



BORDÓN

Revista de Pedagogía

NÚMERO MONOGRÁFICO / *SPECIAL ISSUE*

Educación STEM: tecnologías emergentes para el aprendizaje científico /
STEM education: emerging technologies for science learning
Alicia Palacios Ortega, Daniel Moreno Mediavilla y Virginia Pascual López
(editores invitados / *guest editors*)

Indexed in
SCOPUS



2022 OCTUBRE-DICIEMBRE
VOLUMEN 74 • N.º 4
MADRID (ESPAÑA)

ISSN: 0210-5934
e-ISSN: 2340-6577

S
O
C
I
E
D
A
D

E
S
P
A
Ñ
O
L
A

D
E

P
E
D
A
G
O
G
Í
A

BORDÓN

Revista de Pedagogía

NÚMERO MONOGRÁFICO / *SPECIAL ISSUE*

Educación STEM: tecnologías emergentes para
el aprendizaje científico
STEM education: emerging technologies for science learning

Alicia Palacios Ortega, Daniel Moreno Mediavilla
y Virginia Pascual López (editores invitados / *guest editors*)



Volumen 74
Número, 4
2022

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PEDAGOGÍA

Tasa de rechazo de artículos:

Año 2012: 68%.	Año 2014: 61%.	Año 2016: 77%.	Año 2018: 84%.	Año 2020: 80%.
Año 2013: 72%.	Año 2015: 78%.	Año 2017: 84%.	Año 2019: 85%.	Año 2021: 85%.

Compromiso editorial en la comunicación del resultado de la revisión de artículos: 2-3 meses.

Indexación de Bordón

La revista *Bordón* está indexada en Scopus, en la Web of Science (Emerging Sources Citation Index, ESCI) y posee el Sello de Calidad de la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología) de las ediciones 2012, 2015, 2019, 2020 y 2021, consiguiendo este último año el certificado de revista excelente. Indexada también en EBSCO, ProQuest (International Bibliography of the Social Sciences - IBSS y Periodicals Index Online - PIO), ERIC, OEI, CSIC-CINDOC, IRESIE, CARHUS, 360°, DULCINEA. Más información en la página web (http://www.sepedagogia.es/?page_id=226).

Bordón. Revista de Pedagogía es la única revista española de educación colaboradora del Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

La revista *Bordón* es miembro fundador del consorcio de revistas científicas de Educación Aula Magna 2.0.

Indexed in
SCOPUS



Redacción y suscripciones

Toda la correspondencia general sobre la revista, y especialmente la referida a las relaciones de los colaboradores, suscripciones y distribución, deberá dirigirse a:

Sociedad Española de Pedagogía
Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS)
del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
C/ Albasanz, 26-28 - Despacho 3C1. 28037 Madrid.
Tel.: 91 602 26 25.

Precios de suscripción institucional: España: 80 euros;
extranjero: 100 euros; número suelto: 20 euros.

Periodicidad

Bordón es una publicación trimestral que se edita en los trimestres enero-marzo, abril-junio, julio-septiembre y octubre-diciembre.

© Sociedad Española de Pedagogía
Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

C/ Albasanz, 26-28 - Despacho 3C1. 28037 Madrid

Correo electrónico: sep@csic.es

Internet: www.sepedagogia.es

Patrocinios institucionales: Si una institución desea colaborar económicamente con la edición de un número de *Bordón* y figurar como patrocinador, póngase en contacto con la Secretaría de la Sociedad Española de Pedagogía.

Impresión: Cyan, Proyectos Editoriales, S.A.

Depósito legal: M. 519-1958

ISSN: 0210-5934

e-ISSN: 2340-6577

Bordón es una revista de orientación pedagógica que publica la **Sociedad Española de Pedagogía**. Se distribuye entre los miembros de la Sociedad, pero puede también realizarse la suscripción y compra de ejemplares directamente.

CONSEJO DE REDACCIÓN / EDITORIAL BOARD

DIRECTOR / DIRECTOR

Luis Lizasoain Hernández, Universidad del País Vasco (España)

DIRECTOR ADJUNTO / DEPUTY DIRECTOR

Jesús Miguel Rodríguez Mantilla, Universidad Complutense de Madrid (España)

EDITOR JEFE / EDITOR-IN-CHIEF

Enrique Navarro Asencio, Universidad Complutense de Madrid (España)

EDITORES ASOCIADOS / ASSOCIATE EDITORS

Delia Arroyo Resino, Universidad Internacional de La Rioja y Universidad Camilo José Cela (España)

Roberto Cremades Andreu, Universidad Complutense de Madrid (España)

David Doncel Abad, Universidad de Salamanca (España)

Jon Igelmo Zaldivar, Universidad Complutense de Madrid (España)

Laila Mohamed Mohand, Universidad de Granada (España)

María Jesús Perales Montolio, Universidad de Valencia (España)

EDITOR DE RECENSIONES / BOOK REVIEW EDITOR

José Luis González Geraldo, Universidad de Castilla-La Mancha (España)

CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL ADVISORY BOARD

Francisco Aliaga, Universidad de Valencia

Rosa Bruno-Jofre, Queen's University (Ontario, Canadá)

Randall Curren, University of Rochester (Nueva York, EE UU)

Charles Glenn, Boston University (EE UU)

Enrico Gori, Università degli Studi di Udine (Italia)

Lars Loevlie, Universidad de Oslo (Noruega)

Paul Standish, University of London (Reino Unido)

José Felipe Martínez, University of California (Los Ángeles, EE. UU.)

GESTORA DE REDES SOCIALES / COMMUNITY MANAGER

Blanca Arteaga Martínez, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO DE ÍNDICES DE IMPACTO Y CITACIÓN / RESPONSIBLE FOR MONITORING IMPACT INDICES AND CITATION

Laura Camas Garrido, Universidad Complutense de Madrid (España)

Calixto Gutiérrez Braojos, Universidad de Granada (España)

CONSEJO TÉCNICO DE TRADUCCIÓN / TRANSLATION TECHNICAL BOARD

Alicia García Fernández

Juan Carlos Gutiérrez Dutton

Mercedes Pérez Agustín

SECRETARÍA ADMINISTRATIVA / ADMINISTRATIVE SECRETARY

Valeria Aragona

SECRETARÍA TÉCNICA / TECHNICAL SECRETARY

Alicia López Mendoza

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PEDAGOGÍA

Gonzalo Jover Olmeda. Presidente

Luis Lizasoain Hernández. Vicepresidente primero

María José Fernández Díaz. Vicepresidenta segunda

Ernesto López Gómez. Secretario general

Coral González Barberá. Vicesecretaria

Miquel Martínez Martín. Tesorero

Aurelio José González Bertolín. Vocal Profesional

Elea Giménez Toledo. Vocal por el CCHS (CSIC)

Arturo Galán González. Vocal como Editor Jefe

de *Bordón*. Revista de Pedagogía

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC ADVISORY BOARD

Juan Ansión. Pontificia Universidad Católica del Perú
Javier Argos González. Universidad de Cantabria
Alfredo J. Artiles. Arizona State University
Ángela E. Arzubiaga Scheuch. Arizona State University
Pilar Aznar Minguet. Universidad de Valencia
Eduardo Backhoff. Universidad Autónoma Baja California
María Remedios Belando Montoro. Universidad Complutense de Madrid
Antonio Bernal Guerrero. Universidad de Sevilla
Leonor Buendía Eisman. Universidad de Granada
Flor A. Cabrera Rodríguez. Universidad de Barcelona
Isabel Cantón Mayo. Universidad de León
Julio Carabaña Morales. Universidad Complutense de Madrid
Rafael Carballo Santaolalla. Universidad Complutense de Madrid
Mario Carretero Rodríguez. Universidad Autónoma de Madrid
María Castro Morera. Universidad Complutense de Madrid
Antoni Colom Cañellas. Universidad de las Islas Baleares
Ricardo Cuenca. Sociedad de Investigación Educativa Peruana
Santiago Cueto. Sociedad de Investigación Educativa Peruana
M.ª José Díaz-Aguado Jalón. Universidad Complutense de Madrid
Dimitar Dimitrov. George Mason University
Juan Escámez Sánchez. Universidad de Valencia
Araceli Estebanaraz García. Universidad de Sevilla
M.ª José Fernández Díaz. Universidad Complutense de Madrid
Mariló Fernández Pérez. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Joaquín Gairín Sallant. Universidad Autónoma de Barcelona
María García Amilburu. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Lorenzo García Aretio. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Joaquín García Carrasco. Universidad de Salamanca
Eduardo García Jiménez. Universidad de Sevilla
Narciso García Nieto. Universidad Complutense de Madrid
José Manuel García Ramos. Universidad Complutense de Madrid
María José García Ruiz. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Jesús Nicasio García Sánchez. Universidad de León
Belén García Torres. Universidad Complutense de Madrid
Bernardo Gargallo López. Universidad de Valencia
Samuel Gento Palacios. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Petronilha B. Gonçalves e Silva. Asociación Brasileña de Investigación Educativa
M.ª Ángeles González Galán. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Ángel-Pío González Soto. Universidad Rovira i Virgili
Begoña Gros Salvat. UOC
Fuensanta Hernández Pina. Universidad de Murcia
Francisco Javier Hinojo Lucena. Universidad de Granada
Alfredo Jiménez Eguizábal. Universidad de Burgos
Carmen Jiménez Fernández. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

Jesús M. Jornet Meliá. Universidad de Valencia
Ángel de Juanas Oliva. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Luis Lizasoain Hernández. Universidad del País Vasco
Juan Antonio López Núñez. Universidad de Granada
Félix López Sánchez. Universidad de Salamanca
Joan Mallart i Navarra. Universidad de Barcelona
Carlos Marcelo García. Universidad de Sevilla
Miquel Martínez Martín. Universidad de Barcelona
Óscar Maureira. Universidad Católica Cardenal Raúl Silva Henríquez. Chile
Mario de Miguel Díaz. Universidad de Oviedo
Ramón Mínguez Vallejos. Universidad de Murcia
Isabel Muñoz San Roque. Universidad Pontificia Comillas
M.ª Ángeles Murga Menoyo. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Marisa Musaio. Università Cattolica del Sacro Cuore
Concepción Naval Durán. Universidad de Navarra
María José Navarro García. Universidad de Castilla-La Mancha
María del Carmen Palmero Cámara. Universidad de Burgos
Ascensión Palomares Ruiz. Universidad de Castilla-La Mancha
María Jesús Perales. Universidad de Valencia
Cruz Pérez Pérez. Universidad de Valencia
Juan de Pablo Pons. Universidad de Sevilla
Reinaldo Portal Domingo. Universidad Federal de Maranhao (Brasil)
Ángel Serafín Porto Ucha. Universidad de Santiago de Compostela
M.ª Mar del Pozo Andrés. Universidad de Alcalá
Josep María Puig Rovira. Universidad de Barcelona
Marta Ruiz Corbella. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
María Auxiliadora Sales Ciges. Universidad Jaime I
Jesús M. Salinas Ibáñez. Universidad de las Islas Baleares
M.ª Carmen Sanchidrián Blanco. Universidad de Málaga
Juana María Sancho Gil. Universidad de Barcelona
M.ª Luisa Sevillano García. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Luis Sobrado Fernández. Universidad de Santiago de Compostela
Tomás Sola Martínez. Universidad de Granada
Jesús Modesto Suárez Rodríguez. Universidad de Valencia
Francisco Javier Tejedor Tejedor. Universidad de Salamanca
José Manuel Touriñán López. Universidad de Santiago de Compostela
Javier Tourón Figueroa. Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)
Jaume Trilla Bernet. Universidad de Barcelona
Javier M. Valle. Universidad Autónoma de Madrid
Gonzalo Vázquez Gómez. Universidad Complutense de Madrid
Julio Vera Vila. Universidad de Málaga
Verónica Villarán Bedoya. Universidad Peruana Cayetano Heredia
Antonio Viñao Frago. Universidad de Murcia
Miguel Ángel Zabalza Beraza. Universidad de Santiago de Compostela

Contenido

NÚMERO MONOGRÁFICO / *SPECIAL ISSUE*: EDUCACIÓN STEM: TECNOLOGÍAS EMERGENTES PARA EL APRENDIZAJE CIENTÍFICO / *STEM EDUCATION: EMERGING TECHNOLOGIES FOR SCIENCE LEARNING*

PRESENTACIÓN EDITORIAL / *INTRODUCTION TO THE SPECIAL ISSUE*

- 11 El papel de las nuevas tecnologías en la educación STEM
The role of new technologies in STEM education
Alicia Palacios, Virginia Pascual y Daniel Moreno-Mediavilla

ARTÍCULOS / *ARTICLES*

- 25 Tecnologías emergentes en la educación STEM. Análisis bibliométrico de publicaciones en Scopus y WoS (2010-2020)
Emerging technologies in STEM education. A bibliometric analysis of publications in Scopus & WoS (2010-2020)
Francisco Silva-Díaz, Gracia Fernández-Ferrer, Mercedes Vásquez-Vilchez, Cristian Ferrada, Romina Narváez y Javier Carrillo-Rosúa
- 45 La trascendencia de la realidad virtual en la educación STEM: una revisión sistemática desde el punto de vista de la experimentación en el aula
The importance of virtual reality in STEM education: a systematic review from the point of view of experimentation in the classroom
Juan José Marrero-Galván y Manuel Hernández-Padrón
- 65 Análisis de *applets* de GeoGebra para la enseñanza del límite de una función
Analysis of GeoGebra applets for teaching the limit of a function
Álvaro Barreras, Luis Dubarbie y Antonio M. Oller-Marcén
- 85 Competencias docentes en el uso de simulaciones virtuales STEM: diseño y validación de un instrumento de medida (CDUSV)
Teacher competences in the use of STEM virtual simulations: design and validation of a measurement instrument (CDUSV)
Rosa Gómez, Alicia Palacios, Daniel Moreno-Mediavilla y Álvaro Barreras

- 103 Enseñanza de estadística descriptiva mediante el uso de simuladores y laboratorios virtuales en la etapa universitaria
Teaching of descriptive statistics using simulators and virtual laboratories at university level
Fernanda Tatiana Cox, Daniel González, Ángel Alberto Magreñán y Lara Orcos
- 125 Experiencia *blended learning* apoyada en un laboratorio virtual para educación de materias STEM
Blended learning experience supported by a virtual laboratory for STEM subjects training
Elena Arce, Francisco Zayas-Gato, Andrés Suárez-García, Álvaro Michelena, Esteban Jove, José-Luis Casteleiro-Roca, Héctor Quintián y José Luis Calvo-Rolle
- 145 Uso didáctico de un laboratorio virtual para favorecer la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre circuitos de corriente eléctrica
Didactic use of a virtual laboratory to promote the progression of students' mental models of electric current circuits
Alfonso Pontes Pedrajas

RECENSIONES / BOOK REVIEW

- 163 Santos Rego, M. A., Lorenzo Moledo, M. y Míguez Salina, G. (2022). *Fondos de conocimiento familiar e intervención educativa. Comprender las circunstancias sociohistóricas de los estudiantes*
Ígor Mella Núñez
- 165 Huerta, R. (2021). *Cementerios para educar*
Pedro V. Salido López
- 167 Meirieu, P. (2020). *La réplica: escuelas alternativas, neurociencias y métodos tradicionales: para acabar con los espejismos*
Katerin Tsenkov Asenov

POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA BORDÓN

NORMAS PARA LOS AUTORES. REDACCIÓN, PRESENTACIÓN Y PUBLICACIÓN DE COLABORACIONES

PRESENTACIÓN EDITORIAL /
INTRODUCTION TO THE SPECIAL ISSUE

EL PAPEL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA EDUCACIÓN STEM

The role of new technologies in STEM education

ALICIA PALACIOS, VIRGINIA PASCUAL Y DANIEL MORENO-MEDIAVILLA
Universidad Internacional de La Rioja (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.96550

Fecha de recepción: 30/09/2022 • Fecha de aceptación: 04/10/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Daniel Moreno-Mediavilla. E-mail: daniel.moreno@unir.net

Cómo citar este artículo: Palacios, A., Pascual, V. y Moreno-Mediavilla, D. (2022). El papel de las nuevas tecnologías en la educación STEM. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 11-21. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.96550>

INTRODUCCIÓN. El interés creciente alrededor de las enseñanzas STEM es el resultado de la acuciante necesidad de profesionales del área científico-tecnológica, unida a la necesidad de fomentar una alfabetización científica de la ciudadanía. De esta manera, la sociedad será capaz de enfrentarse a las grandes problemáticas sociocientíficas de la actualidad. La colaboración activa de las tecnologías emergentes como facilitadoras del proceso de enseñanza-aprendizaje se presenta como una herramienta clave para fomentar las vocaciones STEM, desarrollar habilidades de trabajo científico y mejorar la interpretación de procesos y conceptos. **MÉTODO.** Este artículo presenta a la comunidad científica un compendio de investigaciones teóricas y aplicadas que arrojan luz sobre el importante papel de las nuevas tecnologías en la educación STEM y las necesidades de investigación futuras. **RESULTADOS.** Los trabajos presentados muestran que la producción científica de este ámbito ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, observándose un auge en la aplicación de la realidad virtual en áreas STEM. Las simulaciones virtuales, se desarrollan a través de realidad virtual o como entorno virtual interactivo, plantean diferentes desafíos para su aplicación efectiva. Por un lado, es crucial determinar la validez de los *applets* como facilitadores del aprendizaje científico, y por otro lado, es importante conocer las competencias del profesorado en el uso de estas tecnologías para la educación STEM. Finalmente, se muestran evidencias claras de cómo las simulaciones y los laboratorios virtuales mejoran la enseñanza científico-tecnológica, favoreciendo la construcción de modelos mentales. **DISCUSIÓN.** Estos análisis permiten poner el foco en el interés de seguir profundizando en el desarrollo de las nuevas tecnologías, la complejidad de la tarea de seleccionar los simuladores más adecuados y en las necesidades de formación del profesorado.

Palabras clave: Educación STEM, Tecnologías educativas, Integración de la tecnología, Simulaciones virtuales.

Introducción

En pleno siglo XXI, es indiscutible que el aprendizaje de las ciencias se hace imprescindible para la sociedad actual, a pesar de que los informes internacionales de PISA (OECD, 2016; OECD, 2019) muestran resultados desesperanzadores con respecto a la motivación por las mismas y a su comprensión. Ante este reto que se plantea, nace una visión integradora de la enseñanza de las ciencias denominada STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), que intenta propiciar aprendizajes contextualizados y basados en el desarrollo de competencias clave, intentando tener, de ese modo, gran calado entre el alumnado. Por tanto, la educación STEM debe centrarse en un aprendizaje activo y crítico que permita una adquisición significativa de los contenidos a la vez que desarrolla las habilidades propias del trabajo científico, como son la capacidad de observar, generar hipótesis y resolver problemas a partir de la interpretación y la reflexión crítica, así como la capacidad de difundir sus conclusiones.

Una de las competencias íntimamente relacionadas con la enseñanza-aprendizaje de las disciplinas STEM es la competencia científica, cuyo desarrollo en el aula está íntimamente ligado a las actividades prácticas, ya que proporcionan el aprendizaje de los procesos de la ciencia, indispensables en los nuevos enfoques de enseñanza (Bybee, 2011; Osborne, 2014). Dichas actividades son fundamentales en la enseñanza-aprendizaje del ámbito científico tecnológico, pues permiten alcanzar los objetivos de enseñanza a la par que fomentan el pensamiento crítico. Sin embargo, en los centros educativos se torna complejo implementar este tipo de actividades, ya que deben desarrollarse de forma análoga a como se producen las prácticas reales o profesionales de estas disciplinas (Osborne, 2014; Vasquez *et al.*, 2013).

En este sentido, el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación ha propiciado múltiples opciones para facilitar,

a la par que enriquecer, el aprendizaje científico (Oliveira *et al.*, 2019). También han sido de gran ayuda para complementar la educación a distancia impuesta por la situación de emergencia sanitaria. Dentro de ellas, las tecnologías emergentes se plantean como recursos educativos de gran interés gracias a sus propiedades intrínsecas. Estas nuevas tecnologías favorecen situaciones de aprendizaje complejas como las que actualmente vive la sociedad, permiten al alumnado aprender en cualquier momento y cualquier lugar y pueden ser utilizadas tantas veces como se necesite. Además, en sí mismas, son motivadoras, fomentan el interés del estudiante y captan su atención (Oliveira *et al.*, 2019). Todo ello, unido al ritmo acelerado de la innovación tecnológica en los últimos años, ha creado una necesidad acuciante de investigación educativa que nos ayude a entender mejor la forma en que las nuevas tecnologías influyen en el aprendizaje escolar.

A pesar de las dificultades que se pueden derivar del uso de dichas tecnologías, como por ejemplo la falta de dotación de recursos materiales (European Commission, 2019), la propia implementación pedagógica (Napal y Zudaire, 2019) o los perfiles docentes (Sosa y Valverde, 2020), son numerosos los beneficios que se encuentran para el aula STEM. López *et al.* (2020) esgrimen numerosos argumentos a favor de su uso que agrupan en cinco apartados:

- a) Permiten la experimentación con fenómenos naturales y tecnológicos mediante la observación, manipulación, recogida y análisis de datos;
- b) la elaboración de modelos científicos y matemáticos, y la interacción con representaciones virtuales de entidades abstractas;
- c) la argumentación y comunicación de soluciones científicas, matemáticas y tecnológicas, así como la evaluación de pruebas y argumentos aportados por los demás;
- d) la alfabetización digital [...];
- e) el pensamiento computacional (p. 29).

Uno de los recursos tecnológicos que nos brindan estas posibilidades es la simulación o laboratorio

virtual, entendida como una aplicación interactiva que muestra una representación virtual de un fenómeno o sistema (De Jong y Van Joolingen, 1998). En las últimas décadas, la cantidad de simulaciones accesibles ha aumentado exponencialmente. Existen multitud de simulaciones de acceso abierto, de gran versatilidad y que abarcan una buena parte de los contenidos científicos (Brinson, 2017; D'Angelo *et al.*, 2014; Hallinger y Wang, 2020; Velasco y Buteler, 2017). Las simulaciones proporcionan gran flexibilidad en cuanto a dónde y cuándo las usamos, son intuitivas, pueden ser utilizadas simultáneamente por un gran número de estudiantes y la visualización e interacción con el fenómeno puede repetirse tantas veces como se quiera. Estas características hacen que sean adecuadas para presentar la ciencia como un proceso y mejorar la comprensión contextualizada de conceptos y fenómenos científicos (Alabdulhadi y Faisal, 2020).

Otras herramientas emergentes que se suelen asociar con la enseñanza STEM, según el informe *Horizon Report: K-12 Edition* (Freeman *et al.*, 2017), son *makerspaces*, robótica, tecnologías analíticas, realidad virtual, inteligencia artificial e internet de las cosas. La implementación de dichas herramientas en las aulas tiene distintos ritmos: los *makerspaces* y el uso de robótica son una realidad en la actualidad, se prevé que a medio plazo se implementen las tecnologías analíticas y la realidad virtual, y en cuanto a la inteligencia artificial e internet de las cosas, se prevé que lo hagan a largo plazo. Mientras que los *makerspaces* se articulan como espacios que alimentan la creatividad y la colaboración (Freeman *et al.*, 2017), Leonard *et al.* (2016) destacan la relevancia del uso de la robótica en el aula para poder desarrollar de manera sencilla el pensamiento computacional, uno de los puntos clave dentro de la enseñanza STEM. La importancia de la aplicación de realidad virtual y realidad aumentada en las aulas STEM radica en que permiten comprender conceptos científicos abstractos complejos, experimentar en primera persona algún fenómeno natural o alcanzar lugares imposibles, entre

otras cosas (Zhang y Wang, 2021). Con la inteligencia artificial se prevé que se pueda evaluar el progreso del alumnado (Freeman *et al.*, 2017) mediante la promoción de una enseñanza metacognitiva, aunque también se estima que pueda ayudar, al igual que con el internet de las cosas, en tareas administrativas.

La investigación didáctica en esta área ha tenido un crecimiento muy marcado en la última década (Freeman *et al.*, 2017; Hallinger y Wang, 2020; Oliveira *et al.*, 2019). Esto se debe, en primer lugar, a que la tecnología es cada vez más accesible tanto en las aulas de educación media como en educación superior. En segundo lugar, la tipología de herramientas y el enriquecimiento de sus características se encuentran en una fase de crecimiento exponencial gracias al desarrollo tecnológico. Y, en tercer lugar, a pesar de que existen numerosos estudios que avalan el uso de estos recursos para mejorar el aprendizaje, todos ellos coinciden en que las tecnologías emergentes en sí mismas no son condición suficiente para la mejora del aprendizaje, lo que pone el foco en cómo introducir la tecnología en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Si se tienen en cuenta estos elementos, la iniciativa de Bordón de desarrollar el monográfico sobre educación STEM y nuevas tecnologías plantea el interés de la comunidad educativa por impulsar la educación científica. La introducción de tecnologías emergentes, tales como laboratorios virtuales, simulaciones o realidad virtual, representa una oportunidad inmejorable para que la educación STEM pueda adaptarse a las demandas de la sociedad actual.

Estructura y contenido del monográfico

Este monográfico incluye el análisis de diferentes factores implicados en la inclusión de las nuevas tecnologías en el aprendizaje de las disciplinas STEM. El conjunto de artículos presentados explora cuáles son las tecnologías

emergentes con mayor progresión en áreas STEM, plantea las claves para entender la importancia de la realidad virtual para la comprensión de la ciencia, estudia las características que promueven la idoneidad didáctica de las simulaciones virtuales, analiza el papel del desarrollo de competencias docentes para el uso adecuado de las simulaciones virtuales en el aula y presenta experiencias educativas que contribuyen a mostrar cómo mejora el aprendizaje del alumnado con el uso de simulaciones y laboratorios virtuales.

Con la idea de aportar una visión global sobre los avances tecnológicos que fomentan un aprendizaje activo y experimental de los ámbitos STEM, el monográfico incluye artículos que abordan el uso de diferentes tecnologías emergentes tanto de forma global como de forma específica, presentando una amplia visión de tecnologías como la realidad virtual, los laboratorios virtuales o los *applets*. Además, los artículos muestran tanto una visión global de las áreas STEM como visiones más particulares centradas en ámbitos matemáticos o de ingeniería. Finalmente, las propuestas prácticas incluidas en el monográfico se abordan desde diferentes formatos de enseñanza: presencial y *blended learning*, y se han implementado en diferentes escuelas de España y América Latina, lo que aporta una perspectiva internacional.

El monográfico comienza con los artículos que aportan una visión global sobre las tecnologías emergentes en la educación STEM.

En primer lugar, resulta fundamental conocer si las diferentes tecnologías que se presentan en este monográfico realmente tienen aplicación en los ámbitos educativos en los que se les puede sacar un mayor partido, como es la educación STEM. En el trabajo titulado “Tecnologías emergentes en la educación STEM. Análisis bibliométrico de publicaciones en Scopus y WoS (2010-2020)”, Silva-Díaz, Fernández-Ferrer, Vázquez-Vilchez, Ferrada, Narváez y Carrillo-Rosúa han estudiado el modo en el que las tecnologías emergentes se

van incluyendo o no en el ámbito de la educación STEM. Para ello han establecido una revisión de las principales bases de datos Scopus y Web of Science-Clarivate, centrándose en aquellos resultados de la última década, relacionados con los niveles educativos que abarca la educación secundaria. Para ello, toman como referencia los tipos de tecnologías emergentes en educación descritos en el informe *Horizon Report: K-12 Edition*, entre las que se incluyen: a) espacios *maker*, b) robótica, c) tecnologías analíticas, d) realidad virtual, e) inteligencia artificial y f) internet de las cosas (IoT). Los resultados de la revisión bibliométrica desarrollada se centraron en el análisis de 250 artículos. De ellos se extrae que a partir del año 2017 la producción científica ha aumentado de manera casi exponencial, encabezada por Estados Unidos. De los resultados relacionados con el tipo de tecnología descrito en los trabajos, es francamente interesante comprobar cómo la realidad virtual ocupa la primera posición como tecnología más aplicada, seguida de la robótica, considerándose ambas tecnologías como las que muestran más recorrido temporal y experiencia en su aplicabilidad. Por otro lado, los autores destacan cómo, a pesar de un incremento de los trabajos en enseñanza STEM, la mayoría de las publicaciones se basan en trabajos desarrollados en enseñanza de ciencias concretas sin integración STEM. Otros resultados, como la distribución bibliográfica, las temáticas de las revistas en las que se publica o el número de publicaciones por revista, completan este interesante trabajo que aporta mucha información sobre el lugar que ocupa la tecnología educativa dentro de las publicaciones de impacto en la actualidad.

En el siguiente artículo del monográfico, Marerro Galván y Hernández Padrón parten de la premisa de que la realidad virtual (RV) se torna como la tecnología emergente de elección por los docentes en el área STEM para desarrollar su trabajo titulado “La trascendencia de la realidad virtual en la educación STEM: una revisión sistemática desde el punto de vista de la experimentación en el aula”. En la revisión sistemática

propuesta se pone especial énfasis en analizar el papel del alumnado de primaria y secundaria en la experimentación con realidad virtual en las disciplinas STEM, así como la tipología metodológica usada para su implementación en el aula y la eficacia de esta. Para ello, se centran en artículos publicados con acceso abierto desde 2000 a 2021 en la base de datos Scopus y siguen las indicaciones que proporciona PRISMA para este tipo de revisiones. Los resultados obtenidos indican que la mayor producción se centra entre los años 2019-2021. Además, muestran que el aprendizaje basado en problemas o la indagación suelen ser las metodologías de elección para la educación STEM a través de realidad virtual. Por otro lado, las propuestas de intervención implementadas han dado resultados positivos tanto a nivel cognitivo como afectivo en el alumnado, aunque estos resultados son de alcance limitado debido al reducido tamaño muestral de estas investigaciones. En este trabajo también se plantean ideas interesantes sobre la escasa fundamentación teórica de los diseños de actividades con RV, así como sobre las limitaciones en cuanto al uso y la disponibilidad de esta herramienta. Todo ello hace que sea un trabajo clave para definir las líneas de investigación sobre esta temática en los próximos años.

El siguiente trabajo aborda una de las problemáticas a las que se enfrenta el profesorado cuando se plantea la implantación de simulaciones virtuales en sus aulas: la dificultad de escoger la más adecuada para el objetivo didáctico que alcanzar.

Al considerar GeoGebra como una de las principales plataformas de simulaciones virtuales que pueden encontrar los docentes de Matemáticas, Barreras, Dubarbie y Oller-Marcén analizan en su trabajo la idoneidad didáctica de un conjunto de *applets* de GeoGebra orientados al estudio del concepto de límite de una función. La idea de idoneidad didáctica queda definida como resultado de cinco variables identificadas y descritas por los autores de manera profusa

dentro del análisis teórico; las variables mencionadas son: tipo de límite, interactividad, imagen conceptual, representación y acción, y que a su vez se dividen en otras. El análisis cuantitativo de los resultados, desarrollado durante el año 2021, los llevó a analizar unos 150 *applets* a través de un proceso de triangulación de investigadores para dotar de validez y consistencia los resultados. Dentro de los resultados obtenidos tras el análisis, toma especial relevancia comprobar que los *applets* que incluyen un manejo interactivo son más completos a la hora de desarrollar las diferentes imágenes conceptuales de la noción de límite. Los autores indican que “la interactividad parece ser una buena elección a la hora de desarrollar imágenes conceptuales eficientes”, del mismo modo la idoneidad didáctica se ve favorecida por la aparición de “dos y hasta tres acciones de manera simultánea en el mismo *applet*”. Estos resultados evidencian una correlación entre la cantidad de representaciones del límite utilizadas en los *applets* y el porcentaje de *applets* que permiten realizar dos o tres acciones entre los sistemas de representación considerados. Además, se ha comprobado cómo la información recogida en el propio *applet* no es suficiente para comprender el concepto que trabajan y que es necesario introducir un “discurso docente” que la complemente. El artículo titulado “Análisis de *applets* de GeoGebra para la enseñanza del límite de una función” es un punto de partida para una doble función, por un lado, continuar con el diseño de instrumentos de análisis que permitan la clasificación más completa de cualquier *applet* y, por otro lado, diseñar actividades de formación que permitan sacar el máximo rendimiento de estos.

Tal y como muestran Barreras *et al.*, el papel del docente es primordial en el éxito del uso de tecnologías emergentes para la educación STEM, tanto desde el punto de vista de la elección de la simulación como desde el diseño didáctico para su puesta en práctica en el aula. Esta última idea es abordada en el trabajo de Gómez, Palacios, Moreno-Mediavilla y Barreras, donde plantean

que, como toda herramienta educativa, las simulaciones virtuales no son capaces de transformar el aprendizaje por sí solas, siendo esencial la cuestión de cómo las usan los docentes. Bajo esta premisa, plantean la necesidad de conocer las competencias que requiere un docente para ser capaz de superar las dificultades concretas asociadas al uso de las simulaciones virtuales STEM en el aula de educación secundaria. A partir de una profunda revisión bibliográfica sobre competencias tecnológicas y las dificultades asociadas al uso de simulaciones virtuales, diseñan un cuestionario compuesto por 26 ítems que pretende valorar la percepción del profesorado sobre sus competencias en el uso de simulaciones virtuales (CDUSV). Este cuestionario es sometido inicialmente a una prueba piloto y un juicio de expertos y, finalmente, se analiza tanto la validez del constructo, mediante un análisis factorial exploratorio, como la fiabilidad del instrumento. Estos métodos de análisis permiten a los autores presentar el diseño y validación de una escala que contiene unas propiedades psicométricas satisfactorias. Esta escala se compone de cuatro factores que evidencian las cuatro claves que tener en cuenta cuando se quiere formar al profesorado en el uso de simulaciones virtuales STEM: “desarrollo de la práctica docente”, “planificación didáctica”, “autorreflexión sobre la práctica docente” y “dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales”. El cuestionario presentado es de gran interés para la comunidad educativa del área STEM, ya que su puesta en práctica permite determinar las necesidades de formación del profesorado respecto al uso de simulaciones virtuales y, con ello, se abre la puerta a poder diseñar formaciones adaptadas a las necesidades reales de los docentes en cada una de las áreas STEM. Esto representa un punto de partida imprescindible para avanzar y mejorar en la didáctica de las ciencias a través de simulaciones virtuales.

