



El uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física: una revisión sistemática

The Use of PhET Simulations in Physics Teaching: A Systematic Review

Raimundo Nonato de Medeiros Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, João Câmara, Brasil

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal
nonato.junior@ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2580-0795>

Marco Paulo Duarte Naia

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal
Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes,

Coimbra, Portugal

duarte@utad.pt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9295-3671>

Joaquim Bernardino de Oliveira Lopes

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação

de Formadores, Aveiro, Portugal

blopes@utad.pt

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9961-1538>

RESUMEN • En la última década, se ha observado un aumento del número de publicaciones relacionadas con el uso de simuladores en la enseñanza de la física, en medio de un incremento de la oferta y la variedad de este tipo de recurso. En este contexto, el proyecto *PhET Interactive Simulations* es reconocido por sus más de dos décadas de actividad en el desarrollo y la compartición de aplicaciones para simular experimentos virtuales. Este estudio es una revisión sistemática de la literatura centrada en la enseñanza de la física mediante el uso de simulaciones PhET. Los resultados mostraron que las simulaciones PhET se utilizaron generalmente en investigaciones con enfoques de indagación y combinadas con otros recursos educativos. En conclusión, se obtienen mejores resultados de aprendizaje cuando la simulación PhET desempeña un papel central en actividades centradas en el alumnado.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de la física; Revisión de literatura; Simulación informática; Tecnologías de la información y la comunicación.

ABSTRACT • Over the last decade, the number of publications about the use of simulators in physics teaching has increased, alongside the growing availability and variety of such resources. In this context, the PhET Interactive Simulations project has been recognised for more than two decades of activity in developing and sharing applications that simulate virtual experiments. This study presents a systematic literature review that is focused on physics teaching using PhET simulations. The results show that PhET simulations are generally used in inquiry-based studies and in combination with other educational resources. In conclusion, it is argued that better learning outcomes are achieved when PhET simulations play a central role in learner-centred activities.

KEYWORDS: Physics education; Literature review; Computer simulation; Information and communication technologies.

Recepción: junio 2024 • Aceptación: abril 2026 • Publicación: junio 2026

de Medeiros Júnior, R. N., Duarte Naia, M. P. y de Oliveira Lopes, J. B. (2026). El uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 44(2), 5-27.

<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6230>

INTRODUCCIÓN

El *Physics Education Technology* (PhET), proyecto de la Universidad de Colorado Boulder que hoy es conocido como Simulaciones Interactivas PhET (*PhET Interactive Simulations*), fue fundado por Carl Wieman, galardonado con el Nobel de Física en 2001, quien utilizó los fondos del premio para crear el PhET en 2002. Aunque sus orígenes están en el campo de la física, desde su predecesor, el proyecto Physics 2000, el PhET pone actualmente a disposición de toda la comunidad académica más de un centenar de simulaciones interactivas y gratuitas, no solo para la enseñanza de la física, sino también para la de las ciencias naturales y las matemáticas (Goldman et al., 2000; Khatri et al., 2014; PhET, 2023; Roll et al., 2018). El PhET se concibió inicialmente para la enseñanza universitaria, pero a lo largo de su historia también se ha extendido a otros niveles educativos (Khatri et al., 2014).

Al acceder a la página de simulaciones del sitio web de PhET, se dispone de seis bloques de filtros con una estructura organizativa de hasta dos niveles para seleccionar simulaciones, categorizadas por «asignatura», «grado escolar», «compatibilidad», «tipo de lanzamiento», «funciones inclusivas» e «idioma». En el bloque de asignaturas, los primeros filtros incluyen: «Física», «Matemáticas», «Química», «Ciencias de la Tierra» y «Biología», con sus respectivas temáticas, que pueden seleccionarse mediante una segunda capa de filtros. En el caso de la física, los temas disponibles son: «Movimiento», «Sonido y Ondas», «Trabajo, Energía y Potencia», «Calor y Termo», «Fenómenos Cuánticos», «Luz y Radiación» y «Electricidad, Imanes y Circuitos» (PhET, 2023).

El proceso de distribución de las simulaciones PhET es único y se distingue de otras iniciativas similares por su capacidad para establecer un canal de interacción con la comunidad global. Al utilizar el menú «Enseñanza > Buscar Actividades» del sitio web, es posible buscar en el repositorio PhET actividades preexistentes, desarrolladas tanto por miembros del equipo PhET como por usuarios, para usar con las respectivas simulaciones. Entre los tipos de actividades admitidas se encuentran: «demostración», «discusión», «actividad guiada», «tarea para la casa» y «laboratorio» (PhET, 2023).

Teniendo en cuenta que estas simulaciones son de las más utilizadas en las clases de física, con más de 45 millones de usos al año (Fratamico et al., 2017; Roll et al., 2018), este trabajo propone una revisión sistemática de la literatura, con el objetivo de identificar, caracterizar y sintetizar la producción científica relacionada con la utilización de las simulaciones PhET en todos los niveles de enseñanza de la física, a lo largo de dos décadas de actuación del proyecto. Para alcanzar este objetivo, se han formulado las siguientes preguntas de investigación:

- Pl1 En el contexto de la integración de las simulaciones PhET en la enseñanza de la física, ¿cómo se caracterizó la producción científica a lo largo de dos décadas de actividad del proyecto?
- Pl2 ¿Cómo se utilizaron las simulaciones PhET en la enseñanza de la física?

MARCO TEÓRICO

La tecnología aplicada al aprendizaje con la ayuda de ordenadores aparece en un contexto de Computer Assisted Learning (CAL), un movimiento impulsado por programas gubernamentales estadounidenses y soviéticos en la década de 1970, inicialmente dirigido a la enseñanza superior, sobre todo en las áreas de ingeniería, matemáticas y ciencias naturales. Desde esta perspectiva, Harding (1980) propuso tres modelos de CAL: «instruccional», «descubrimiento» y «conjetural». Stratford (1997) también realizó una caracterización de las actividades desarrolladas con el apoyo de simulación.

A continuación, Bayraktar (2001) buscó resultados en el contexto de la instrucción asistida por ordenador (Computer Assisted Instruction - CAI), concluyendo que el uso de simulaciones acompañadas de tutoriales es más eficaz que la resolución de ejercicios y actividades prácticas. Entre los diversos

recursos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), Webb y Cox (2004) verificaron que los laboratorios virtuales aumentan las posibilidades de exploración de las experiencias científicas al proporcionar más tiempo para los conceptos y procesos que antes se empleaba en los procedimientos mecánicos de los experimentos de laboratorio. Otros resultados, obtenidos por Bryan (2006), revelaron que el uso eficaz de la tecnología en el aprendizaje depende más de las prácticas docentes que de las aplicaciones en sí mismas.

Protagonismo en el uso de la simulación y la agrupación para el uso de los recursos

Más recientemente, Rutten et al. (2012) investigaron los efectos de las visualizaciones disponibles y de los diferentes tipos de apoyo del profesor, e identificaron cuatro componentes de la estrategia de apoyo: estructural, reflexivo, de contenido y de enriquecimiento. Observaron que el componente estructural tuvo un mayor impacto en los resultados de aprendizaje y que las actividades deben estar lo más centradas posible en el alumno. El protagonismo del uso de las simulaciones puede estar centrado en el *profesor*, cuando es él mismo quien demuestra la simulación, o en el *alumno*, mediante actividades dirigidas a los estudiantes (Drijvers et al., 2010; Hollebrands y Okumuş, 2018; Lopes y Costa, 2019; Tabach, 2011). Estas actividades pueden ser *individuales* o *colectivas* (Drijvers, 2011; Drijvers et al., 2010, 2013, 2020; Tabach, 2011), en *gran grupo* o *pequeño grupo*. Este último se caracteriza por la intención de estimular discusiones y colaboraciones entre los grupos (Ferreira et al., 2019).

Papel de la simulación en la sesión de clase y enfoque didáctico

Por su parte, Smetana y Bell (2012) trataron de comprender los efectos de las simulaciones en el aprendizaje de las ciencias, ya que varios estudios se han centrado en su uso como preparación para las actividades de laboratorio o como una alternativa a la enseñanza tradicional. Según Lopes y Costa (2019) y Schwarz et al., (2007), las simulaciones pueden desempeñar un papel *central* en el aprendizaje, siempre que se reconozca su protagonismo y se ofrezcan a los estudiantes las oportunidades adecuadas para desarrollar su autonomía y esfuerzo productivo, o como recurso *auxiliar*, cuando el instrumento tenga un papel complementario dentro del contexto educativo.

Además, las simulaciones pueden utilizarse con un enfoque didáctico de *confirmación*, cuando las acciones se limitan únicamente a validar conceptos previamente enseñados en la sesión de clase (Ferreira et al., 2019), o a través del aprendizaje basado en la *indagación*, que desafía a los estudiantes a usar los recursos para investigar y explicar un fenómeno mediante prácticas epistémicas (Ferreira et al., 2019; Huang et al., 2017; Lehtinen et al., 2019; Ludwig et al., 2021; Pinto et al., 2014), según indican las directrices del proyecto PhET (Fan et al., 2018; Khatri et al., 2014; PhET, 2014).

Simulaciones en la enseñanza de la física

En relación con el proyecto PhET, Banda y Nzabahimana (2021) revisaron la literatura publicada en la última década, en la que analizaron estudios específicos sobre el aprendizaje por indagación o basado en problemas, experimentación en laboratorios virtuales y modelos de apoyo. Sin embargo, en su revisión no abordaron aspectos importantes para la práctica docente, como quién es el protagonista en el uso de la simulación, el papel que esta desempeña en el proceso de aprendizaje y el enfoque didáctico más empleado. Además, estos autores se centraron exclusivamente en el uso de las simulaciones PhET como única metodología de enseñanza, herramienta o apoyo para facilitar la comprensión conceptual en física, dejando de lado varias publicaciones relevantes que exploraban simulaciones PhET asociadas a otros recursos educativos, temática de interés para el presente estudio.

