Proyecto saberes física 11* (Santillana (ed.)).
- Ruiz-Macías, E., & Duarte, J. E. (2018). Diseño de un material didáctico computarizado para la enseñanza de Oscilaciones y Ondas, a partir del estilo de aprendizaje de los estudiantes. *Revista de investigación, desarrollo e innovación*, 8(2), 295. <https://doi.org/10.19053/20278306.v8.n2.2018.7966>
- Sanchez, N. (2018). Aprendizaje del concepto de trabajo mecánico con simulaciones virtuales a través de una secuencia didáctica. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/1151>
- Sanhueza, S., Bravo, A., Faúndez, C., & Utreras, E. (2018). Las TIC como herramientas cognitivas de inclusión en clases de física para estudiantes de enseñanza secundaria. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de Las Ciencias*, 13(2), 306–324. <https://doi.org/10.14483/23464712.12585>
- Shannon, R. (1988). Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación.

- Thomas, R. C., & Milligan, C. D. (2004). Putting Teachers in the Loop: Tools for Creating and Customising Simulations. *Journal of Interactive Media in Education*, 2004(2), 24. <https://doi.org/10.5334/2004-15>
- Torres, Á., Bañón, D., & López, V. (2017). Empleo de smartphones y apps en la enseñanza de la física y química. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas, Extra*, 671. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/334743>
- Torres, S. (2005). Propuesta metodológica de enseñanza y aprendizaje de la geometría, aplicada en escuelas críticas. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2005/lastra_s/sources/lastra_s.pdf
- UNESCO. (1999). Declaración sobre la ciencia y la utilización del conocimiento científico. (Conferencia Mundial sobre la Ciencia). *Acta de La Conferencia Mundial Sobre Las Ciencias Del Primero de Julio de 1999.*, 1–8. https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/684760/EM_2_8.pdf?sequence=1
- Velasco, J., & Buteler, L. (2017). Computational simulations in physics education: A critical review of the literature. In *Ensenanza de las Ciencias* (Vol. 35, Issue 2, pp. 161–178). Universitat Autònoma de Barcelona. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2117>
- Velásquez, Á. (2009). Importancia de la instrumentación y la simulación de fenómenos naturales dentro de la formación en ciencias aplicadas (p. 32).
- Wieman, C., Adams, W., & Perkins, K. (2008). Physics. PhET: Simulations that enhance learning. In *Science* (Vol. 322, Issue 5902, pp. 682–683). <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Yáñez, A. F. (2018). Simulador PhET en la enseñanza de las cargas eléctricas en movimiento en los estudiantes de tercero de bachillerato de la Unidad Educativa “Paúl Dirac”, durante el año lectivo 2017-2018. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15336/1/T-UCE-0010-MF028-2018.pdf%0Ahttp://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15336>