El último bloque del monográfico lo componen tres artículos que se centran en el diseño e implementación de propuestas didácticas que

utilizan simulaciones y laboratorios virtuales para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En primer lugar, Cox, González, Magreñán y Orcos destacan la importancia de utilizar simulaciones virtuales para mantener la atención y despertar el interés del alumnado hacia la enseñanza de las matemáticas, así como para mejorar su rendimiento académico. Para ello, este artículo plantea el desarrollo de una experiencia de aprendizaje con el uso de simulaciones virtuales de estadística descriptiva en la asignatura de Lenguaje Cuantitativo de primer curso de universidad en Ecuador. La peculiaridad de esta propuesta radica en que está diseñada para estudiantes de educación superior, pero con un nivel muy bajo o nulo en estadística, lo que añade una cualidad positiva adicional al uso de simulaciones virtuales en el aula. En la propuesta didáctica se plantea el uso de diferentes simulaciones virtuales de reconocido prestigio (PhET Colorado, GeoGebra y proyecto Descartes) en diferentes momentos del proceso de enseñanza, usándose para las clases teóricas, las clases de resolución de problemas y en el trabajo que el estudiante debía desarrollar como tarea para casa. Para determinar si con la puesta en práctica de su propuesta didáctica se produce una mejora de la competencia estadística del estudiante y de su satisfacción, los autores utilizan una metodología pretest posttest con grupo control. Los resultados muestran diferencias significativas entre el grupo experimental y el control, concluyéndose que el uso conjunto de varios simuladores y laboratorios virtuales es muy efectivo para superar las dificultades de aprendizaje en relación con el estudio de la estadística descriptiva en el aula. Además, los autores muestran una mejora motivacional gracias al uso de estas herramientas, con lo que concluyen que los simuladores elegidos y la planificación didáctica diseñada son eficaces para la enseñanza de estadística descriptiva. Este artículo representa una muestra más de que este tipo de herramientas deben ser tenidas muy en cuenta para la educación STEM

y que su implementación en el aula debe ser cuidadosamente diseñada para alcanzar un aprendizaje auténtico.

En el siguiente artículo, “Experiencia *blended learning* apoyada en un laboratorio virtual para educación de materias STEM”, Arce, Zayas-Gato, Suárez-García, Michelena, Jove, Casteleiro-Roca, Quintián y Calvo-Rolle plantean un análisis de la modalidad de enseñanza *blended learning*, que tanto crecimiento y aplicación ha tenido en los últimos tiempos. Este enfoque lo aplican a través de un laboratorio virtual diseñado *ex profeso* para la asignatura de Tecnología de Sistemas de Control, dentro de los estudios del Máster Universitario en Ingeniería Industrial. La metodología *blended learning* permite un modelo de aprendizaje flexible y personalizado, puesto que facilita al alumnado su planificación y ofrece un entorno de trabajo colaborativo que favorece la adquisición de las denominadas *soft skills* (competencias blandas). Los autores plantean la dependencia de la tecnología como uno de los principales problemas de la metodología *blended learning*. Esta dependencia se hace aún más marcada en aquellas titulaciones de corte STEM, que necesitan de la práctica de laboratorio como complemento formativo. Para solucionar este vacío, los autores del trabajo proponen el diseño de un laboratorio virtual basado en un entorno de simulación virtual para estudiantes de ingeniería, cuyo objetivo es la emulación de un sistema real de control de nivel de líquido. En el trabajo incluyen una descripción completa del diseño del laboratorio virtual, describiendo también el entorno de programación aplicado y comparándolo con el equipo de medida real existente en el laboratorio físico. Además, plantean un estudio comparativo de los resultados obtenidos por dos grupos de estudiantes que han trabajado en el entorno real o en el entorno virtual. Los resultados muestran que aquellos que lo hicieron de manera virtual obtuvieron una calificación mayor que aquellos que trabajaron de manera real con el equipo. Los autores destacan la importancia de la adquisición de habilidades duras y blandas por

parte del alumnado que participa de un modo virtual, ya que se favorece el trabajo autónomo y les permite una organización del trabajo más personalizada.

Finalmente, el último trabajo incluido en este monográfico aborda una de las dificultades asociadas al aprendizaje de la ciencia, como es el uso intuitivo de modelos mentales de carácter alternativo para explicar los fenómenos científicos. En estos casos, para conseguir una mejora en el aprendizaje, es necesario comprender los modelos alternativos de los que parte el estudiante y desarrollar una estrategia que favorezca un aprendizaje reflexivo y la construcción de modelos mentales avanzados. Con la idea de dar respuesta a esta preocupación, Pontes Pedrajas presenta un interesante estudio que analiza cómo el uso de un laboratorio virtual mediante indagación guiada favorece la reflexión y la progresión de los modelos mentales de los estudiantes de primero de ingeniería en torno al funcionamiento de circuitos eléctricos. El diseño de la experiencia de aprendizaje que plantea el autor parte de la exploración de los conocimientos previos del alumnado a través de problemas abiertos sobre circuitos eléctricos. Con este primer paso comprueba que los estudiantes de primer curso de universidad utilizan diversos modelos mentales de carácter alternativo. Para desarrollar un cambio conceptual en sus estudiantes, su trabajo plantea el desarrollo de actividades de indagación guiada a través del uso del laboratorio virtual del proyecto PhET Simulations. El laboratorio virtual escogido facilita la construcción de circuitos sencillos o complejos, la medida de magnitudes y comprobar cómo cambian estas al modificar alguna variable o la propia estructura del circuito. El uso de esta simulación se desarrolla a partir de un problema al que los estudiantes deben enfrentarse planteando hipótesis y contrastándolas a través del diseño virtual de circuitos y la recogida de datos. El análisis cuantitativo y cualitativo de los resultados muestra un aumento importante de ideas coherentes con el modelo científico de corriente eléctrica entre los participantes

en el estudio. Esto representa una evidencia más que apoya el uso de programas de simulación para mejorar la calidad de la educación científica. Además, este trabajo abre la puerta a futuras investigaciones sobre cuáles son los métodos y materiales didácticos más adecuados para mejorar el proceso de enseñanza a través de simulaciones y, así, poder determinar el papel específico de los programas de simulación en el aprendizaje.

En definitiva, a partir de los trabajos incluidos en este monográfico se desarrollan y consolidan algunas de las cuestiones relacionadas con la importancia de las tecnologías emergentes para mejorar la educación STEM y salen a la luz importantes líneas de investigación futuras. Esperamos que la

comunidad científica pueda tener en cuenta estas ideas en sus próximos estudios de investigación didáctica y, con ello, la educación científica pueda adaptarse a las necesidades del siglo XXI.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Sociedad Española de Pedagogía y del equipo de editores de *Bordón*, así como a las evaluadoras y los evaluadores que permitieron mejorar las propuestas de investigación. Agradecemos el apoyo de la Universidad Internacional de La Rioja (Proyectos RETOS de Investigación UNIR 2020) y del profesor Javier Tourón.

Referencias bibliográficas

- Alabdulhadi, A. y Faisal, M. (2020). Systematic literature review of STEM self-study related ITSs. *Education and Information Technologies*, 26, 1549-1588. <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10315-z>
- Brinson, J. R. (2017). A further characterization of empirical research related to learning outcome achievement in remote and virtual science labs. *Journal of Science Education and Technology*, 26, 546-560. <https://doi.org/10.1007/s10956-017-9699-8>
- Bybee, R. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms: understanding “A framework for K-12 science education”. *Science Teacher*, 78(1), 34-40.
- D’Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E. y Haertel, G. (2014). *Simulations for STEM learning: systematic review and meta-analysis*. SRI International.
- De Jong, T. y Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. <https://doi.org/10.2307/1170753>
- European Commission (2019). 2nd survey of schools: ICT in education. Benchmarking access, use and attitudes to technology in Europe’s schools.
- Freeman, A., Adams, S., Cummins, M., Davis, A. y Hall, C. (2017). *NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K-12 Edition*. The New Media Consortium.
- Hallinger, P. y Wang, R. (2020). The evolution of simulation-based learning across the disciplines, 1965-2018: a science map of the literature. *Simulation & Gaming*, 51(1), 9-32. <https://doi.org/10.1177/1046878119888246>
- Leonard, J., Buss, A., Gamboa, R., Mitchell, M., Fashola, O., Hubert, T. y Almughyirah, S. (2016). Using robotics and game design to enhance children’s self-efficacy, STEM attitudes, and computational thinking skills. *Journal of Science Education and Technology*, 25, 860-876. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9628-2>
- López, V., Couso, D. y Simarro, C. (2020) Educación STEM en y para un mundo digital: el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia*, 62(20), 20-29. <http://dx.doi.org/10.6018/red.410011>
- Napal, M. y Zudaire, M. I. (2019). *STEM. La enseñanza de las ciencias en la actualidad*. Dextra.

- OECD (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework*. OECD. <https://www.oecd.org/education/pisa-2015-assessment-and-analytical-framework-9789264281820-en.htm>
- OECD (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. OECD. https://read.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2018-assessment-and-analytical-framework_b25efab8-en#page1
- Oliveira, A., Behnagh, R., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J. y Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: a literature review. *Human Behavior & Emerging Technologies*, 1, 149-160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 177-196. <http://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Sosa-Díaz, M. J. y Valverde-Berrocoso, J. (2020). Perfiles docentes en el contexto de la transformación digital de la escuela. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 72(1), 151-173. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2020.72965>
- Vasquez, J. A., Sneider, C. y Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.
- Velasco, J. y Buteler, L. (2017). Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 161-178. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2117>
- Zhang, W. y Wang, Z. (2021). Teoría y práctica de VR/AR en educación científica K-12: una revisión sistemática. *Sustentabilidad*, 13, 12646. <https://doi.org/10.3390/su132212646>

Abstract

The role of new technologies in STEM education

INTRODUCTION. The growing interest around STEM teachings is the result of the urgent need for professionals in the scientific-technological added to the need to promote scientific literacy among citizens. This way, the society will be able to face the great current socio-scientific problems. The active contribution of emerging technologies as facilitators of the teaching-learning process are presented as a key tool to promote STEM vocations, develop scientific work skills and improve the interpretation of processes and concepts. **METHOD.** This paper introduces a compilation of theoretical and applied research to the scientific community, that sheds light to the important role of new technologies in STEM Education, and also the needs of future research. **RESULTS.** The included research papers show that scientific production in this field has experienced an exponential growth in recent years, with an exponential growth in the application of virtual reality in STEM areas. Virtual simulations pose different challenges for their effective implementation, either if they are developed through virtual reality or as an interactive virtual environment. On the one hand, it is crucial to determine the validity of applets as facilitators of scientific learning; on the other hand, it is also important to know the teacher's competences in the use of these technologies for STEM education. Finally, clear evidence is shown about how simulations and virtual laboratories improve scientific-technological teaching as well as the construction of mental models. **DISCUSSION.** These results allow us to focus on deepening in the development of new technologies, as well as in the complex task of selecting the most suitable simulators, and in the training needs for teachers.

Keywords: *STEM education, Educational technology, Virtual reality, Computer simulation.*

Résumé

Le rôle des nouvelles technologies dans l'éducation STEM

INTRODUCTION. La croissance de l'intérêt autour de l'enseignements des STEM conjointement avec la nécessité de développer une alphabétisation scientifique pour les citoyens résultent de l'urgente nécessité d'innovation des professionnels du domaine scientifique et technologique. Seulement de cette façon, la société sera capable d'affronter les grandes problématiques socio-scientifiques de l'actualité. La collaboration active des technologies émergentes comme facilitateur du processus d'enseignement-apprentissage se présente comme un outil clé pour encourager les vocations STEM, pour développer des compétences de travail scientifique et pour améliorer l'interprétation de processus et de concepts. **METHODE.** Cet article présente à la communauté scientifique un ensemble d'investigations théoriques et appliquées qui mettent en lumière le rôle important des nouvelles technologies dans l'enseignement des STEM, ainsi que l'orientation des futurs recherches. **RESULTATS.** Les travaux présentés montrent que la production scientifique dans ce domaine a expérimenté une croissance exponentielle dans les dernières années, en observant un essor dans l'application de la réalité virtuelle dans les domaines STEM. Les simulations virtuelles se développent à travers la réalité virtuelle, comme un environnement virtuel interactif, et elles présentent des différents défis pour leurs applications effectives. D'un côté, il est crucial de déterminer la validité des applets comme facilitateurs de l'apprentissage scientifique, et de l'autre, reconnaître les compétences des enseignants dans l'utilisation de ces technologies pour l'enseignement des STEM. Finalement, on montre des claires évidences de comment les simulations et laboratoires virtuels améliorent l'enseignement scientifique et technologique, en favorisant la construction des modèles mentaux. **DISCUSSION.** Ces analyses permettent de mettre en lumière l'intérêt de continuer à approfondir le développement des nouvelles technologies, ainsi que la complexité de la tâche de sélectionner les simulateurs les plus adéquats, de pair avec les besoins de formation des enseignants.

Mots-clés : Enseignement des STEM, Technologie éducative, Réalité virtuelle, Simulations virtuelles.

Perfil profesional de los autores

Alicia Palacios Ortega

Doctora en Bioquímica por la Universidad Complutense de Madrid. Docente del área de ciencias en educación secundaria y educación de adultos. Profesora e investigadora de la Facultad de Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Directora académica del Máster Universitario de Didáctica de Física y Química en Educación Secundaria de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales (DIMACE).

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7906-1417>

Correo electrónico de contacto: alicia.palacios@unir.net

Virginia Pascual López

Doctora en Biología por la Universidad de Málaga (mención europea). Profesora e investigadora de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Directora académica del Máster Universitario de Didáctica de Biología y Geología en Educación Secundaria y Bachillerato de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación DIMACE (Didáctica de las Matemáticas y Ciencias Experimentales).

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-1380>

Correo electrónico de contacto: virginia.pascual@unir.net

Daniel Moreno-Mediavilla (autor de contacto)

Profesor de la Facultad de Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales (DIMACE). Coordinador del Área de Didáctica de las Matemáticas y Ciencias Experimentales en la Facultad de Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Doctor en Química por la Universidad de Burgos. Más de 20 artículos publicados dentro de JCR y Scopus, y autor de una patente.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5633-2376>

Correo electrónico de contacto: daniel.moreno@unir.net

Dirección para la correspondencia: Universidad Internacional de La Rioja. Av. de la Paz, 137, 26006 Logroño (La Rioja).

ARTÍCULOS /
ARTICLES

TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA EDUCACIÓN STEM. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE PUBLICACIONES EN SCOPUS Y WOS (2010-2020)

Emerging technologies in STEM education. A bibliometric analysis of publications in Scopus & WoS (2010-2020)

FRANCISCO SILVA-DÍAZ⁽¹⁾, GRACIA FERNÁNDEZ-FERRER⁽¹⁾, MERCEDES VÁSQUEZ-VILCHEZ⁽¹⁾, CRISTIAN FERRADA⁽²⁾, ROMINA NARVÁEZ⁽¹⁾ Y JAVIER CARRILLO-ROSÚA^{(1),(3)}

⁽¹⁾ Universidad de Granada (España)

⁽²⁾ Universidad de los Lagos (Chile)

⁽³⁾ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra – CSIC-UGR (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.94198

Fecha de recepción: 11/04/2022 • Fecha de aceptación: 26/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Francisco Silva-Díaz. E-mail: fsilva@correo.ugr.es

Cómo citar este artículo: Silva-Díaz, F., Fernández-Ferrer, G., Vázquez-Vilchez, M., Ferrada, C., Narváez, R. y Carrillo-Rosúa, J. (2022). Tecnologías emergentes en la educación STEM. Análisis bibliométrico de publicaciones en Scopus y WoS (2010-2020). *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 25-44. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94198>

INTRODUCCIÓN. En el presente artículo se presenta una revisión de la literatura indexada en las bases de datos Scopus y Web of Science-Clarivate basada en el análisis de indicadores bibliométricos sobre el uso de tecnologías emergentes en educación. Para ello se consideran las recogidas en el informe *Horizon Report: K-12 Edition*: a) espacios maker, b) robótica, c) tecnologías analíticas, d) realidad virtual, e) inteligencia artificial y f) internet de las cosas (IoT). Además, se considera como variable que sean utilizadas en la enseñanza de la educación científica y la educación STEM/STEAM en el contexto de la educación secundaria. **MÉTODO.** La revisión se desarrolla mediante el flujo para estudios bibliométricos propuesto por Zupic y Čater (2015). Se ha realizado una búsqueda en Scopus y WoS basada en una ecuación que reúne términos claves de las tres variables de análisis descritas. **RESULTADOS.** Los principales resultados obtenidos indican que existe un notorio incremento en la producción científica sobre el tema, especialmente a partir del año 2017 en adelante. Además, se observa un predominio de la realidad virtual y la robótica educativa como las tecnologías preferidas para el desarrollo de la educación científica. **DISCUSIÓN.** Se observa un predominio de la enseñanza de la ciencia de forma particular sobre los enfoques STEM y STEAM, no obstante, se percibe una tendencia positiva respecto de estos dos últimos en la última parte de la década analizada. Por otra parte, se observa que, a partir del año 2018 en adelante, la producción científica respecto del uso de tecnologías emergentes ha tenido un crecimiento acelerado, siendo la realidad virtual y la robótica las más utilizadas.

Palabras clave: Tecnología educativa, Usos de la tecnología en la educación, Educación STEM, Educación científica, Bibliometría.

Introducción y marco teórico

Durante las dos últimas décadas se ha venido enfatizando la necesidad de desarrollar modelos teórico-pedagógicos orientados hacia la enseñanza de las ciencias desde una dimensión integradora de las disciplinas claves para el siglo XXI, dentro de las cuales encontramos las ciencias, la tecnología, el pensamiento de ingeniería y las matemáticas (Bybee, 2013; Sanders, 2009). A partir de esta búsqueda por desarrollar un modelo pedagógico integrador para la enseñanza de las ciencias surgen movimientos como el STEM (*Science-Technology-Engineering-Mathematics*), en primer lugar, y posteriormente el STEAM a través de la inclusión de la dimensión artística (A), o incluso humanística en un sentido más amplio e integrador (Lewis, 2015).

La inclusión de la educación STEM y STEAM en los currículos educativos a nivel nacional e internacional se ha basado en las evidencias que ponen de manifiesto que dichos modelos pedagógicos suponen una serie de ventajas en el desarrollo de competencias clave en el estudiantado (Fleer, 2013; Toma y Meneses-Villagrà, 2019; Zollman, 2012).

Ante una diversidad de definiciones existentes respecto al STEM como modelo pedagógico (Bybee, 2013; Martín-Páez *et al.*, 2019), hemos considerado la propuesta por Martín-Páez *et al.* (2019), la que, a nuestro parecer, da cuenta de los propósitos educativos del modelo. En dicha investigación, que recoge una de las revisiones más completas de la literatura científica respecto de la educación STEM, los autores proponen que se trata de “un enfoque de enseñanza en el que se integran contenidos conceptuales y procedimentales propios de las disciplinas STEM, donde una de las disciplinas adquiere más relevancia dependiendo del contexto”.

En cuanto a los aportes que ha supuesto la integración del área de la dimensión artística del enfoque STEAM, cabe señalar que quizás la mayor

aportación que esto conlleva sea la de reforzar el sentido de la creatividad, habilidad que ha sido definida por algunos como la más importante del siglo XXI, aunque también habría que señalar otras, como el pensamiento crítico, las habilidades cooperativas o la colaboración (Lewis, 2015). Se habla incluso de pasar de la interdisciplinariedad a la transdisciplinariedad (Liao, 2016).

Por otra parte, hemos observado cómo la integración de la tecnología en el ámbito educativo, especialmente en las áreas científicas o STEM y/o STEAM, ha tomado un rol relevante durante los últimos años (Freeman *et al.*, 2017; ODITE, 2017), lo que ha tenido un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes puesto que, entre otros beneficios, permite maximizar la mejora de las actitudes hacia las ciencias (Aguilera y Perales-Palacios, 2018; Makransky *et al.*, 2020) y suponen un factor motivacional importante para el aprendizaje de las ciencias (Makokha, 2017; Silva-Díaz *et al.*, 2021).

Frente a este acelerado desarrollo tecnológico al servicio de la educación, ha surgido una categoría conocida como tecnologías emergentes en la educación (TEE). Se trata de tecnologías innovadoras que aportan mejoras frente a otras más tradicionales, y que ya se encuentran consolidadas pero que aún no alcanzan un nivel de madurez, por tanto se encuentran en pleno desarrollo. Con la finalidad de identificar cuáles son las tecnologías emergentes que se están utilizando a nivel internacional, el New Media Consortium (NMC) y el Consortium for School Networking (CoSN)¹ desarrollan anualmente un informe que tiene por objetivo identificar las nuevas tendencias para la enseñanza, tanto en lo relativo a modelos pedagógicos como a tecnologías emergentes en el ámbito de la educación.

Si bien hemos observado la existencia de estudios de corte bibliométrico orientados al uso de las tecnologías emergentes como recurso pedagógico (Xia y Zhong, 2018; Oliveira *et al.*,

2019; Ferrada *et al.*, 2020), estas se han centrado en otro tipo de tecnologías, más cercanas al pensamiento computacional y la robótica educativa, pero no responden a lo señalado en el informe *Horizon Report: K-12 Edition* de 2017 (Freeman *et al.*, 2017).

Considerando lo expuesto en este apartado, se ha diseñado una investigación bibliométrica que tiene por objetivo general caracterizar la producción científica sobre tecnologías emergentes en el ámbito de la educación STEAM en función de:

- Caracterizar la distribución demográfica de los documentos analizados (según el año de publicación, el género del primer autor, la distribución en función del género de todos los autores y la procedencia de la afiliación del primer autor).
- Determinar la distribución de los documentos analizados respecto a los ámbitos de análisis centrales (según el tipo de tecnología emergente utilizada, el tipo de enseñanza y el nivel educativo al que se encuentran dirigidos los documentos).
- Caracterizar la distribución bibliográfica de los documentos (según indexación en revistas académicas, temática de indexación de los documentos, el número de citas y respecto del análisis de las palabras claves [keywords]).

Método

La presente investigación es de corte cuantitativo y se desarrolla mediante un estudio bibliométrico basado en el esquema propuesto por Zupic y Čater (2015). Se establece un modelo de flujo de trabajo estructurado en cinco etapas (figura 1).

Diseño del estudio y unidades de análisis

A partir de una revisión de literatura científica basada en la temática del uso de tecnología emergente en educación en el ámbito de las ciencias experimentales y la educación STEM y STEAM en la educación secundaria se definen una serie de indicadores bibliométricos que permitan caracterizar la muestra en función del objetivo propuesto para el presente estudio. Para el diseño del proceso de búsqueda se han definido tres ámbitos de análisis que después constituirán las unidades o variables de análisis centrales: a) el tipo de tecnología utilizada, b) el tipo de enseñanza que se desarrolla y c) el nivel educativo.

En cuanto al “tipo de tecnología”, se ha utilizado como marco de referencia aquellas incluidas en el informe *Horizon Report: K-12 Edition* (Freeman *et al.*, 2017). En la tabla 1 se presenta una descripción de las TEE indicando su conceptualización y ejemplos de tipo de tecnología considerada para cada indicador.

FIGURA 1. Diagrama de flujo utilizado en el proceso de revisión bibliométrica basada en la propuesta de Zupic y Čater (2015)

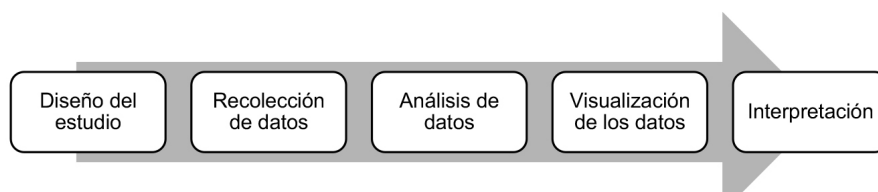


TABLA 1. Tecnologías emergentes en educación incluidas en el informe *Horizon Report: K-12 Edition* (Freeman et al., 2017)

TEE	Conceptualización	Ejemplos
Espacios <i>maker</i>	Espacios físicos diseñados para fomentar el aprendizaje mediante el trabajo “práctico”, suelen contar con diversos tipos de tecnologías emergentes. Se enfatizan las actividades manuales sobre la tecnología	Impresoras 3D Cortadores láser Softwares de animación
Robótica	Es considerada como el diseño y las aplicaciones de robots o máquinas automatizadas que realizan diversas actividades. Se utilizan para fomentar el pensamiento crítico y computacional. Además, se suelen asociar al desarrollo de actividades de tipo STEM	Lego WeDo Mbot Next Scratch Arduino
Tecnologías analíticas	Consideradas como herramientas y aplicaciones que convierten datos en información procesable, lo que permite al profesorado tener información, en tiempo real, sobre los progresos del alumnado facilitando la toma de decisiones respecto de los ajustes necesarios en función de sus logros	Sistemas de gestión de bases de datos Herramientas de análisis predictivo y de modelado
Realidad virtual (aumentada y mixta)	Entornos generados por ordenador que simulan un espacio físico en los que se desarrollan experiencias sensoriales realistas. Existe un nivel de inmersión básico que contempla el uso de imágenes en 3D con la posibilidad de interactuar mediante el uso de un ordenador y otro de nivel de inmersión alto que permite conseguir experiencias más “realistas”. Adicionalmente, la “realidad mixta” ofrece información adicional en un entorno real con elementos basados en tecnología de realidad aumentada	Samsung Gear Google Cardboards HTC-Vive Oculus Rift / Go / Quest I y II PlayStation VR Microsoft HoloLens
Inteligencia artificial (IA)	Es considerada como la capacidad de los ordenadores de tomar decisiones basadas en el aprendizaje automático a partir de la interacción con los seres humanos. Se fundamenta en la automatización de tareas complejas y la capacidad de predicción a partir del manejo de datos masivos	Cortana (Microsoft) Siri (Apple) Alexa (Amazon) Google Home
Internet de las cosas (IoT)	El internet de las cosas (IoT) consta de objetos dotados de potencia informática a través de procesadores o sensores integrados capaces de transmitir información a través de redes. Estas conexiones permiten la gestión remota, la supervisión del estado, el seguimiento y las alertas. Este tipo de tecnologías facilita la optimización de recursos a partir de los datos obtenidos en tiempo real	Wearables Smart devices Smartwatch Smartphone Sensores

Respecto al “tipo de enseñanza”, se ha definido la educación científica desde la perspectiva única de la enseñanza de una ciencia y, además, se ha considerado la educación STEM y STEAM (tabla 2).

TABLA 2. Tipos de enseñanza

Ciencia particular	En esta categoría se contempla la enseñanza particular de alguna de las ciencias, considerando, para ello, la física, química, biología, geología, educación ambiental, ciencias de la tierra, ciencias de la vida y/o ciencias del espacio
Educación STEM	En cuanto al ámbito STEM, se contemplan todos aquellos estudios que declaren en sus resúmenes la educación STEM, ya sea en su acrónimo o de forma segregada (<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>). Adicionalmente, se consideran aquellos estudios en los que, aunque no se declare en sus resúmenes, se realicen actividades de tipo STEM (p. ej., robótica educativa)
Educación STEAM	Con relación a esta categoría, se han considerado aquellos estudios que declaren explícitamente un enfoque STEAM, es decir, que incluyan la variante “art” o más cercana al ámbito de las humanidades

Por último, y en relación con el “nivel educativo”, para la presente revisión se han considerado tres categorías (tabla 3).

Adicionalmente, se han considerado las variables año de publicación, número de autores, género y país de procedencia del primer autor y resto de autores, revista, ámbito de indexación de la revista, citas y citas normalizadas. Cabe señalar que la determinación del género se realizó en base al nombre de pila y fotografías, para lo que se realizó una búsqueda exhaustiva de información de los autores en plataformas académicas, profesionales y/o sociales. No obstante hubo un pequeño número de casos donde no se pudo determinar el género, denominándose a este grupo como “no determinado”.

TABLA 3. Nivel educativo

Secundaria	Se contemplan todos aquellos estudios dirigidos al nivel secundario. Para estos efectos se han considerado los términos “high school” y “middle school”, además de los niveles independientes (6 th grade, 7 th grade, 12 th grade, etc.) y en su conjunto (<i>Secondary School</i>)
Primaria y secundaria	En esta categoría se contemplan aquellos estudios en los que, además de incluir la educación secundaria, se consideran algunos cursos de educación primaria. En ningún caso esta actúa de forma independiente
Formación del profesorado y secundaria	En relación con esta categoría, se consideran aquellos estudios que, dirigidos o no al estudiantado de secundaria, contemplan al profesorado tanto en formación (inicial o continua) como en ejercicio de la profesión en el nivel de secundaria

En cuanto a las citas, se obtienen a partir de los registros de Scopus, Web of Science-Clarivate y los datos de Google Scholar. Respecto a las citas normalizadas, se establece mediante el cociente número de citas totales (de Google Scholar, por su aplicabilidad a todos los documentos) y cantidad de años del documento hasta 2021 (fecha en que se obtienen los registros). El ámbito de indexación de la revista se realizó mediante categorización propia, previa consulta de la política editorial de las revistas.

Recolección de datos

El proceso de recolección de datos se desarrolla a partir de la elaboración de una ecuación de búsqueda avanzada para las bases de datos Scopus y Web of Science-Clarivate. Se han considerado estas bases de datos debido a su alta indexación de trabajos científicos de carácter empírico, su amplio uso en el ámbito científico-académico y sus altos estándares de calidad.

Para el desarrollo de la ecuación de búsqueda avanzada, el grupo de autores han realizado búsquedas

TABLA 4. Ecuación de búsqueda avanzada (Scopus)

TITLE-ABS-KEY((robot* OR "maker spaces" OR "makerspaces" OR "analytics technologies" OR "virtual reality" OR "augmented reality" OR "Artificial Intelligence" OR "Internet of Things" OR "Emerging Technologies") AND ("Science education" OR "Science Learning" OR "Science Teaching" OR "science" OR "physics" OR "chemistry" OR "geology" OR "earth sciences" OR "biology" OR "environmental sciences" OR "space sciences" OR "life sciences" OR "STEM" OR "STEAM") AND ("secondary education" OR "secondary school" OR "Middle school" OR "high school" OR "7 th grade" OR "8 th grade" OR "9 th grade" OR "10 th grade" OR "11 th grade" OR "12 th grade"))
--

TABLA 5. Ecuación de búsqueda avanzada (Web of Science)

Ts=((robot* OR "maker spaces" OR "makerspaces" OR "analytics technologies" OR "virtual reality" OR "augmented reality" OR "Artificial Intelligence" OR "Internet of Things" OR "Emerging Technologies") AND ("Science education" OR "Science Learning" OR "Science Teaching" OR "science" OR "physics" OR "chemistry" OR "geology" OR "earth sciences" OR "biology" OR "environmental sciences" OR "space sciences" OR "life sciences" OR "STEM" OR "STEAM") AND ("secondary education" OR "secondary school" OR "Middle school" OR "high school" OR "7 th grade" OR "8 th grade" OR "9 th grade" OR "10 th grade" OR "11 th grade" OR "12 th grade"))
--

exploratorias con la finalidad de refinar la ecuación, las que se desarrollaron durante el último cuatrimestre del año 2021. En las tablas 4 y 5 se presenta la ecuación de búsqueda definitiva para cada base de datos.

Una vez definida la ecuación de búsqueda comienza el proceso de selección de la muestra a partir del mes de enero de 2022 con la finalidad

de recoger la totalidad de los documentos incorporados en las dos bases de datos en el decenio 2010-2020. Este intervalo facilitará futuros estudios longitudinales basados en décadas y lustros.

El proceso de selección se desarrolla a partir de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión expuestos en la tabla 6.

TABLA 6. Criterios de selección de la muestra

Inclusión	Exclusión
Año de publicación inicial 2010 y final 2020	Otros años de publicación fuera del rango
Artículos de revistas científicas	Otros documentos
Idioma inglés y español	Otros idiomas
Considera alguna de las TEE descritas en la primera variable	No señala el tipo de TEE o no se incluye en las descritas en la primera variable
Considera la enseñanza de alguna de las descritas en la segunda variable	No señala, o no contempla, la enseñanza de alguna de las disciplinas descritas en la primera variable
Considera los niveles educativos descritos en la tercera variable	No contempla la educación secundaria

Implica la revisión de resúmenes, la que ha sido realizada mediante un proceso de doble ciego, en la cual los autores realizaron una lectura de 683 documentos de forma independiente y, posteriormente, se contrastó el grado de acuerdo en los documentos seleccionados. En aquellos casos en los que no hubo acuerdo, se realizó una nueva revisión en conjunto, llegando a un acuerdo total en la muestra seleccionada. Asimismo, se eliminaron “manualmente” aquellos documentos procedentes de diversos congresos o seminarios y que, a pesar de establecer como filtro de exclusión “automático” el tipo de documento (artículos), se encontraron en la muestra de revisión de resúmenes.

En la figura 2 se presenta un diagrama de flujo que da cuenta del proceso de selección de la muestra.

El listado total de los documentos seleccionados se encuentra disponible en Silva-Díaz (2022). Respecto a la distribución de la muestra seleccionada, esta se encuentra determinada por 215 documentos, de los cuales 78 se obtuvieron desde la base de datos de Scopus y se corresponden con un 36.47% del total de la

muestra. Mientras que desde Web of Science-Clarivate se obtuvieron 31 documentos que conciernen a un 14.42% del total. Además, 105 documentos se encontraron en ambas bases de datos y por tanto fueron considerados como duplicados (48.84% del total de la muestra seleccionada).

Análisis de datos

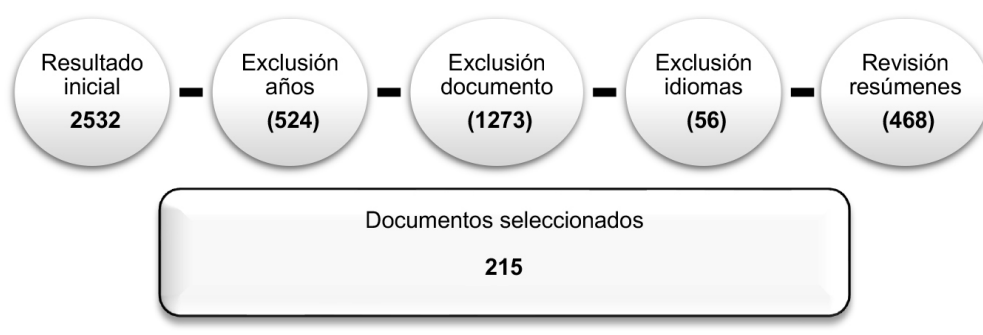
Con relación al análisis de los resultados, este se realizó mediante el uso de Excel (organización de la información y análisis estadístico descriptivo) y Canva² (diseño gráfico).

Resultados y discusión

El análisis de los resultados y su discusión tienen en consideración las variables de análisis definidas en el apartado de diseño del estudio.