La línea de tiempo de la Fig. 1 esquematiza las revisiones de la literatura sobre el uso de simulaciones en la enseñanza de la física a lo largo de las últimas cuatro décadas.

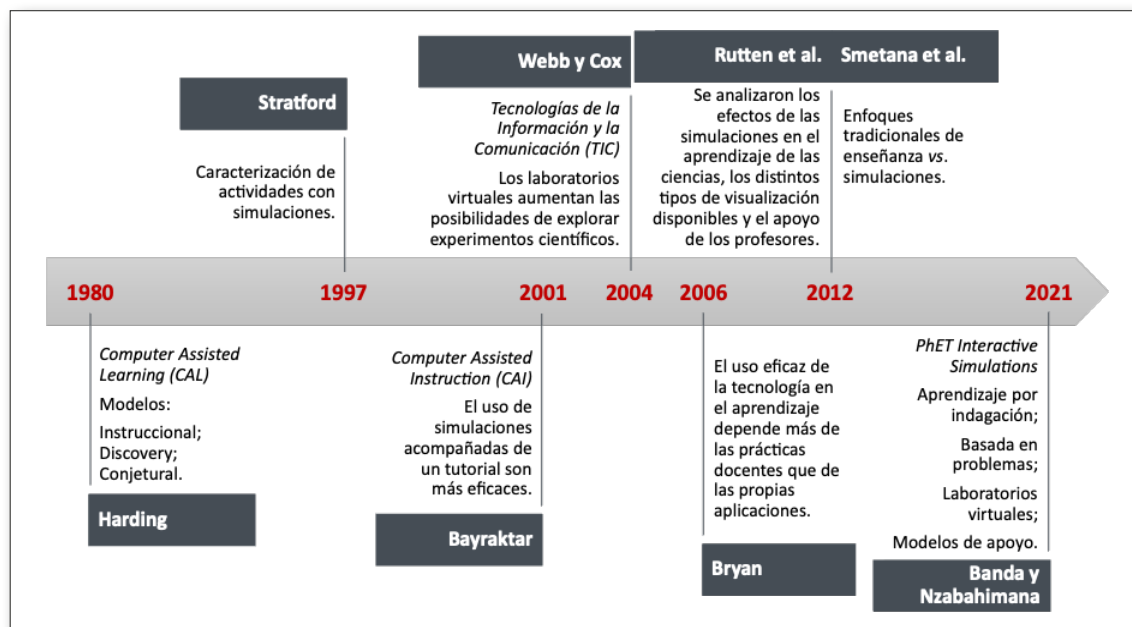


Fig. 1. Cronología de las revisiones de la literatura correlacionada.

A partir de las referencias citadas, el presente estudio contribuye a la literatura con información sistematizada sobre el uso de las simulaciones PhET en la enseñanza de la física, a lo largo de un amplio período temporal. Este período se extiende desde la fundación del PhET en 2002 hasta mediados de 2022. Al abordar la PI 1, se complementó la literatura de revisión previa con datos sobre el uso del PhET, como la distribución geográfica, los temas de la física, las simulaciones utilizadas y los niveles y modalidades de enseñanza. A través de la PI 2, se intentó llenar el vacío existente en la investigación sobre las circunstancias que hacen eficientes las simulaciones PhET. Para ello, se analizó cómo se utilizaron las simulaciones PhET en la enseñanza de la física (si desempeñaron un papel central o auxiliar en la sesión de clase, qué tipo de actividades se desarrollaron y si el protagonismo en su uso estuvo comúnmente centrado en el profesor o en los estudiantes).

METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo sigue las directrices establecidas para un estudio de revisión sistemática de la literatura (Honório y Santiago Junior, 2021; Kitchenham y Charters, 2007; Moher et al., 2016; Roever, 2020; Tsafnat et al., 2014), con el objetivo de identificar, caracterizar y sintetizar toda la producción científica indexada, relativa al uso del PhET en 20 años de proyecto, y tomando como referencia las preguntas de investigación. Con este propósito, se seleccionaron las bases de datos ERIC, Scopus, IOP Science y Web of Science (WOS). Para la selección de las bases de datos utilizadas, se tuvo en cuenta la garantía de revisión por pares.

Todo el proceso se estructuró y esquematizó mediante el protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021) y las preguntas de investigación se definieron a partir de la estrategia PIO (population or problem, intervention and outcome) (Stone, 2002).

Estrategia de búsqueda

Establecidas las bases de datos para la investigación, se realizaron búsquedas en «Todos los campos» en cada una de las bases mencionadas anteriormente. Para formular la ecuación de búsqueda, inicialmente se elaboró una lista de verificación de palabras clave asociadas al tema, que se combinaron para obtener una cantidad representativa de datos y soportar todas las fases del proceso de revisión. También se realizó una investigación exploratoria para lograr una mejor adecuación entre los términos, sus sinónimos y operadores, y así seleccionar de manera definitiva el canteado que se empleó en la ecuación de búsqueda.

La siguiente ecuación de búsqueda representa el contenido implementado en las bases de datos: «(education OR teach* OR learn*) AND PhET AND (physics OR “teaching physics”)».

Criterios de selección

Tras realizar el estudio exploratorio para optimizar la ecuación de búsqueda, se inició la selección de los artículos y se recolectaron los datos. Los criterios previos adoptados fueron los siguientes: (1) artículo de revista; (2) disponible en español, inglés o portugués; (3) publicado entre 2002 y 2022.

Para gestionar los artículos y apoyar el desarrollo de las etapas preestablecidas en el protocolo PRISMA 2020, se utilizó una herramienta informática denominada StArt (State of the Art through Systematic Review). En primer lugar, se analizaron el título, el resumen, las palabras clave, la fuente, el año y el tipo de publicación, y se realizó una preselección basada en los siguientes criterios de inclusión y exclusión, que se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1.
Criterios de selección de los artículos

<i>Tipo</i>	<i>Criterios</i>
Inclusión	– Utiliza la plataforma PhET. – Está relacionado con la enseñanza de la física.
Exclusión	– No está disponible en español, inglés ni portugués. – Revisión, libro, editorial, actas de congresos. – No está disponible en acceso abierto o mediante acuerdos institucionales. – No utiliza simulaciones PhET. – Aplicado al contexto científico en general, no específicamente a la enseñanza de la física.

En los casos en que se tuvieron dudas sobre la selección previa de una publicación, se buscó el término PhET en el texto de los artículos para identificar el contexto real de inserción de la sigla.

A continuación, se procedió a la lectura de los artículos para refinar la selección de los trabajos que seguían siendo relevantes para la investigación, y se obtuvo una lista de las publicaciones que se incluyeron en las fases de extracción y sistematización de datos.

Protocolo PRISMA 2020

Una vez iniciada la ejecución de la metodología planificada, se realizó el barrido definitivo en cada una de las bases de datos consultadas el día 4 de junio de 2022. Con la ecuación de búsqueda en su versión final, se encontraron 1589 trabajos que relacionan el PhET y la enseñanza de la física. El mayor porcentaje fue indexado por Scopus, contabilizando el 78% de los registros, seguido por IOP y

WOS, con el 13 y el 7%, respectivamente. La menor proporción se obtuvo en ERIC, con solo el 2% de las referencias localizadas. De este total, se identificaron 264 duplicados — 173 automáticamente mediante el programa StArt y otros 91 a lo largo del proceso de análisis — lo que resultó en 1325 ocurrencias para la siguiente etapa.

Durante la fase de cribado, que consistió básicamente en la lectura de los títulos, los resúmenes, las palabras clave y en la observación de la fuente, el año y el tipo de publicación, se contabilizaron 1219 artículos excluidos y 106 incluidos para la siguiente fase. Cabe destacar que varios artículos fueron excluidos por a la aplicación de más de un criterio de exclusión. La Fig. 2 representa las etapas del flujo sistémico que ocurre en este tipo de revisión de la literatura y evidencia la aplicación del conjunto de criterios de exclusión, de acuerdo con lo sugerido por el protocolo PRISMA 2020.