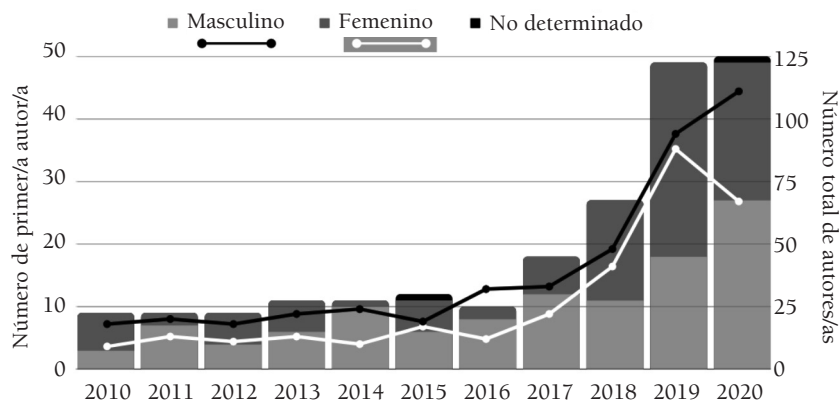
En la figura 3 se presentan los datos en función de la producción por años, diferenciando el género del primer autor y de todos los autores (N = 756).

FIGURA 2. Proceso de selección y filtrado de documentos



Nota: entre paréntesis se indica la cantidad de documentos eliminados según criterios.

FIGURA 3. Distribución de la muestra según el año (histograma) y el género del primer autor (gráfico lineal)



Se aprecia que nos encontramos frente a un tema que ha tenido una producción aproximadamente estable hasta el año 2017, cuando se observa una fuerte alza en la producción científica y que llega hasta el año 2019. Esta situación se ha contemplado en otras investigaciones que analizan las tendencias en investigación respecto del uso de tecnología educativa (Dubé y Wen, 2022). Hay que destacar que el año 2020 muestra una producción equivalente a la de 2019, probablemente se reflejan los efectos del COVID-19, lo que ha podido frenar los trabajos de investigación que impliquen intervenciones educativas. Así pues, en los tres últimos años se concentra un 58.68% de la muestra total, lo cual da cuenta del crecimiento acelerado en la producción científica respecto del uso de tecnologías emergentes en el ámbito de la educación científica.

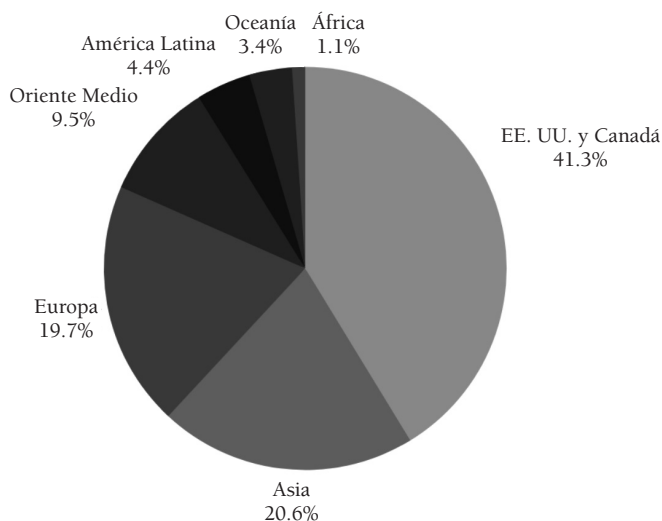
La presencia femenina en la autoría ha ido ligeramente en alza en la producción en este campo de investigación durante los últimos años, especialmente en lo que a autoría principal (primer autor) se refiere. Sin embargo, al analizar a nivel global, se observa en el conjunto de la década una disparidad en la participación femenina (40.07%) frente a la masculina (58.06%). Llama la atención lo ocurrido en el año 2020, que podría ser una ruptura en la tendencia de cierre de la brecha, pero también un hecho puntual atribuible al COVID-19 que afectó, mayoritariamente, a la

producción científica femenina (Cui *et al.*, 2021), principalmente por su mayor implicación en el desarrollo de actividades domésticas y familiares vinculadas históricamente a este colectivo (Parlak *et al.*, 2021). Por otra parte, son los hombres quienes emplean con una mayor frecuencia herramientas informáticas en el hogar (Rodríguez *et al.*, 2013).

En la figura 4 se presentan los resultados de la distribución de los documentos en función de la afiliación del total de los autores, considerando las siguientes regiones geográficas: a) Estados Unidos y Canadá, b) Asia (exceptuando Oriente Medio), c) Europa, d) Oriente Medio, e) América Latina, f) Oceanía y g) África.

Se observa un desequilibrio respecto a la producción, concentrándose en tres las regiones que la lideran: EE. UU. y Canadá (312 documentos), Asia (excluyendo Oriente Medio) (156) y Europa (149), las que en conjunto representan sobre el 80% de la muestra total. Por otra parte, se aprecia la baja productividad de las regiones América Latina (33), Oceanía (26) y África (8), llegando a representar, en su conjunto, menos del 10% de la muestra. Llama la atención la presencia de una producción moderada respecto de la región de Oriente Medio (72). Esta situación ya se ha observado en investigaciones anteriores (Silva-Díaz *et al.*, 2020) y

FIGURA 4. Distribución de la muestra según la productividad de países agrupados en regiones geográficas



consideramos necesario fomentar el desarrollo de la investigación en este tipo de temas, especialmente en las regiones que menor producción aportan a este campo.

Siguiendo con la distribución geográfica, en la tabla 7 se presentan los diez países con mayor producción a nivel mundial.

TABLA 7. Listado de los diez países con mayor producción

País	N	Representación
Estados Unidos	308	35.52%
Taiwán	38	4.38%
Turquía	37	4.27%
Malasia	32	3.69%
Brasil	26	3.00%
Australia	25	2.88%
España	23	2.65%
India	22	2.54%
Alemania	20	2.31%
China	20	2.31%

Como se observa en la figura 4 y en la tabla 7, existe una altísima desproporción entre los países que más producen y la temática investigada. Tan solo Estados Unidos tiene mayor presencia que todos los países agrupados en las regiones de África, Oceanía, América Latina y Oriente Medio. Para poner en perspectiva, de los 52 países con producción en la temática, los diez países que integran esta lista representan un 63.55% del total de la muestra, con lo cual los 42 países restantes tan solo suponen un 36.45%. Cabe señalar que estos resultados son similares a los encontrados por Ferrada *et al.* (2020) para investigaciones sobre robótica educativa en educación primaria en el periodo 2004-2018. No obstante, en este trabajo no aparecen países como Turquía o Malasia y que sí se encuentran aquí. Se pondría de manifiesto el potencial educativo —especialmente en el ámbito de la educación STEM y las tecnologías emergentes— de estos países emergentes en el terreno económico³. En el caso particular de Turquía, Lin *et al.* (2018) lo identifican también como un reciente y relevante productor en el ámbito genérico de la investigación en educación científica.

En revisiones recientes, referidas en este caso a la educación STEM (Martín *et al.*, 2019), destaca

también el liderazgo de Estados Unidos, apareciendo muy a la zaga países como Taiwán. Cabe destacar que España, aunque con números absolutos modestos, aparece en nuestro listado de los diez países con más producción. Esto es relevante y quizás pone de manifiesto un afán de búsqueda de la innovación en el ámbito STEM asociado a la introducción de tecnologías emergentes. De hecho, aunque España se encuentra también entre los diez países con mayor producción en el ámbito de la enseñanza de las ciencias en los últimos años (Lin *et al.*, 2018), no está a la cabeza de Europa, quedando claramente detrás de países como Reino Unido, Alemania y Suecia.

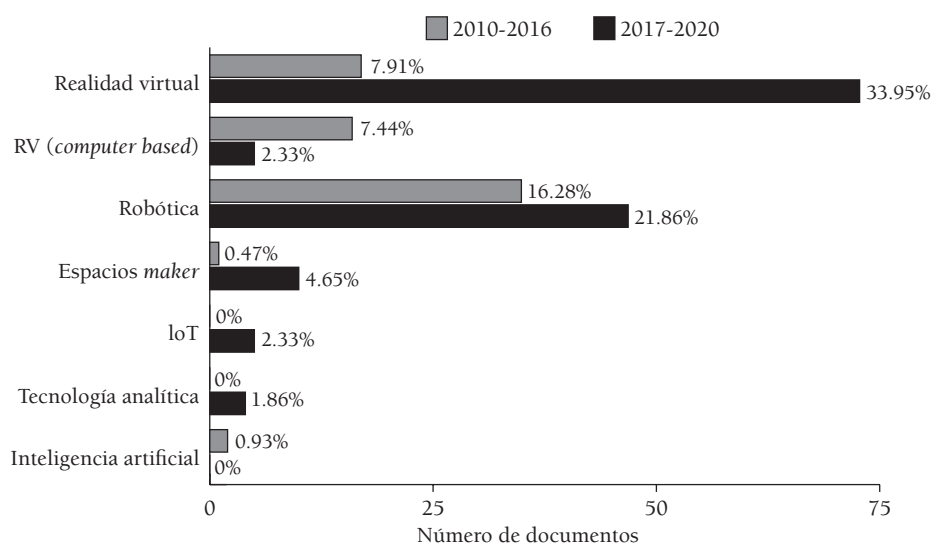
En la figura 5 se presenta la distribución de la muestra en función de la tecnología utilizada.

Se observa la predominancia de la realidad virtual que, junto con la realidad virtual basada en ordenador (2D), tiene una presencia del 51.7% de todos los documentos analizados. Si además consideramos la presencia de la robótica educativa (38.1%), podemos señalar que en su conjunto concentran la gran mayoría de

las tecnologías utilizadas en los documentos de la muestra (89.8%).

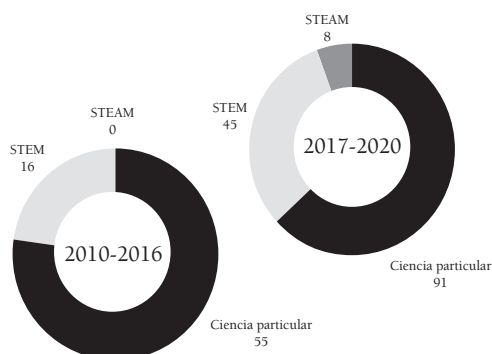
En cuanto al uso de la realidad virtual, se ha observado una creciente tendencia al uso de este tipo de recursos durante los últimos cuatro años, situándose sobre otras tecnologías emergentes (Dubé y Wen, 2022). Atribuimos este comportamiento a que se trata de un conjunto de tecnologías en las que un desarrollo suficiente para llegar a las aulas ha sido más reciente, sobre todo la realidad virtual. De todas formas, diversos estudios respaldan su potencial en el ámbito educativo, ya que ha tenido efectos positivos en el aprendizaje de las ciencias (Dickes *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020; Menjivar *et al.*, 2021; Silva-Díaz *et al.*, 2021). Cabe señalar también que, aunque con números de producción mucho más modestos, los espacios *maker*, el internet de las cosas y las tecnologías analíticas se sitúan, prácticamente en exclusividad, en el periodo más reciente a partir de 2017, pudiéndose subrayar su carácter emergente. La robótica educativa es, por otra parte, la tecnología más madura de las consideradas, siendo la que experimenta una menor tasa de crecimiento reciente.

FIGURA 5. Distribución de la muestra según el “tipo de tecnología”



En la figura 6 se presenta la distribución temporal de los documentos asociados al “tipo de enseñanza”. Mientras que en la figura 7 se realiza en función de las variables “tipo de enseñanza” y “nivel educativo”.

FIGURA 6. Distribución de la muestra en función de la evolución temporal del “tipo de enseñanza”

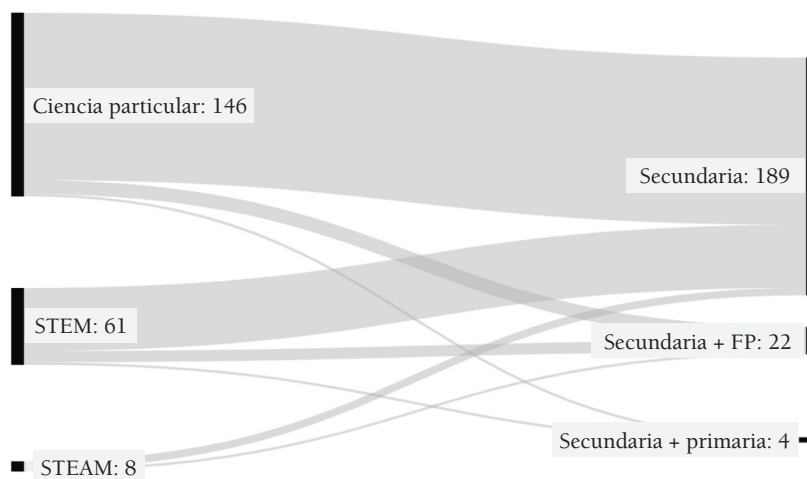


Se observa un importante número de publicaciones asociadas a la enseñanza de una ciencia particular (67.9%), mientras que la enseñanza STEM, que implica la integración de las disciplinas (Sanders, 2009), se presenta en el conjunto de la década aún de forma moderada (28.4%).

Y es que aun cuando el surgimiento del concepto STEM data de los años noventa, no es hasta 2009-2013 cuando comienza a tener mayor presencia, asociado a un fuerte impulso político (Sanders, 2009; Bybee, 2013), observándose, durante los últimos años, una rápida proliferación de investigaciones en STEM, lo que justifica esta nueva área de investigación (Lin *et al.*, 2018). Si la falta de consenso y conocimiento respecto de la integración STEM (Martín-Páez *et al.*, 2019) se va solucionando, gracias a los nuevos aportes, podría esperarse que se siguiera incrementado la proporción de estudios.

Por su parte, la educación STEAM, que implica la incorporación de “las artes” desde una concepción que subraya especialmente el pensamiento creativo, se presenta de forma minoritaria (3.7%) y solo a partir de 2017, siendo una tendencia de investigación muy reciente (Park *et al.*, 2021). Queda igualmente la incógnita de cuál será su evolución futura. Esto en parte puede depender de que se demuestre definitivamente que potencia más la creatividad que la educación STEM. No obstante, tal como apuntan Aguilera y Ortiz-Revilla (2021), aún no hay claras evidencias empíricas de ello.

FIGURA 7. Distribución de la muestra según las variables “tipo de enseñanza” y “nivel educativo”



Se observa cómo predomina la enseñanza de la ciencia particular concentrando un 67.91% de los documentos analizados. Por su parte, el STEM (28.37%) se presenta de forma moderada, aunque se ha observado un aumento durante los últimos cuatro años, mientras que el STEAM (3.72%) se ha presentado de forma minoritaria y exclusivamente en el periodo 2017-2020. Si comparamos la distribución de los documentos respecto del nivel educativo en el que se desarrollan, llama la atención la escasa producción orientada a la educación secundaria y la formación del profesorado (10.23%), y menor aun cuando se incluye la educación primaria (1.86%).

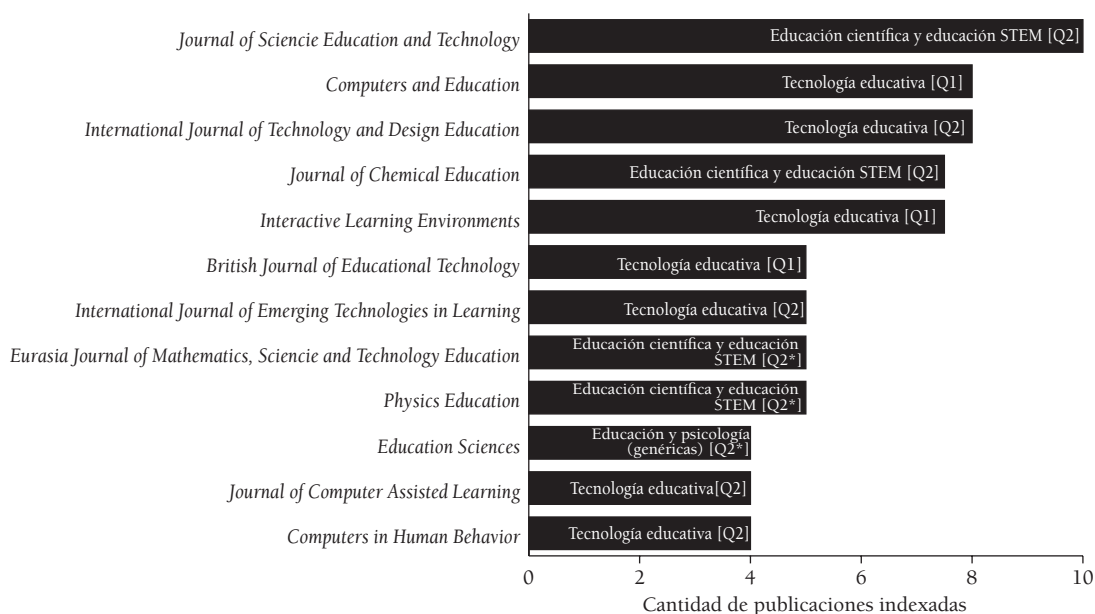
En cuanto a la indexación de los documentos de la muestra, en la figura 8 se presentan las

revistas con cuatro o más publicaciones de artículos respecto a la temática de estudio, liderando el *ranking* la revista *Journal of Science Education and Technology* con un 4.03% del total.

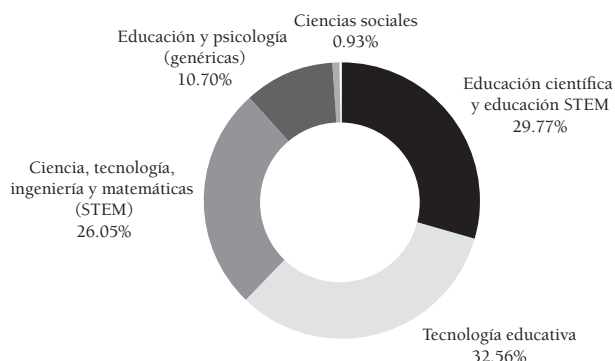
Cabe destacar que las 12 revistas que más publican en la temática se sitúan en los cuartiles Q1 y Q2 del *Journal Impact Factor* del Web of Science-Clarivate (o del *Scimago Journal & Country Rank* para las 3 revistas no indexadas en la Web of Science-Clarivate). Es decir, las tecnologías emergentes en la educación STEM son una temática que los autores consideran de alto impacto y las revistas de alto interés.

En la figura 9 se presenta la distribución de los documentos de acuerdo con la temática de las revistas.

FIGURA 8. Revistas científicas con cuatro o más publicaciones en el área temática



Nota: *indica que las revistas se encuentran en el ranking SJR.

FIGURA 9. Distribución de la muestra según la temática de la revista**TABLA 8. Listado de los 20 documentos con mayor tasa de citas**

Primer Autor	Año	Sc.	WS	Sch	Nda.	Tec.	Revista
Kamarainen	2013	247	188	503	62.87	RV	<i>Computers and Education</i>
Wojciechowski	2013	212	177	503	62.87	RV	<i>Computers and Education</i>
Ketelhut	2010	136	105	408	37.09	RV(C)	<i>British Journal of Educational Tech.</i>
Cai	2014	181	128	356	36.57	RV	<i>Computers in Human Behavior</i>
Bressler	2013	152	142	329	41.12	RV	<i>Journal of Comp. Assisted Learning</i>
Nugent	2010	117	82	268	24.36	R	<i>Journal of Research on Tech. in Ed.</i>
Lindgren	2016	157	120	264	52.80	RV	<i>Computers and Education</i>
Miller	2011	86	77	191	19.10	RV(C)	<i>Computers and Education</i>
Vattam	2011	91	63	148	14.80	IA	<i>Educational Technology and Society</i>
Markowitz	2018	76	62	140	46.67	RV	<i>Frontiers in Psychology</i>
Cai	2017	66	43	123	30.75	RV	<i>Interactive Learning Environments</i>
Leonard	2016	60	45	122	24.40	R	<i>Journal of Science Ed. and Tech.</i>
Koutromanos	2015	51	36	112	18.67	RV	<i>Educational Media International</i>
Adamson	2014	65	27	109	15.57	IA	<i>I. Journal of A. I. in Education</i>
Christensen	2015	41	27	105	17.50	R	<i>Journal of Science Ed. and Tech.</i>
Chang	2013	56	46	98	12.25	RV(C)	<i>Journal of Research in Sc. Teaching</i>
Barak	2018	43	28	84	28.00	R	<i>I. Journal of Tech. and Design Ed.</i>
McElhaney	2011	53	35	76	7.60	RV(C)	<i>Journal of Research in Sc. Teaching</i>
Tsai	2019	34	19	62	31.00	R	<i>Journal of Ed. Computing Research</i>
Sahin	2020	23	14	45	45.00	RV	<i>Computers and Education</i>

Nota: Sc: Scopus, WS: Web of Science, Sch: Google Scholar, Nda: citas normalizadas. Tec: tecnología utilizada, RV: realidad virtual, RV(C): realidad virtual (computer based), R: robótica e IA: inteligencia artificial.

Se observa que la mayoría de los documentos se indexan bajo tres categorías en particular: tecnología educativa (32.56%), educación científica y educación STEM (29.77%) y ciencia, tecnología e ingeniería (STEM) (26.05%), siendo

las dos primeras las que concentran las 11 de las 12 revistas más productivas en el tema.

Respecto a los documentos con mayor índice de citas, en la tabla 8 se presenta la distribución

en función del total de citas (TC), las citas por año (año) y las citas normalizadas (Nda).

Los documentos con mayor cantidad de citas son, lógicamente, los más antiguos, siendo los trabajos desarrollados por Kamarainen (2013), con 247 citas, y el de Wojciechowski (2013), con 212 citas, en la Web of Science-Clarivate los más referenciados. Sin embargo, llaman la atención los recientes trabajos de Lindgren (2016), Markowitz (2018) y Sahin (2020), que al considerarse el valor normalizado de citas registran valores muy altos. Además, se destaca la productividad de Cai con dos documentos entre los más citados, siendo su temática la realidad virtual. La realidad virtual, incluyendo la asistida por ordenador, es la línea de trabajo de mayor impacto, ya que 13 de los 20 trabajos, incluyendo los cinco primeros, se adscriben en esta línea.

Otro elemento que considerar es que los artículos con mayores citas se encuentran en las revistas *Computers and Education* (5), *Journal of Science Education and Technology* (2) y *Journal of Research in Science Teaching* (2).

En la tabla 9 se presenta una tabla de frecuencia por periodos agrupados que representa las palabras clave con mayor presencia para cada submuestra. Se incluye el número de términos contabilizados por periodo (N), las cinco palabras con mayor frecuencia y el porcentaje que representa cada una respecto de cada bloque.

A partir de la información contenida en la tabla 9, se observa la mayoritaria presencia del término “*Augmented Reality*” (49) con una representación de un 4.51% del total de la muestra. Mientras que los términos “*Virtual Reality*” (29) y “*Educational Robotics*” (19) se presentan en gran parte del periodo de análisis, representando un 2.68% y un 1.76%, respectivamente. Es de especial interés cómo ha sido la evolución del término “*Virtual Reality*”, puesto que se identifican dos picos de producción, siendo el primero de ellos a comienzos de la década, mientras que el segundo se presenta al cierre de la misma.

TABLA 9. Palabras clave con mayor frecuencia agrupadas por bloques

Palabra clave	Frecuencia	Porcentaje
2010-2012 [N = 103]		
<i>Virtual-Reality</i>	7	6.80
<i>Interactive-Learning-Environment</i>	3	2.91
<i>Robotics-Education</i>	3	2.91
<i>Science-Education</i>	3	2.91
<i>Augmented-Reality</i>	2	1.94
2013-2014 [N = 101]		
<i>Augmented-Reality</i>	5	4.95
<i>Interactive-Learning-Environments</i>	3	2.97
<i>Robotics</i>	3	2.97
<i>Educational-Robotics</i>	2	1.98
<i>Simulations</i>	2	1.98
2015-2016 [N = 96]		
<i>Augmented-Reality</i>	3	3.13
<i>Educational-Robots</i>	2	2.08
<i>Interactive-Learning-Environments</i>	2	2.08
<i>STEM</i>	2	2.08
<i>Virtual-Reality</i>	2	2.08
2017-2018 [N = 257]		
<i>Augmented-Reality</i>	10	3.89
<i>STEM-Education</i>	10	3.89
<i>STEM</i>	4	1.56
<i>Educational-Robotics</i>	3	1.17
<i>Virtual-Reality</i>	3	1.17
2019-2020 [N = 535]		
<i>Augmented-Reality</i>	29	5.42
<i>Virtual-Reality</i>	17	3.18
<i>STEM</i>	14	2.62
<i>Robotics</i>	13	2.43
<i>Educational-Robotics</i>	9	1.68

Otro elemento interesante de analizar está relacionado con la educación científica y la educación STEM, puesto que a partir del periodo comprendido entre 2015-2016 comienza a posicionarse con mayor presencia el término “*STEM Education*”, el que, al ser agrupado, cuenta con

una importante presencia (30) y representa un 2.77%. Asimismo, llama la atención la presencia, en menor medida, del concepto “*Interactive Learning Environments*” (8) durante la primera mitad de la década, que supone un 0.74% del total.

Conclusiones

Con base en los resultados expuestos en la presente bibliometría y los objetivos que se han planteado, podemos concluir lo siguiente:

- Distribución demográfica: nos encontramos frente a una temática que ha tenido un crecimiento acelerado a partir del año 2017 en adelante. Además, se observa una ligera alza en la presencia femenina como primera autora. Sin embargo, al analizar de forma global, se sigue observando un predominio masculino en la producción. En cuanto a la procedencia, se evidencia una hegemonía en la producción por parte de Estados Unidos y un aumento considerable de la producción de países como Taiwán, Turquía y Malasia.
- Distribución respecto a los ámbitos centrales del estudio: predomina el uso de la realidad virtual, con una tendencia de alza respecto a otra tecnología frecuente como es la robótica. En cuanto al tipo de enseñanza, se sigue privilegiando la enseñanza de la ciencia de forma particular, aunque se observa una importante alza en la educación STEM a partir de 2017.
- Distribución bibliográfica: las revistas con mayor producción en el ámbito estudiado

son de alto impacto científico (Q1, Q2), perteneciendo mayoritariamente a los ámbitos de la tecnología educativa y de la educación científica y educación STEM. Se detectan artículos con alto número de citas, especialmente en artículos sobre realidad virtual.

Respecto a las limitaciones del presente estudio, se ha refinado la muestra a un campo muy acotado y por consiguiente existe la probabilidad de que algunos estudios relacionados con el uso de tecnología emergente no hayan sido recogidos a partir de las ecuaciones de búsqueda. Consideramos que la realización de un estudio más amplio permitiría contrastar este supuesto.

En cuanto a la visión de futuro y la prospectiva del uso de tecnología emergente en la educación científica, consideramos necesaria la realización de una revisión sistemática que permita evaluar la efectividad de metodologías activas (STEM y STEAM) para la educación científica, especialmente en los casos en los que se utilice la tecnología emergente como recurso pedagógico.

Agradecimientos

Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). Becas Chile (Folio 72210150).

Proyecto TED2021-129474B-I00, de la Convocatoria de Proyectos Orientados a la Transición Ecológica y a la Transición Digital, del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Notas

¹ <https://www.educause.edu/>

² <https://www.canva.com/>

³ <https://elordenmundial.com/cuales-son-llamados-paises-emergentes/>

Referencias bibliográficas

- Aguilera, D. y Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: a systematic literature review. *Education Sciences*, 11, 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Aguilera, D. y Perales-Palacios, F. J. (2018). What effects do didactic interventions have on students' attitudes towards science? A meta-analysis. *Research in Science Education*, 50, 573-597. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9702-2>
- Bybee, R. W. (2013). *The case of STEM education: challenges and opportunities*. National Science Teachers Association.
- Cui, R., Ding, H. y Zhu, F. (2021). Gender inequality in research productivity during the COVID-19 pandemic. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(2), 707-726. <https://doi.org/10.1287/msom.2021.0991>
- Dickes, A. C., Kamarainen, A., Metcalf, S. J., Gün-Yildiz, S., Brennan, K., Grotzer, T. y Dede, C. (2019). Scaffolding ecosystems science practice by blending immersive environments and computational modeling. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2181-2202. <https://doi.org/10.1111/bjet.12806>
- Dubé, A. K. y Wen, R. (2022). Identification and evaluation of technology trends in K-12 education from 2011 to 2021. *Education and Information Technologies*, 27(1), 1929-1958. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10689-8>
- Ferrada-Ferrada, C., Carrillo-Rosúa, J., Díaz-Levicoy, D. y Silva-Díaz, F. (2020). La robótica desde las áreas STEM en Educación Primaria: una revisión sistemática. *Education in the Knowledge Society*, 21(22), 1-18. <https://doi.org/10.14201/eks.22036>
- Fleer, M. (2013). Affective imagination in science education: determining the emotional nature of scientific and technological learning of young children. *Research in Science Education*, 43(5), 2085-2106. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9344-8>
- Freeman, A., Adams, S., Cummins, M., Davis, A. y Hall, C. (2017). *NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K-12 Edition*. The New Media Consortium.
- Lewis, A. L. (2015). Putting the "H" in STEAM: paradigms for modern liberal arts education. En X. Ge, D. Ifenthaler y J. M. Spector (eds.), *Emerging technologies for STEAM education* (pp. 259-275). Springer.
- Liao, C. (2016). From interdisciplinary to transdisciplinary: an arts-integrated approach to STEAM education. *Art Education*, 69(6), 44-49. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224873>
- Lin, T. J., Lin, T. C., Potvin, P. y Tsai, C. C. (2018). Research trends in science education from 2013 to 2017: a systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 41(1), 367-387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Liu, R., Wang, L., Lei, J., Wang, Q. y Ren, Y. (2020). Effects of an immersive virtual reality-based classroom on students' learning performance in science lessons. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2034-2049. <https://doi.org/10.1111/bjet.13028>
- Makokha, J. (2017). Emerging technologies and science teaching. En K. S. Taber y B. Akpan (eds.), *Science education* (pp. 369-383). Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_27
- Makransky, G., Petersen, G. B. y Klingenberg, S. (2020). Can an immersive virtual reality simulation increase students' interest and career aspirations in science? *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2079-2097. <https://doi.org/10.1111/bjet.12954>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103, 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Menjivar, E., Sánchez, E., Ruíz, J. y Linde, T. (2021). Revisión de la producción científica sobre la realidad virtual entre 2016 y 2020 a través de Scopus y WoS. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 10(2), 26-55. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v10i2.13422>

- ODITE (2017). *Tendencias educativas 2017*. https://issuu.com/espinal/docs/odite_tendencias_educativas_2017/6
- Oliveira, A., Behnagh, R. F., Ni, L., Mohsinah, A. A., Burgess, K. J. y Guo, L. (2019). Emerging technologies as pedagogical tools for teaching and learning science: a literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies*, 1(2), 149-160. <https://doi.org/10.1002/hbe2.141>
- Park, W., Kim, D. y Kang, D. Y. (2021). Research trends in science and mathematics education in South Korea 2014-2018: a cross-disciplinary analysis of publications in selected local journals, *Asia-Pacific Science Education*, 7(2), 280-308. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10029>
- Parlak, S., Celebi, O. y Oksuz, F. (2021). Gender roles during COVID-19 pandemic: the experiences of Turkish female academics. *Gender, Work & Organization*, 28(S2), 461-483. <https://doi.org/10.1111/gwao.12655>
- Rodríguez, M. J., Olmos, S. y Martínez, F. (2013). Autoevaluación de competencias informacionales en educación secundaria: propuesta de modelo causal desde una perspectiva de género. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 65(2), 111-125. <https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/brp.2013.65207>
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-27.
- Silva-Díaz, F. (2022). Supplementary data [Emerging technologies in STEM education]. *Figshare*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.20368917.v1>
- Silva-Díaz, F., Carrillo-Rosúa, J. y Fernández-Plaza, J. A. (2021). Uso de tecnologías inmersivas y su impacto en las actitudes científico-matemáticas del estudiantado de Educación Secundaria Obligatoria en un contexto en riesgo de exclusión social. *Educar*, 57(1), 119-138. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1136>
- Silva-Díaz, F., Vázquez-Vilchez, M. y Carrillo-Rosúa, J. (2020). Estudio bibliométrico sobre la producción científica en realidad virtual inmersiva, aumentada y mixta asociadas a un enfoque STEM de enseñanza. En J. A. Marín-Marín et al., *Inclusión, tecnología y sociedad: investigación e innovación en educación* (pp. 1205-1216). Dykinson.
- Toma, R. B. y Meneses-Villagrà, J. A. (2019). Preferencia por contenidos científicos de física o de biología en educación primaria: un análisis clúster. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1104. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1104
- Xia, L. y Zhong, B. (2018). A systematic review on teaching and learning robotics content knowledge in K-12. *Computers & Education*, 127, 267-282. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.007>
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>
- Zupic, I. y Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

Abstract

Emerging technologies in STEM education. A bibliometric analysis of publications in Scopus & WoS (2010-2020)

INTRODUCTION. This article presents a review of the indexed literature in Scopus and Web of Science-Clarivate databases based on the analysis of bibliometric indicators on the use of Emerging Technologies in Education, considering those included in the *Horizon Report: K-12 Edition*; a) Makerspaces, b) Robotics, c) Analytic Technologies, d) Virtual Reality, e) Artificial Intelligence

and f) The Internet of Things (IoT). In addition, they are considered as variable to be used in teaching of Science Education and STEM/STEAM Education in Secondary Education context. **METHOD.** The revision is developed by using the flow for bibliometric studies proposed by Zupic and Čater (2015). A search was carried out in Scopus and WoS based on an equation that gathers key terms of the three described variables of analysis. **RESULTS.** The main results obtained indicate that there is a notorious increase in scientific production on the topic, especially from 2017 onwards. In addition, a predominance of Immersive Technologies and Educational Robotics as the preferred technologies for the development of science education is observed. **DISCUSSION.** There is a predominance of science education in particular over STEM and STEAM approaches, however, a positive trend is observed related to the last two in the late part of the decade analyzed. On the other hand, it is observed that from 2018 onwards, the scientific production regarding the use of emerging technologies has had an accelerated growth, with Virtual Reality and Robotics being the most used.

Keywords: Educational technology, Technology uses in education, STEM education, Science education, Bibliometrics.

Résumé

Technologies émergentes dans l'enseignement des STEM. Analyse bibliométrique des publications dans Scopus et WoS (2010-2020)

INTRODUCTION. Cet article présente une revue de la littérature indexée dans les bases de données Scopus et Web of Science-Clarivate basée sur l'analyse des indicateurs bibliométriques sur l'utilisation des technologies émergentes dans l'éducation en considérant celles incluses dans le rapport *Horizon Report : K-12 Edition* ; a) Maker Spaces, b) Robotique, c) Technologies analytiques, d) Réalité virtuelle, e) Intelligence artificielle et f) Internet des objets (IoT). En outre, il est considéré comme une variable le fait qu'elles soient utilisés dans l'enseignement de l'éducation scientifique et de l'éducation STEM/STEAM dans le contexte de l'enseignement secondaire. **MÉTHODE.** La revue est développée en utilisant le flux pour les études bibliométriques proposé par Zupic et Čater (2015). Une recherche a été effectuée dans Scopus et WoS sur la base d'une équation qui rassemble les termes clés des trois variables d'analyse décrites. **RÉSULTATS.** Les principaux résultats obtenus indiquent qu'il y a une augmentation notable de la production scientifique sur le sujet, notamment à partir de 2017. On constate également une prédominance de la réalité virtuelle et de la robotique éducative comme technologies privilégiées à l'heure de développer l'enseignement des sciences. **DISCUSSION.** On observe une prédominance de l'enseignement scientifique en particulier sur les approches STEM et STEAM. Néanmoins, une tendance positive est observée en ce qui concerne ces deux dernières dans la dernière partie de la décennie analysée. D'autre part, on observe que, depuis 2018 la production scientifique concernant l'utilisation des technologies émergentes a connu une croissance accélérée, étant la réalité virtuelle et la robotique les plus utilisées.

Mots-clés : Technologie éducative, Utilisations de la technologie dans l'éducation, Enseignement STEM, Enseignement scientifique, Bibliométrie.

Perfil profesional de los autores

Francisco Silva-Díaz (autor de contacto)

Doctorando en Ciencias de la Educación, Máster en Investigación e Innovación en Currículum y Formación por la Universidad de Granada y licenciado en Educación General Básica, mención en Matemáticas por la Universidad Católica del Maule (Chile). Sus investigaciones se relacionan con el uso de diversas tecnologías educativas para la educación STEAM, especializándose en la realidad virtual inmersiva. Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7047-3546>

Correo electrónico de contacto: fsilva@correo.ugr.es

Dirección para la correspondencia: Avenida de Andaluces 10, 1C. 18014 Granada, España.

Gracia Fernández-Ferrer

Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad de Granada y profesora asociada de dicha universidad. Es también profesora de educación secundaria en el IES Alonso Cano. Sus investigaciones han abordado el agua desde la perspectiva educativa, actualmente se centran en el uso de tecnología emergente para la educación STEM.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-8553>

Correo electrónico de contacto: gferfer@ugr.es

Mercedes Vázquez-Vílchez

Doctora en Ciencias de la Tierra por la Universidad de Jaén. Sus investigaciones están relacionadas con la educación STEM, el uso educativo de los juegos y la didáctica de las ciencias de la tierra y de la sostenibilidad. Actualmente es profesora contratada doctora en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4433-5112>

Correo electrónico de contacto: mmvazquez@ugr.es

Cristian Ferrada

Doctor en Ciencias de la Educación, Máster en Didáctica de la Matemática por la Universidad de Granada y licenciado en Educación General Básica, mención en Educación Matemática por la Universidad Católica del Maule (Chile). Académico regular de la Facultad de Educación de la Universidad de los Lagos (Chile). Su investigación se centra en la educación STEM y la robótica educativa.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2678-7334>

Correo electrónico de contacto: cristian.ferrada@ulagos.cl

Romina Narváez

Doctoranda en Ciencias de la Educación, Máster en Didáctica de la Matemática por la Universidad de Granada y licenciada en Educación General Básica, mención en Matemáticas por la Universidad Católica del Maule (Chile). Cuenta con amplia experiencia docente en educación básica. Sus investigaciones se centran en el *early algebra* y la mediación en el proceso de generalización algebraica.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2825-9829>

Correo electrónico de contacto: rnarvaez@correo.ugr.es

Javier Carrillo-Rosúa

Doctor por la Universidad de Granada y profesor titular de dicha universidad. Sus diversos intereses de investigación en el ámbito educativo van de las tecnologías emergentes aplicadas a la educación STEM a comunidades de aprendizaje, pasando por la enseñanza-aprendizaje de las ciencias de la tierra y la educación ambiental y para la sostenibilidad.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2889-3966>

Correo electrónico de contacto: fjcarril@ugr.es

LA TRASCENDENCIA DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA EDUCACIÓN STEM: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EXPERIMENTACIÓN EN EL AULA

The importance of virtual reality in STEM education: a systematic review from the point of view of experimentation in the classroom

JUAN JOSÉ MARRERO-GALVÁN Y MANUEL HERNÁNDEZ-PADRÓN
Universidad de La Laguna (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.94179

Fecha de recepción: 10/04/2022 • Fecha de aceptación: 11/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Juan José Marrero-Galván. E-mail: jmarrerg@ull.edu.es

Cómo citar este artículo: Marrero-Galván, J. J. y Hernández-Padrón, M. (2022). La trascendencia de la realidad virtual en la educación STEM: una revisión sistemática desde el punto de vista de la experimentación en el aula. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 45-63. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94179>

INTRODUCCIÓN. En los últimos años las disciplinas STEM vienen integrando la realidad virtual en el contexto educativo. Entendiendo esta tecnología como una inmersión del usuario, en este caso estudiantes, en un mundo totalmente virtual y en el que se desarrollan diferentes estrategias de enseñanza-aprendizaje. Es importante conocer las investigaciones que se han publicado a nivel internacional sobre la implementación del constructo STEM-realidad virtual-alumnado, así como los resultados que han obtenido, por lo que este ha sido el objetivo de este trabajo. **MÉTODO.** Para ello, se ha realizado una revisión sistemática de la literatura publicada, formato artículos con acceso en abierto, en la base de datos Scopus entre los años 2000 y 2021 y en el ámbito de las ciencias sociales. **RESULTADOS.** Se han obtenido 12 artículos que cumplen los criterios de inclusión establecidos y su análisis aporta un creciente interés por parte de investigadores y educadores, diversidad de autores y de áreas implicadas, además de algunos logros positivos de tipo cognitivo y afectivo de los estudiantes que participan activamente en los estudios, así como una notable variedad en las actividades diseñadas; pero también algunas deficiencias metodológicas, como pueden ser: una escasa fundamentación teórica que oriente los diseños de las propuestas didácticas o un tiempo limitado en algunos de los estudios. **DISCUSIÓN.** Se destacan las sinergias que se producen entre la realidad virtual y el aprendizaje basado en problemas o la indagación, las limitaciones en cuanto al uso y disponibilidad tecnológica, la necesidad de continuar la investigación sobre esta temática y, finalmente, incrementar en la medida de lo posible el tamaño muestral, que permita la generalización de los resultados y evaluar de forma eficaz el nivel de integración real de esta tecnología emergente.

Palabras clave: Realidad virtual, Revisión sistemática, STEM, Investigación educativa.

Introducción

El enfoque educativo STEM (acrónimo de *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) ha tomado relevancia y se ha convertido en un campo emergente de investigación dado el elevado número de trabajos publicados en la última década (Sánchez y García-Martínez, 2021) y el grado de penetración en las escuelas (Thu *et al.*, 2021).

En la literatura sobre STEM se sugieren diversos modelos (Gardner y Tillotson, 2019; Moore *et al.*, 2014) y propuestas de enseñanza (Gunawan y Shieh, 2020). Pero un aspecto en el que coinciden la mayoría de los autores es la importancia de integrar conocimientos interdisciplinares para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje, ya que los problemas del mundo real son complejos e intervienen en ellos numerosas variables que tener en cuenta. Así, el enfoque STEM permite sinergias entre los contenidos de diferentes disciplinas y genera un aprendizaje significativo (Martín y Santaolalla, 2020). Si bien la educación STEM sería más efectiva si el profesorado dispusiera de tiempo para la formación necesaria que le permitiera cambiar las pedagogías tradicionales (Gardner y Tillotson, 2019) y también si se tienen en cuenta los factores que juegan un papel importante en la capacidad de los estudiantes para integrar dicho contenido (Ku *et al.*, 2022).

La educación STEM también presenta dificultades que se han ido detectando e impiden su desarrollo. Así, por ejemplo, Gardner y Tillotson (2019) señalan aspectos estructurales y de organización curricular; Toma y García-Carmona (2021) advierten de que muchas propuestas STEM son educativamente deficitarias; El Nagdi *et al.* (2018) señalan que la filosofía personal de los docentes y la comprensión del modelo STEM no siempre van en sintonía; y Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) destacan que se carece de un marco conceptual claro.

Hace tiempo que las disciplinas STEM vienen integrando el desarrollo tecnológico propio de la era digital en la que vivimos y son numerosas las herramientas digitales que se utilizan en la enseñanza de las mismas, aunque diversos autores (Giordan, 2011; Marrero y Fernández, 2011) han incidido en un uso realmente educativo si se quiere producir procesos de enseñanza y aprendizaje de calidad. De igual forma, López *et al.* (2020) destacan la relación simbiótica entre la educación STEM y las herramientas digitales, ya que dicha conexión permite la mejora de las competencias científicas, matemáticas y tecnológicas de los estudiantes y sus competencias digitales. Para ello, también parece imprescindible el desarrollo de la propia competencia digital de los docentes, así Marrero *et al.* (2021), tomando como referencia el marco DigComEdu (Redecker y Punie, 2017), detectan aportes significativos en la *pedagogía digital* o los *recursos digitales* y deficiencias en *promoción de la competencia digital de los estudiantes*. También, Fuentes *et al.* (2019) inciden en la competencia digital docente como factor clave en el desempeño de pedagogías activas.

De las diferentes herramientas digitales que se han incorporado a las disciplinas STEM, destacan como tecnologías emergentes la realidad aumentada (en adelante, RA) y la realidad virtual (en adelante, RV), quizás sea porque ambas tecnologías tienen características inmersivas por parte de los usuarios y en las posibilidades de acceso actuales. Así, Aznar-Díaz *et al.* (2018) constatan el auge en la implementación de la RV en diferentes niveles y ámbitos educativos gracias a la democratización de la tecnología. Tanto en la RA como en la RV lo real y lo virtual coexisten (Di Serio *et al.*, 2013). Es decir, la RA se basa en la superposición de elementos virtuales (imágenes, información, etc.) en la propia realidad del usuario (Cabero y García, 2016; Ierache *et al.*, 2014), para ello, se utiliza un dispositivo tecnológico que actúa como intermediario entre lo real y lo virtual, permitiendo un enriquecimiento de la percepción de la realidad y la experiencia del usuario. A diferencia de lo

anterior, en la RV los datos virtuales sustituyen a los físicos, creándose así una nueva realidad (Cabero y Barroso, 2016; Gómez *et al.*, 2020). Es decir, en la RA el usuario se mantiene en el mundo real con agregados virtuales y en la RV implica una inmersión del usuario en un mundo totalmente virtual (Ierache *et al.*, 2014).

Estas tecnologías inmersivas ofrecen muchas posibilidades educativas (Prendes, 2015), lo que ha permitido generar nuevos escenarios de colaboración entre estudiantes (Otero y Flores, 2011), mayores niveles de implicación e interés por la materia (Fuentes *et al.*, 2019) y una mayor motivación por el aprendizaje (Cuesta y Mañas, 2016; Ortiz-Colón *et al.*, 2018). Estos resultados, tan interesantes desde el punto de vista educativo, y centrándonos en el caso de la RV, han llevado a diversos investigadores a realizar estudios bibliográficos sobre la utilización de la RV en educación con el objeto de conocer el estado de la cuestión, ya sea desde un tratamiento genérico (Aznar-Díaz *et al.*, 2018; Durukan *et al.*, 2020; Kavanagh *et al.*, 2017) o desde un punto de vista más de carácter disciplinar, como es la educación científica (Zhang y Wang, 2021).

Finalmente, teniendo en cuenta todo lo comentado, se plantean las siguientes cuestiones: ¿cómo ha sido la producción científica en este campo?, ¿cuáles son las principales tendencias de investigación?, ¿cómo son las actividades desarrolladas?, ¿qué nivel de inmersión se ha conseguido?, ¿cómo ha sido la participación de los estudiantes? y ¿qué resultados se han obtenido?

Método

Para atender a estas preguntas, se tuvieron en cuenta trabajos previos de revisión bibliográfica que permitieran encauzar los objetivos de este trabajo. En este sentido, se partió inicialmente de dos artículos:

- Kavanagh *et al.* (2017), que desarrollaron una revisión sistemática de la RV en

la educación desde un punto de vista genérico, analizando las aplicaciones y las motivaciones aportadas por los educadores, además de los problemas asociados a su uso.

- Aznar-Díaz *et al.* (2018), que analizaron el estado de la literatura científica relacionada con la RV, también de forma genérica, pero en el ámbito español.

A continuación, se utilizaron otras dos publicaciones de revisión centradas en el uso de la RV para la enseñanza de las ciencias:

- Durukan *et al.* (2020), cuyo propósito fue investigar sobre la utilización de la realidad virtual en el contexto de la educación científica.
- Zhang y Wang (2021), que analizaron estudios empíricos que utilizaron RV/RA para mejorar la enseñanza o el aprendizaje de ciencias K-12.

Y seguidamente otros dos documentos, pero relacionados con la educación STEM:

- Pellas *et al.* (2017), que exploraron el potencial educativo de los mundos virtuales multiusuario tridimensionales para la educación STEM.
- Pellas *et al.* (2020), que centraron su análisis en prácticas de diseño instruccional respaldadas por RV en diferentes etapas.

El análisis de dichos trabajos puso en evidencia la importancia y la necesidad de conocer con mayor profundidad el nivel de participación del alumnado en las investigaciones relacionadas con la RV y qué resultados se han obtenido, lo que permitió establecer finalmente los siguientes objetivos:

- Localizar documentos de impacto que experimenten con la RV en las disciplinas STEM de primaria y secundaria y en los que el alumnado participa activamente.

- Analizar la trascendencia de la RV en los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- Analizar la eficacia de la RV.

A continuación, se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre el uso de la RV en educación, en la que se tuvieron en cuenta los indicadores de la declaración PRISMA para este tipo de revisiones (Urrútia y Bonfill, 2010).

Criterios de elegibilidad

Se seleccionaron trabajos en formato artículo, relacionados con la “realidad virtual” y “educación” publicados a partir del año 2000. Así, se excluyeron actas de congresos, libros, reseñas u otras tipologías de trabajos.

Fuente de información

Los estudios de revisión bibliográfica tienen el objetivo de asegurar una revisión basada en publicaciones de alta calidad. Generalmente esta tipología de investigación suele utilizar diferentes criterios para la selección de las fuentes de información, y se pueden resumir en: una sola base de datos, dos o más bases de datos, revistas especializadas y de naturaleza mixta (bases de datos y revistas). En este trabajo se optó por utilizar el primer criterio (una sola base de datos), al igual que otros estudios similares como los de Morán *et al.* (2022), Toma (2020) o Zhang y Wang (2021). Por tanto, se seleccionó como fuente documental Scopus, del grupo Elsevier. El periodo de búsqueda ha sido del año 2000 al 2021, y la última consulta realizada ha sido en la primera quincena de enero de 2022.

Búsqueda bibliográfica

Teniendo en cuenta el criterio general de elegibilidad indicado anteriormente, el procedimiento ha consistido en introducir los términos y operadores booleanos: “*virtual reality*” or “*VR*”

and “*education*” and “*primary school*” or “*elementary school*” or “*primary education*” or “*high school*” or “*K-12*”. La búsqueda se realizó en el título, resumen y palabras clave del documento. A continuación, se han seleccionado los documentos de libre acceso para facilitar su consulta a cualquier investigador o persona y atendiendo al objetivo de fomentar la *open science*, publicados en el campo de las ciencias sociales, en español o inglés y de tipología artículo.

Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión más específicos con el objeto de acotar la investigación a los objetivos planteados. En la tabla 1 se indican estos criterios.

TABLA 1. Criterios

Inclusión	Exclusión
Estudios empíricos de disciplinas STEM	A. Otro tipo de estudios
Los participantes eran estudiantes de primaria o secundaria	B. Participantes de otras etapas educativas
Con participación activa del alumnado en el uso de la RV	C. No utilizan la RV como variable independiente

Resultados

Identificación y selección

Una vez realizada la consulta en la base de datos se procedió a la identificación y selección de los artículos atendiendo a los criterios PRISMA. Así, en la fase de identificación se obtuvieron 627 referencias, y al aplicar el criterio general de elegibilidad se excluyeron 591 artículos que no cumplían los requisitos previos establecidos. De esta manera la muestra se redujo a 36 artículos. Finalmente, tras un análisis pormenorizado y aplicando los criterios A, B y C, se determinó

una muestra final de 12 artículos que cumplieran todos los criterios establecidos. En la figura 1 se

observa este proceso y los artículos analizados se recogen en la tabla 2.

FIGURA 1. Esquema PRISMA

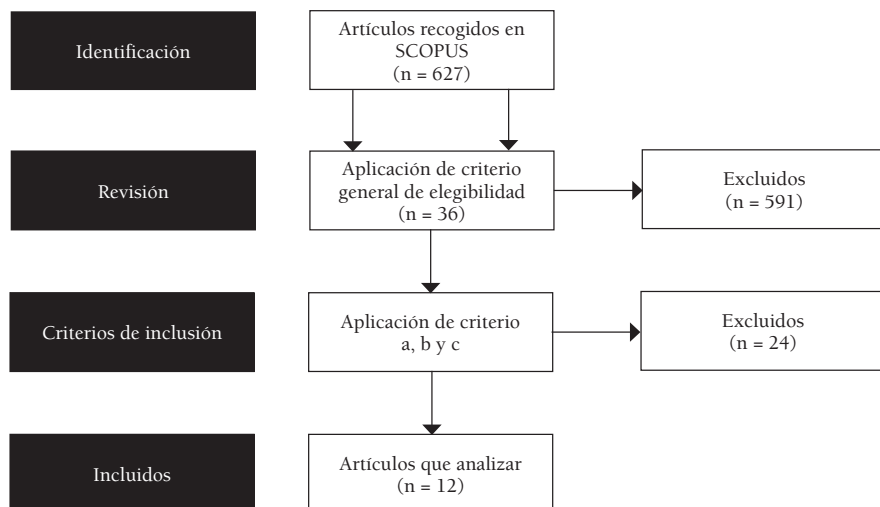


TABLA 2. Tabla de identificación de las muestras y algunos indicadores analizados

ID	Autores	Etapas	Métodos de investigación	N.º estudiantes	Actividades de aprendizaje	Tecnología RV
1	Akman y Çakir, 2019	Primaria	Estudio cualitativo	5	Aprendizaje basado en problemas	Cardboard RV inmersiva
2	Castaneda et al., 2021	Secundaria	Estudio de casos, análisis temático, metodología cualitativa	15	Aprendizaje inmersivo	HTC Vive RV inmersiva
3	Demitriadou et al., 2029	Primaria	No consta	30	Aprendizaje basado en indagación	Cardboard / dispositivos móviles / e-books RV inmersiva
4	Gandhi et al., 2020	Secundaria	No consta	10	Aprendizaje cooperativo-colaborativo / aprendizaje práctico-manipulativo	Mayoría de plataformas RV/RA RV inmersiva
5	Gochman et al., 2019	Primaria / secundaria	No consta	26	Aprendizaje basado en indagación / receptivo	HTC Vive / Vive Pro RV inmersiva
6	Hodges et al., 2018	Secundaria	Metodología mixta: cualitativa y cuantitativa	351	Aprendizaje receptivo / aprendizaje basado en problemas / aprendizaje basado en juegos	Aplicación de escritorio RV de escritorio

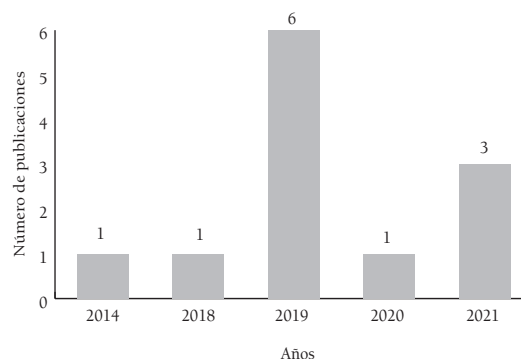
ID	Autores	Etapas	Métodos de investigación	N.º estudiantes	Actividades de aprendizaje	Tecnología RV	
7	Hsu, 2020	Secundaria	Diseño cuasiexperimental	30	Aprendizaje basado en juegos / aprendizaje basado en problemas / aprendizaje invertido	HTC Vive	RV inmersiva
8	Jagodziński y Wolski, 2015	Secundaria	No consta	100	Aprendizaje basado en problemas / aprendizaje cooperativo	XBOX Kinect	RV inmersiva
9	Jitmahantakul y Chenrai, 2019	Secundaria	Metodología cuasiexperimental	93	Aprendizaje basado en indagación / aprendizaje receptivo	Google Tour Creator / Dispositivos móviles / Cardboard	RV inmersiva
10	Jost <i>et al.</i> , 2020	Secundaria	Investigación empírica	60	Aprendizaje basado en juegos	Dispositivos móviles / tabletas / Samsung Gear VR con anillo gestual	RV inmersiva / RV de escritorio
11	Puig <i>et al.</i> , 2021	Primaria	No consta	60	Aprendizaje basado en problemas	No consta	RV de escritorio
12	Tsivitanidou <i>et al.</i> , 2021	Secundaria	Estudio de intervención	107	Aprendizaje basado en la indagación	Oculus Rift	RV inmersiva

Análisis cuantitativo

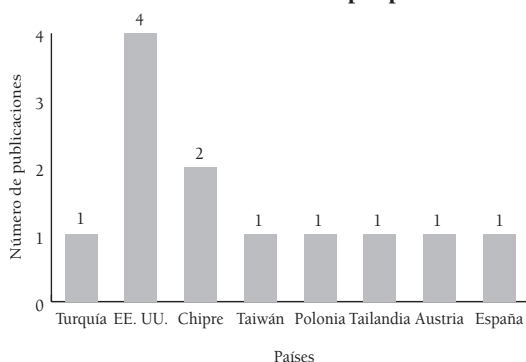
Con el objeto de determinar la importancia científica de la muestra, la productividad de los autores y el contexto en el que se desarrolla, se analizaron algunos parámetros o indicadores bibliométricos como son: el año de publicación, el país, la revista, el número de autores y sus áreas de investigación, la colaboración interdisciplinar, la etapa y las asignaturas implicadas.

En relación con el año de publicación, la muestra está ubicada entre 2014 y 2021, siendo los años 2019 y 2021 los de mayor producción, con 6 y 3 artículos respectivamente. Es decir, en los tres últimos años es donde se concentra la mayoría de los artículos sobre esta temática, lo que permite inferir un creciente interés por esta temática. En la figura 2 se puede observar la distribución temporal de los artículos.

FIGURA 2. Publicaciones por año



La distribución de estos trabajos por países se muestra en la figura 3. Cabe destacar la variedad de países en los que se han llevado a cabo las investigaciones (8 países) en relación con la muestra limitada obtenida, siendo Estados Unidos el país con el mayor número de publicaciones encontradas (4 artículos).

FIGURA 3. Publicaciones por país


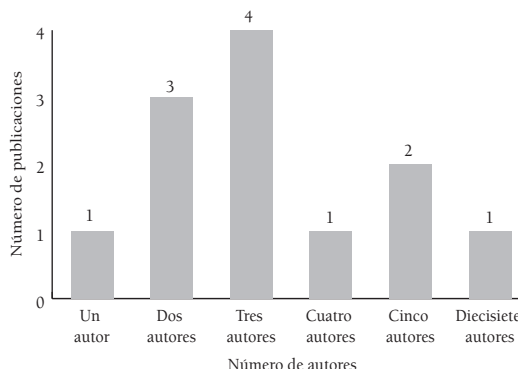
Asimismo, estos artículos se han publicado casi en su totalidad en revistas diferentes y tan solo la revista *Journal of Science Education and Technology* aporta dos publicaciones. Esta variedad de revistas es significativa y refleja en cierto modo que para todas estas editoriales la temática resulta interesante para sus lectores. En la tabla 3 se pueden observar dichas revistas.

TABLA 3. Publicaciones por revista

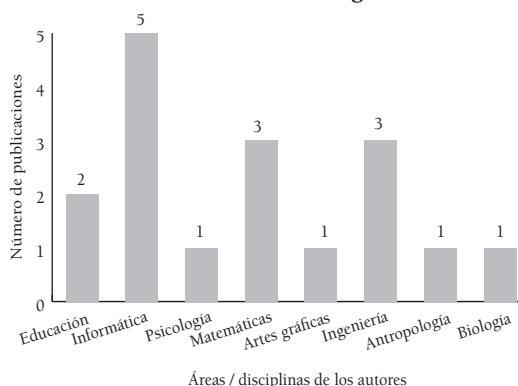
Revistas	N.º
<i>International Journal of Engineering and Techniques</i>	1
<i>Journal of Research on Technology Education</i>	1
<i>Education and Information Technologies</i>	1
<i>Journal of Chemical Education</i>	1
<i>Evolution: Education and Outreach</i>	1
<i>Computers and Education</i>	1
<i>Universal Journal of Educational Research</i>	1
<i>Journal of Science Education and Technology</i>	2
<i>Review of International Geographical Education Online</i>	1
<i>Behaviour and Information Technology</i>	1
<i>Computer Applications in Engineering Education</i>	1

La distribución por número de autores se muestra en la figura 4. Aunque existe variedad en el número de autores, la mayoría de los artículos

están realizados por dos o tres autores, con 3 y 4 artículos respectivamente.

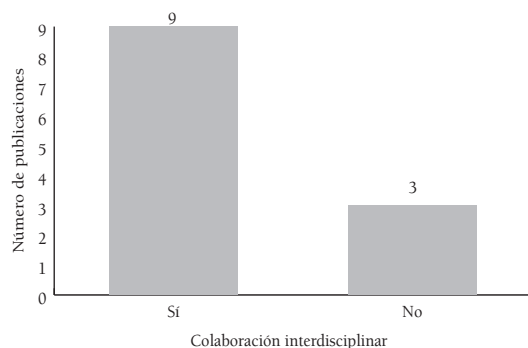
FIGURA 4. Publicaciones por número de autores


Asimismo, la distribución según las áreas de investigación de los autores se muestra en la figura 5. Se observa que las áreas más comunes son: informática (5 artículos), matemáticas, ingeniería (3 artículos) y educación (2 artículos). También es necesario reseñar la diversidad de áreas implicadas (8 áreas) en la elaboración de los artículos.

FIGURA 5. Publicaciones según áreas


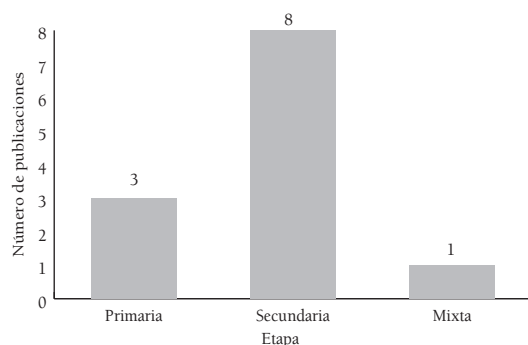
Otro parámetro que se ha estudiado es el relacionado con la colaboración interdisciplinar, es decir, cuando los autores de los artículos con experiencia y/o pertenencia en áreas de conocimiento distintas colaboran para trabajar en torno a un mismo artículo. En la figura 6 se puede observar que predomina dicha colaboración.

FIGURA 6. Publicaciones según la colaboración



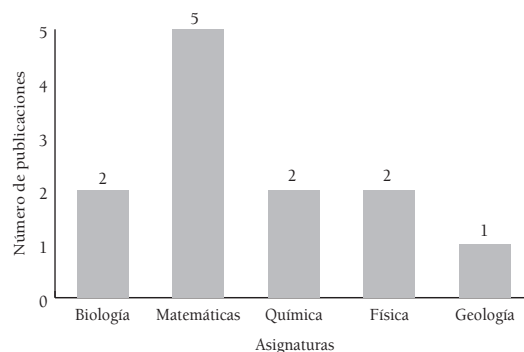
En cuanto a la contextualización de los artículos, en primer lugar, se analizó en función de la etapa educativa en la que se enmarca la investigación. En la figura 7, se puede observar que la mayoría de los trabajos se ubicaron en la enseñanza secundaria (8 artículos) y el resto en la educación primaria (3 artículos) o de naturaleza mixta (1 artículo).

FIGURA 7. Publicaciones por etapa



Y, en segundo lugar, se estudió la muestra desde el punto de vista del área disciplinar, encontrando que la mitad de los artículos están relacionados con las ciencias experimentales (6 artículos) y la otra mitad con matemáticas (5 artículos).

FIGURA 8. Publicaciones por asignaturas



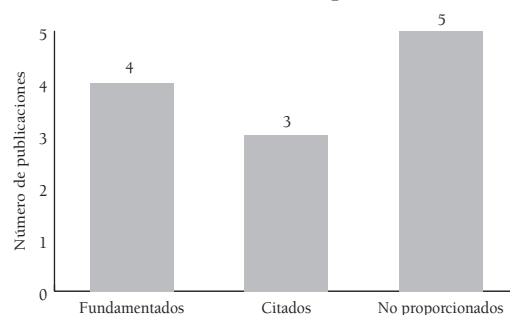
Análisis cualitativo

El análisis cualitativo se aborda desde las siguientes dimensiones: teorías en las que se fundamentan las propuestas de aula de cada una de las investigaciones, los diseños generales de investigación, la tecnología utilizada, las actividades de aprendizaje y sus resultados y, finalmente, las conclusiones, limitaciones y prospecciones futuras que declaran sus autores.

Teorías

Las teorías se agrupan en tres categorías siguiendo la estructura de Zydney y Warner (2016), es decir, si se explican con profundidad los fundamentos teóricos en los que se basan los diseños curriculares implementados, si solo se mencionan o se explican superficialmente y, por último, si no se citan fundamentos teóricos, pero sí se mencionan ciertos términos estrechamente relacionados con teorías particulares.

FIGURA 9. Publicaciones por teorías



Como se puede apreciar, solamente 4 de los 12 artículos (33.3%) recogidos en esta revisión presentan un fundamento teórico fundamentado: Akman y Çakir (2019) con la teoría de flujo; Jost *et al.* (2020) con la teoría de la carga cognitiva; Puig *et al.* (2021) con la teoría de la educación basada en resultados; y Tsivitanidou *et al.* (2021) con la teoría del aprendizaje por indagación. Por otro lado, 3 artículos (25%) citaron teorías durante el planteamiento y/o análisis de su investigación, en concreto, la teoría del aprendizaje constructivo.

Diseño de investigación

En relación con el diseño de las investigaciones, se ha tenido en cuenta la tipología del método de investigación utilizado, para ello se ha usado como referencia la clasificación sugerida por Bisquerra (2004). También con el objeto de conocer con detalle las propuestas realizadas se han analizado otros aspectos del diseño metodológico, como son: tiempos utilizados en las propuestas de enseñanza, instrumentos de recogida de datos, metodología de análisis de datos, tamaño de la muestra, etc.

Los métodos de investigación o metodologías más utilizadas son el diseño cuasiexperimental y la metodología cualitativa. Los instrumentos o técnicas de recolección de datos más empleados han sido las pruebas de conocimiento y los cuestionarios de satisfacción. En menor medida se han utilizado las entrevistas y las encuestas y las grabaciones de sonido. Las técnicas de análisis de datos se han categorizado en dos grupos: el análisis de material cualitativo y las pruebas estadísticas, siendo esta última la más popular. El tiempo dedicado para la puesta en escena de la propuesta didáctica más habitual no ha superado las 3 horas, aunque algunos estudios han utilizado entre 3 y 10 horas. Además, cabe destacar que la mayoría de los estudios no indican explícitamente el tiempo de aprendizaje que requirió la puesta en práctica de su experiencia, y los que así lo reflejaron no superaron nunca las 10 horas de experiencia. Sucede lo mismo con el número de sesiones, donde solo 4 artículos reflejan dichos datos, en los que se pueden encontrar dos experiencias tanto de 1 sesión como de más de 3 sesiones.

TABLA 4. Diseños metodológicos

Metodologías de investigación			Total (%)
Estudio cualitativo			1 (8.3)
Estudio de casos, análisis temático, metodología cualitativa			1 (8.3)
Metodología mixta: cualitativa y cuantitativa			1 (8.3)
Diseño cuasiexperimental			2 (16.6)
Estudio de intervención			1 (8.3)
No consta			6 (50)
Tiempo	Total (%)	Sesiones	Total (%)
0-3 h	3 (25)	1	2 (16.7)
3-10 h	2 (16.7)	2-3	0 (0)
Más de 10 h	0 (0)	Más de 3	2 (16.7)
No consta	7 (58.3)	No consta	8 (66.7)
Recolección de datos	Total*	Análisis de datos	Total*
Cuestionarios	5	Cualitativo	3
Pruebas de conocimiento	8	Estadística descriptiva	10
Entrevistas	3		
Grabaciones	1		
Encuestas	3		

Nota: *más de un método.

Por otra parte, dado el objetivo principal de esta investigación, se analizaron algunas características de la muestra poblacional, como son: el número de estudiantes que han participado en cada trabajo y su edad. Por lo que en la figura 10 se representa el número de participantes por artículo y se puede observar una distribución desigual, ya que hay seis artículos con una muestra poblacional de entre 5 y 30 alumnos (ID1-ID5 e ID7), cinco de entre 60 y 107 (ID8-ID12) y uno con 351 estudiantes (ID6). El valor medio de número de alumnos es de 74, sin embargo, 30 y 60 son los números de alumnos más utilizados por los investigadores como muestra poblacional.

En cuanto a las edades de los alumnos que suponen la muestra poblacional, la mayoría de los estudios han utilizado rangos de edades

correspondientes, evidentemente, a las etapas de primaria y secundaria. Los datos recogidos muestran que estas edades varían entre 9 y 17 años, siendo 14 años la edad media total de los alumnos, y 15.5 años la edad media por estudio que más se repite en los experimentos.

Es importante tener en cuenta que algunos estudios han dividido su muestra poblacional total en diferentes grupos. Por un lado, el grupo experimental en el que se ha implementado la propuesta didáctica con realidad virtual en el aula, y, por otro lado, el grupo de control, el cual solo participa con fines de comparación de resultados. Así, en la figura 11, se puede observar que solamente cuatro artículos contaron con grupo experimental y grupo de control (ID3, ID6, ID8 e ID11). El resto de trabajos solo contó con grupo experimental.