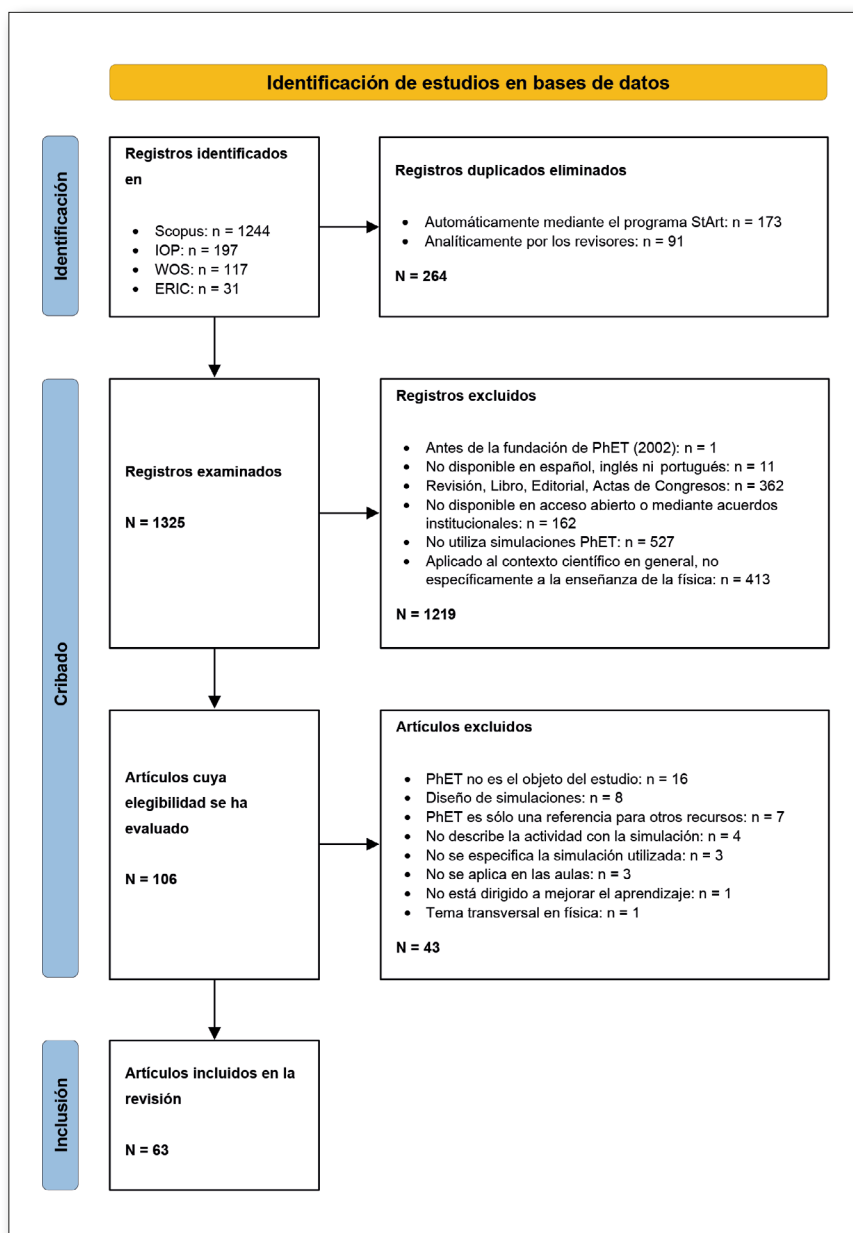


Fig. 2. Diagrama de flujo de la selección de los estudios según el protocolo PRISMA 2020.

A continuación, se procedió a la lectura de los artículos y se rechazaron 43 publicaciones, conforme a la ordenación de las ocurrencias registradas en el diagrama de flujo de la Fig. 2, con el fin de evitar exclusiones por más de un criterio.

Para responder las preguntas de investigación, se seleccionaron trabajos que abordaron esencialmente la enseñanza de la física apoyada por simulaciones PhET, llevadas a cabo en el aula de forma presencial o remota. Este conjunto corresponde a los 63 artículos incluidos en la revisión.

Extracción de datos

Tras la fase de selección, se extrajeron los datos correspondientes a los artículos que finalmente se incluyeron en la revisión. La producción científica asociada al proyecto PhET se categorizó según el origen geográfico de los estudios, los temas de física que abordan (según lo preestablecido en el sitio web de PhET), las simulaciones a las que se refieren los estudios y los niveles y modalidades de enseñanza. En el ámbito de la enseñanza de la física, las publicaciones se categorizaron en función del protagonista en el uso de la simulación y la agrupación para el uso de los recursos, el papel de la simulación y el uso de otros recursos, el enfoque didáctico y los tipos de actividades desarrolladas. Estos aspectos se estructuran en la Tabla 2.

Tabla 2.
Datos extraídos de los artículos

<i>Instancia</i>	<i>Categoría</i>	<i>Criterios/Opciones</i>
Caracterización de la producción científica seleccionada	Origen geográfico	Localización donde se realizó lo estudio
	Temas de la física ^a	Movimiento
		Sonido y Ondas
		Trabajo, Energía y Potencia
		Calor y Termo
		Fenómenos Cuánticos
		Luz y Radiación
		Electricidad, Imanes y Circuitos
	Simulaciones utilizadas	Simulaciones a las que se refiere
	Niveles educativos	Educación infantil (hasta 5 años)
		Educación básica (6-14 años)
		Educación secundaria ^b (15-18 años)
		Educación universitaria ^c (18+ años)
El uso de las simulaciones en la enseñanza	Modalidad de enseñanza	Presencial
		A distancia
		Remoto (síncrono y asíncrono)
		Híbrido
	Protagonista en el uso de la simulación	Profesor
		Estudiante
	Agrupación para el uso de los recursos	Sin agrupación: individual
		Colectivo: gran grupo
		Colectivo: pequeño grupo

<i>Instancia</i>	<i>Categoría</i>	<i>Criterios/Opciones</i>
El uso de las simulaciones en la enseñanza	Papel de la simulación en la sesión de clase	Central
		Auxiliar
	Uso de PhET con otros recursos	Simulación PhET como única herramienta
		Simulación PhET asociada a otros recursos
	Enfoque didáctico	Confirmación
		Indagación
	Tipo de actividades ^d	Demostración
		Discusión
		Actividad guiada
		Tarea para la casa
		Laboratorio

Nota. ^a La clasificación se ha extraído de PhET (2023). ^b Incluye los cursos técnicos y profesionales. ^c Se refiere a la educación universitaria o de postgrado, e incluye las licenciaturas (física, ingeniería, etc.), así como grados destinados a la formación docente, además de cursos para el desarrollo profesional de profesores en ejercicio. ^d Como el proyecto PhET no define cada tipo de actividad, esta categoría se clasificó en función de la terminología utilizada en los propios artículos. Se excluyeron de esta clasificación «alineación», debido a su esencia relacionada con la reformulación de currículos, lo cual está fuera del alcance de esta investigación, así como «preguntas de opción múltiple», para evitar confusión con instrumentos comúnmente utilizados para medir la eficacia de las intervenciones, y «aprendizaje en línea», ya que esto ya fue contemplado en las modalidades de enseñanza. A través del repositorio PhET, también se buscaron actividades relacionadas con las autorías de los trabajos, a medida que estos fueron siendo revisados.

Además, se buscó en el repositorio PhET por materiales con los nombres de los autores de estos estudios. Esta evaluación se realizó en paralelo a la lectura de los artículos y se concluyó el 7 de febrero de 2023.

Una vez finalizado el proceso de extracción, los datos recopilados se sometieron a análisis. Para responder a las preguntas de investigación, se utilizó estadística descriptiva para representar el conjunto de trabajos incluidos en la revisión, caracterizando la producción científica relativa al proyecto PhET, así como el uso de sus simulaciones en la enseñanza de la física.

RESULTADOS

Caracterización de la producción científica seleccionada

Origen geográfico

Las investigaciones sobre la enseñanza de la física con simulaciones PhET no están muy extendidas en el mundo iberoamericano. La Fig. 3 muestra la distribución espacial de los datos de acuerdo con el lugar donde se realizaron los estudios.

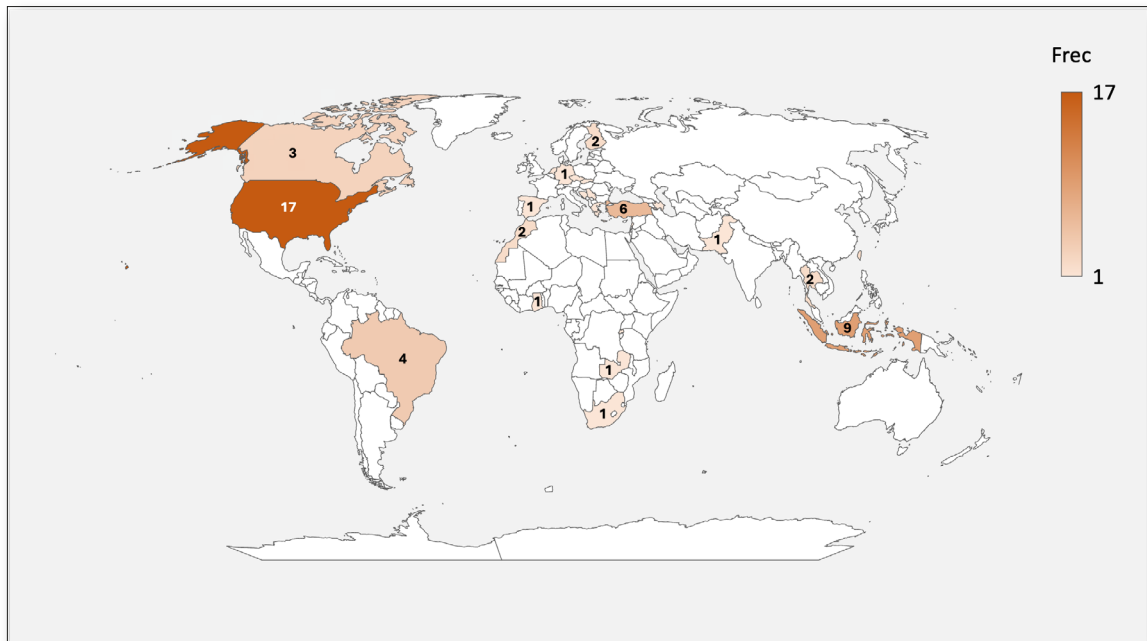


Fig. 3. Países donde se realizaron los estudios.

En virtud de los esfuerzos de creación y divulgación del proyecto PhET, Estados Unidos ocupó naturalmente el primer lugar en la escala con 17 publicaciones, como se muestra en el mapa de la Fig. 3. Además de los EE. UU., la ilustración revela que este tipo de producción científica se ha difundido a otros países, como Indonesia (9 artículos), Turquía (6 artículos), Brasil (4 artículos) y Canadá (3 artículos).

Temas de la física

La Fig. 4 muestra la clasificación de los artículos por temas de física, según la división establecida en el sitio web de PhET.