FIGURA 10. Alumnos por artículo

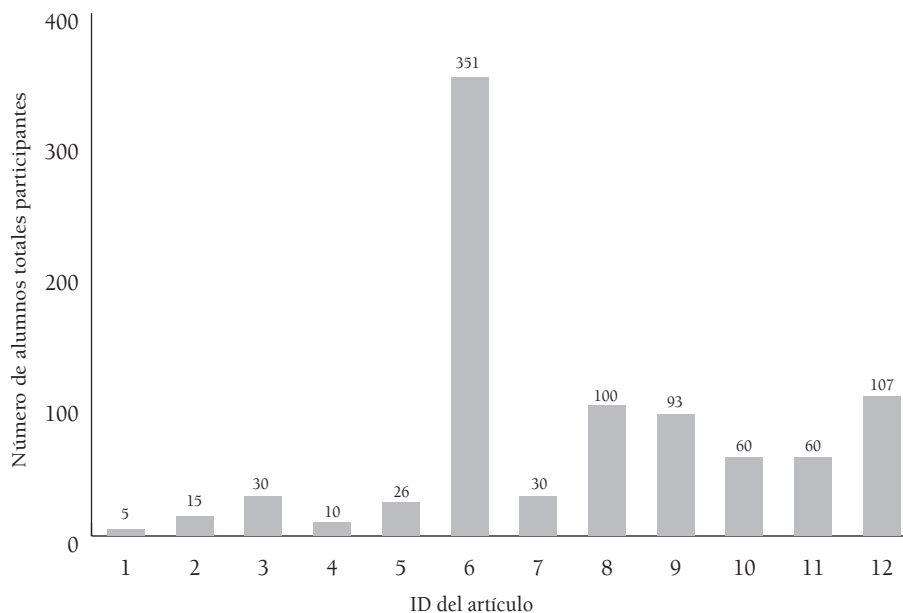
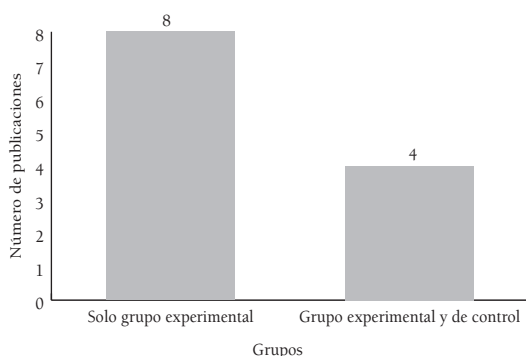
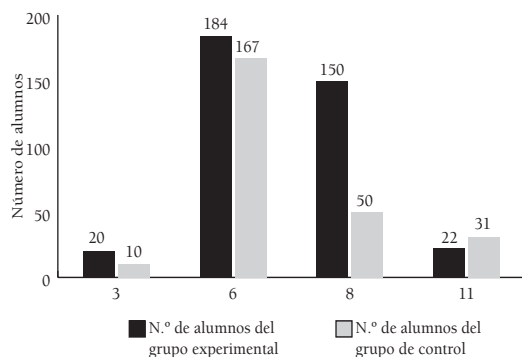


FIGURA 11. Publicaciones según grupos



Por otra parte, los artículos que contaron con grupo experimental y de control utilizaron para cada grupo un número de estudiantes diferentes en cada estudio, tal y como se puede apreciar en la figura 12. En ID6 e ID11 se utilizó un número de estudiantes similar, en ID3 se utilizó el doble en el grupo experimental y en ID8 el triple. Solo en ID11 el grupo control es mayor que el grupo experimental.

FIGURA 12. Alumnado participante

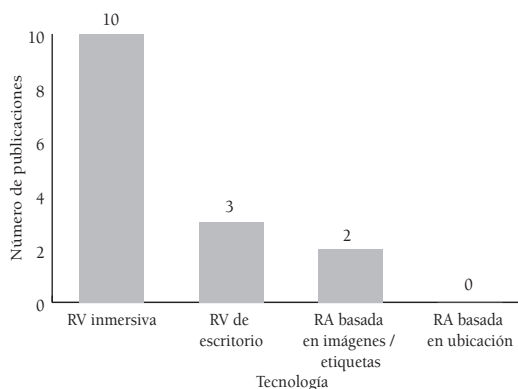


Tecnología

Siguiendo la clasificación tecnológica que hacen Zhang y Wang (2021) se dividieron las tecnologías en cuatro tipos de realidad virtual, tal y como se muestra en la figura 13: realidad virtual inmersiva (10 artículos), realidad virtual de escritorio (3 artículos), realidad aumentada

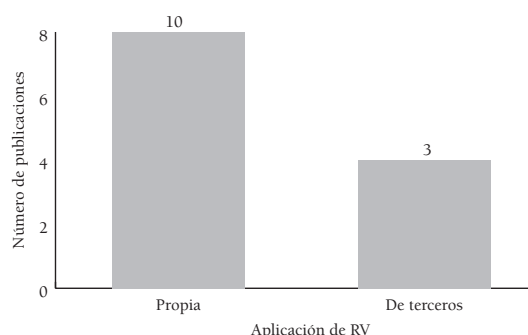
basada en imágenes o marcadores (2 artículos) y realidad aumentada basada en ubicación. Tal y como se especifica en dicho artículo, se considera que la realidad virtual es inmersiva cuando se rodea al usuario con un entorno virtual de 360 grados. Por otro lado, se considera que la realidad virtual es de escritorio cuando se muestra al usuario el entorno en un plano 2D, como el de una pantalla. Por último, algunos artículos utilizan una aplicación de realidad aumentada donde al usuario se le proyectan imágenes ficticias sobre el mundo real a través de algún dispositivo. Los autores consideran todas estas tecnologías como realidades virtuales, y de ahí la inclusión en esta revisión de aquellos artículos sobre RA que cumplieran los criterios de selección iniciales.

FIGURA 13. Publicaciones según tecnología



Se ha de destacar que la mayoría de los artículos optaron por desarrollar una aplicación de realidad virtual inmersiva. También cabe mencionar que algunos artículos combinaron más de una tecnología. Dos artículos (ID3 e ID4) combinaron actividades de RV y RA en su experiencia, mientras que otro artículo (ID10) integró RV inmersiva y de escritorio. Asimismo, tal y como se aprecia en la figura 14, la mayoría de los artículos han desarrollado su propia aplicación de RV (8 artículos), mientras que el resto ha utilizado aplicaciones desarrolladas por terceros.

FIGURA 14. Publicaciones según desarrollo de la aplicación



En cuanto a los dispositivos o equipos de *hardware* utilizados, se puede encontrar que para los artículos que involucran RV inmersiva se han utilizado multitud de visores de 6 grados de libertad como HTC Vive, Vive Pro, Samsung, Oculus, etc. También se han utilizado visores de 3 grados de libertad como el Cardboard junto con un teléfono móvil. Por otro lado, los artículos que involucran RA han utilizado exclusivamente teléfonos móviles y tabletas, al igual que para la RV de escritorio, aunque para esta última también se han utilizado libros electrónicos, ordenadores y consolas, como la Xbox.

Secuencia didáctica y actividades

En líneas generales, las secuencias de trabajo recogidas en las distintas publicaciones son las indicadas en la tabla 5.

TABLA 5. Secuencias de trabajo

Secuencias de trabajo	N.º
Actividad de RV y cuestionario	4
Enseñanza tradicional, actividad de RV y discusión final	1
Prueba de conocimiento antes y después de la actividad de RV	2
Prueba de conocimiento previa, actividad RV, enseñanza tradicional, prueba de conocimiento posterior, cuestionario sobre la experiencia y entrevista final	1
Enseñanza tradicional y actividad de RV	1

Secuencias de trabajo	N.º
Actividad de RV que integra prueba de conocimiento	1
Enseñanza tradicional, prueba de conocimiento previo, actividad de RV, cuestionario de experiencia y prueba de conocimiento posterior	1
Cuestionario de experiencia previo, enseñanza tradicional, actividad de RV y prueba de conocimiento posterior	1

Se observan diferentes líneas de trabajo, si bien las propuestas más comunes son la realización de una actividad de RV y posterior evaluación de la misma (4 artículos) y pruebas de conocimientos antes y después de la actividad de RV (2 artículos). También es importante señalar que en bastantes artículos (5 artículos) las actividades de RV se combinan con propuestas con cierto carácter tradicional. Las actividades de aprendizaje recogidas en los artículos se muestran en la tabla 6.

TABLA 6. Actividades de aprendizaje

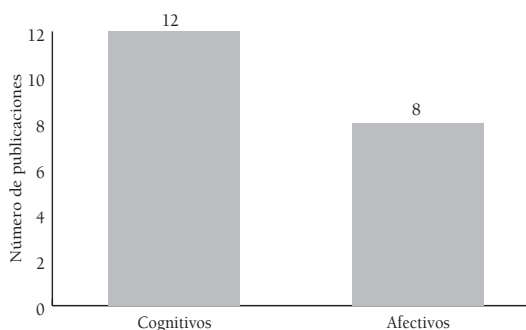
Actividades	N.º
Aprendizaje basado en problemas	5
Aprendizaje inmersivo	1
Aprendizaje basado en indagación	4
Aprendizaje cooperativo	2
Aprendizaje práctico/manipulativo	1
Aprendizaje basado en juegos	3
Aprendizaje receptivo	3
Aprendizaje invertido	1

Cabe destacar no solo el amplio espectro de actividades recogidas, sino que además algunos artículos han incluido más de un tipo de actividades de aprendizaje, donde destacan el aprendizaje basado en problemas (5 artículos) y el aprendizaje basado en la indagación (4 artículos) por ser los más empleados por las metodologías propuestas. Le siguen el aprendizaje basado en juegos y el receptivo (ambos con 3 artículos).

Resultados de aprendizaje

Los resultados se han analizado desde dos ámbitos, el cognitivo y el afectivo. De esta forma, se puede decir que la totalidad de la muestra objeto de estudio presenta resultados positivos de tipo cognitivo y además en ocho de ellos (ID2, ID3, ID5, ID7, ID8, ID10, ID11 y ID12) también han registrado logros de tipo afectivo.

FIGURA 15. Publicaciones según resultados



Conclusiones, limitaciones y prospecciones futuras de los artículos

La mayoría de las conclusiones recogidas en los artículos son en general positivas y señalan: un mayor aprendizaje significativo, un aumento de la eficacia del proceso de enseñanza-aprendizaje y una mejora en la motivación. Algunos autores también indican la mayor carga de trabajo mental que supone para los alumnos las actividades de RV y la necesidad de una mayor adaptación para su encaje con las actitudes del alumnado (ID10 e ID12).

En relación con las limitaciones, la cinetosis y la falta de recursos y tiempo son las más acusadas. La cinetosis es una sensación de mareo y náuseas similar a cuando se viaja en un barco, provocada principalmente por un mal diseño de la aplicación de RV. Sin embargo, las limitaciones recogidas por los autores son diversas, tanto para las experiencias (objetivos poco claros, problemas logísticos, problemas técnicos,

dificultad para adaptarse al currículum escolar, porcentaje significativo de insatisfacción en el alumnado y diseño mejorable) como para las investigaciones (falta de comparación de la RV con otros medios o tecnologías).

Por último, en cuanto a las prospecciones futuras recogidas en los artículos objeto de revisión, destacan las intenciones de los autores de mejorar la integración de la aplicación de RV con el currículum, la adición de nuevo contenido y la mejora en sí de la aplicación de RV como los objetivos futuros más repetidos. Destaca también el gran repertorio de propuestas, tanto para la aplicación (añadir opción de multijugador y adaptar la evaluación al uso de la RV) como para la investigación (utilizar una muestra mayor de alumnos, utilizar nuevos métodos de recopilación de datos, comparar los resultados con otras tecnologías, aplicar una mayor fundamentación teórica y profundizar en el análisis de resultados).

Discusión y conclusiones

El estudio bibliográfico sobre el constructo de educación STEM y RV ha sido el eje principal de este trabajo. Se ha hecho una revisión sistemática de la literatura con el fin de dar respuesta a las cuestiones planteadas e intentar alcanzar los objetivos diseñados.

En relación con la producción científica, se ha observado que existe una clara tendencia a incorporar la realidad virtual a la educación STEM, especialmente en los últimos tres años, ya que la mayoría de los artículos de la muestra obtenida se ubican entre los años 2019 y 2021, lo que va en la línea con lo obtenido en otros trabajos como los de Aznar-Díaz *et al.* (2018). Si además tenemos en cuenta los países que más publican, la diversidad de revistas, el número de autores y la variedad de áreas implicadas (al contrario de lo encontrado por Kavanagh *et al.*, 2017), se puede intuir el interés que suscita en los investigadores y profesionales

docentes el uso y la incorporación de tecnologías emergentes como la RV en sus propuestas didácticas, aspecto ya señalado por Durukan *et al.* (2020) y Freeman *et al.* (2017).

Con respecto al diseño de las investigaciones y sus secuencias didácticas, tiene sentido que en términos generales los artículos hayan diseñado los estudios para determinar el nivel de integración de la RV en los procesos de enseñanza-aprendizaje, aspecto crucial en el uso de las nuevas tecnologías. Los resultados de este estudio indican que los autores de los artículos fundamentaron sus propuestas de formas diversas, lo cual no es un aspecto negativo, al contrario, ya que permite apreciar la capacidad de la RV de adaptarse a diferentes teorías (Zhang y Wang, 2021), sin embargo, también es importante señalar algunas carencias de fundamentación detectadas en algunos de los artículos analizados, que podrían deberse a la escasa presencia de investigadores de áreas de índole didáctico. Los métodos de investigación fueron tanto de tipo cuantitativo como cualitativo, lo que es habitual en el campo de la educación (Bizquerra, 2004) y ambos permiten obtener resultados válidos. El alumnado participante ha sido variable y lógicamente ha ido en función del método de investigación escogido, aunque si se pretende generalizar resultados, se puede concluir que el número de estudiantes que han participado no es lo suficientemente elevado ni tampoco representativo, al no indicarse en muchos de los estudios el cómo se ha escogido la muestra, por lo que los resultados obtenidos escasamente son generalizables. Las secuencias didácticas, el tipo de tecnología, los tiempos y la tipología de actividades también han sido diversos. La tecnología inmersiva ha sido la predominante y destaca el número de aplicaciones propias que los autores han desarrollado, reflejando una alta formación digital, lo que puede entenderse atendiendo a las áreas de origen de bastantes de los investigadores (informática, ingeniería y matemáticas), al tiempo que se pone en duda si se continúa prestando mayor atención a la tecnología que a su verdadera integración en los

procesos de enseñanza-aprendizaje (López *et al.*, 2020; Zhang y Wang, 2021). A su vez, estas aplicaciones de RV han utilizado de forma habitual el aprendizaje basado en problemas y la indagación, lo cual permite inferir que estas estrategias de enseñanza van en sintonía con la tecnología utilizada.

Finalmente, la mayoría de los autores señalan logros cognitivos (mayor aprendizaje significativo) y afectivos (motivación, cooperación, etc.) con sus propuestas, lo que justifica que muchos autores explicitan que utilizan la RV para motivar a sus estudiantes (Kavanagh *et al.*, 2017). Asimismo, se incide en otros aspectos positivos que permite la RV como son: la mejora del compromiso, el acceso a entornos inaccesibles, la educación a distancia o incluso el entrenamiento de la empatía (Lege y Bonner, 2020). Por el contrario, las principales dificultades o limitaciones que se señalan son las inherentes al uso y disponibilidad de la tecnología, además de los cambios tan rápidos que se producen en este ámbito, por lo que el profesorado no puede integrar la RV de forma habitual en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Por tanto, atendiendo a los resultados obtenidos en este estudio y a su análisis, se puede concluir que:

- Es relativamente significativa en los últimos años la producción bibliográfica relacionada con la investigación del uso de la RV en la educación STEM en las etapas consideradas.
- Las propuestas de intervención de aula han dado resultados positivos tanto a nivel cognitivo como afectivo en el alumnado.
- La RV y el aprendizaje basado en problemas o la indagación parecen ser estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas para la educación STEM.
- El alcance de las investigaciones realizadas ha sido limitado dado el número de estudiantes participantes.

- Existen limitaciones en el uso y disponibilidad de la RV para el uso habitual en las aulas.

Finalmente, en relación con las implicaciones educativas de este trabajo, surgen dos aspectos que tener en cuenta. Por un lado, la

creencia de que la utilización de la RV en el contexto educativo es más que una nueva moda tecnológica y que requerirá en los próximos años mayor investigación. Y, por otro lado, el desarrollo pedagógico adecuado para una implementación integradora de la RV en las aulas.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, D. y Ortiz-Revilla, J. (2021). Stem vs. Steam education and student creativity: a systematic literature review. *Education Sciences*, 11(7), 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Akman, E. y Çakir, R. (2019). Pupils' opinions on an educational virtual reality game in terms of flow experience. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(15), 121-137. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i15.10576>
- Aznar-Díaz, I., Romero-Rodríguez, J. M. y Rodríguez-García, A. M. (2018). La tecnología móvil de realidad virtual en educación: una revisión del estado de la literatura científica en España. *ED-METIC*, 7(1), 256-274. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.10139>
- Bisquerra, R. (coord.) (2004). *Metodología de la investigación educativa*. La Muralla.
- Cabero, J. y Barroso, J. (2016). Posibilidades educativas de la realidad aumentada. *New Approaches in Educational Research*, 5(1), 46-52. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- Cabero, J. y García, F. (coords.) (2016). *Realidad aumentada. Tecnología para la formación*. Síntesis.
- Cabero, J., Leiva, J., Moreno, N., Barroso, J. y López-Meneses, E. (2016). *Realidad aumentada y educación. Innovación en contextos formativos*. Octaedro.
- Castaneda, L. M., Bindman, S. W. y Divanji, R. A. (2021). Don't forget to assess: how teachers check for new and deeper learning when integrating virtual reality in the classroom. *Journal of Research on Technology in Education*. <https://doi.org/10.1080/15391523.2021.1950083>
- Cuesta, D. U. y Mañas, L. (2016). Integración de la realidad virtual inmersiva en los Grados de Comunicación. *Revista ICONO 14. Revista Científica de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 14(2), 1-21. <https://doi.org/10.7195/ri14.v14i2.953>
- Demitriadou, E., Stavroulia, K. E. y Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381-401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>
- Di Serio, A., Ibáñez, M. B. y Delgado, C. K. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68, 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- Durukan, A., Artun, H. y Temur, A. (2020). Virtual reality in science education: a descriptive review. *Journal of Science Learning*, 3(3), 132-142. <https://doi.org/10.17509/jsl.v3i3.21906>
- El Nagdi, M., Leammukda, F. y Roehrig, G. (2018). Developing identities of STEM teachers at emerging STEM schools. *International Journal of STEM Education*, 5(36). <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0136-1>
- Freeman, A., Becker, S., Cummins, M., Davis, A. y Hall-Giesinger, C. (2017). *NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K-12 Edition*.
- Fuentes, A., López, J. y Pozo, S. (2019). Análisis de la competencia digital docente como factor clave en el desempeño de pedagogías activas. *REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 17(2), 27-42. <https://doi.org/10.15366/reice2019.17.2.002>

- Gandhi, H. A., Jakymiw, S., Barrett, R., Mahaseth, H. y White, A. D. (2020). Real-time interactive simulation and visualization of organic molecules. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01161>
- Gardner, M. y Tillotson, J. W. (2019). Interpreting integrated STEM: sustaining pedagogical innovation within a public middle school context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17, 1283-1300. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9927-6>
- Giordan, M. (2011). Diseño de ambientes virtuales de aprendizaje de la química bajo una perspectiva sociocultural. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 52-66.
- Gochman, S. R., Morano-Lord, M. y Goyal, N. (2019). Tarsier Goggles: a virtual reality tool for experiencing the optics of a dark-adapted primate visual system. *Evolution: Education and Outreach*, 12, 9. <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0101-6>
- Gómez, G., Rodríguez, C. y Marín, J. A. (2020). La trascendencia de la realidad aumentada en la motivación estudiantil. Una revisión sistemática y meta-análisis. *Alteridad*, 15(1), 36-46. <https://doi.org/10.17163/alt.v15n1.2020.03>
- Gunawan, S. y Shieh, C. J. (2020). Effects of the application of STEM curriculum integration model to living technology teaching on business school students' learning effectiveness. *Contemporary Educational Technology*, 12(2), ep279. <https://doi.org/10.30935/cedtech/8583>
- Hodges, G. W., Wang, L., Lee, J., Cohen, A. y Jang, Y. (2018). An exploratory study of blending the virtual world and the laboratory experience in secondary chemistry classrooms. *Computers and Education*, 122, 179-193. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.03.003>
- Hsu, Y. C. (2020). Exploring the learning motivation and effectiveness of applying virtual reality to high school mathematics. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 438-444. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080214>
- Ierache, J., Igarza, S., Mangiarua, N. A., Becerra, M. E., Bevacqua, S. A., Verdicchio, N. N. et al. (2014). Herramienta de realidad aumentada para facilitar la enseñanza en contextos educativos mediante el uso de las TIC. *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*, 2(6), 365-368. <https://doi.org/10.18294/relais.2014.365-368>
- Jagodziński, P. y Wolski, R. (2015). Assessment of application technology of natural user interfaces in the creation of a virtual chemical laboratory. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 16-28. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9517-5>
- Jitmahantakul, S. y Chenrai, P. (2019). Applying virtual reality technology to geoscience classrooms. *Review of International Geographical Education Online*, 9(3), 577-590. <https://doi.org/10.33403/rigeo.592771>
- Jost, P., Cobb, S. y Hämmerle, I. (2020). Reality-based interaction affecting mental workload in virtual reality mental arithmetic training. *Behaviour and Information Technology*, 39(10), 1062-1078. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2019.1641228>
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B. y Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119. <https://www.learntechlib.org/p/182115/>
- Ku, C. J., Hsu, Y. S., Chang, M. C. y Lin, K. Y. (2022). A model for examining middle school students' STEM integration behavior in a national technology competition. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00321-z>
- Lege, R. y Bonner, E. (2020). Virtual reality in education: the promise, progress, and challenge. *The JALT CALL Journal*, 16(3), 167-180. <https://doi.org/10.29140/jaltcall.v16n3.388>
- López, V., Couso, D. y Simarro, C. (2020). Educación STEM para y con una era digital: el papel de las herramientas digitales para el desempeño de prácticas científicas, de ingeniería y matemáticas. *Revista de Educación a Distancia*, 20(62), 7. <https://doi.org/10.6018/red.410011>

- Marrero, J. J. y Fernández, J. (2011). Aulas virtuales y los modelos didácticos en las ciencias experimentales. *Revista Comunicación y Pedagogía (Primeras Noticias)*, 254, 13-21.
- Marrero, J. J., Negrín, M. y González, P. (2021). Las TIC en la didáctica de las ciencias en el ámbito español: revisión sistemática en relación con el tratamiento de competencias digitales. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 41, 119-136. <https://doi.org/10.7203/dces.41.20260>
- Martín, O. y Santaolalla, E. (2020). Educación STEM: formación con “con-ciencia”. *Padres y Maestros / Journal of Parents and Teachers*, 381, 41-46. <https://doi.org/10.14422/pym.i381.y20.006>
- Moore, T. J., Glancy, A., Kersten, J., Smith, K. y Stohlmann, M. (2014). A framework for implementing engineering standards in K-12. *Pre-College Engineering Education Research*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- Morán, J. M., Santillán-García, A. y Herrera-Peco, I. (2020). SCRUTATIOM: how to detect retracted literature included in systematics reviews and metaanalysis using SCOPUS® and ZOTERO®. *Gaceta Sanitaria*, 36, 64-66. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.06.012>
- Ortiz-Colón, A., Jordán, J. y Agredal, M. (2018). Gamificación en educación: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Educação e Pesquisa*, 44, e173773. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634201844173773>
- Otero, A. y Flores, J. (2011). Realidad virtual: un medio de comunicación de contenidos. Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos. *Icono 14. Revista de Comunicación Audiovisual y Nuevas Tecnologías*, 9(2), 185-211.
- Pellas, N., Dengel, A. y Christopoulos, A. (2020). A scoping review of immersive virtual reality in STEM education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 13, 748-761. <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3019405>
- Pellas, N., Kazanidis, I. K., Konstantinou, N. y Georgiou, G. (2017). Exploring the educational potential of three-dimensional multi-user virtual worlds for STEM education: a mixed-method systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 22, 1-45. <https://doi.org/10.1007/s10639-016-9537-2>
- Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 46, 187-203. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i46.12>
- Puig, A., Rodríguez, I., Baldeón, J. y Múria, S. (2021). Children building and having fun while they learn geometry. *Computer Applications in Engineering Education*. <https://doi.org/10.1002/cae.22484>
- Redecker, C. y Punie, Y. (2017). *European framework for the digital competence of educators Dig-CompEdu*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466>
- Sánchez, D. L. V. y García-Martínez, Á. (2021). La educación STEM, un campo emergente de investigación: análisis bibliométrico entre 2010-2020. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 26(3), 195-219. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p195>
- Thu, H. L. T., Tran, T., Phuong, T. T. T., Huy, H. L. y Thi, T. V. (2021). Two decades of STEM education research in middle school: a bibliometrics analysis in Scopus database (2000-2020). *Education Sciences*, 11(7), 353. <https://doi.org/10.3390/educsci11070353>
- Toma, R. B. (2020). Revisión sistemática de instrumentos de actitudes hacia la ciencia (2004-2016). *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 143-159. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2854>
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). “De STEM nos gusta todo menos STEM”. Un análisis crítico de una tendencia educativa en auge. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Tsivitanidou, O. E., Georgiou, Y. e Ioannou, A. (2021). A learning experience in inquiry-based physics with immersive virtual reality: student perceptions and an interaction effect between

- conceptual gains and attitudinal profiles. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 841-861. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09924-1>
- Urrútia, G. y Bonfill, X. (2010). PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Medicina Clínica*, 135(11), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Zhang, W. y Wang, Z. (2021). Teoría y práctica de VR/AR en educación científica K-12: una revisión sistemática. *Sustentabilidad*, 13, 12646. <https://doi.org/10.3390/su132212646>
- Zydney, J. M. y Warner, Z. (2016). Mobile apps for science learning: review of research. *Computers & Education*, 94, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.11.001>

Abstract

*The importance of virtual reality in STEM education:
a systematic review from the point of view of experimentation in the classroom*

INTRODUCTION. In recent years, STEM disciplines have integrated Virtual Reality into the educational context. Hence, VR technology facilitates the user's immersion, in this case, students, in a totally virtual world where different teaching-learning strategies are developed. It is important to know the international publications about implementing the construct: *STEM-VR-students*, as well as the results obtained which had been the objective of this work. **METHOD.** A systematic review of the published literature has been carried out, in articles with open access format, in the Scopus database between the years 2000 and 2021 and in the field of social sciences. **RESULTS.** Twelve articles meet the established inclusion criteria. Their analysis provides a growing interest on the part of researchers and educators, a diversity of authors and areas involved, added to some positive achievements of a cognitive and affective nature on the part of the students who participated actively in the studies, as well as a remarkable variety in the designed activities; but also, some methodological deficiencies, such as a scarce theoretical foundation that guides the designs of the didactic proposals or a limited time in some of the studies. **DISCUSSION.** The synergies between VR and problem-based or inquiry-based learning, the limitations in terms of technological use and availability, the need to continue the research on this subject, and finally, to increase as much as possible are noteworthy. In addition, the sample size allows the generalization of the results and evaluates effectively the level of real integration of this emerging technology.

Keywords: Virtual reality, Systematic review, STEM, Educational research.

Résumé

*L'importance de la réalité virtuelle dans l'enseignement des STEM :
une revue systématique au prisme de l'expérimentation dans la salle de classe*

INTRODUCTION. Ces dernières années, les disciplines des STEM ont intégré la réalité virtuelle dans le domaine de l'éducation. Comprendre cette technologie comme une immersion de l'utilisateur, dans ce cas-là, les élèves, dans un monde totalement virtuel et où des différentes stratégies d'enseignement-apprentissage sont développées. Il est important de connaître les

recherches qui ont été publiées à l'échelle internationale sur la mise en œuvre de la construction *STEM-réalité virtuelle-élève*, ainsi que les résultats qu'ils ont obtenus, c'est pourquoi cela a été l'objectif de ce travail. **MÉTHODE.** Pour ce faire, une revue systématique de la littérature publiée a été réalisée, tenant en compte des articles en libre accès dans la base de données Scopus entre les années 2000 et 2021 dans le domaine des sciences sociales. **RÉSULTATS.** 12 articles répondent aux critères d'inclusion établis et leur analyse révèle un intérêt croissant de la part des chercheurs et des éducateurs, une diversité d'auteurs et de domaines y impliqués, des expériences positives d'ordre cognitif et affectif de la part des élèves participant activement à l'étude, ainsi qu'une variété remarquable des activités conçues; mais, également, certaines lacunes méthodologiques, telles que: une base théorique rare qui guide les conceptions des propositions didactiques ou un temps limité dans le déroulement de certaines des études. **DISCUSSION.** Les synergies qui se produisent entre la réalité virtuelle et l'apprentissage par problèmes ou par enquête sont mises en évidence, de même que les limites concernant l'utilisation et la disponibilité de la technologie, la nécessité de poursuivre les recherches sur ce sujet et d'augmenter autant que possible la taille de l'échantillon permettant de généraliser les résultats et l'évaluation efficace du niveau d'intégration réelle dans les enseignements de cette technologie émergente.

Mots-clés : *Réalité virtuelle, Revue systématique, STEM, Recherche en éducation.*

Perfil profesional de los autores

Juan José Marrero-Galván (autor de contacto)

Licenciado en Ciencias Químicas y doctor en Didáctica de las Ciencias. Profesor del Departamento de Didácticas Específicas de la Universidad de La Laguna. La formación inicial del profesorado y la didáctica de las ciencias experimentales son sus principales líneas de investigación.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7563-0387>

Correo electrónico de contacto: jmarrerg@ull.edu.es

Dirección para la correspondencia: Facultad de Educación, módulo A2, Universidad de La Laguna. C/ Heraclio Sánchez, 43, 38204 La Laguna, Santa Cruz de Tenerife.

Manuel Hernández-Padrón

Graduado en Química, con Máster en Formación del Profesorado y Máster en Desarrollo de Videojuegos. Se ha formado en fotografía y transformación digital. En la actualidad trabaja en la Universidad de La Laguna. Su principal línea de investigación está enfocada a la gamificación, la didáctica de las ciencias experimentales y la divulgación científica.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4109-1749>

Correo electrónico de contacto: mhernapa@ull.edu.es

ANÁLISIS DE *APPLETS* DE GEOGEBRA PARA LA ENSEÑANZA DEL LÍMITE DE UNA FUNCIÓN

Analysis of GeoGebra applets for teaching the limit of a function

ÁLVARO BARRERAS⁽¹⁾, LUIS DUBARBIE⁽¹⁾ Y ANTONIO M. OLLER-MARCÉN⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Internacional de La Rioja (España)

⁽²⁾ Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.93361

Fecha de recepción: 07/02/2022 • Fecha de aceptación: 21/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Álvaro Barreras. E-mail: alvaro.barreras@unir.net

Cómo citar este artículo: Barreras, Á., Dubarbie, L. y Oller-Marcén, A. M. (2022). Análisis de *applets* de GeoGebra para la enseñanza del límite de una función. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 65-83. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.93361>

INTRODUCCIÓN. La importancia de GeoGebra como una de las principales herramientas que ofrecen a los docentes de matemáticas la posibilidad de trabajar con simulaciones virtuales en sus aulas es indiscutible. Sin embargo, los recursos del repositorio oficial de GeoGebra no pasan ningún proceso de revisión. Por lo tanto, el criterio del docente a la hora de seleccionar este tipo de recursos es clave y se hacen necesarias herramientas que permitan analizar *applets* de GeoGebra para su implementación. En particular, este tipo de recursos ofrecen numerosas ventajas para la enseñanza del concepto matemático de límite de una función, frente a otro tipo de herramientas. **MÉTODO.** En este trabajo se analiza la idoneidad didáctica de *applets* de GeoGebra para la enseñanza del límite de una función. Se ha realizado un estudio exploratorio y descriptivo. El análisis se ha llevado a cabo mediante un enfoque deductivo con base en cinco variables diferentes (tipo de límite, interactividad, imagen conceptual, representación y acción). La muestra analizada, elegida mediante un muestreo de tipo intencional, es de 150 *applets* del repositorio de materiales de GeoGebra. **RESULTADOS.** Se muestran los resultados tras analizar las cinco variables establecidas para cada uno de los *applets* estudiados. También se analiza la influencia de la interactividad con el resto de las variables, así como la influencia de la cantidad de representaciones del límite en los *applets*. **DISCUSIÓN.** En el análisis de la idoneidad didáctica realizado, destaca la importancia de la variable interactividad, por potenciar el desarrollo de la mayoría de las imágenes conceptuales del límite. También resulta positivo el uso de una mayor cantidad de sistemas de representación del límite en un *applet*, pues favorece el desarrollo de varias acciones en dichos sistemas de representación.

Palabras clave: Enfoque ontosemiótico, Educación matemática, Usos de la tecnología en educación, Recursos educativos.

Introducción

Desde su creación, GeoGebra ha experimentado un éxito sin precedentes entre los docentes de matemáticas, llegando a contar con cientos de miles de usuarios mensuales y con más de un millón de actividades en su repositorio (Hohenwarter y Lavicza, 2007). Sin embargo, posiblemente a consecuencia de este éxito, no existe ningún proceso de revisión de expertos que filtre de algún modo los *applets* depositados en el repositorio oficial de GeoGebra. Esto implica que, en la práctica, muchos de ellos estén incompletos y algunos puedan eventualmente presentar errores matemáticos.

Además, hemos de tener en cuenta que estos *applets* son frecuentemente utilizados como recursos formativos por personas distintas a quienes los han creado. Por ello, son necesarias investigaciones que los analicen desde un punto de vista didáctico y que ofrezcan a los docentes estrategias para analizar y evaluar dichos *applets*. De este modo, los usuarios podrán tomar una decisión respecto a su utilización basada en criterios matemáticos y didácticos. El desempeño docente en el uso de otras herramientas como vídeos educativos o redes sociales para la enseñanza de las matemáticas ha sido analizado en trabajos como Cid *et al.* (2018) y García *et al.* (2016).

Problemáticas similares surgen en ámbitos como los recursos educativos en línea o los vídeos educativos matemáticos. Así, Turney *et al.* (2009) ponen de manifiesto que el uso de tecnología puede provocar que los estudiantes desarrollen estrategias de aprendizaje inadecuadas. Por su parte, Beltrán-Pellicer *et al.* (2018) identifican carencias recurrentes en su análisis de vídeos de YouTube que pueden interferir con las secuencias didácticas diseñadas por los docentes. Además, se expone que el enfoque ontosemiótico del conocimiento y la instrucción matemáticos (Godino *et al.*, 2007) permite abordar la problemática planteada desde el concepto de idoneidad didáctica (Burgos *et al.*, 2020; Godino, 2013).

Considerando la situación expuesta, en este trabajo pretendemos analizar algunas características fundamentales de *applets* dedicados al trabajo con el concepto de límite funcional depositados en el repositorio de GeoGebra. Se ha elegido este objeto matemático debido a su importancia (Claros *et al.*, 2007), así como al potencial uso de GeoGebra en su enseñanza y aprendizaje (Hutkemri, 2014). En particular, los objetivos específicos de este trabajo son:

- Determinar las imágenes conceptuales asociadas al concepto de límite funcional presente en los *applets* analizados.
- Analizar la presencia de distintos sistemas de representación y de las acciones entre ellos promovidas por dichos *applets*.

Estos dos objetivos y sus posibles influencias mutuas, junto con características relacionadas con la interactividad de los *applets* considerados, nos permiten estudiar aspectos clave relacionados con la idoneidad epistémica de estos recursos.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: en el siguiente apartado se expone el marco teórico y contexto de la investigación. Posteriormente, se presenta el método seguido en el estudio realizado, así como las variables consideradas. Después se muestran los resultados obtenidos en el análisis realizado. Finalmente, se presentan las conclusiones y una discusión sobre la investigación llevada a cabo.

Marco teórico

El enfoque ontosemiótico (EOS) del conocimiento y la instrucción matemáticos (Godino *et al.*, 2007) considera seis tipos de objetos matemáticos primarios, cuya interacción permite describir la actividad matemática:

- Lenguaje (términos, expresiones, notaciones, gráficos).

- Situaciones-problemas (aplicaciones intra- y extramatemáticas, ejercicios, problemas, etc.).
- Conceptos dados por definiciones o descripciones (límite, función, etc.).
- Propositiones, propiedades o atributos.
- Procedimientos (operaciones, algoritmos, técnicas).
- Argumentos utilizados para validar y explicar las proposiciones y los procedimientos (deductivos, inductivos).

Entre otros muchos aspectos, el EOS ofrece herramientas útiles para el análisis de recursos digitales para la enseñanza de las matemáticas (como los *applets* de GeoGebra considerados) y pone de manifiesto, en particular, la necesidad de analizar la idoneidad didáctica de los recursos utilizados por el docente.

La noción de idoneidad didáctica, así como sus dimensiones, criterios y principales indicadores, se encuentra desarrollada en Godino (2013). Este constructo se define como “el grado en que un proceso de instrucción reúne ciertas características que permiten calificarlo como óptimo o adecuado, siendo el principal criterio la adaptación entre los significados personales construidos por los alumnos (aprendizaje) y los significados institucionales, ya sean pretendidos o implementados (enseñanza), considerando la influencia del entorno” (Burgos *et al.*, 2020, pp. 29-30). Este proceso de instrucción debe articular de manera coherente y sistemática seis componentes: epistémica, cognitiva, interaccional, mediacional, afectiva y ecológica (Godino *et al.*, 2007). La noción de idoneidad didáctica, en sus distintas dimensiones, es útil tanto en el diseño como en la valoración de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas (Godino *et al.*, 2019).

La idoneidad epistémica hace referencia a la “representatividad del significado institucional implementado o pretendido, respecto de un significado de referencia” (Godino *et al.*, 2007, p. 133). A su vez, Godino *et al.* (2012) señalan

los distintos componentes de la idoneidad epistémica, entre los que cabe destacar los lenguajes y las reglas (definiciones, proposiciones y procedimientos). Estos mismos autores proporcionan además indicadores para cada uno de estos componentes. En el caso de las reglas, se proponen indicadores tales como que “las definiciones y procedimientos sean claros y correctos” o que “se presentan los enunciados y procedimientos fundamentales del tema adaptados al nivel educativo dado”. En lo relativo a los lenguajes, uno de estos indicadores es el uso de “un amplio repertorio de representaciones (materiales, icónicas y simbólicas) para modelizar problemas e ideas matemáticas, analizando la pertinencia y potencialidad de uno u otro tipo de representación y realizando procesos de traducción entre las mismas” (Godino *et al.*, 2012, p. 348).

Por otro lado, el concepto de límite es fundamental en el ámbito del análisis, y las dificultades que los estudiantes parecen encontrar para su comprensión se deben, en parte, a que esta implica la articulación de multitud de elementos relacionados con aspectos como su existencia, su carácter estático o dinámico, etc., que “no pueden ser generados puramente a partir de su definición matemática” (Cornu, 2002, p. 153). Asimismo, esta complejidad implica que los estudiantes puedan formarse distintas imágenes o modelos del concepto de límite, que no siempre resultan adecuados (Williams, 1991; Contreras y García, 2011) y que pueden variar en función de si se trata de un límite finito o infinito, o de si se considera en un punto o en el infinito (Sánchez-Compañía, 2012).

Siguiendo el trabajo de Tall y Vinner (1981), Przenioslo (2004, p. 104) considera la noción de imagen conceptual como “la estructura cognitiva que contiene todos los tipos de asociaciones y concepciones relacionadas con un concepto [...] incluyendo intuiciones, elementos de comprensión formal, pautas establecidas, procedimientos aplicados a distintas situaciones y estrategias operacionales”. En su estudio empírico con estudiantes universitarios, se identifican

seis grandes grupos de imágenes conceptuales asociadas al límite de una función que se identifican con base en lo que la autora denomina su elemento clave. Así, distingue entre imágenes conceptuales focalizadas en la idea de:

- “Entorno”.
- “Valores que se aproximan”.
- “Gráfica que se aproxima”.
- “Estar definida en el punto”.
- “El límite en el punto coincide con la función en el punto”.
- “Aproximación algorítmica esquemática”.

Evidentemente, estos elementos clave no son excluyentes entre sí, de tal modo que la idea de límite de muchos estudiantes combina concepciones asociadas con más de uno de ellos. Sin embargo, cabe resaltar que Przenioslo (2004) considera como “eficientes” únicamente las dos primeras, entendiendo por eficiente aquella imagen conceptual que permite al estudiante comprender las propiedades y teoremas relacionados con el límite de una función, así como comprender sus vínculos con otras nociones matemáticas.

A menudo la actividad matemática necesita utilizar diferentes sistemas de representación semiótica que se puedan utilizar libremente según la tarea que realizar. Aunque algunos procesos son más fáciles en un sistema semiótico que en otro, o incluso pueden realizarse en uno solo, lo cierto es que en muchos casos no se utiliza un único sistema de representación, sino que se precisan al menos dos, bien sea de manera implícita o explícita (Duval, 2006). A este respecto, Socas (2007) señala distintos tipos de acciones que pueden llevarse a cabo cuando se utilizan distintas representaciones:

- Reconocimiento de un objeto o de alguno de sus elementos en un sistema de representación concreto.
- Transformaciones internas en un sistema de representación, a las que Duval (2006) denomina tratamientos.

- Transformaciones externas entre distintos sistemas de representación, a las que Duval (2006) denomina conversiones.
- Coordinación entre distintos sistemas de representación.

La realización de estas acciones en el contexto de un objeto matemático concreto caracteriza, en cierto modo, la actividad matemática y su presencia es, como hemos visto, un indicador de idoneidad epistémica. De hecho, el lenguaje matemático surge asociado a la representación de los objetos matemáticos y a su dinámica en y entre los registros semióticos (Pecharromán, 2013).

En el contexto que nos ocupa, Blázquez y Ortega (2001, p. 226) sostienen que “la utilización de distintos registros [...] mejora la comprensión del concepto de límite”. Estos autores consideran cuatro sistemas de representación fundamentales asociados al concepto de límite: verbal, numérico, gráfico y algebraico. Cada uno de ellos tiene unas potencialidades y limitaciones que pueden mostrar u ocultar distintas imágenes conceptuales de la idea de límite (Palomino *et al.*, 2009). Por otro lado, algunas investigaciones (Ward *et al.*, 2013) han señalado que las transformaciones externas entre distintos sistemas de representación parecen ser las acciones que conllevan una mayor dificultad para los docentes.

El uso de *software* como GeoGebra facilita que los estudiantes trabajen simultáneamente con diversos sistemas de representación y que actúen sobre ellos en un contexto de cálculo diferencial (Caligaris *et al.*, 2015). La utilización de este *software*, especialmente por sus características dinámicas e interactivas, puede contribuir a mejorar la comprensión del concepto de límite (Sari, 2017). Por tanto, a la hora de analizar los *applets* de GeoGebra, resulta primordial atender al concepto de interactividad de dichos recursos. En este trabajo adoptamos el enfoque de Roussou *et al.* (2006, p. 2), que definen la interactividad como “la capacidad de moverse libremente por un entorno virtual, experimentarlo de primera

mano y desde múltiples puntos de vista, modificar sus elementos, controlar parámetros o de responder al *feedback* ofrecido por el sistema”.

Método

Teniendo en cuenta los objetivos señalados anteriormente, se ha abordado un estudio de tipo exploratorio y fundamentalmente descriptivo (Leavy, 2017).

Selección de la muestra

Se ha optado por realizar un muestreo de tipo intencional, *purposeful sampling* en la terminología de Creswell (2002, p. 206). Se trata de un tipo de muestreo no probabilístico en el que se seleccionan los elementos de la muestra con el fin de obtener información útil para la comprensión del fenómeno estudiado.

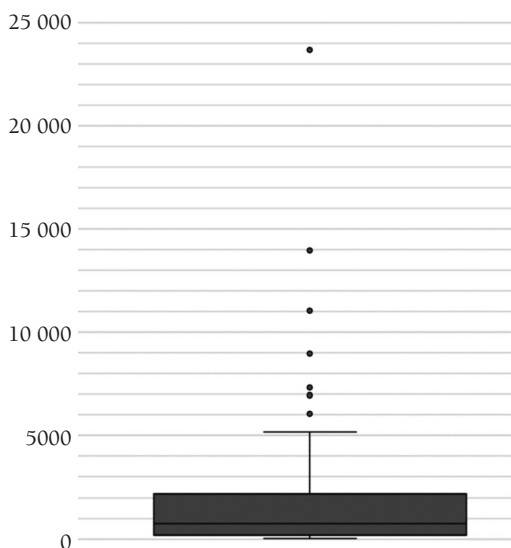
Así, se realizó una consulta el 8 de mayo de 2021 en el apartado de materiales de la web de GeoGebra¹, haciendo uso de la herramienta de búsqueda en forma de grafo y siguiendo la ruta “Matemáticas → Cálculo → Límites”. De este modo, se seleccionaron inicialmente los 150 primeros *applets*. Se eligieron los primeros porque se pretendía considerar la situación de un docente que accede al repositorio en busca de recursos para su clase. Todos los recursos elegidos eran *applets* individuales y no libros.

A continuación, se realizó una primera revisión de los *applets* para eliminar aquellos que no proporcionaran información útil para la investigación. En particular, se eliminaron los *applets* que no abordaban única y específicamente el concepto de límite de una función real de variable real en un punto o en el infinito (algunos trataban el límite de sucesiones, la derivabilidad, el límite de funciones de varias variables, etc.). De igual forma, se descartaron aquellos *applets* que resultaban meramente expositivos, es decir, que no hacían uso de las

funcionalidades dinámicas de GeoGebra (Hohenwarter *et al.*, 2009).

Este proceso de cribado de datos conllevó el descarte de 49 *applets*. Por lo tanto, el estudio finalmente se realizó con los 101 *applets* restantes, que se consideró una cantidad suficiente para los objetivos marcados. El número medio de visualizaciones de estos *applets* era 1882. Aunque el objetivo no era la selección de los *applets* con más visualizaciones (puesto que, además, estos no aparecen ordenados por el número de visualizaciones tras una búsqueda), sí que hay *applets* con un gran número de visualizaciones entre los elegidos (ver figura 1).

FIGURA 1. Número de visualizaciones de los *applets* analizados



Análisis de los datos

El análisis se llevó a cabo con base en cinco variables, adoptando un enfoque deductivo en el que las categorías se derivan del marco teórico. En la tabla 1 se detallan dichas variables, las categorías correspondientes a cada una de ellas y los criterios considerados para la clasificación de los *applets*.

TABLA 1. Variables y categorías para el análisis de los *applets* y criterios de asignación

Variable	Categorías y códigos	Criterios
Tipo de límite (Sánchez-Compañía, 2012)	En un punto (LP)	Se calcula el límite en un punto
	En el infinito (LI)	Se calcula el límite en el infinito
Interactividad (Roussou <i>et al.</i> , 2006)	Modificar elementos (ME)	Se pueden modificar elementos como la función o el punto donde se quiere calcular el límite
	Controlar parámetros (CP)	Se pueden modificar parámetros que ofrecen información relevante. Por ejemplo, punto que se aproxima al valor en que se calcula el límite
	Permite responder (PR)	El usuario puede introducir una respuesta y se obtiene <i>feedback</i>
Imagen conceptual (Przenioslo, 2004)	Entorno (E)	Aparece explícitamente un entorno del punto donde se quiere calcular el límite y/o valor de la función Aparece la definición de límite mediante entornos o razonamientos de aproximación a un punto
	Valores que se aproximan (VA)	Aparecen representados (o en una tabla) los valores de $f(x)$ para valores de x cercanos al punto donde se calcula el límite
	Gráfica que se aproxima (GA)	Se representa gráficamente el punto $(x, f(x))$ para valores de x cercanos al punto donde se calcula el límite Se representa el comportamiento asintótico de la función
	Estar definida en el punto (D)	Se incide en el hecho de que la función tiene que estar definida en el punto donde se quiere calcular el límite
	El límite en el punto coincide con la función en el punto (LF)	Se incide en el hecho de que el límite en el punto donde se quiere calcular coincide con el valor de la función en ese punto
	Aproximación algorítmica esquemática (AA)	Se incluyen las ideas de los pasos que seguir para calcular el límite (manipulaciones algebraicas)
	Verbal (V)	Se expresa verbalmente algún concepto matemático, sin incluir las descripciones generales de la actividad
Sistemas de representación (Blázquez y Ortega, 2001)	Númérica (N)	Se incluyen valores numéricos de puntos y/o sus imágenes en un entorno del punto donde se quiere calcular el límite
	Gráfica (G)	Se representa gráficamente la función y/o la idea de límite
	Algebraica (A)	Se incluye la expresión algebraica de la función y/o del límite Se incluyen procedimientos algebraicos de resolución de límites
	Reconocimiento (R)	Se presenta el objeto de límite funcional
Acciones (Socas, 2007)	Transformación interna (TI)	Se hacen (o el usuario puede hacer) transformaciones dentro de una misma representación. Por ejemplo, operaciones para calcular un límite
	Transformación externa (TE)	El usuario puede hacer transformaciones entre diferentes representaciones. Por ejemplo, escribir la ecuación de una función representada gráficamente o viceversa
	Coordinación (C)	Actualización automática de un tipo de representación al modificar otra representación. Por ejemplo, al modificar la expresión algebraica de una función o el punto donde se quiere calcular el límite, entonces se modifica la representación gráfica

El análisis realizado, de carácter fundamentalmente cuantitativo, se ha llevado a cabo en dos fases. En la primera se han analizado las características de los *applets*, clasificando cada uno de ellos en función de las variables y categorías de la tabla 1. En la segunda se han analizado algunos de los posibles vínculos existentes entre las variables consideradas.

Para abordar algunas de las posibles amenazas, tanto internas como externas, a la credibilidad que puede aparecer en relación con este tipo de estudios (Onwuegbuzie y Leech, 2007), y contribuir a la validez de los resultados, se orquestó un proceso de triangulación de investigadores (Flick, 2004). La muestra se dividió en tres subconjuntos y cada uno de ellos fue analizado y codificado por dos de los investigadores del equipo. En aquellos casos en los que surgieron discrepancias entre ambos, se llegó a una decisión colegiada con la intervención del investigador restante. A través de este proceso se dio lugar a los criterios mencionados en la tabla 1.

Resultados

Características de los *applets*

En primer lugar, abordamos un análisis descriptivo de los *applets* considerados. En particular, estudiamos las características de estos según las variables descritas en la tabla 1.

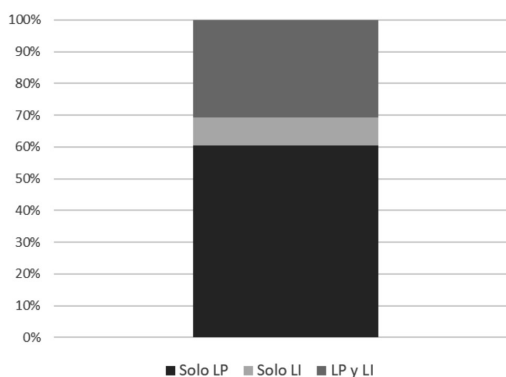
Tipo de límite

Analizamos el tipo de límite que se aborda en cada uno de los *applets* considerados, es decir, si se estudian límites puntuales o límites en el infinito.

Se observa un claro predominio de *applets* centrados únicamente en el límite en un punto frente al límite en el infinito. La figura 2 muestra que menos del 10% de los *applets* se centran de forma exclusiva en el límite en el infinito,

mientras que en torno a un 60% se centran únicamente en el límite en un punto. Menos de la tercera parte de los *applets* abordan conjuntamente ambos tipos de límites.

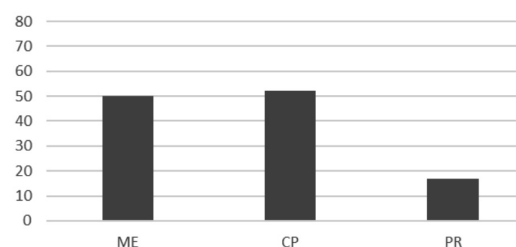
FIGURA 2. Tipo de límite abordado en los *applets*



Interactividad

De los 101 *applets* analizados, 15 no se ajustan a la definición de interactividad dada por Roussou *et al.* (2006). El porcentaje de estos *applets* no interactivos (14.85%) resulta relativamente elevado.

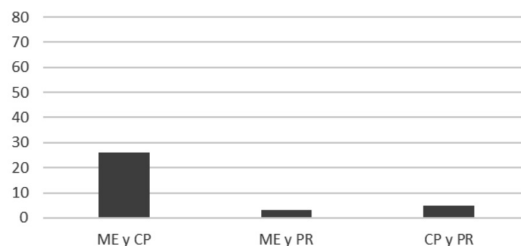
FIGURA 3. Categorías relativas a la interactividad de los *applets*



En la figura 3 se presentan los tipos de interactividad de los 86 *applets* en los que esta se da. La modificación de elementos y el control de parámetros son los rasgos mayoritarios entre los *applets* interactivos, con una presencia similar. Menos de 20 de los *applets* interactivos permiten dar respuesta en ellos a las cuestiones planteadas.

Resulta relevante estudiar la presencia conjunta en los *applets* de dos o más categorías relativas a la interactividad (véase figura 4). Como podemos apreciar, el número de *applets* que presenta al menos dos categorías relativas a la interactividad es bajo.

FIGURA 4. Presencia de dos categorías relativas a la interactividad



Como cabía esperar, la mayor frecuencia se corresponde con aquellos *applets* en los que se pueden modificar elementos y cambiar parámetros de manera simultánea. Por otro lado, aquellos *applets* que han sido diseñados para poder dar una respuesta apenas permiten modificar elementos ni controlar parámetros.

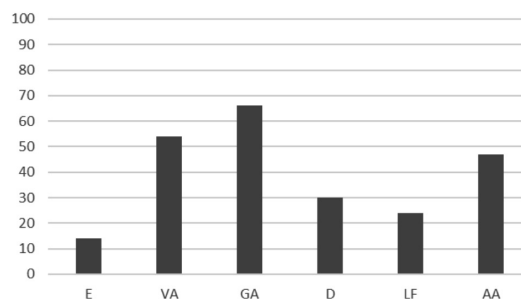
Finalmente, tan solo ha sido posible identificar un *applet* que satisface las tres condiciones propias de la definición de interactividad utilizada.

Imagen conceptual

En la figura 5 se presentan las frecuencias con las que cada una de las imágenes conceptuales consideradas aparece en los *applets* analizados.

Los *applets* analizados contribuyen mayoritariamente a la construcción de la imagen conceptual del límite de una función centrada en la idea de “gráfica que se aproxima”, seguida de las imágenes conceptuales centradas en las ideas de “valores que se aproximan” y de “aproximación algorítmica esquemática”. Observamos que tan solo 14 de los *applets* promueven una imagen conceptual centrada en la idea de “entorno”.

FIGURA 5. Imágenes conceptuales fomentadas por los applets



Al restringirse a las imágenes conceptuales eficientes, centradas en las ideas de “entorno” y de “valores que se aproximan”, se ha identificado únicamente un *applet* en el que se promueven ambas imágenes conceptuales de manera simultánea. Sin embargo, se ha observado que 39 de los *applets* promueven únicamente imágenes conceptuales consideradas ineficientes.

Cabe mencionar que se ha identificado un *applet* que no ha podido clasificarse de acuerdo con estas imágenes conceptuales asociadas a la noción de límite de una función.

Sistemas de representación

La presencia de los distintos sistemas de representación considerados se muestra en la figura 6. Como puede apreciarse, existe un predominio de las representaciones gráficas y algebraicas frente a las numéricas y verbales, siendo esta última claramente minoritaria.

FIGURA 6. Representaciones del límite utilizadas en los applets

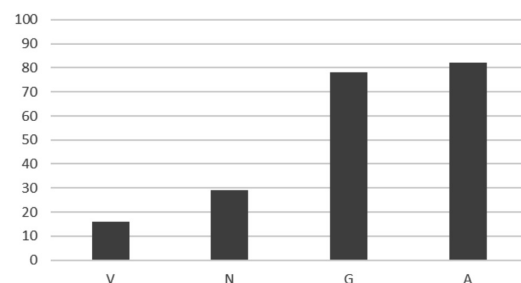


TABLA 2. Applets que presentan alguna representación del límite

Sistemas de representación		
Cantidad	Representaciones	N (%)
1 sistema de representación (32/101)	V	0 (0%)
	N	0 (0%)
	G	16 (50%)
	A	16 (50%)
2 sistemas de representación (39/101)	V y G	1 (2.56%)
	V y A	5 (12.82%)
	N y G	2 (5.12%)
	N y A	1 (2.56%)
	G y A	30 (76.94%)
	V, N y A	1 (4%)
3 sistemas de representación (25/101)	V, G y A	4 (16%)
	N, G y A	20 (80%)
4 sistemas de representación (5/101)		

En la tabla 2 se presenta, para cada situación (considerando el número de sistemas de representación utilizados), la frecuencia de cada representación usada, de manera aislada o conjunta.

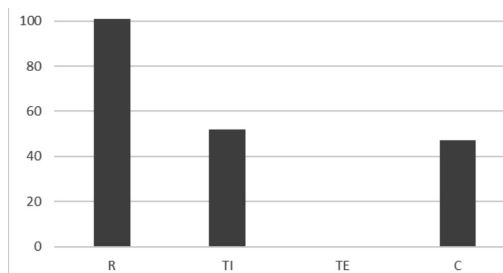
De los 101 *applets* analizados, 32 hacían uso de un único sistema de representación (ver tabla 2). En estos casos, no hay una preferencia clara entre el sistema de representación algebraico o gráfico. Además, las representaciones verbal y numérica nunca se utilizan de manera aislada.

En los 69 *applets* restantes, se utiliza más de un sistema de representación de forma combinada. Lo más habitual es encontrar la combinación de dos sistemas de representación. Cuando esto sucede, en casi el 77% de los casos se combinan las representaciones gráfica y algebraica. También resulta destacable el bajo número de *applets* (inferior al 5%) en el que se han identificado los cuatro posibles sistemas de representación considerados.

Acciones

En este apartado se analiza la presencia de las distintas acciones en relación con uno o más sistemas de representación (véase figura 7).

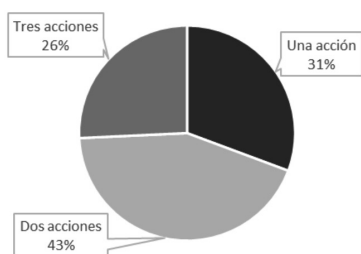
FIGURA 7. Acciones presentes en los applets



Como cabía esperar, en todos los *applets* analizados se promueve el reconocimiento de alguno de los elementos propios del límite funcional en algún sistema de representación. Por otro lado, no se ha identificado ningún *applet* en el que se realicen transformaciones externas

entre distintos sistemas de representación. En algo más de la mitad de los *applets* se realizan transformaciones internas dentro de un mismo sistema de representación y en casi la mitad se lleva a cabo un proceso de coordinación entre sistemas de representación del límite.

FIGURA 8. Cantidad de acciones identificadas en los *applets*



Un buen número de los *applets* considerados promueven más de una acción vinculada a los sistemas de presentación que utilizan (véase figura 8). Evidentemente, teniendo en cuenta la figura 7, en aquellos *applets* en los que solo se identifica una única acción, esta consiste en el reconocimiento de un objeto o de alguno de sus elementos en un sistema de representación concreto.

Finalmente, solo la cuarta parte de los *applets* involucran tres acciones. En este caso, dado que en ninguno de los *applets* se desarrollan transformaciones externas, se trata del reconocimiento de un objeto, de transformaciones internas en un sistema de representación y de la coordinación entre distintos sistemas de representación del límite funcional.

Influencia del carácter interactivo

Se analiza ahora la posible influencia de la interactividad de los *applets* sobre el resto de las variables analizadas. Para ello, se debe considerar que, de los 101 *applets* analizados, se han clasificado 86 como interactivos, mientras que los 15 restantes son no interactivos (apartado “Interactividad”).

Tipo de límite

En la figura 9 se observa la distribución del tipo de límite, puntual o en el infinito, considerado en cada *applet* en función de su carácter interactivo o no. La interactividad de los *applets* no parece ser una condición relevante para el estudio de un tipo de límite u otro.

FIGURA 9. Tipo de límite abordado en función de la interactividad de los *applets*

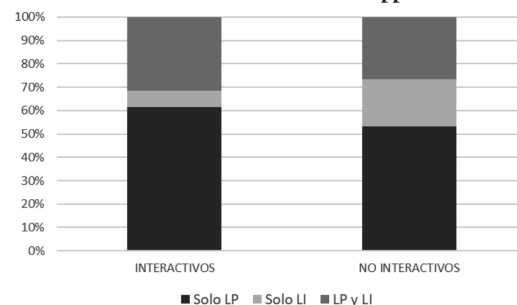
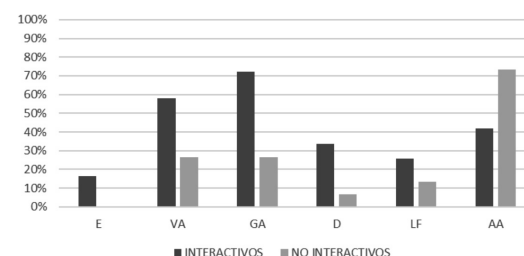


Imagen conceptual

En la figura 10 se observa la distribución de las imágenes conceptuales promovidas por los *applets* en función de su carácter interactivo o no.

FIGURA 10. Vínculo entre la interactividad y las imágenes conceptuales



Respecto a las imágenes conceptuales, se observa que la interactividad resulta decisiva para el desarrollo de la imagen conceptual centrada en la idea de “entorno” (E), ya que todos los *applets* identificados que promueven esta imagen conceptual son interactivos.

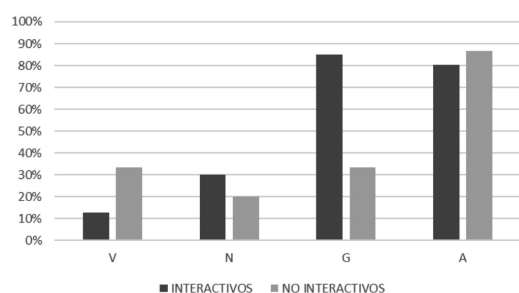
En general, se aprecia que el porcentaje de *applets* interactivos que fomentan cada una de las imágenes

conceptuales es claramente superior al de *applets* no interactivos, con la única excepción de la imagen conceptual centrada en la idea de “aproximación algorítmica esquemática”.

Sistemas de representación

En la figura 11 se observa la distribución de los sistemas de representación utilizados en los *applets* en función de su carácter interactivo o no.

FIGURA 11. Representaciones utilizadas en función de la interactividad de los *applets*



Se observa cómo la interactividad se convierte en un aspecto muy importante que favorece la utilización del registro gráfico. También se aprecia que los *applets* no interactivos tienen mayor predisposición a la utilización del registro verbal. Finalmente, el uso de la representación algebraica y numérica del límite no parece

depender de la interactividad de los *applets*, ya que en ambos casos aparecen porcentajes similares.

En la tabla 3 se consideran, además de los sistemas de representación utilizados, la cantidad de los mismos que aparecen en cada *applet*.

El análisis de la cantidad de registros que se utilizan para exponer el límite de una función muestra una mayor tendencia a emplear una única representación entre los *applets* no interactivos, haciendo uso en su mayoría de la representación algebraica del límite. Sin embargo, en el caso de los *applets* interactivos, el uso de la representación gráfica supera por un pequeño porcentaje a la representación algebraica. Por último, en ninguno de los casos se utilizan las representaciones verbal y numérica de manera aislada.

El porcentaje de *applets* en los que se hace uso de dos representaciones del límite de una función son similares en ambos casos. No obstante, en la gran mayoría de los *applets* interactivos, se combinan las representaciones gráfica y algebraica, algo que no sucede cuando se trata de *applets* no interactivos. Respecto al uso de tres sistemas de representación, esto sucede con un porcentaje mucho mayor en el caso de los *applets* interactivos.

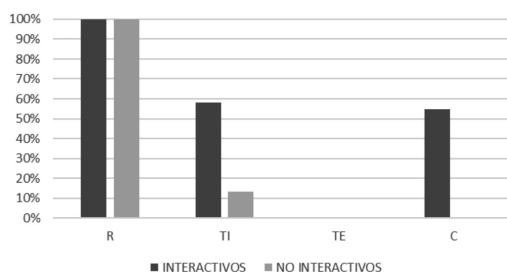
TABLA 3. Cantidad de representaciones utilizadas en función de la interactividad

		Interactivos	No interactivos
Una representación	Total	25 (29.07%)	7 (46.66%)
	V	0 (0%)	0 (0%)
	N	0 (0%)	0 (0%)
	G	14 (56%)	2 (28.57%)
	A	11 (44%)	5 (71.42%)
Dos representaciones	Total	33 (38.37%)	6 (40%)
	G y A	29 (87.87%)	1 (16.66%)
Tres representaciones		24 (27.90%)	1 (6.66%)
Cuatro representaciones		4 (4.65%)	1 (6.66%)

Acciones

La figura 12 recoge la distribución de las distintas acciones fomentadas entre los sistemas de representación utilizados en los *applets*, en función de su carácter interactivo o no.

FIGURA 12. Influencia de la interactividad de los *applets* en las acciones



Los *applets* no interactivos se limitan casi exclusivamente al reconocimiento de alguno de los elementos del límite funcional en algún sistema de representación. La realización de transformaciones internas dentro de un sistema de representación y la coordinación entre distintos sistemas de representación son prácticamente exclusivas de los *applets* interactivos.

Como en la sección anterior, se ha estudiado la posibilidad de realizar varias acciones en un mismo *applet* (véase tabla 4).

El porcentaje de *applets* en los que solo se puede realizar una acción es muy superior en el caso de

los no interactivos. Por su parte, la situación es la contraria en el caso de los *applets* que permiten ejecutar dos o tres acciones. De hecho, ningún *applet* no interactivo permite realizar tres acciones simultáneamente. Se observa que en ninguno de los *applets* no interactivos consultados se lleva a cabo la acción de coordinación entre sistemas de representación.

Influencia de la variedad de sistemas de representación

En este se analiza la influencia que tiene la variedad de sistemas de representación del límite de una función utilizados en los *applets* sobre las acciones que se pueden llevar a cabo dentro de dicho *applet*.

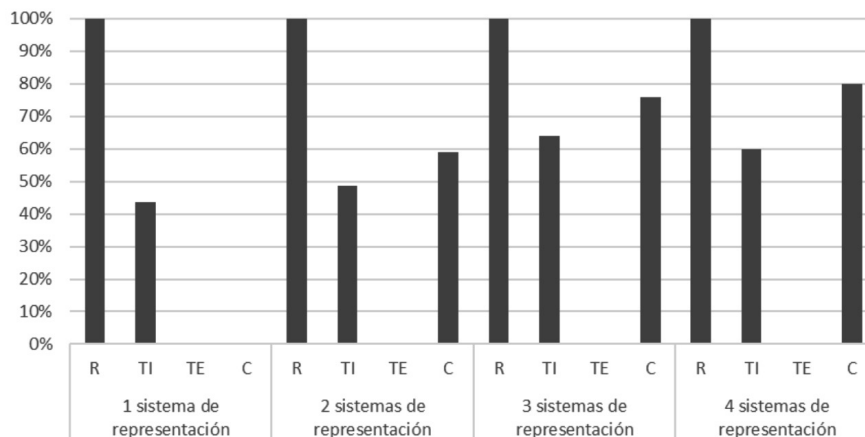
Tal y como vimos en el apartado “Sistemas de representación”, 32 de los *applets* analizados hacían uso de un único sistema de representación. En la figura 13 mostramos las acciones identificadas en este caso.

Dado que estos *applets* tan solo utilizan un sistema de representación del límite de una función, no puede haber transformaciones externas ni coordinación entre sistemas de representación. Sin embargo, merece la pena señalar que el número de *applets* en los que se llevan a cabo transformaciones internas dentro del sistema de representación considerado (ya sea gráfico o algebraico, véase tabla 2) no llega a la mitad.

TABLA 4. Acciones en función de la interactividad

		Interactivos (86/101)		No interactivos (15/101)	
		Acciones	N (%)	Acciones	N (%)
Una acción	R		18/86 (20.93%)	R	13/15 (86.67%)
	R y TI		21/86 (24.42%)	R y TI	2/15 (13.33%)
Dos acciones	R y C		18/86 (20.93%)	R y C	0/15 (0%)
	R, TI y C		29/86 (33.72%)	R, TI y C	0/15 (0%)

FIGURA 13. Sistemas de representación y acciones



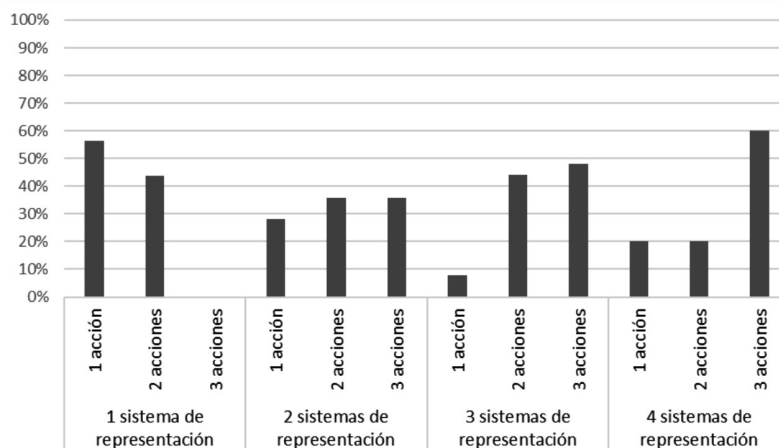
Cuando se analizan los *applets* que utilizan dos sistemas de representación del límite, dejando de lado el reconocimiento, que se da siempre, observamos que menos de la mitad fomentan la realización de transformaciones internas, siendo mayor el porcentaje de *applets* en los que se hace uso de la coordinación entre estos dos sistemas de representación.