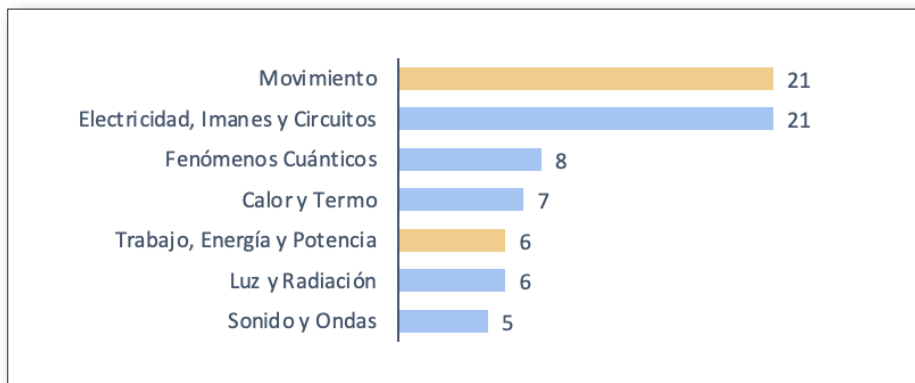


Fig. 4. Distribución de los artículos entre los temas de la física. *Nota.* Debe tenerse en cuenta que la suma de los valores representados en el gráfico no coincide con el total de 63 artículos, ya que algunos de los estudios abordan más de un tema.

A través de la Fig. 4, se observa una distribución desigual de las investigaciones entre las diferentes ramas de la física. La mayoría de los estudios se centraron en mecánica (destacada en el gráfico), con un total de 27 publicaciones, compuestas por 21 artículos sobre movimiento y 6 sobre trabajo, energía y potencia. Le siguen los contenidos relativos al electromagnetismo, con 21 trabajos. Por otro lado, las áreas menos investigadas corresponden a física moderna y térmica, así como óptica y ondas, variando entre 11 y 15 publicaciones.

Simulaciones a las que se refieren los estudios

La Tabla 3 asocia cada una de las simulaciones utilizadas con los respectivos estudios y sus cantidades. En la columna de la extrema derecha se muestra el resultado del número de actividades encontradas en el repositorio PhET en los nombres de los autores de dichos estudios. La repetición de las referencias en la Tabla 3 se debe a que algunos de los trabajos hicieron un uso plural de estas aplicaciones.

Tabla 3.
Distribución por uso de las simulaciones PhET

<i>Simulación PhET</i>	<i>Estudios</i>	<i>N. de estudios</i>	<i>N. de activ. Repositorio PhET</i>
Kit de Construcción de Circuitos	[4], [6], [10], [11], [12], [14], [23], [25], [32], [33], [38], [39], [46], [51], [52], [57]	16	1
Fuerzas y Movimiento	[16], [31], [41], [49], [54], [56]	06	
Energía en la pista de patinaje	[7], [18], [45], [59]	04	
Efecto Fotoeléctrico	[3], [22], [42], [58]	04	1
Reflexión y Refracción de la Luz	[15], [48], [57], [60]	04	
Interferencia de Ondas	[2], [55], [57], [62]	04	1
Propiedades de los Gases	[26], [28], [57], [63]	04	
Laboratorio de Péndulo	[21], [54], [61]	03	2 ^a
Masas y Resortes	[54], [57], [61]	03	4 ^b
Fuerzas en 1 Dimensión	[31], [34], [49]	03	
Óptica Geométrica	[35], [57], [60]	03	
Ondas Sonoras	[55], [57], [62]	03	
Movimiento de un Proyectil	[18], [31], [54]	03	
Ley de Faraday y Laboratorio Electromagnético de Faraday	[20], [29], [40]	03	
Ley de Hooke	[15], [57]	02	
Revolución Mariquita	[44], [61]	02	4 ^b
Onda en una cuerda	[13], [58]	02	
Estados de la materia	[37], [57]	02	
Rampa: Fuerzas y movimiento	[31], [56]	02	
El Hombre Móvil	[34], [56]	02	
Laboratorio de Colisiones	[47], [53]	02	
Formas y Cambios de Energía	[50], [57]	02	
Flotación	[9], [17]	02	

<i>Simulación PhET</i>	<i>Estudios</i>	<i>N. de estudios</i>	<i>N. de activ. Repositorio PhET</i>
Dispersión de Rutherford y Modelos del Átomo del Hidrógeno	[1]	01	1
Torsión	[61]	01	2 ^a
Globos y electricidad estática	[43]	01	
Adición de Vectores	[56]	01	
Cargas y campos	[27]	01	
Visión del color	[60]	01	
Espectro de radiación del Cuerpo Negro	[57]	01	
Gravedad y Órbitas	[36]	01	
Ley de equilibrio	[8]	01	
Ondas: Intro	[62]	01	
Construye un Átomo	[15]	01	
Presión del fluido y flujo	[5]	01	
Penetración Mecánico-Cuántica y Paquete de Ondas	[24]	01	1
La Rampa	[19]	01	

Nota. Las referencias de los estudios revisados se describen en de Medeiros et al. (2026).

^a Se trata de las mismas actividades que utilizan las simulaciones «Laboratorio de Péndulo» y «Torsión».

^b Se trata de las mismas actividades que utilizan las simulaciones «Masas y Resortes» y «Revolución Mariquita».

Utilizado en 16 investigaciones, el *Kit de Construcción de Circuitos*, en su conjunto de variantes (CD, CD – Laboratorio Virtual, CA y CA - Laboratorio Virtual), fue el simulador más utilizado. En segundo lugar, con seis referencias, se encuentra *Fuerzas y Movimiento*, posiblemente debido a la amplia popularidad de los temas de mecánica, como ya se había verificado en el gráfico de la Fig. 4. El resto de las simulaciones se encuentran en un rango de una a cuatro utilizaciones. También es notable que la mayoría de los materiales, probablemente desarrollados durante las investigaciones, no se envían al repositorio PhET, como puede comprobarse en la última columna de la Tabla 3. Además, se observó que las pocas actividades publicadas no formaban necesariamente parte de los estudios revisados.

Niveles educativos

La caracterización por nivel de enseñanza reveló una mayor concentración de investigaciones dirigidas a la enseñanza universitaria (18+ años), con 28 artículos. Se hizo una subdivisión por finalidad para evidenciar los cursos orientados a la formación de profesores, correspondientes a 12 trabajos, de los cuales los estudios [26] y [28] relataron acciones de desarrollo profesional para docentes en ejercicio. También era de esperar un gran volumen de artículos asociados al nivel secundario (15-18 años), que se concretó en 19 publicaciones, entre las que se incluye la enseñanza técnica integrada, referida en el estudio [39], y profesionalizante, referida en el estudio [46]. Finalmente, el nivel básico (6-14 años) contó con 16 artículos, ya que no se incluyó el único ejemplar identificado para la educación infantil (Al-Mohtadi et al., 2022). El gráfico de la Fig. 5 sintetiza estos datos.

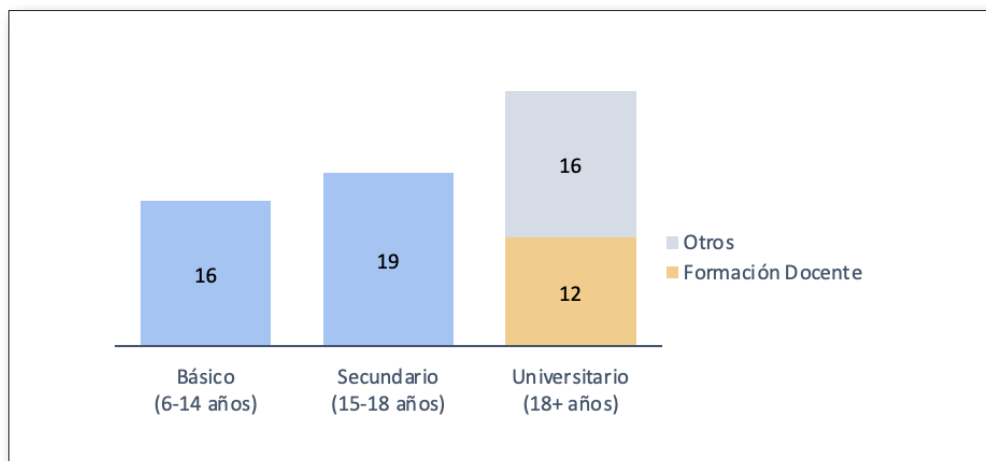


Fig. 5. Distribución por niveles educativos.

Modalidad de enseñanza

Los resultados del análisis por modalidad de enseñanza revelan la superioridad numérica del modelo presencial, con a 57 artículos de un total de 63 publicaciones. La modalidad remota solo estuvo relacionada con cuatro estudios. En ninguno de ellos se percibió el contexto de la educación a distancia y solo en uno hubo señalización para la enseñanza híbrida. En uno solo no fue posible identificar la modalidad de enseñanza.

El uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física

Protagonismo en el uso de la simulación y la agrupación para el uso de los recursos

Con respecto al enfoque de la enseñanza, solo el 21% de las intervenciones se centraron en el profesor, equivalentes a 13 artículos, mientras que el 79% se centró en los estudiantes, lo que corresponde a 50 estudios. Según lo observado en el gráfico de la Fig. 6, los enfoques centrados en el profesor se distribuyeron equitativamente entre acciones desarrolladas en pequeños grupos y en el gran grupo, quedando solo un trabajo para el cual no fue posible identificar este criterio.

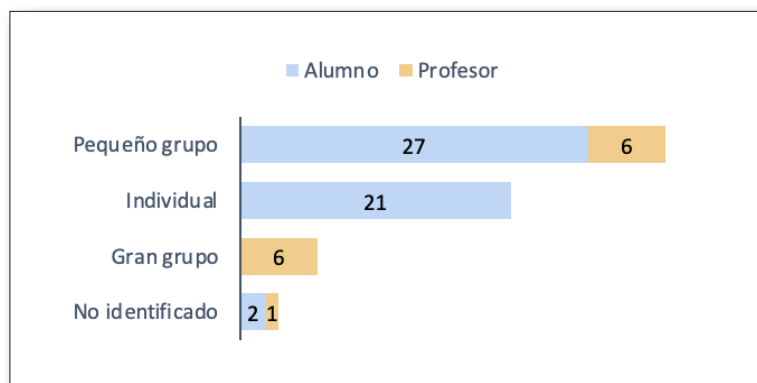


Fig. 6. Distribución de la agrupación por protagonista.

Específicamente, en lo que respecta a la caracterización del estudiante en el centro del proceso educativo, también hubo un cierto equilibrio entre las acciones individuales y colectivas, como puede verse en el gráfico de la Fig. 6. La cantidad de actividades desarrolladas en grupo y con los alumnos como protagonistas, superó a las realizadas individualmente en solo seis trabajos, sin tener en cuenta los dos para los cuales no fue posible hacer la identificación en relación con este criterio.

Para ejemplarizar algunas de estas clasificaciones, en el estudio [31] se empleó un sistema de votación gestionado por un complemento de PowerPoint en el que los profesores utilizaron tres simulaciones PhET para responder a 20 preguntas del Force Concept Inventory (FCI), con el fin de comprender mejor la interacción pedagógica durante la enseñanza en gran grupo. En los estudios [1] y [24], McKagan y otros exploran el uso de simulaciones PhET centradas en el alumno, para lo que realizan entrevistas individuales del tipo: «Pensé en voz alta».

Como se muestra en la Fig. 6, los alumnos son protagonistas únicamente cuando trabajan de manera individual o en pequeños grupos. Según los resultados y conclusiones de los estudios revisados, la utilización de la simulación, en la que el alumno es el protagonista, produjo una mejora en el aprendizaje significativamente mayor que la del uso centrado en el profesor, como se demuestra en la Tabla 4.

Tabla 4.
Clasificación de los resultados presentados en los estudios por protagonismo

	¿El aprendizaje con PhET fue estadísticamente significativo?			
<i>Protagonista</i>	<i>Sí</i>	<i>No</i>	<i>El estudio no realizó análisis estadístico</i>	<i>Razón</i>
Alumno	[5], [6], [10], [12], [16], [19], [23], [24], [27], [29], [30], [32], [33], [34], [36], [38], [45], [46], [47], [49], [50], [51], [52], [54], [55], [56], [60], [63]	[4], [9], [11], [14], [17], [21], [31], [41], [48], [53], [58], [61]	[1], [2], [13], [18], [22], [35], [40], [42], [44], [57]	0,56
Profesor	[37], [59]	[7], [20], [25]	[3], [8], [15], [26], [28], [39], [43], [62]	0,15

Nota. El resultado χ^2 (2, $N = 63$) = 9,81, $p = 0,007$, corresponde al resultado de una prueba de independencia de chi-cuadrado realizada entre los grupos que figuran en la tabla. Las referencias de los estudios revisados se describen en de Medeiros et al., (2026).

Además, proporcionalmente hubo más informes de éxito entre los trabajos que llevaron a cabo actividades individuales, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5.
Clasificación de los resultados presentados en los estudios por agrupación

	¿El aprendizaje con PhET fue estadísticamente significativo?			
<i>Protagonista</i>	<i>Sí</i>	<i>No</i>	<i>No se realizó análisis estadístico</i>	<i>Razón</i>
Pequeño grupo	[5], [12], [23], [27], [29], [36], [46], [47], [49], [51], [55], [56], [59]	[4], [9], [14], [17], [25], [31], [41], [48], [53], [61]	[1], [8], [13], [15], [26], [28], [35], [42], [44], [57]	0,39
Individual	[6], [10], [16], [24], [30], [32], [33], [34], [38], [45], [50], [52], [54], [60], [63]	[11], [21], [58]	[2], [18], [40]	0,71
Gran grupo	[37]	[7]	[3], [39], [43], [62]	0,17

Nota. El resultado $\chi^2 (4, N = 60) = 10,3, p = 0,04$, corresponde al resultado de una prueba de independencia de chi-cuadrado realizada entre los grupos que figuran en la tabla. El criterio de agrupación no se identificó en tres estudios, por lo que no se incluyeron en el análisis. Las referencias de los estudios revisados se describen en de Medeiros et al., (2026).

Papel de la simulación y el uso de otros recursos educativos

En cuanto al papel de la simulación en la sesión de clase, en 53 de los artículos se reconoció su centralidad, mientras que en diez se atribuyó un uso auxiliar. Al comparar estos dos grupos, hubo una mayor proporción de informes positivos en los estudios que asignaban un papel central a la simulación. A pesar de la centralidad que desempeñan las simulaciones PhET en el proceso de enseñanza, se observó la necesidad de combinar estas simulaciones con otros recursos educativos en la mayoría de los estudios revisados. Esta tendencia se ha intensificado en los últimos años, como se puede ver en el gráfico de la Fig. 7.

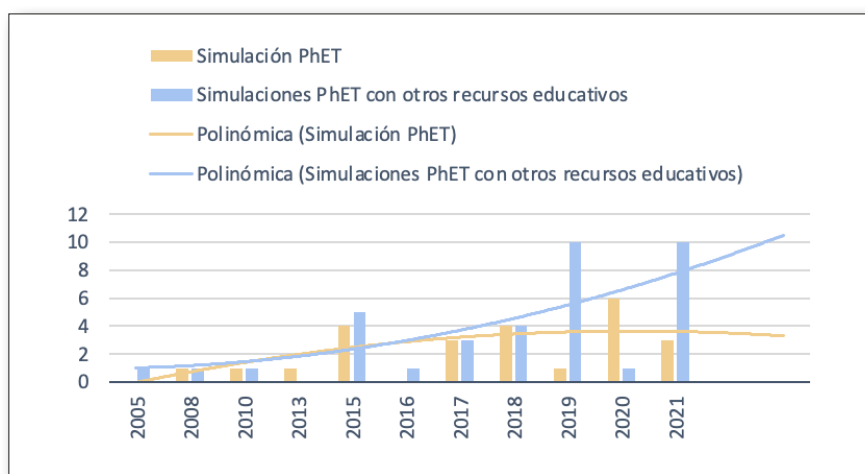


Fig. 7. Frecuencia anual según el uso de los recursos. *Nota.* Cabe destacar que los datos descritos se recopilaron el 4 de junio de 2022 y que, por lo tanto, los dos registros contabilizados en esa fecha probablemente no representen la totalidad de las publicaciones de ese año. Por este motivo, los datos de 2022 no se han tenido en cuenta en el cálculo de las líneas de tendencia.

En 39 de los estudios se utilizó PhET con recursos adicionales. En el resto de los trabajos, las simulaciones PhET se usaron como única herramienta, siendo apenas una simulación en 22 de ellos. Además, en el estudio [49] se llevó a cabo una actividad que integraba el uso de tres simuladores PhET y, en el estudio [56], se promovió una actividad guiada que incluía un conjunto de cinco simulaciones.

Los principales recursos identificados entre los estudios incluían la integración de simulaciones PhET con experimentos reales; problemas, preguntas o ejercicios; otras simulaciones o animaciones y diversos programas informáticos; fotos o vídeos; páginas web; diagramas esquemáticos, mapas o ilustraciones; representaciones teatrales; y juegos.

A continuación, se muestran algunos ejemplos que ilustran la variedad de recursos integrados con las simulaciones PhET para la enseñanza de la física. Para obtener «feedback» y «feedforward» sistemáticos, en el estudio [44] se integró un aparato experimental con la simulación PhET: «Revolución Mariquita». En el estudio [42] se realizó una integración utilizando una plataforma institucional que incluía la aplicación Plickers, la simulación PhET: «Efecto Fotoeléctrico» y algunos vídeos. En el estudio [48] se integró la simulación PhET: «Reflexión y Refracción de la Luz» con otras dos simulaciones para complementar las funcionalidades relativas al contenido de refracción.

En el estudio [53], hicieron posible la integración de una actividad de simulacro de juicio con una variedad de otros recursos mediante un formulario puesto a disposición de los estudiantes. Entre estos recursos, la simulación PhET: «Laboratorio de Colisiones» se planteó como una herramienta digital más. En el estudio [28] también insertaron PhET en un contexto de representación teatral, al igual que en el estudio [26], que incluyó la simulación PhET: «Propiedades de los Gases» en una actividad denominada «Teatro de la Energía», realizada durante cursos de desarrollo profesional dirigidos a profesores de educación secundaria (15-18 años).

Enfoque didáctico y los tipos de actividades desarrolladas

De los 63 trabajos, 41 adoptaron un enfoque didáctico de carácter investigativo, mientras que 22 optaron por seguir una línea más confirmativa. Como ejemplo de esta clasificación, en el estudio [55] se llevó a cabo una «actividad de investigación estructurada asistida por laboratorio virtual», en la que se utilizaron dos simulaciones PhET. Por otro lado, en el estudio [39], la teoría precedía a la experiencia virtual o se confirmaba mediante demostraciones con la simulación, a medida que se presentaban los conceptos durante las sesiones de clase.