En el caso de *applets* en los que se emplean más de tres sistemas de representación del límite, la presencia relativa de las transformaciones internas en un sistema de representación y de la coordinación entre sistemas de representación es

considerablemente mayor que en los casos en los que se consideran una o dos representaciones del límite.

En la figura 14 se observa que, al considerar los *applets* que utilizan dos representaciones del límite, la proporción de *applets* que permiten realizar una única acción se reduce considerablemente respecto de aquellos *applets* que emplean una única representación. Destaca también el hecho de que la presencia de *applets* que posibilitan efectuar dos acciones es similar en ambos casos, si bien aumenta considerablemente la frecuencia con la que los *applets* permiten realizar tres acciones.

FIGURA 14. Sistemas de representación y número de acciones



Discusión

Como ya hemos visto en el marco teórico, en el estudio de las imágenes conceptuales que los estudiantes construyen sobre la noción de límite de una función, Przenioslo (2004) considera que aquellas centradas en las ideas de “entorno” y de “valores que se aproximan” son *eficientes*, mientras que el resto eran consideradas *ineficientes*. Entre las imágenes conceptuales eficientes, se observa que los *applets* analizados promueven ampliamente la imagen conceptual de “valores que se aproximan”, pero la centrada en la idea de “entorno” es la menos fomentada. Por otro lado, entre las imágenes conceptuales ineficientes, las de “gráfica que se aproxima” y “aproximación algorítmica esquemática” son ampliamente promovidas. Además, las imágenes asociadas a las ideas de “estar definida en el punto” y “el límite en el punto coincide con la función en el punto” también son promovidas, aunque en menor medida. A la hora de desarrollar las diferentes imágenes conceptuales de la noción de límite, se ha observado que la mayor parte de los *applets* eran interactivos, frente a los no interactivos, donde las imágenes conceptuales aparecían con menos frecuencia (a excepción de la imagen centrada en la idea de “aproximación algorítmica esquemática”, donde la tendencia se invertía). Por lo tanto, como cabía esperar, la interactividad parece ser una buena elección a la hora de desarrollar dichas imágenes conceptuales eficientes.

Socas (2007) resalta la necesidad de diseñar actividades que proporcionen los cuatro tipos de acciones al utilizar distintas representaciones (reconocimiento, transformaciones internas, transformaciones externas y coordinación). Sin embargo, no se ha encontrado ningún *applet* que proporcione transformaciones externas, en consonancia con el resultado obtenido por Ward *et al.* (2013), donde se afirma que este tipo de acciones son las que más dificultades generan a los docentes. Aunque este tipo de acción sería deseable, su desarrollo

puede ser complicado a través de *applets* de GeoGebra. Cabe destacar que la interactividad de los *applets* favorece el desarrollo de las acciones de transformación interna dentro de un mismo sistema de representación y de coordinación entre diferentes sistemas de representación. Además, favorece la aparición de dos y hasta tres acciones de manera simultánea en el mismo *applet*. Mientras que en los *applets* no interactivos estas acciones disminuyen drásticamente o ni siquiera llegan a aparecer.

Por otro lado, a medida que aumenta la cantidad de sistemas de representación del límite empleados, el porcentaje de *applets* en los que se realizan transformaciones internas en un sistema de representación y en los que se coordinan distintos sistemas de representación también aumenta. A su vez, el porcentaje de *applets* que permiten hacer dos y tres acciones también crece, a diferencia del de los *applets* que tan solo permiten realizar una única acción. Esto parece indicar la existencia de una correlación entre la cantidad de representaciones del límite utilizadas en los *applets* y el porcentaje de *applets* que permiten realizar dos o tres acciones entre los sistemas de representación valorados. Por último, considerando que Pecharromán (2013) afirma que la realización de estas acciones en el contexto de un objeto matemático concreto caracteriza en cierto modo la actividad matemática y su presencia es un indicador de idoneidad epistémica, las conclusiones obtenidas confirman lo expuesto por Blázquez y Ortega (2001), cuando afirmaron que “la utilización de distintos registros [...] mejora la comprensión del concepto de límite”.

La capacidad de coordinar distintos registros por el estudiante se ve dificultada por el hecho de que el *software* media ese proceso. Los *applets*, en muchos casos, requieren de un discurso docente que no está presente en los mismos, de manera que a la hora de utilizarlos en la práctica docente es preciso considerar la idoneidad ecológica presentada por Godino *et al.* (2007). En cualquier caso, el aumento en el

número de representaciones del límite utilizadas favorece la acción de coordinación en los *applets* analizados (ver figura 13).

Según Godino *et al.* (2019, p. 42), la didáctica “debe abordar cuestiones [...] también prescriptivas y valorativas, propias del conocimiento tecnológico [...] debe proporcionar resultados que permitan la acción efectiva sobre una parcela de la realidad: la enseñanza y aprendizaje de la matemática”. En este sentido, la literatura existente tiene claras implicaciones prescriptivas sobre las cualidades que debería tener un *applet* destinado a la enseñanza del límite de una función. En concreto, se deberían fomentar a través de la interactividad imágenes conceptuales eficientes en un contexto en que se realicen todo tipo de acciones sobre la mayor variedad posible de sistemas de representación. Nuestros resultados parecen indicar que estos cuatro elementos (interactividad, eficiencia de la imagen conceptual, riqueza de sistemas de representación y acciones) van de la mano. Sin embargo, desde un punto de vista valorativo, hemos constatado en la muestra analizada una riqueza relativamente baja de sistemas de representación y de acciones (incluso la ausencia de transformaciones externas) y la presencia comparativamente alta de imágenes conceptuales ineficientes. Estos aspectos implican que los docentes deban ser críticos a la hora de seleccionar recursos *online* ajenos, así como ser cuidadosos en el diseño de los propios.

Finalmente, en este trabajo nos hemos centrado solo en algunos de los objetos primarios que, según el EOS, permiten describir la actividad matemática. En particular, nos hemos centrado en el lenguaje (a través de los sistemas de representación), en los conceptos (a través de las imágenes conceptuales) y en cierto modo en los procedimientos (a través de las acciones realizadas dentro de los sistemas de representación). Pensamos que puede ser interesante ampliar el análisis a los restantes objetos primarios, desarrollando un instrumento de análisis más completo que nos permita no solo clasificar los *applets* desde el punto de vista de su idoneidad, sino también realizar actividades de formación basadas en dicho instrumento (Burgos *et al.*, 2020).

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los revisores por habernos sugerido algunas referencias y por los comentarios que han contribuido a la mejora de este trabajo.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el grupo de investigación Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales (DIMACE) de UNIR.

El tercer autor ha sido financiado por el grupo Investigación en Educación Matemática (Grupo S60_20R) del Gobierno de Aragón.

Nota

¹ <https://www.geogebra.org/materials>

Referencias bibliográficas

- Beltrán-Pellicer, P., Giacomone, B. y Burgos, M. (2018). Online educational videos according to specific didactics: the case of mathematics / Los vídeos educativos en línea desde las didácticas específicas: el caso de las matemáticas. *Culture and Education*, 30(4), 633-662. <https://doi.org/10.1080/11356405.2018.1524651>

- Blázquez, S. y Ortega, T. (2001). Los sistemas de representación en la enseñanza del límite. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 4(3), 219-236.
- Burgos, M., Beltrán-Pellicer, P. y Godino, J. D. (2020). La cuestión de la idoneidad de los vídeos educativos de matemáticas: una experiencia de análisis con futuros maestros de educación primaria. *Revista Española de Pedagogía*, 78(275), 27-49. <https://doi.org/10.22550/REP78-1-2020-07>
- Caligaris, M. G., Schivo, M. E. y Romiti, M. R. (2015). Calculus & GeoGebra, an interesting partnership. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 174, 1183-1188. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.735>
- Cid, A. I., Guede, R. y Tolmos, P. (2018). La clase invertida en la formación inicial del profesorado: acercando la realidad del aula de matemáticas. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 70(3), 77-93.
- Claros, F. J., Sánchez, M. T. y Coriat, M. (2007). Fenómenos que organizan el límite. *PNA*, 1(3), 125-137.
- Contreras, Á. y García, M. (2011). Significados pretendidos y personales en un proceso de estudio con el límite funcional. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 14(3), 277-310.
- Cornu, B. (2002). Limits. En D. Tall (ed.), *Advanced mathematical thinking* (pp. 153-166). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_10
- Creswell, J. W. (2002). *Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1), 103-131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Flick, U. (2004). Triangulation in qualitative research. En U. Flick, E. Von Kardoff e I. Steinke (eds.), *A companion to qualitative research* (pp. 178-183). SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781849209441.n7>
- García, R., Rebollo-Catalán, A. y García, C. (2016). Relación entre las preferencias de formación del profesorado y su competencia digital en las redes sociales. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 68(2), 137-153. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68209>
- Godino, J. D. (2013). Indicadores de la idoneidad didáctica de procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 11, 111-132.
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2007). The onto-semiotic approach to research in mathematics education. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, 39(1-2), 127-135. <https://doi.org/10.1007/s11858-006-0004-1>
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2019). The onto-semiotic approach: implications for the prescriptive character of didactics. *For the Learning of Mathematics*, 39(1), 38-43. <https://www.jstor.org/stable/26742011>
- Godino, J. D., Rivas, H. y Arteaga, P. (2012). Inferencia de indicadores de idoneidad didáctica a partir de orientaciones curriculares. *Práxis Educativa*, 7(2), 331-354.
- Hohenwarter, J., Hohenwarter, M. y Lavicza, Z. (2009). Introducing dynamic mathematics software to secondary school teachers: the case of GeoGebra. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 135-146.
- Hohenwarter, M. y Lavicza, Z. (2007). Mathematics teacher development with ICT: towards an International GeoGebra Institute. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 27(3), 49-54.
- Hutkemri, E. Z. (2014). Impact of using GeoGebra on students' conceptual and procedural knowledge of limit function. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(23), 873-881. <https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n23p873>
- Leavy, P. (2017). *Research design: quantitative, qualitative, mixed methods, arts-based, and community-based participatory research approaches*. The Guilford Press.

- Onwuegbuzie, A. J. y Leech, N. L. (2007). Validity and qualitative research: an oxymoron? *Quality & Quantity*, 41(2), 233-249. <https://doi.org/10.1007/s11135-006-9000-3>
- Palomino, J., Hurtado, J. y Barrios, E. (2009). Dificultades en los procesos de enseñanza aprendizaje del concepto de límite y su relación con los sistemas de representación. En *VI Encuentro Internacional de Matemáticas - EIMAT 2009* (pp. 187-208). Universidad del Atlántico.
- Pecharromán, C. (2013). Naturaleza de los objetos matemáticos: representación y significado. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 121-134. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.931>
- Przenioslo, M. (2004). Images of the limit of function formed in the course of mathematical studies at the university. *Educational Studies in Mathematics*, 55, 103-132. <https://doi.org/10.1023/B:EDUC.0000017667.70982.05>
- Roussou, M., Oliver, M. y Slater, M. (2006). The virtual playground: an educational virtual reality environment for evaluating interactivity and conceptual learning. *Virtual Reality*, 10(3-4), 227-240. <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0035-5>
- Sánchez-Compañá, T. (2012). *Límite finito de una función en un punto: fenómenos que organiza* [Tesis Doctoral, Universidad de Granada] Repositorio Institucional UG. <http://hdl.handle.net/10481/23782>
- Sari, P. (2017). GeoGebra as a means for understanding limit concepts. *Southeast Asian Mathematics Education Journal*, 7(2), 71-84. <https://doi.org/10.46517/seamej.v7i2.55>
- Socas, M. (2007). Dificultades y errores en el aprendizaje de las matemáticas. Análisis desde el enfoque lógico semiótico. En M. Camacho, P. Flores y P. Bolea (eds.), *Investigación en educación matemática XI* (pp. 19-52). SEIEM.
- Tall, D. y Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 151-169. <https://doi.org/10.1007/BF00305619>
- Turney, C. S. M., Robinson, D., Lee, M. y Soutar, A. (2009). Using technology to direct learning in higher education. The way forward? *Active Learning in Higher Education*, 10(1), 71-83. <https://doi.org/10.1177/1469787408100196>
- Ward, E., Inzunza, S., Hernández, S. y López, F. (2013). Conceptualización y uso de representaciones sobre el concepto de límite en docentes de bachillerato. En A. Berciano, G. Gutiérrez, A. Estepa y N. Climent (eds.), *Investigación en educación matemática XVII* (pp. 523-534). SEIEM.
- Williams, S. R. (1991). Models of limit held by college calculus students. *Journal for Research in Mathematics Education*, 22(3), 219-236. <https://doi.org/10.2307/749075>

Abstract

Analysis of GeoGebra applets for teaching the limit of a function

INTRODUCTION. The importance of GeoGebra as one of the main tools that offer Mathematics teachers the possibility of working with virtual simulations in their classrooms is indisputable. However, the resources in the official GeoGebra repository do not go through any review process. Therefore, the teacher's criteria when selecting this type of resource is key for teaching success. Thus, it is necessary to provide teachers with tools to analyze GeoGebra applets for their implementation in the classroom. In particular, this type of resources offers numerous advantages to teach the mathematical concept of the limit of a function. **METHOD.** In this paper, the didactic suitability of GeoGebra applets for teaching the limit of a function is analyzed. An exploratory and descriptive study has been carried out. The analysis has been carried out

using a deductive approach based on five different variables (type of limit, interactivity, conceptual image, representation and action). The analyzed sample, chosen through purposeful sampling, is 150 applets from the official GeoGebra material repository. **RESULTS.** The results are shown after analyzing the five established variables for each of the studied applets. The influence of interactivity with the rest of the variables is also analyzed, as well as the influence of the number of representations of the limit in the applets. **DISCUSSION.** In the analysis carried out of the didactic suitability, the importance of the interactivity variable stands out, as it enhances the development of most of the conceptual images of the limit. The use of a greater number of limit representation systems in an applet is also positive, since it favors the development of various actions in said representation systems.

Keywords: *Onto-semiotic approach, Mathematics education, Technology uses in education, Educational resources.*

Résumé

Analyse des applets GeoGebra pour l'enseignement de la limite d'une fonction

INTRODUCTION. L'importance de GeoGebra comme l'un des principaux outils offrant aux professeurs de mathématiques la possibilité de travailler avec des simulations virtuelles dans leurs classes est indiscutable. Cependant, les ressources du dépôt officiel de GeoGebra ne sont pas soumises à aucun processus de révision. Par conséquent, les critères de l'enseignant lors de la sélection de ce type de ressource sont essentiels. Des outils sont nécessaires pour analyser les applets GeoGebra en vue de leur mise en œuvre. En particulier, par rapport à d'autres types d'outils, ce type de ressource offre de nombreux avantages pour l'enseignement du concept mathématique de la limite d'une fonction. **MÉTHODE.** Cet article analyse l'adéquation didactique des applets GeoGebra pour l'enseignement de la limite d'une fonction. Une étude exploratoire et descriptive a été réalisée. L'analyse a été effectuée en utilisant une approche déductive basée sur cinq variables différentes (type de limite, interactivité, image conceptuelle, représentation et action). L'échantillon analysé, choisi au moyen d'un échantillonnage raisonné, est constitué de 150 applets provenant du dépôt officiel de GeoGebra. **RÉSULTATS.** Les résultats sont présentés après l'analyse des cinq variables établies pour chacune des applets étudiées. Nous analysons également l'influence de l'interactivité avec le reste des variables, ainsi que l'influence du nombre de représentations de la limite dans les applets. **DISCUSSION.** Dans l'analyse de l'adéquation didactique effectuée, l'importance de la variable interactivité ressort car elle favorise le développement de la plupart des images conceptuelles de la limite. L'utilisation d'un plus grand nombre de systèmes de représentation de la limite dans une applet est également positive car elle favorise le développement de plusieurs actions dans ces systèmes de représentation.

Mots-clés : *Approche onto-sémiotique, Enseignement des mathématiques, Usage de la technologie dans l'enseignement, Ressources pédagogiques.*

Perfil profesional de los autores

Álvaro Barreras Peral (autor de contacto)

Doctor en Matemáticas. Profesor de Matemáticas (Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, 2014-2016). Profesor de Didáctica Matemáticas (UNIR, 2016-actualidad). Director académico de dos másteres en Didáctica de las Matemáticas en UNIR. Investigador principal del grupo de investigación de UNIR Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5325-8505>

Correo electrónico de contacto: alvaro.barreras@unir.net

Dirección para la correspondencia: Universidad Internacional de La Rioja. Av. de la Paz, 137, 26006 Logroño (La Rioja).

Luis Dubarbie

Licenciado y doctor en Ciencias Matemáticas por la Universidad de Cantabria. Actualmente es profesor de Didáctica de las Matemáticas en la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales de UNIR. Publicaciones en el ámbito de las matemáticas y de la didáctica de las matemáticas.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-1128>

Correo electrónico de contacto: luis.dubarbie@unir.net

Antonio Oller

Licenciado en Ciencias Matemáticas (2004) por la Universidad de Zaragoza y doctor por la Universidad de Valladolid (2012) con una tesis sobre la enseñanza de la proporcionalidad aritmética en educación secundaria. Actualmente es profesor del Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza. Ha publicado numerosos trabajos de investigación sobre matemática pura, historia y educación matemática publicados en el ámbito nacional e internacional. Es IP del grupo de referencia Investigación en Educación Matemática (S60_20R) del Gobierno de Aragón.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8191-3199>

Correo electrónico de contacto: oller@unizar.es

COMPETENCIAS DOCENTES EN EL USO DE SIMULACIONES VIRTUALES STEM: DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA (CDUSU)

Teacher competences in the use of STEM virtual simulations: design and validation of a measurement instrument (CDUSU)

ROSA GÓMEZ, ALICIA PALACIOS, DANIEL MORENO-MEDIAVILLA Y ÁLVARO BARRERAS
Universidad Internacional de La Rioja (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.94154

Fecha de recepción: 08/04/2022 • Fecha de aceptación: 08/07/2022

Autora de contacto / Corresponding author: Rosa Gómez. E-mail: rosa.gomez@unir.net

Cómo citar este artículo: Gómez, R., Palacios, A., Moreno-Mediavilla, D. y Barreras, Á. (2022). Competencias docentes en el uso de simulaciones virtuales STEM: diseño y validación de un instrumento de medida (CDUSU). *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 85-102. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94154>

INTRODUCCIÓN. La importancia del uso de las simulaciones virtuales como recurso didáctico para desarrollar una enseñanza de las ciencias contextualizada, aplicada y centrada en el desarrollo de las competencias científicas ha creado la necesidad de evaluar cuáles son las competencias del profesorado de educación secundaria en el uso de estas herramientas. El objetivo de este trabajo es construir y validar un cuestionario para evaluar las competencias del profesorado de educación secundaria de áreas STEM en el uso de las simulaciones virtuales. **MÉTODO.** A partir de una revisión teórica exhaustiva se desarrolló un cuestionario inicial que fue sometido a un proceso de validación por expertos. A continuación, se llevó a cabo un estudio piloto con 30 profesores que ayudó a construir el instrumento definitivo. El cuestionario final fue aplicado a 332 profesores de educación secundaria de áreas STEM en España y, posteriormente, se llevó a cabo su validación a través de un análisis factorial exploratorio (AFE). **RESULTADOS.** Los resultados obtenidos muestran una elevada validez de contenido y fiabilidad (α de Cronbach = .92). A su vez, el análisis factorial exploratorio desarrollado mediante el método de extracción de máxima verosimilitud y rotación Equamax muestra una estructura de 4 factores denominados: “Desarrollo de la práctica docente”, “Planificación didáctica”, “Autorreflexión sobre la práctica docente” y “Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales”. Se obtiene una fiabilidad alta para todos los factores extraídos. **DISCUSIÓN.** Finalmente, se discute el valor del instrumento y su interés para el diseño de programas de formación de profesorado contruidos a partir del conocimiento y las dificultades reales del profesorado ante el uso de las simulaciones virtuales STEM en el aula de educación secundaria.

Palabras clave: Competencias docentes, Simulaciones virtuales, Educación STEM, Educación secundaria, Fiabilidad del instrumento.

Introducción

La enseñanza de las ciencias experimentales y las matemáticas ha dejado de estar centrada en la transmisión de contenidos para convertirse en un proceso en el cual la base del aprendizaje es el desarrollo y comprensión de procesos y fenómenos, así como la aplicación de conceptos y leyes. En este sentido, la educación STEM (por sus siglas en inglés: ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) se desarrolla en un contexto que plantea potenciar las capacidades del alumnado en torno a la experimentación aplicada, el análisis crítico y la resolución de problemas (Perales-Palacios y Aguilera, 2020). Así, los laboratorios y las simulaciones virtuales se han convertido en uno de los recursos más interesantes en la aplicación de la enseñanza STEM (Gnesdilow y Puntambekar, 2021; Menchaca *et al.*, 2020).

Las simulaciones virtuales permiten la representación de fenómenos o sistemas reales, lo cual propicia su manipulación o interacción por parte del usuario (Chan *et al.*, 2021; De Jong y Van Joolingen, 1998; Sypsas *et al.*, 2018). Esto fomenta que el alumnado observe y manipule objetos, variables y fenómenos, e incluso visualice los cambios producidos a través de diferentes representaciones (Blake y Scanlon, 2007; Smetana y Bell, 2014) a escala macroscópica, microscópica y submicroscópica. Con su utilización se desarrollan estrategias basadas en el método científico y la indagación (De Jong y Van Joolingen, 1998; Geelan y Fan, 2013; Perkins *et al.*, 2012), permitiendo así el desarrollo de la competencia científica y matemática en el alumnado. Además, su uso es aplicable en la mayoría de los contenidos asociados a las áreas STEM (Alkhalidi *et al.*, 2016; D'Angelo *et al.*, 2014; Hutkemri, 2014). Por lo tanto, las posibilidades que ofrece un recurso de estas características no deben quedar difuminadas dentro de un contexto en el que la tecnología educativa se integra de manera natural en el aula (Pelgrum, 2001). En este sentido, el uso de las simulaciones virtuales debe tomar protagonismo y

potenciarse tanto en el profesorado en activo como en el profesorado en formación (D'Angelo *et al.*, 2014; Waight *et al.*, 2014). Así, los docentes deben ser conscientes y responsables de su uso, de las posibilidades que este recurso les proporciona, de las consideraciones para tener en cuenta en el diseño de experiencias prácticas, del seguimiento durante su aplicación y de la evaluación y valoración tras su ejecución (Rutten *et al.*, 2012).

Por otro lado, como indican Sarramona y Santiuste (2015), tanto las competencias instrumentales como las sistémicas forman parte del conjunto de capacidades que deben desarrollarse dentro de la competencia profesional docente, descrita en el proyecto *Tuning Educational Structures in Europe* (González y Wagenaar, 2008). Para lograr esa capacitación, dentro del trabajo con recursos como las simulaciones virtuales, la competencia digital docente será una de las que más va a influir en el desarrollo. Del mismo modo que no pueden separarse la competencia científica y la matemática de los alumnos de la propia competencia del profesorado, no puede desligarse tampoco la competencia digital del alumnado de la competencia digital docente (CDD) (Gisbert *et al.*, 2016). Esta competencia abarca no solo el uso de la tecnología educativa, sino el conjunto de habilidades, actitudes y conocimientos con los que debe contar el profesorado para apoyar el aprendizaje del alumnado dentro del mundo digital (Hall *et al.*, 2014).

La CDD debe ser considerada como una competencia transversal (Ferrari, 2013) que permita desarrollar una participación activa en la sociedad (Touron *et al.*, 2018). El marco común de la competencia digital docente (INTEF [Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado], 2017) establece 5 dimensiones en las que se especifica el desarrollo de esta competencia: información y alfabetización informacional, comunicación y colaboración, creación de contenido digital, seguridad y resolución de problemas. Sin embargo, estas

dimensiones no concretan el punto de vista pedagógico que debe establecerse a la hora de aplicar la tecnología educativa, en el caso que nos ocupa, las simulaciones virtuales dentro del contexto educativo. Es por ello por lo que, para completar el constructo de la competencia digital del profesorado, debe plantearse una ampliación de la idea de competencia digital docente analizando otros modelos. En este caso, el modelo TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), establecido por Koehler y Mishra (2008), incluye un análisis en 3 dimensiones: disciplinar, pedagógico y tecnológico. El modelo TPACK plantea que los docentes, además del dominio del contenido de la materia que han de impartir, han de conocer cómo y en qué emplearán la tecnología educativa, cómo funcionan de manera general las TIC (tecnologías de la información y de la comunicación), y deben poseer un conocimiento pedagógico de los procesos y prácticas del método de enseñanza y cómo se relacionan con el pensamiento (Cabero *et al.*, 2015). El TPACK hace referencia a la capacidad que tiene el docente a la hora de introducir el uso de las TIC con el fin de facilitar el aprendizaje del estudiante a través de actividades concretas sobre temas específicos. Incluye, dentro de ese conocimiento, lo que se define como conocimiento pedagógico y de contenido (PCK), es decir, la capacidad de analizar las representaciones y situaciones de aprendizaje para el alumnado, la identificación de aquellas que puedan resultar más difíciles de desarrollar por parte de los alumnos, así como las que trabajen las concepciones erróneas del alumnado en los diversos temas de ciencias experimentales o matemáticas (Jimoyannis, 2010; Schmidt *et al.*, 2009).

Aunque en los últimos años se han descrito y validado muchos instrumentos de medida de la competencia digital docente (Cebrián-Cienfuentes, 2021; Harada, 2021; Ramnarain *et al.*, 2021; Tourón *et al.*, 2018) y también sobre el modelo TPACK (Cabero *et al.*, 2018; Sierra y Gutiérrez-Santiuste, 2021; Wahyuni *et al.*, 2021), no existe ningún cuestionario específico que evalúe la percepción de la competencia del

profesorado ante el uso de las simulaciones virtuales. Sin embargo, la existencia de un instrumento de estas características es de vital importancia, ya que conocer la percepción que tiene el profesorado de sus competencias en el uso de estas herramientas propiciará el diseño y desarrollo de planes de formación ajustados a las necesidades del profesorado. Es por ello por lo que nos planteamos como objetivo de este trabajo construir y validar un cuestionario para evaluar las competencias del profesorado de educación secundaria de áreas STEM en el uso de las simulaciones virtuales.

Método

Diseño de la investigación

El presente estudio es cuantitativo, no experimental, de tipo descriptivo a través de un diseño transversal.

Muestra

La muestra de estudio, obtenida mediante un muestreo no probabilístico casual, está compuesta por 332 profesores de educación secundaria de Física y Química, Biología y Geología, Tecnología y Matemáticas, que ejercen su profesión docente en centros públicos (77.40%), concertados (19.30%) y privados (3.30%). La muestra engloba a profesorado de todas las comunidades autónomas de España, excepto de Islas Baleares, siendo mayoritaria la muestra procedente de Cataluña (30.12%) y Comunidad de Madrid (18.98%). Los centros en los que desarrollan su docencia pertenecen a zonas urbanas en un 77.11% y a zonas rurales en un 22.89%. Cabe destacar que todos los profesores participantes han utilizado alguna vez simulaciones virtuales en sus aulas. La distribución por sexo es de 220 mujeres (66.26%), 111 hombres (33.43%) y 1 persona que no se posiciona en ninguna de las opciones anteriores (0.3%). Respecto a la edad del profesorado, 24 docentes

tienen menos de 31 años (7.23%), 73 tienen entre 31 y 40 años (21.99%), 117 entre 41 y 50 años (35.24%), 109 entre 51 y 60 años (32.83%) y 9 más de 60 años (2.71%). Por último, la distribución de años de experiencia docente de los participantes es de 74 con menos de 5 años de experiencia (22.29%), 65 entre 5 y 10 años de experiencia (19.58%), 72 que tienen entre 11 y 20 años de experiencia (21.69%), y 121 profesores con más de 20 años de experiencia docente (36.44%).

Proceso de elaboración del cuestionario

El proceso de elaboración del cuestionario comenzó con una exhaustiva revisión bibliográfica (Cabero *et al.*, 2018; Carlos-Guzmán, 2016; Escobar y Adames, 2008; Prendes *et al.*, 2010; Rutten *et al.*, 2012; Smetana y Bell, 2012; Taquez *et al.*, 2017), centrada en competencias tecnológicas docentes y uso de las simulaciones virtuales, a partir de la cual se identificaron 48 variables (ítems) relevantes para nuestro objeto de estudio. A continuación, se procedió a analizar y clasificar estas variables con el objetivo de eliminar los ítems que fueran redundantes y mejorar la redacción de los restantes. Además, dada la inexistencia de estudios específicos sobre competencias docentes en el uso de simulaciones virtuales en el área STEM, estas variables se adaptaron al objeto de estudio de esta investigación. Así, se obtuvo como resultado un cuestionario inicial compuesto por 32 ítems.

Posteriormente, con el objetivo de hallar la validez de contenido del cuestionario, se realizó un juicio de expertos, contando con el asesoramiento de 4 docentes e investigadores. Dichos expertos, seleccionados por conveniencia, tenían experiencia variada (entre 10 y 46 años de experiencia), procedían de diferentes entidades (tanto de universidades públicas como privadas) y pertenecían a diversos ámbitos educativos relacionados con el objetivo de nuestra investigación (didáctica de las ciencias experimentales, didáctica de las matemáticas y métodos de investigación en educación). El número de expertos

seleccionados es adecuado según Gable y Wolf (1993) y Grant y Davis (1997), ya que dichos autores afirman que el número necesario para llevar a cabo esta técnica puede oscilar desde los 2 hasta los 20 expertos. Además, también se tuvieron en cuenta otros criterios, tales como la experiencia en la realización de juicios, la reputación en la comunidad científica dentro del ámbito que nos ocupa, la disponibilidad y motivación para participar y la imparcialidad de estos (Skjong y Wentworth, 2000). El juicio realizado por los expertos incluía, para cada uno de los ítems, tres propiedades: claridad, coherencia y pertinencia. Además, se admitían comentarios para cada una de las propiedades, así como comentarios generales sobre cada ítem. El análisis cualitativo de las valoraciones de los expertos se realizó de manera que si dos o más expertos valoraban negativamente las propiedades de coherencia y/o pertinencia se eliminaría el ítem. En el caso de que algún experto valorase negativamente la propiedad de claridad, se revisaría su redacción.

Asimismo, se realizó una prueba piloto a una muestra seleccionada por conveniencia y formada por 30 docentes de educación secundaria en las áreas STEM en España. Los docentes pertenecían a centros públicos o concertados, tenían experiencia variada (desde menos de 5 a más de 20 años de experiencia docente), procedían de centros de diversos tipos (urbanos y rurales) y pertenecían a 12 comunidades autónomas españolas diferentes. El cuestionario fue enviado por correo electrónico durante la primera quincena de octubre de 2021. Además, se les preguntó sobre la relevancia de los ítems y se admitían comentarios generales sobre los mismos. Se realizó un análisis del α de Cronbach del cuestionario global y se analizó la correlación ítem-total.

Instrumento y procedimiento de recogida de datos

El cuestionario se elaboró con la herramienta Survey Monkey. Consta de varias preguntas iniciales

para la caracterización de la muestra (sexo, edad, años de experiencia docente, especialidad y tipo de centro educativo) y un conjunto de 26 ítems relacionados con la percepción de la competencia docente en el uso de simulaciones virtuales. Los docentes debían responder a su grado de acuerdo o desacuerdo con cada ítem en una escala Likert del 1 a 5. En el instrumento también se explican los objetivos del estudio, y se solicita la participación del profesorado de Física y Química, Biología y Geología, Tecnología y Matemáticas de educación secundaria que hubiera utilizado alguna vez simulaciones virtuales en sus aulas. En todo momento se ha asegurado el anonimato de los participantes.

El cuestionario fue enviado por correo electrónico a centros educativos públicos, concertados y privados de España durante la segunda quincena de enero y el mes de febrero de 2022, periodo en el que estuvo abierto el cuestionario.

Análisis de datos

En primer lugar, antes de comenzar con el análisis factorial exploratorio se revisaron las distribuciones de los ítems para comprobar si cumplían con el requerimiento de ser ítems que se aproximan al supuesto de normalidad. Para ello, se realizó un análisis de la media, desviación típica, simetría y curtosis de los datos de partida. En segundo lugar, se desarrolló el test de esfericidad de Bartlett para confirmar que existe relación entre las variables, y se determinó el índice KMO de Kaiser, que indica si las correlaciones entre las variables son suficientemente grandes y, por lo tanto, es posible factorizar la matriz.

Con el objetivo de identificar el número y composición de los factores comunes necesarios para explicar la varianza común del conjunto de ítems analizado, se llevó a cabo un análisis factorial exploratorio. Se desarrolló este tipo de análisis factorial y no el confirmatorio, dada la poca información teórica en relación con la

temática concreta del cuestionario. Además, tal y como afirman Lloret-Segura *et al.* (2014), cuando el objetivo es comprobar la relación entre los ítems y el conjunto de factores que miden estos ítems, lo recomendable es utilizar este tipo de análisis. La extracción de factores se desarrolló mediante el método de máxima verosimilitud. Para comprobar el ajuste del modelo se obtuvieron los siguientes valores: índice GFI, el coeficiente NNFI, la raíz cuadrática media residual (RMCR) y el índice RMSEA.

La fiabilidad del instrumento se realizó mediante el análisis del α de Cronbach del cuestionario global y de cada uno de los factores obtenidos a partir del análisis factorial exploratorio.

Para el análisis de datos se utilizaron los programas SPSS.25 y FACTOR (Lorenzo-Seva y Ferrando, 2020).

Resultados

Validez de contenido

El análisis de las valoraciones realizadas por el juicio de expertos indicó una buena validez de contenido de los ítems del cuestionario. Ninguno de los ítems obtuvo dos o más valoraciones negativas en las propiedades de coherencia o pertinencia. Por otro lado, se modificaron aspectos de redacción en 3 de los ítems planteados.

Las respuestas obtenidas tras la prueba piloto realizada con 30 docentes permitieron realizar el análisis del α de Cronbach, con buenos resultados (.94). Por otra parte, algunos de los ítems mostraron una baja correlación ítem-total. En particular, se eliminaron 5 ítems del cuestionario con una correlación ítem-total por debajo de .30, pasando de 32 a 27 ítems (algunos habían sido indicados como no coherentes o pertinentes por uno de los expertos). Además, se revisaron aquellos ítems con menores correlaciones (pero por encima de .30) y con comentarios de

mejora por parte de los docentes, de esta manera, se eliminó un ítem más.

Finalmente, tras estos análisis, el cuestionario se redujo a 26 ítems.