En el gráfico de la Fig. 8 se muestra el resultado de la clasificación del tipo de actividad según el enfoque didáctico utilizado. Las actividades más frecuentes fueron los estudios dirigidos (actividad guiada), con orientaciones que variaban en una escala de niveles, y el uso de las simulaciones PhET como laboratorio virtual. Por otro lado, la tarea para la casa fue el tipo de actividad menos investigada, identificada como foco en dos¹ artículos, concretamente en los estudios [24] y [63].

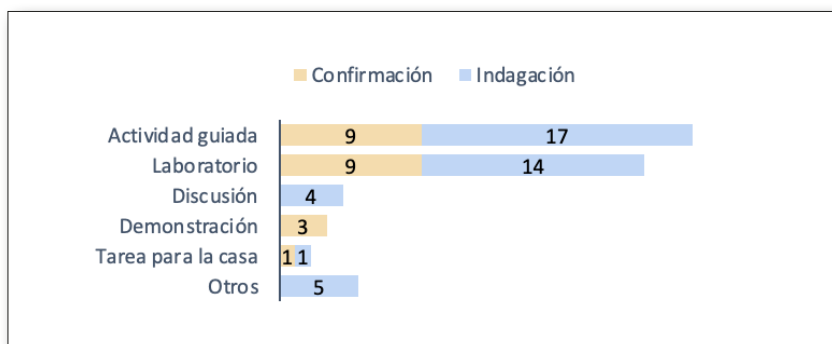


Fig. 8. Distribución del tipo de actividad por enfoque didáctico.

1. El estudio [30] trata de la tarea para la casa como parte de una actividad guiada.

Como se puede observar en el gráfico de la Fig. 8, las actividades que buscaban establecer un ambiente de aprendizaje por indagación, generalmente promovido mediante cuestiones abiertas, tienden a ser mayoritarias. Esta es una evolución reciente, aunque se han encontrado referencias a esta vertiente distribuidas a lo largo del período de revisión, como se puede confirmar en el gráfico de la Fig. 9.

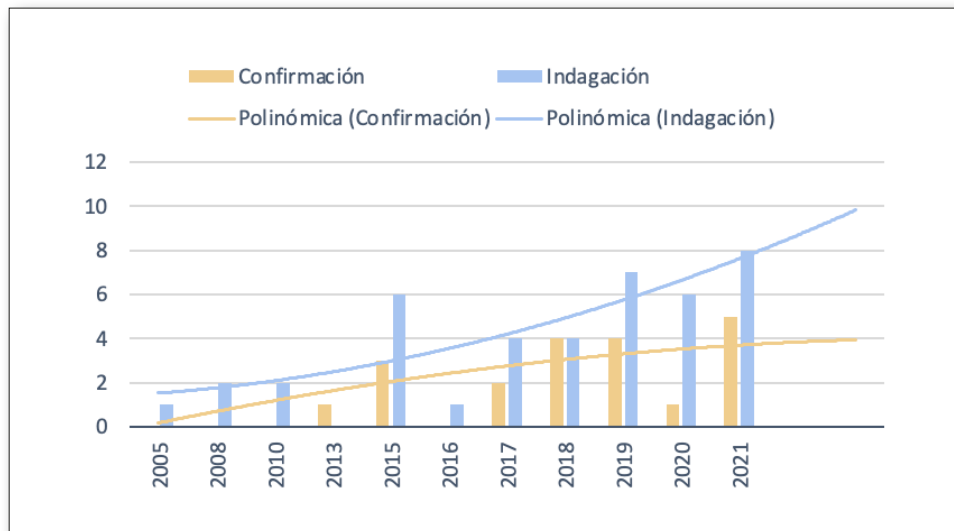


Fig. 9. Frecuencia anual por enfoque didáctico. Nota. Cabe destacar que los datos descritos se recopilieron el 4 de junio de 2022 y que, por lo tanto, los dos registros contabilizados en esa fecha probablemente no representen la totalidad de las publicaciones de ese año. Por este motivo, los datos de 2022 no se han tenido en cuenta en el cálculo de las líneas de tendencia.

También se puede observar en la Fig. 8 que, al igual que las actividades de confirmación, las actividades de indagación pueden ser de distintos tipos. Por tanto, no es la tipología lo que determina si una actividad es de indagación o de confirmación, sino su diseño.

DISCUSIÓN

El presente trabajo complementa la literatura de revisión sobre el uso de simuladores en la enseñanza de la física, y ofrece información sistematizada sobre la ubicación geográfica de los estudios, los temas de la física abordados, las simulaciones utilizadas, los niveles y las modalidades de enseñanza en los que se han empleado.

En respuesta a la PI 1, se observó que en la última década ha aumentado en el número de investigaciones que buscan comprender los efectos de las simulaciones PhET en la enseñanza de la física. En Estados Unidos se centró la educación universitaria, mientras que la Indonesia es uno de los países donde antes se inician investigaciones relativas a la trayectoria escolar de los estudiantes (6-14 años). Además de los Estados Unidos e Indonesia, los países con mayor producción científica en este campo son Turquía y Brasil. Sin embargo, las investigaciones sobre el uso de las simulaciones PhET están poco extendidas en el mundo iberoamericano. El *Kit de Construcción de Circuitos* se destacó como el simulador más utilizado, debido a su versatilidad para construir circuitos eléctricos, lo que favorece los enfoques de enseñanza investigativa. Aunque PhET es claramente un recurso viable para la enseñanza en línea, la mayoría de los estudios se centraron en la modalidad presencial.

Basándose en la geografía de los datos donde se realizaron los estudios, se observa que queda mucho espacio por llenar con investigaciones sobre el uso de simulaciones computacionales, especialmente en los países en desarrollo (Kibirige y Tsamago, 2019).

El *Kit de Construcción de Circuitos* fue el simulador PhET más utilizado en las investigaciones. Este resultado respalda la afirmación de que esta simulación sigue siendo la aplicación más popular entre las simulaciones PhET (Fratamico et al., 2017; Perkins, 2022; Roll et al., 2018). La popularidad de esta simulación probablemente se debe a la posibilidad de realizar experimentos virtuales, es decir, permitir a los estudiantes construir sus propios circuitos eléctricos (Dorić et al., 2021).

Proyectado inicialmente para la enseñanza universitaria (Khatri et al., 2014), el PhET acabó por abarcar todos los niveles de enseñanza y actualmente se utiliza incluso en educación infantil (Al-Mohamedi et al., 2022). Posiblemente, debido a su trayectoria, el análisis por nivel de enseñanza reveló una mayor concentración de investigaciones dirigidas a los niveles superiores.

Al buscar respuestas para la PI 2, se obtuvieron resultados que pueden contribuir a mejorar la enseñanza de la física mediante simulaciones PhET. A continuación, se destacaron las condiciones predominantes que optimizan su uso.

Como primera aportación, se constató que las simulaciones PhET desempeñaban un papel central en la mayoría de los estudios que obtuvieron buenos resultados de aprendizaje. No obstante, se observó que a menudo era necesario integrar estas simulaciones con otros recursos educativos para obtener estos resultados, tendencia que se ha intensificado en los últimos años.

Tal y como recomienda el proyecto PhET, su utilización en las investigaciones se realizó mayoritariamente en contextos de aprendizaje por indagación, otra evolución reciente. Este aspecto se hizo evidente en las actividades de tipo guiadas y de laboratorio virtual, que fueron las más frecuentes. El hecho de que existan diferentes tipos de actividades, con enfoques didácticos distintos, demuestra que no es la tipología lo que determina si una actividad es de indagación o de confirmación, sino su diseño.

Por último, las intervenciones en las que los estudiantes son los protagonistas en el uso de la simulación producen mejores resultados de aprendizaje, pero conviene enfatizar que esta condición solo se dio cuando los estudiantes trabajaban individualmente o en pequeños grupos.

Con respecto al uso de las simulaciones PhET, la investigación confirma los descubrimientos iniciales de las revisiones de la literatura citadas anteriormente sobre la importancia de situar al alumno en el centro del proceso educativo. Se reafirma lo constatado por Rutten et al. (2012), que concluyeron que las actividades deben ser lo más activas y centradas en el alumno posible, alentando el uso de entornos de aprendizaje que operen en los niveles más elevados de compromiso. Siguiendo este mismo enfoque, Ekmekci y Gulacar (2015) observaron una mejora en el aprendizaje resultante de la pedagogía centrada en el alumno en comparación con el método tradicional de entrega mediante el cual se desarrollan actividades prácticas o basadas en ordenador. Agyei et al. (2019) también atribuyeron la eficacia de las clases de física basadas en simulación, desarrolladas mediante plataformas colaborativas, a la aplicación estratégica de la enseñanza interactiva y centrada en el alumno.

En cuanto al equilibrio observado entre las acciones colectivas centradas en el profesor, realizadas en pequeños grupos o en el gran grupo, Stephens y Clement (2015) señalaron poca o ninguna evidencia de ventaja en el uso de la simulación en pequeño grupo en comparación con su utilización en gran grupo. También existen informes en la literatura que demuestran la eficacia del PhET, ya que, según Adams et al. (2015), el aprendizaje se produce tanto en los estudiantes que realizan actividades colectivas en los espacios escolares como en los que estudian de forma individualizada en casa. No obstante, los hallazgos de este estudio contribuyen a la literatura al demostrar que el aprendizaje es más eficaz cuando los alumnos son protagonistas, lo que solo ocurre si trabajan individualmente o en pequeños grupos. Además, hay que considerar que las actividades con experimentos reales pueden ser más provechosas cuando se desea fomentar la interacción y colaboración entre grupos (Ekmekci y Gulacar, 2015).

El papel central que se atribuye a las simulaciones en el aprendizaje, tal y como se desprende de la gran mayoría de los estudios revisados, revela que los investigadores de este campo han seguido una dirección opuesta a la de muchos profesores, pues según la propia literatura, los docentes optan por no utilizar estos recursos porque no los consideran elementos centrales del aprendizaje (Lopes y Costa, 2019; Schwarz et al., 2007) o debido a la falta de formación adecuada para manejarlos (Kriek y Stols, 2010). Por otro lado, para Pucholt (2021), las simulaciones computacionales son una herramienta de enseñanza completa y deberían utilizarse a lo largo de todo el proceso de enseñanza. Sin embargo, esto no elimina la necesidad identificada en este estudio de utilizar las simulaciones PhET en combinación con otros recursos educativos.

Con respecto a los enfoques didácticos (confirmación o indagación), se ha observado una reciente tendencia hacia actividades basadas en el aprendizaje por indagación, tendencia también constatada por Ouahi et al. (2022), lo que demuestra consenso entre investigadores, profesores y la filosofía central del proyecto PhET (Fan et al., 2018; Khatri et al., 2014; PhET, 2014). Como se ha visto anteriormente, las actividades también pueden clasificarse en diferentes tipologías y no es el tipo de actividad lo que determina el enfoque didáctico utilizado, sino la forma de diseñarlas. Esto quedó patente en las actividades de tipo guiadas y de laboratorio virtual, que fueron las más habituales, probablemente debido a las similitudes observadas entre los experimentos de laboratorio y las simulaciones computacionales.

Aunque las tareas para la casa se utilizan con frecuencia y los docentes las reconocen como una de las mejores oportunidades para practicar y aprender (Drijvers, 2011; Gueudet et al., 2014), fueron una de las tipologías menos investigadas en el ámbito de la producción científica seleccionada. Según Mešić et al. (2022), una hipótesis para la baja incidencia de esta estrategia de enseñanza es la dificultad para encontrar el enfoque más adecuado para sacar el máximo provecho de las simulaciones, ya que, durante la realización de las tareas para la casa, los docentes generalmente buscan una forma de aprendizaje en la que los alumnos sean más autónomos.

CONCLUSIONES Y IMPLICACIONES DE LA REVISIÓN

Se realizó una revisión sistemática de la literatura, lo que permitió identificar, caracterizar y sintetizar las publicaciones seleccionadas relativas al uso de las simulaciones PhET en la enseñanza de la física tras 20 años de actividad del proyecto.

De acuerdo con los hallazgos, se identificaron dos tendencias en la investigación sobre el uso de las simulaciones PhET en la enseñanza de la física. Una primera tendencia consiste en utilizar las simulaciones PhET combinadas con otros recursos educativos. Por tanto, se recomienda llevar a cabo investigaciones que aborden las mejores estrategias para promover el aprendizaje mediante la integración de recursos adicionales al uso de las simulaciones PhET, ya que esta práctica ha sido adoptada por varios de los estudios revisados. Las investigaciones futuras deben analizar cómo interactúan las simulaciones con otros recursos para facilitar el aprendizaje y estudiar qué formas de articulación se utilizan, qué configuraciones de esta articulación favorecen el aprendizaje y qué tipo de aprendizaje. La segunda tendencia está relacionada con el enfoque didáctico de indagación, más concretamente con la determinación de los elementos que convierten las actividades con este enfoque en auténticas actividades de investigación, ya que se observó que no es la tipología de la actividad lo que realmente importa. Además, se deben investigar qué características de estas actividades favorecen el aprendizaje y qué tipos de aprendizaje producen.

También es necesario incrementar las investigaciones sobre el desarrollo profesional, teniendo en cuenta la necesidad de formación para cambiar la percepción de los profesores sobre la enseñanza de la física con simulaciones PhET, y dado que la formación docente obtuvo la menor proporción entre

los diferentes niveles de enseñanza. Asimismo, se sugiere la realización de estudios sobre la tarea para la casa, dada su importancia y la baja representatividad de esta actividad identificada en la revisión.

Las tendencias de investigación revelan que el uso futuro de las simulaciones en la enseñanza de la física implica en la integración de las simulaciones PhET con otros recursos didácticos, lo que exigirá a los profesores mayor claridad a la hora de expresar su intención educativa y más atención a la articulación de los recursos para que los alumnos puedan aprovechar las posibilidades que ofrece dicha integración.

Otra implicación para el uso futuro de las simulaciones en la enseñanza de la física, que se desprende de los resultados obtenidos, es que no importa el tipo de actividad denominada por PhET, sino el enfoque (confirmación o indagación) con el que está diseñada la actividad. También se descubrió que las simulaciones son más eficaces cuando los alumnos son los protagonistas de su uso, trabajando individualmente o en pequeños grupos, en comparación con un uso centrado en el profesor. No obstante, las actividades individuales tienden a dar mejores resultados de aprendizaje.

Con el fin de mejorar el aprendizaje de la física en todo el mundo, y teniendo en cuenta las implicaciones que la investigación puede tener para la enseñanza, se recomienda compartir los materiales desarrollados, tanto los referentes a los estudios ya revisados como los resultantes de investigaciones futuras. Esto es especialmente importante si se tiene en cuenta que en el repositorio PhET se localizaron pocas actividades asociadas a la autoría de los trabajos revisados, como se indicó en la Tabla 3. Fomentar la disponibilidad y el intercambio de recursos educativos ayudará a ampliar el acceso a herramientas efectivas y prácticas innovadoras, lo que beneficiará tanto a docentes como a estudiantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, W., Armstrong, Z., y Galovich, C. (2015). Can students learn from PhET sims at home, alone? *Physics Education Research Conference Proceedings 2015*, 23-26.
<https://doi.org/10.1119/perc.2015.pr.001>
- Agyei, E. D., Jita, T., y Jita, L. C. (2019). Examining the effectiveness of simulation-based lessons in improving the teaching of high school physics: Ghanaian pre-service teachers' experiences. *Journal of Baltic Science Education*, 18(6), 816-832. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.816>
- Al-Mohtadi, R., Jwaifell, M., Al-Dhaimat, Y., y Almazaydeh, L. (2022). The effectiveness of using interactive simulation in kindergarten children's acquisition of Physics Concepts. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(7), 70-81. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i07.28871>
- Banda, H. J., y Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 023108-1. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108>
- Bayraktar, S. (2001). A meta-analysis of the effectiveness of computer-assisted instruction in science education. *Journal of Research on Technology in Education*, 34(2), 173-188.
<https://doi.org/10.1080/15391523.2001.10782344>
- Ben Ouahi, M., Lamri, D., Hassouni, T., y Al Ibrahim, E. M. (2022). Science teachers' views on the use and effectiveness of interactive simulations in science teaching and learning. *International Journal of Instruction*, 15(1), 277-292. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.15116a>
- Bryan, J. (2006). Technology for physics instruction. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 6(2), 230-245.
<https://citejournal.org/volume-6/issue-2-06/science/technology-for-physics-instruction>
- de Medeiros, R. N., Naia, M. D., y Lopes, J. B. (2026). *Material Suplementario para «El uso de simulaciones PhET en la enseñanza de la física: una revisión sistemática»*. Zenodo.

- <https://doi.org/10.5281/zenodo.19519393>
- Dorić, B., Lambić, D. y Jovanović, Ž. (2021). The use of different simulations and different types of feedback and students' academic performance in physics. *Research in Science Education*, 51(5), 1437-1457. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9858-4>
- Drijvers, P. (2011). Teachers transforming resources into orchestrations. En G. Gueudet, B. Pepin y L. Trouche (Eds.), *From text to «lived» resources: Mathematics curriculum materials and teacher development* (Vol. 7, pp. 265-281). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1966-8_14
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H. y Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 213-234. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9254-5>
- Drijvers, P., Grauwijn, S. y Trouche, L. (2020). When bibliometrics met mathematics education research: The case of instrumental orchestration. *ZDM Mathematics Education*, 52(7), 1455-1469. <https://doi.org/10.1007/s11858-020-01169-3>
- Drijvers, P., Tacoma, S., Besamusca, A., Doorman, M. y Boon, P. (2013). Digital resources inviting changes in mid-adopting teachers' practices and orchestrations. *ZDM Mathematics Education*, 45(7), 987-1001. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0535-1>
- Ekmekci, A., y Gulacar, O. (2015). A case study for comparing the effectiveness of a computer simulation and a hands-on activity on learning electric circuits. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(4), 765-775. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1438a>
- Fan, X., Geelan, D. y Gillies, R. (2018). Evaluating a novel instructional sequence for conceptual change in physics using interactive simulations. *Education Sciences*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/educsci8010029>
- Ferreira, S., Corrêa, R. y Silva, F. C. (2019). Estudo dos roteiros de experimentos disponibilizados em repositórios virtuais por meio do ensino por investigação. *Ciência & Educação (Bauru)*, 25(4), 999-1017. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190040010>
- Fratamico, L., Conati, C., Kardan, S. y Roll, I. (2017). Applying a framework for student modeling in exploratory learning environments: Comparing data representation granularity to handle environment complexity. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27(2), 320-352. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0131-y>
- Goldman, M. V., Rea, D., Adams, J., Alexander, D., Biggus, J., Underwood, D., Zilis, T., Backus, M., Baumgartner, A., Beck, K., Fordyce, P., Ruder, M., Bruels, R., Fuchs, M., Ghrist, R., Lineberger, C., Newman, D., Parker, S., Radzihovsky, L., ... Weaver, G. (2000). *Physics 2000*. Colorado Commission on Higher Education and the National Science Foundation. <https://physicscourses.colorado.edu/2000/cover.html>
- Gueudet, G., Buteau, C., Mesa, V. y Misfeldt, M. (2014). Instrumental and documentational approaches: From technology use to documentation systems in university mathematics education. *Research in Mathematics Education*, 16(2), 139-155. <https://doi.org/10.1080/14794802.2014.918349>
- Harding, R. D. (1980). Computer assisted learning in higher education. *Studies in Higher Education*, 5(1), 101-114. <https://doi.org/10.1080/03075078012331377376>
- Hollebrands, K. y Okumuş, S. (2018). Secondary mathematics teachers' instrumental integration in technology-rich geometry classrooms. *Journal of Mathematical Behavior*, 49, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2017.10.003>
- Honório, H. M., y Santiago Junior, J. F. (2021). *Fundamentos das Revisões Sistemáticas em Saúde*. Santos Publicações.

- Huang, K., Ge, X. y Eseryel, D. (2017). Metaconceptually-enhanced simulation-based inquiry: effects on eighth grade students' conceptual change and science epistemic beliefs. *Educational Technology Research and Development*, 65(1), 75-100. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9462-5>
- Khatri, R., Henderson, C. R., Cole, R. y Froyd, J. (2014). Over one hundred million simulations delivered: A case study of the PhET interactive simulations. *Proceedings of the 2013 Physics Education Research Conference*, 205-208. <https://doi.org/10.1119/perc.2013.pr.039>
- Kibirige, I., y Tsamago, H. E. (2019). Grade 10 learners' science conceptual development using computer simulations. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(7), 1-17. <https://doi.org/10.29333/ejmste/106057>
- Kitchenham, B. A. y Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering (EBSE 2007-001)*. https://www.elsevier.com/_data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Kriek, J., y Stols, G. (2010). Teachers' beliefs and their intention to use interactive simulations in their classrooms. *South African Journal of Education*, 30, 439-456. <https://doi.org/10.15700/saje.v30n3a284>
- Lehtinen, A., Lehesvuori, S. y Viiri, J. (2019). The Connection Between Forms of Guidance for Inquiry-Based Learning and the Communicative Approaches Applied—a Case Study in the Context of Pre-service Teachers. *Research in Science Education*, 49(6), 1547-1567. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9666-7>
- Lopes, J. B. y Costa, C. (2019). Digital Resources in Science, Mathematics and Technology Teaching – How to Convert Them into Tools to Learn. En M. Tsitouridou, J. A. Diniz y T. A. Mikropoulos (Eds.), *Communications in Computer and Information Science* (vol. 993, pp. 243-255). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20954-4_18
- Ludwig, T., Priemer, B. y Lewalter, D. (2021). Assessing Secondary School Students' Justifications for Supporting or Rejecting a Scientific Hypothesis in the Physics Lab. *Research in Science Education*, 51(3), 819-844. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09862-4>
- Mešić, V., Jusko, A., Beatović, B. y Fetahović-Hrvat, A. (2022). Improving the effectiveness of physics homework: A minds-on simulation-based approach. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 10(1), 34-49. <https://doi.org/10.30935/SCIMATH/11383>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., Estarli, M., Barrera, E. S. A., Martínez-Rodríguez, R., Baladia, E., Agüero, S. D., Camacho, S., Buhning, K., Herrero-López, A., Gil-González, D. M., Altman, D. G., Booth, A., ... Whitlock, E. (2016). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(2), 148-160. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. En *BMJ* (vol. 372, número 71). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Perkins, K. (2022). *Highlights from PhET's 20-year history*. Google Docs. https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-1vSIJnR6nLqTSEpALtIvELkS5AEOelqXsBU CxU2S1fb3XS9n4Fd4T3tyLNRpqA8_NX8jVxNkVWbxCbHf/pub
- PhET (2014, noviembre 20). *Creating PhET interactive simulations activities: PhET's approach to guided inquiry*. PhET Interactive Simulations PhET Professional Development Team. <https://phet.colorado.edu/en/teaching-resources/activity-guide>

- PhET (2023). *PhET interactive simulations*. University of Colorado Boulder.
<https://phet.colorado.edu/>
- Pinto, A., Barbot, A., Viegas, C., Silva, A. A., Santos, C. A. y Lopes, J. B. (2014). Teaching Science with Experimental Work and Computer Simulations in a Primary Teacher Education Course: What Challenges to Promote Epistemic Practices? *Procedia Technology*, 13, 86-96.
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.012>
- Pucholt, Z. (2021). Effectiveness of simulations versus traditional approach in teaching physics. *European Journal of Physics*, 42(1), 015703. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abb4ba>
- Roever, L. (2020). *Guia prático de revisão sistemática e metanálise* (L. Roever, Ed.; 1.^a ed.). Thieme Revisiter.
- Roll, I., Butler, D., Yee, N., Welsh, A., Perez, S., Briseno, A., Perkins, K. y Bonn, D. (2018). Understanding the impact of guiding inquiry: The relationship between directive support, student attributes, and transfer of knowledge, attitudes, and behaviours in inquiry learning. *Instructional Science*, 46(1), 77-104. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9437-x>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., y van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Schwarz, C. V., Meyer, J. y Sharma, A. (2007). Technology, pedagogy, and epistemology: Opportunities and challenges of using computer modeling and simulation tools in elementary science methods. *Journal of Science Teacher Education*, 18(2), 243-269.
<https://doi.org/10.1007/s10972-007-9039-6>
- 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>
- Stephens, A. L. y Clement, J. J. (2015). Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. *Computers & Education*, 86, 137-156.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.02.014>
- Stone, P. W. (2002). Popping the (PICO) question in research and evidence-based practice. *Applied Nursing Research*, 16(2), 197-198. <https://doi.org/10.1053/apnr.2002.34181>
- Stratford, S. J. (1997). A review of computer-based model research in precollege science classrooms. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 16(1), 3-23.
<https://www.learntechlib.org/primary/p/15204>
- Tabach, M. (2011). A mathematics teacher's practice in a technological environment: A case study analysis using two complementary theories. *Technology, Knowledge and Learning*, 163(3), 247-265.
<https://doi.org/10.1007/s10758-011-9186-x>
- Tsafnat, G., Glasziou, P., Choong, M. K., Dunn, A., Galgani, F. y Coiera, E. (2014). Systematic review automation technologies. *Systematic Reviews*, 3(74), 1-15.
<https://doi.org/10.1186/2046-4053-3-74>
- Webb, M. y Cox, M. (2004). A review of pedagogy related to information and communications technology. *Technology, Pedagogy and Education*, 13(3), 235-286.
<https://doi.org/10.1080/14759390400200183>

The Use of PhET Simulations in Physics Teaching: A Systematic Review

Raimundo Nonato de Medeiros Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Rio Grande do Norte, João Câmara, Brasil
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real,
Portugal
nonato.junior@ifrn.edu.br
<https://orcid.org/0000-0003-2580-0795>

Joaquim Bernardino de Oliveira Lopes
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real,
Portugal
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na
Formação de Formadores, Aveiro, Portugal
blopes@utad.pt
<https://orcid.org/0000-0001-9961-1538>

Marco Paulo Duarte Naia
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real,
Portugal
Centre for Mechanical Engineering, Materials and Processes,
Coimbra, Portugal
duarte@utad.pt
<https://orcid.org/0000-0002-9295-3671>

Over the past decade, the number of publications related to the use of simulators in physics teaching has grown, alongside an increase in the availability and variety of these resources. Against this backdrop, the significance of the PhET Interactive Simulations project is acknowledged, given its two-decade commitment to developing and sharing applications that simulate virtual experiments. This study conducts a systematic literature review to identify, characterise and synthesise research on the use of PhET in physics teaching over the last twenty years. The following two research questions are addressed: RQ1: in the context of integrating PhET simulations into physics teaching, how has the scientific output been characterised over the two decades of the project's activity? RQ2: how were PhET simulations used in physics teaching?

Searches were conducted in ERIC, Scopus, IOP Science and Web of Science (2002-2022), using a defined query that identified 1,589 records. Articles in English, Spanish or Portuguese were screened according to PRISMA 2020 procedures, which resulted in the selection of 63 papers focused primarily on classroom-based physics teaching that was supported by PhET simulations. Data were extracted and categorised by geographical origin, physics topic, the simulations used, educational level, teaching modality and pedagogical approach. These were analysed using descriptive statistics. The analyses considered: (a) the characterisation of the selected research output (geographical origin, physics topic, the simulations used, educational levels and teaching modalities); and (b) the use of simulations in teaching (the leading role that simulation had and clustering for resource allocation, the role of simulation in learning and the use of other resources, the teaching focus and the types of activities developed).

The main results showed that PhET simulations were generally used in studies in which they played a central role in learning within inquiry-based and student-centred teaching approaches. The countries with the highest scientific production in this field were the USA (17), Indonesia (9) and Turkey (6). The most frequently addressed topics were mechanics and electromagnetism, with the Circuit Construction Kit being the most widely used simulation (16). Most studies focused on higher education and face-to-face teaching predominated (57).

With regard to the use of simulations in teaching, the results obtained may help improve physics teaching through PhET simulations. These were found to play a central role in most studies that achieved positive learning outcomes. However, the integration of these simulations with other educational resources was often necessary to achieve such outcomes, a trend that has become more pronounced in recent years. As recommended by the PhET project, their use in research has predominantly occurred within inquiry-based learning contexts, another recent development. This was particularly evident in guided activities and virtual laboratory sessions, which were the most common types of activities. The existence of different types of activities with varying pedagogical approaches demonstrates that an activity is not defined as confirmation-based or inquiry-based by its type, but by its design. Teaching approaches in which students take the lead in using simulations yield better learning outcomes. However, this was observed only when students worked individually or in small groups.

Research trends suggest that the future use of simulations in physics teaching will involve integrating PhET simulations with other teaching resources. This will require teachers to define their educational objectives more clearly and to pay closer attention to how these resources are connected, so that students can make full use of the opportunities offered by such integration.