Validez de constructo

Para conocer las características de la distribución del cuestionario se estimaron los estadísticos descriptivos (media, desviación típica,

asimetría y curtosis) de todos los ítems (tabla 1), con el fin de comprobar su adecuación al supuesto de normalidad. Según Forero *et al.* (2009), los valores de asimetría y curtosis encontrados (entre -1.30 y 1.30) permiten asumir el supuesto de normalidad. Además, teniendo en cuenta que estamos usando una escala Likert con 5 categorías y que esperamos obtener 4 o más ítems por factor, podemos asumir que los datos pueden analizarse mediante la matriz de correlaciones producto-momento de Pearson (Lloret-Se-gura *et al.*, 2014).

TABLA 1. Estadísticos descriptivos de los ítems del cuestionario

Ítem	Media	Desviación típica	Asimetría	Curtosis
1	3.54	.81	-.21	-.077
2	3.68	.98	-.42	-.49
3	3.79	1.06	-.64	-.29
4	4.23	.87	-1.09	1.03
5	4.12	.97	-1.04	.62
6	3.53	1.18	-.58	-.39
7	3.54	1.06	-.63	.02
8	3.25	1.03	-.20	-.41
9	3.11	1.17	-.15	-.81
10	3.08	1.11	-.07	-.56
11	2.86	1.17	.20	-.81
12	3.64	.91	-.38	.04
13	3.46	.96	-.35	-.05
14	3.68	.93	-.66	.42
15	3.87	.97	-.88	.63
16	3.26	1.03	-.18	-.34
17	3.47	1.00	-.41	-.39
18	3.43	.98	-.37	-.24
19	3.78	.92	-.58	.22
20	3.32	1.08	-.22	-.63
21	3.93	1.02	-.84	.10
22	3.14	1.06	-.04	-.70
23	3.40	1.07	-.39	-.40
24	3.81	.94	-.74	.47

Ítem	Media	Desviación típica	Asimetría	Curtosis
25	3.09	1.17	-.15	-.82
26	3.97	.99	-1.13	1.31

Para valorar la matriz de correlaciones y la viabilidad de realizar un análisis factorial se efectuaron varios análisis. Por un lado, se llevó a cabo el test de esfericidad de Bartlett (χ^2 -cuadrado = 3896.79; $gl = 325$; $p < .001$), obteniéndose que se rechaza la hipótesis nula y que, por lo tanto, existe relación entre las variables.

Por otro lado, el estudio de la adecuación de los datos al análisis factorial continuó con la determinación del índice KMO de Kaiser, obteniéndose un valor satisfactorio (.92), ya que valores iguales o superiores a .80 sugieren que la matriz es apropiada para factorizar (Ferrando y Anguiano-Carrasco, 2010).

Para la estimación de factores se utilizó el método de máxima verosimilitud, dado que los ítems tienen un número suficiente de categorías de respuesta (5) y se cumple razonablemente el supuesto de normalidad (Flora *et al.*, 2012). Se extrajeron cuatro factores cuyo valor propio fue mayor que uno, y que explican el 46.22% de la varianza. Siguiendo las recomendaciones de Lloret-Segura *et al.* (2014) y Lorenzo-Seva *et al.* (2011), para la estimación del número de factores más adecuado se tuvieron en cuenta los criterios de ajuste objetivos, la interpretabilidad de la solución encontrada y la teoría de partida.

Tras el desarrollo del método de máxima verosimilitud con extracción de 4 factores, se obtienen los siguientes índices de verificación del ajuste: el índice GFI, el coeficiente NNFI, la raíz cuadrática media residual (RMCR) y el índice RMSEA. El índice GFI obtenido es .990, lo que indica un buen ajuste del modelo al ser superior a .950 (Ferrando y Anguiano-Carrasco, 2010). El coeficiente NNFI obtenido es .963, considerándose este un valor satisfactorio (Ferrando y Anguiano-Carrasco, 2010). Por otro lado, el RMCR es .039, inferior al valor límite de .050 y al criterio recomendado de

Kelley (1935), que para estos datos es .055 (Ferrando y Anguiano-Carrasco, 2010), por lo que los valores residuales observados son muy cercanos a cero. Finalmente, el índice RMSEA, que estima el error de aproximación del modelo propuesto, tuvo un valor de .066, lo que indica un ajuste admisible (Lloret-Segura *et al.*, 2014).

La solución obtenida fue transformada utilizando el método de rotación Equamax, que generaba la solución más simple e informativa (Asparouhov y Muthén, 2009). Para la asignación de los ítems a los factores se acordó retener saturaciones que estén por encima de .35, en línea con lo marcado por diferentes autores como Bandalos y Finney (2010), Costelo y Osborne (2005) o Tabachnick y Fidell (2001).

Por lo tanto, se retuvo la solución factorial a 4 factores, que explican el 46.21% de la varianza total. De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla 2, se observa que el factor 1 “Desarrollo de la práctica docente” (ítems 12, 13, 15, 16, 17, 18 y 19) explica el 13.01% de la varianza. El factor 2 “Planificación didáctica” (ítems 6, 7, 8, 9, 10 y 25) explica el 12.22% de la varianza. El factor 3 “Autorreflexión de la práctica docente” (ítems 4, 5, 21, 23, 24 y 26) explica el 11.97% de la varianza. Finalmente, el factor 4 “Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales” (ítems 1, 2, 3, 11, 14, 20 y 22) explica el 9% de la varianza.

Teniendo como referencia el valor .35 como criterio para asignar el ítem a un factor, tal y como se muestra en la tabla 2, todos los ítems se asignaron al factor en el que presentaban mayor saturación. Este criterio fue consistente con el sentido teórico del ítem respecto al factor asignado. Se encontraron siete ítems con cargas factoriales cruzadas: ítem 4 (carga factorial de .43 en el factor 4), ítem 7 (carga factorial de .40 en el factor 4), ítem 8 (carga factorial de .35 en el factor 1),

TABLA 2. Matriz de factor rotada

Dimensión	Ítem	Factor			
		1	2	3	4
Desarrollo de la práctica docente	19	.72	.17	.31	.10
	18	.65	.31	.30	.11
	15	.56	.29	.31	.30
	13	.54	.35	.21	.25
	16	.53	.34	.07	.07
	17	.50	.30	.24	.11
	12	.41	.20	.21	.20
Planificación didáctica	10	.31	.65	.16	.26
	25	.09	.65	.38	-.03
	9	.32	.61	.13	-.05
	6	.18	.54	.20	.30
	7	.31	.52	.17	.40
	8	.35	.48	.17	.11
Autorreflexión de la práctica docente	24	.15	.27	.72	.07
	21	.29	.26	.61	.29
	23	.11	.47	.60	.05
	5	.28	.16	.52	.21
	4	.24	-.10	.49	.44
	26	.22	.23	.46	.03
Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales	2	.18	.05	.27	.54
	11	.01	.06	-.08	.54
	22	-.02	.03	.02	.50
	14	.42	.29	.32	.43
	1	.17	.11	.28	.39
	3	.28	.15	.34	.37
Varianza explicada (%)		13.01	12.22	11.97	9.00

Nota: método de extracción: máxima verosimilitud. Método de rotación: Equamax con normalización Kaiser. Matriz de correlaciones producto-momento de Pearson.

ítem 13 (carga factorial de .35 en el factor 2), ítem 14 (carga factorial de .42 en el factor 1), ítem 23 (carga factorial de .46 en el factor 3) e ítem 25 (carga factorial de .37 en el factor 3).

Fiabilidad del instrumento

Como se ha mencionado anteriormente, la fiabilidad del cuestionario se ha calculado mediante el coeficiente α de Cronbach a nivel

global y para cada uno de sus cuatro factores (tabla 3).

Los resultados obtenidos a nivel global muestran un índice α de Cronbach de .92. Estos resultados (> .90) indican una fiabilidad muy alta, según O'Dwyer y Bernauer (2014). Igualmente, el índice α de Cronbach para los 4 factores se situó con puntuaciones superiores a .70 lo que, según Lévy *et al.* (2006), le otorga una fiabilidad alta a los factores que componen el instrumento.

Además, para analizar la calidad de los ítems con relación a su dimensión (relación ítem-escala), se calculó la homogeneidad del ítem, la correlación ítem-escala y el índice de fiabilidad del ítem. Como se puede observar en la tabla 3, todos los valores de homogeneidad corregida se situaron por encima de .4, mientras que el índice

de fiabilidad del ítem muestra valores superiores a .4 para la mayor parte de ellos. Asimismo, se pudo constatar que el índice de fiabilidad disminuiría si omitimos cualquiera de los ítems que forman parte de los factores obtenidos. Estas observaciones confirman que, psicométricamente, los ítems aportan a cada factor que componen.

TABLA 3. Análisis de la relación ítem-escala

	Homogeneidad corregida	Correlación múltiple al cuadrado	Índice de fiabilidad del ítem	α de Cronbach si se elimina el elemento
Desarrollo de la práctica docente ($\alpha = .86$)				
Ítem 19	.69	.57	.64	.83
Ítem 18	.71	.57	.69	.83
Ítem 15	.67	.48	.65	.84
Ítem 13	.67	.46	.64	.84
Ítem 16	.59	.36	.61	.85
Ítem 17	.59	.39	.59	.85
Ítem 12	.50	.28	.45	.86
Planificación didáctica ($\alpha = .84$)				
Ítem 10	.69	.49	.77	.79
Ítem 25	.57	.34	.67	.82
Ítem 9	.61	.41	.71	.81
Ítem 6	.61	.42	.72	.81
Ítem 7	.62	.44	.66	.81
Ítem 8	.57	.36	.59	.82
Autorreflexión de la práctica docente ($\alpha = .82$)				
Ítem 24	.68	.50	.64	.78
Ítem 21	.68	.48	.69	.78
Ítem 23	.58	.45	.62	.80
Ítem 5	.60	.41	.58	.79
Ítem 4	.50	.32	.43	.81
Ítem 26	.51	.28	.51	.81
Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales ($\alpha = .72$)				
Ítem 2	.52	.30	.51	.68
Ítem 11	.36	.28	.42	.72
Ítem 22	.41	.27	.44	.70
Ítem 14	.53	.34	.49	.68
Ítem 1	.45	.26	.36	.70
Ítem 3	.41	.24	.44	.70
Ítem 20	.44	.26	.47	.70

Discusión y conclusiones

Las revisiones bibliográficas realizadas en los últimos años en relación con el uso de simulaciones virtuales han demostrado su interés para el aprendizaje de las disciplinas STEM, siendo capaces de promover eficazmente el conocimiento del contenido de las ciencias, desarrollar habilidades de indagación y facilitar el cambio conceptual (Chan *et al.*, 2021; D'Angelo *et al.*, 2014; Rutten *et al.*, 2012; Sypsas *et al.*, 2018). Aun así, como toda herramienta educativa, no es capaz de transformar el aprendizaje por sí sola, siendo principal la cuestión de cómo se usan las simulaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Lee *et al.*, 2013; Smetana y Bell, 2012). En este sentido, el papel del profesor resulta primordial para que el uso de este recurso sea exitoso y se puedan superar las dificultades concretas asociadas a la aplicación de simulaciones virtuales en el aula (Scalisse *et al.*, 2011; Smetana y Bell, 2014; Waight *et al.*, 2014), de lo que se desprende que los docentes necesitan adquirir determinadas competencias relacionadas con el contenido, la didáctica y el uso concreto de esta tecnología, para ser capaces de aprovechar las amplias posibilidades del uso de simulaciones (Pelgrum, 2001; Rutten *et al.*, 2012). La valoración de estas competencias se ve dificultada por la inexistencia de escalas validadas de recogida de información al respecto, de ahí que en la presente investigación se haya diseñado un cuestionario que permita profundizar en dichas habilidades.

Para ello, partiendo de la revisión de la literatura existente sobre competencias tecnológicas del profesor y sobre cómo se utilizan las simulaciones, y las dificultades asociadas a su uso, se ha elaborado un cuestionario para valorar la percepción del profesorado sobre sus competencias en el uso de simulaciones virtuales (CDUSV). Este cuestionario, compuesto inicialmente por 32 ítems, fue mejorado tras el juicio realizado por expertos en el ámbito y el desarrollo de una prueba piloto, logrando finalmente un cuestionario de 26 ítems. Tras el

análisis factorial exploratorio se obtiene una escala compuesta por cuatro factores: “Desarrollo de la práctica docente”, “Planificación didáctica”, “Autorreflexión sobre la práctica docente” y “Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales”. Dentro del factor de “Desarrollo de la práctica docente” se engloban 7 ítems relacionados con el papel del profesor al desarrollar su trabajo docente en el aula a través de simulaciones virtuales. El segundo factor, “Planificación didáctica”, lo conforman 6 ítems vinculados con el trabajo previo al aula, es decir, la planificación y diseño de secuencias didácticas con simulaciones virtuales. El factor “Autorreflexión sobre la práctica docente” engloba 6 ítems relacionados con la autoevaluación y reflexión del profesorado tras el desarrollo de la propuesta didáctica en el aula. Finalmente, el cuarto factor, “Dificultades asociadas al uso de las simulaciones virtuales”, contiene 7 ítems referidos al conocimiento del recurso tecnológico concreto, las simulaciones virtuales y los obstáculos que se deben superar para una puesta en práctica exitosa. Esta estructura evidencia las cuatro claves que tener en cuenta cuando se quiere formar al profesorado en el uso de una tecnología concreta en el aula, por lo que estos mismos factores podrían usarse como base para el diseño de futuros cuestionarios específicos sobre competencias en el uso de otros recursos TIC.

Los resultados obtenidos indican que el instrumento diseñado tiene unas propiedades psicométricas satisfactorias respecto a la validez de contenido, validez de constructo y fiabilidad, atendiendo a los estándares psicométricos actuales (Lloret-Segura *et al.*, 2014), por lo que el cuestionario parece ser un instrumento útil para analizar la percepción de las competencias docentes en el uso de simulaciones virtuales de áreas STEM. El uso de este cuestionario es de gran interés para determinar las debilidades y necesidades de formación del profesorado respecto al uso de estas herramientas y, a partir de ellas, diseñar formaciones prácticas adaptadas a las necesidades reales del profesorado en cada una de las áreas STEM, con la idea de avanzar y mejorar

en la didáctica de las ciencias a través de simulaciones virtuales. En definitiva, este instrumento propiciará la creación de planes de formación permanente de acuerdo con las necesidades detectadas y las demandas sociales del momento (Fernández, 2016).

No obstante, este estudio presenta ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta. En primer lugar, se realizó un muestreo no probabilístico de tipo casual obteniendo una muestra total de 332 profesores. Aunque esta muestra es suficientemente amplia como para realizar un análisis factorial consistente, un muestreo probabilístico y un número de muestra mayor hubieran mejorado la validez del análisis.

En segundo lugar, se han encontrado ítems con cargas factoriales cruzadas, es decir, con carga factorial representativa en más de un factor. Para solventar este problema, en el futuro sería recomendable ampliar la muestra de estudio, revisar la redacción de dichos ítems o valorar la incorporación de otros nuevos.

En tercer lugar, aunque el instrumento diseñado presenta buenos indicadores de validez, la estructura factorial del constructo teórico obtenido debería ser constatada mediante un análisis factorial confirmatorio.

En cuarto lugar, cabe desatacar que para el diseño del cuestionario no se ha partido de un

constructo teórico bien definido, ni de escalas íntimamente relacionadas, sino que se ha partido de una revisión bibliográfica sobre el uso de simulaciones virtuales en las aulas, las competencias tecnológicas del docente y el modelo TPACK, por lo que no puede descartarse la omisión de algún ítem o factor adicional de interés para el estudio.

Finalmente, y teniendo en cuenta los puntos anteriores, el cuestionario validado representa un consistente punto de partida para ser capaces de detectar las competencias docentes en el uso de simulaciones virtuales STEM y, a partir de ellas, poder abordar un proceso de transferencia en la formación del profesorado, necesario para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias a través de simulaciones virtuales. En este sentido, y con el objetivo de adaptar los planes de formación a las necesidades concretas del profesorado, sería interesante, en futuras investigaciones, no solo profundizar en las competencias docentes en el uso de estas herramientas, sino también en cuáles son las actitudes del profesorado ante su uso.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del panel de expertos y del profesorado que ha formado parte del estudio.

Referencias bibliográficas

- Alkhaldi, T., Pranata, I. y Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3), 329-351. <https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z>
- Asparouhov, T. y Muthen, B. (2009). Exploratory structural equation modeling. *Structural Equation Modeling*, 16, 397-438.
- Bandalos, D. L. y Finney, S. J. (2010). Factor analysis: exploratory and confirmatory. En G. R. Hancock y R. O. Mueller (eds.), *Reviewer's guide to quantitative methods*. Routledge.
- Blake, C. y Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 491-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00239.x>

- Cabero, J., Marín, V. y Castaño, C. (2015). Validación de la aplicación del modelo TPACK para la formación del profesorado en TIC. @tic. *Revista d'Innovació Educativa*, 14, 13-22. <https://doi.org/10.7203/attic.14.4001>
- Cabero, J., Pérez, J. L. y Llorente, C. (2018). Estructural equation model and validation of the TPACK model: empirical study [Modelo de ecuaciones estructurales y validación del modelo de formación TPACK: estudio empírico]. *Profesorado*, 22(4), 353-376. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i4.8420>
- Carlos-Guzmán, J. (2016). ¿Qué y cómo evaluar el desempeño docente? Una propuesta basada en los factores que favorecen el aprendizaje. *Propósitos y Representaciones*, 4(2), 285-358. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2016.v4n2.124>
- Cebrián-Cienfuentes, S., Ros, C., Fernández-Piqueras, R. y Guerrero, E. (2021). Análisis de la competencia digital docente y uso de recursos TIC tras un proceso de intervención universitario, basado en la implementación de una metodología innovadora de gamificación. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 73(2), 41-61. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.87134>
- Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J. y Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: a systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>
- Costello, A. B. y Osborne, J. (2005). Best practices in exploratory factor analysis: four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical Assessment Research & Evaluation*, 10(7), 1-9. <https://doi.org/10.7275/jyj1-4868>
- D'Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E. y Haertel, G. (2014). Simulations for STEM learning: systematic review and meta-analysis. *SRI Education*, 58.
- De Jong, T. y Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- Escobar, I. M. C. y Adames, C. P. (2008). Competencias docentes de profesores de pregrado: diseño y validación de un instrumento de evaluación. *Universitas Psychologica*, 7(2), 456-456. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revPsycho/article/view/441>
- Fernández, M. J., Rodríguez, J. M. y Fernández, F. J. (2016). Evaluación de competencias docentes del profesorado para la detección de necesidades formativas. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 68(2), 85-101. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68206>
- Ferrando, P. J. y Anguiano-Carrasco, C. (2010). El análisis factorial como técnica de investigación en psicología. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 18-33.
- Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: a framework for developing and understanding digital competence in Europe*. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies.
- Flora, D. B., LaBrish, C. y Chalmers, R. P. (2012). Old and new ideas for data screening and assumption testing for exploratory and confirmatory factor analysis. *Frontiers in Quantitative Psychology and Measurement*, 3(55), 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00055>
- Forero, C. G., Maydeu-Olivares, A. y Gallardo-Pujol, D. (2009). Factor analysis with ordinal indicators: a Monte Carlo study comparing DWLS and ULS estimation. *Structural Equation Modeling*, 16, 625-641. <https://doi.org/10.1080/10705510903203573>
- Gable, R. K. y Wolf, J. W. (1993). *Instrument development in the affective domain: measuring attitudes and values in corporate and school settings*. Kluwer Academic.
- Geelan, D. y Fan, X. (2013). Enhancing students' scientific literacy in science education using interactive simulations: a critical literature review. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 32, 125-171.

- Gisbert, M., González, J. y Esteve, F. M. (2016). Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 0, 74-83. <https://doi.org/10.6018/riite2016/257631>
- Gnesdilow, D. y Puntambekar, S. (2021). Comparing middle school students' science explanations during physical and virtual laboratories. *Journal of Science Education and Technology*, 31(4), 191-202. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09941-0>
- González, J. y Wagenaar, R. (2008). *La contribución de las universidades al proceso de Bolonia. Una introducción a Tuning Educational Structures in Europe (edición española)*. Publicaciones de la Universidad de Deusto.
- Grant, J. S. y Davis, L. L. (1997). Selection and use of content experts for instrument development. *Research in Nursing & Health*, 20, 269-274.
- Hall, R., Atkins, L. y Fraser, J. (2014). Defining a self-evaluation digital literacy for secondary educators. The DigiLit Leicester Project. *Research in Learning Technology*, 22. <https://doi.org/10.3402/rlt.v22.21440>
- Harada, A. S. (2021). La comunidad docente y las competencias digitales: la formación a lo largo de la vida. *Revista Conhecimento Online*, 1, 177-192. <https://doi.org/10.25112/rco.v1i0.2400>
- Hutkemri, E. Z. (2014). Impact of using GeoGebra on students' conceptual and procedural knowledge of limit function. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(23), 873-881. <https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n23p873>
- INTEF (2017). *Marco de Competencia Digital*. Ministerio de Educación, Ciencia y Deportes.
- Jimoyiannis, A. (2010). *Developing a technological pedagogical content knowledge framework for science education: implications of a teacher trainers' preparation program*. Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE), 597-607.
- Kelley, T. L. (1935). *Essential traits of mental life*. Harvard Studies in Education, vol. 26. Harvard University Press.
- Koehler, M. J. y Mishra, P. (2008). Introducing technological pedagogical content knowledge. En A. E. R. Association (ed.), *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- Lee, Y. H., Waxman, H., Wu, J. Y., Michko, G. y Lin, G. (2013) Revisit the effect of teaching and learning with technology. *Educ Technol Soc*, 16(1), 133-146.
- Lévy-Mangin, J. P., Varela-Mallou, J. y Abad-González, J. (2006). *Modelización con estructuras de covarianzas en ciencias sociales: temas esenciales, avanzados y aportaciones especiales*. Netbiblo.
- Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A. y Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), 1151-1169. <http://dx.doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361>
- Lorenzo-Seva, U., Timmerman, M. E. y Kiers, H. A. L. (2011). The Hull method for selecting the number of common factors. *Multivariate Behavioral Research*, 46(2), 340-364. <http://doi.org/10.1080/00273171.2011.564527>
- Lorenzo-Seva, U. y Ferrando, P. J. (2020). FACTOR (n.º de versión 10.10.03). Windows. Tarragona (Spain): Rovira i Virgili University. <http://psico.fcep.urv.es/utilitats/factor>
- Menchaca, I., Dziabenko, O. y García, J. (2020). Experiencia española en el proyecto Go-Lab. *Educar*, 56(2), 387-405. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1067>
- O'Dwyer, L. y Bernauer, J. (2014). *Quantitative research for the qualitative researcher*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781506335674>
- Pelgrum, W. J. (2001). Obstacles to the integration of ICT in education: results from a worldwide educational assessment. *Computers & Education*, 37(2), 163-178. [https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00045-8)

- Perales-Palacios, F. J. y Aguilera, D. (2020). Ciencia-tecnología-sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Perkins, K., Moore, E., Podolefsky, N., Lancaster, K. y Denison, C. (2012). Towards research-based strategies for using PhET simulations in middle school physical science classes, AIP Conference Proceedings, 1413, 295-298. <https://doi.org/10.1063/1.3680053>
- Prendes, M. P., Castañeda, L. y Gutiérrez, I. (2010). Competencias para el uso de TIC de los futuros maestros. *Comunicar*, 18(35), 175-182. <https://doi.org/10.3916/C35-2010-03-11>
- Ramnarain, U., Pieters, A. y Wu, H. K. (2021). Assessing the technological pedagogical content knowledge of pre-service science teachers at a South African university. *International Journal of Information and Communication Technology Education*, 17(3), 123-136. <https://doi.org/10.4018/IJICTE.20210701.0a8>
- Rutten, N., Van Joolingen, W. R. y Van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Sarramona, J. y Santiuste, V. (2015). La formación no presencial ante el reto de las competencias profesionales. *Revista Española de Pedagogía*, 73, 449-464.
- Scalise, K., Timms, M., Moorjani, A., Clark, L., Holtermann, K. e Irvin, P. S. (2011). Student learning in science simulations: design features that promote learning gains. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(9), 1050-1078. <https://doi.org/10.1002/tea.20437>
- Schmidt, D., Baran, E., Thompson, A., Mishra, P., Koehler, M. y Shin, T. (2009). Technological pedagogical content knowledge (TPACK): the development and validation of an assessment instrument for preservice teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(2), 123-149. <https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782544>
- Sierra, F. A. C. y Gutiérrez-Santiuste, E. (2021). Questionnaire on knowledge of university mathematics teachers for technological integration. *Revista Fuentes*, 2(23), 150-162. <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2021.12792>
- Skjong, R. y Wentworth, B. (2000). *Expert judgement and risk perception*. <http://research.dnv.com/skj/Papers/SkjWen.pdf>
- 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>
- Smetana, L. K. y Bell, R. L. (2014). Which setting to choose: comparison of whole-class vs. small-group computer simulation use. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 481-495. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9479-z>
- Sypsas, A. y Kalles, D. (2018). Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review. En N. Karanikolas y B. Mamalis (eds.), *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics (PCI '18)* (70-75). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>
- Tabachnick, B. G. y Fidell, L. S. (2001). *Using multivariate statistics*. Al-lyn and Bacon.
- Taquez, H., Rengifo, D. y Mejía, D. (2017). Diseño de un instrumento para evaluar el nivel de uso y apropiación de las TIC en una institución de educación superior. Portal Educativo de las Américas (OEA). <https://recursos.educoas.org/publicaciones/dise-o-de-un-instrumento-para-evaluar-el-nivel-de-uso-y-apropiaci-n-de-las-tic-en-una>
- Tourón, J., Martín, D., Navarro-Asensio, E., Pradas, S. e Íñigo, V. (2018). Validación de constructo de un instrumento para medir la competencia digital docente de los profesores (CDD) | Construct

- validation of a questionnaire to measure teachers' digital competence (TDC). *Revista Española de Pedagogía*, 76(269), 25-54. <https://doi.org/10.22550/REP76-1-2018-02>
- Wahyuni, I., Zaenuri, Wardono, Sukestiyarno, Y. L., Waluya, S. B., Nuriana y Aminah, N. (2021). Design of instrument Technological Pedagogic Content Knowledge (TPACK) for prospective mathematics teachers. *Journal of Physics: Conference Series* 1918(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042097>
- Waight, N., Liu, X., Gregorius, R. M., Smith, E. y Park, M. (2014) Teacher conceptions and approaches associated with an immersive instructional implementation of computer-based models and assessment in a secondary chemistry classroom. *International Journal of Science Education*, 36(3), 467-505, <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.787506>

Anexo. Instrumento CDUSV

Cuestionario para evaluar las competencias del profesorado de educación secundaria de áreas STEM en el uso de las simulaciones virtuales.

Enunciado: indica el grado de acuerdo o desacuerdo con las siguientes afirmaciones (siendo 1 “totalmente en desacuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo”).

N.º	Ítem
1	Conozco los posibles obstáculos y dificultades a los que se enfrentarán los estudiantes al utilizar simulaciones
2	Conozco diversas simulaciones virtuales aplicables a la enseñanza de las ciencias
3	Cuando tengo dificultades en el uso de simulaciones virtuales, busco recursos para superarlas
4	Exploro las distintas posibilidades que me ofrecen las simulaciones virtuales antes de emplearlas con los estudiantes
5	Tengo en cuenta las características de mis estudiantes a la hora de diseñar experiencias de aprendizaje significativas empleando simulaciones virtuales
6	Diseño actividades empleando simulaciones virtuales donde el error es entendido como una oportunidad para aprender
7	Diseño experiencias de aprendizaje, a través de simulaciones virtuales, en las que mis estudiantes se sienten motivados a explorar los contenidos de ciencias
8	Cuando utilizo las simulaciones virtuales, propongo experiencias de aprendizaje donde se fomenta la discusión/debate entre los estudiantes
9	Cuando utilizo las simulaciones virtuales, propongo experiencias de aprendizaje donde se fomenta el trabajo en grupo entre los estudiantes
10	Planifico propuestas didácticas con simulaciones virtuales utilizando diferentes metodologías
11	Encuentro dificultades a la hora de seleccionar la simulación virtual adecuada al contenido que trabajar
12	A través de las simulaciones virtuales, vinculo el aprendizaje de contenidos de ciencias con situaciones cercanas al estudiante
13	Cuando utilizo simulaciones virtuales, soy capaz de fomentar el aprendizaje basado en la indagación en mis estudiantes
14	Mientras mis estudiantes trabajan con simulaciones virtuales, soy capaz de guiarles para que avancen progresivamente en su aprendizaje
15	Propicio que mis estudiantes tengan un papel activo en su aprendizaje cuando utilizamos simulaciones virtuales
16	Con las simulaciones virtuales soy capaz de motivar a estudiantes que ya habían perdido el interés por las ciencias

N.º	Ítem
17	Identifico cuándo un estudiante tiene dificultades mientras estamos empleando simulaciones virtuales en el aula
18	Propicio el desarrollo del espíritu crítico en mis estudiantes cuando utilizo simulaciones virtuales
19	Fomento el desarrollo del pensamiento científico en mis estudiantes cuando utilizo simulaciones virtuales
20	Soy capaz de gestionar adecuadamente el tiempo en mis clases cuando uso simulaciones virtuales
21	Cuando utilizo simulaciones virtuales, analizo lo que ha ocurrido en el aula con el fin de incluir posibles mejoras en las próximas sesiones
22	Me resulta complejo resolver las dificultades que en ocasiones me plantea el uso de simulaciones virtuales
23	Evalúo si se cumplen los objetivos de aprendizaje establecidos en una secuencia didáctica cuando utilizo simulaciones virtuales
24	Reflexiono sobre la idoneidad de la metodología empleada cuando utilizo simulaciones virtuales en el aula
25	Empleo técnicas de evaluación diversas que me permiten evaluar el desempeño de los estudiantes cuando utilizan simulaciones virtuales
26	Tengo en cuenta la opinión del alumnado tras el uso de simulaciones virtuales

Abstract

Teacher competences in the use of STEM virtual simulations: design and validation of a measurement instrument (CDUSV)

INTRODUCTION. The importance of using virtual simulations as a didactic resource to develop a contextualized applied science teaching, focused on the development of scientific competencies, has created the need to assess the competencies of Secondary Education teachers in the use of these tools. The aim of this work is to design and validate an instrument to assess the competencies of secondary education teachers in STEM areas, in the use of virtual simulations. **METHOD.** Based on an exhaustive theoretical review, an initial instrument was developed, which was subjected to a validation process by experts. Then, a pilot study with 30 teachers was carried out, which helped to build the definitive instrument. The final instrument was applied to 332 Secondary Education teachers of STEM areas in Spain. Finally, the validation of the instrument was carried out through an exploratory factor analysis (EFA). **RESULTS.** The results obtained show a high content validity and reliability (Cronbach's $\alpha = .92$). Furthermore, the exploratory factor analysis developed using the Maximum Likelihood Estimation method and Equamax rotation shows a structure of 4 factors called: "Development of teaching practice", "Didactic planning", "Self-reflection on teaching practice" and "Difficulties associated with the use of virtual simulations". A high reliability is obtained for all the extracted factors. **DISCUSSION.** Finally, it is discussed the value of the instrument and its interest for the design of teacher training programs built from the knowledge and the real difficulties of teachers in the use of virtual STEM simulations in the Secondary Education classroom.

Keywords: *Teacher competencies, Computer simulations, STEM education, Secondary education, Test reliability.*

Résumé

Compétences des enseignants dans l'utilisation des simulations virtuelles STEM: Design et validation d'un outil de mesure

INTRODUCTION. L'importance d'employer les simulations virtuelles comme ressource didactique pour l'enseignement des sciences appliquées contextualisé et axé sur le développement des compétences scientifiques a créé le besoin d'évaluer les compétences du professorat du secondaire dans l'utilisation de ces outils. L'objectif de ce travail est de construire et de valider un questionnaire pour évaluer les compétences des enseignants du secondaire des disciplines STEM dans l'utilisation des simulations virtuelles. **MÉTHODE.** A partir d'une révision théorique et exhaustive s'est développé un questionnaire initial qui a été soumis à un processus de validation par des experts. Ensuite, une étude pilote a été réalisée avec 30 enseignants pour construire l'instrument définitif. Le questionnaire final a été appliqué à 332 enseignants du secondaire des disciplines STEM en Espagne. Ultérieurement, la validation a été réalisée à travers une analyse factorielle exploratoire (AFE). **RÉSULTATS.** Les résultats obtenus montrent une validité et une fiabilité élevée du contenu (α de Cronbach = .92). En même temps, l'analyse factorielle exploratoire développée grâce à la méthode d'extraction du Maximum de Vraisemblance et de Rotation Equamax, montre une structure de 4 facteurs dénommés : "Développement de la pratique d'enseignement", "Planification de l'enseignement", "Autoréflexion sur la pratique enseignante" et "Difficultés associées à l'utilisation des simulations virtuelles". Nous avons obtenu une haute fiabilité pour tous les facteurs extraits. **DISCUSSION.** Enfin, nous discutons sur la valeur de l'instrument et son intérêt pour la conception de programmes de formation des enseignants construits à partir des connaissances et des difficultés réelles du professorat dans l'utilisation des simulations virtuelles STEM dans les salles de classe du secondaire.

Mots-clés : *Compétences des enseignants, Simulations virtuelles, Enseignement STEM, Enseignement secondaire, Fiabilité de l'outil.*

Perfil profesional de los autores

Rosa Gómez del Amo (autora de contacto)

Doctora por la Universidad de Extremadura en el Programa de Doctorado en Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas. Profesora e investigadora de la Facultad de Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales (DIMACE).

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5861-9429>

Correo electrónico de contacto: rosa.gomez@unir.net

Dirección para la correspondencia: Universidad Internacional de La Rioja. Av. de la Paz, 137, 26006 Logroño (La Rioja).

Alicia Palacios Ortega

Doctora en Bioquímica por la Universidad Complutense de Madrid. Docente del Área de Ciencias en Educación Secundaria y Educación de Adultos. Profesora e investigadora de la Facultad de

Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales (DIMACE).

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7906-1417>

Correo electrónico de contacto: alicia.palacios@unir.net

Daniel Moreno Mediavilla

Profesor de la Facultad de Educación de la Universidad Internacional de La Rioja (UNIR). Miembro del grupo de investigación de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales (DIMACE). Doctor en Química por la Universidad de Burgos. Más de 20 artículos publicados dentro de JCR y Scopus, y autor de una patente.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5633-2376>

Correo electrónico de contacto: daniel.moreno@unir.net

Álvaro Barreras Peral

Doctor en Matemáticas. Profesor de Matemáticas (Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, 2014-2016). Profesor de Didáctica Matemáticas (UNIR, 2016-actualidad). Director académico de dos másteres en didáctica de las matemáticas. Investigador principal del grupo de investigación de UNIR Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5325-8505>

Correo electrónico de contacto: alvaro.barreras@unir.net

ENSEÑANZA DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MEDIANTE EL USO DE SIMULADORES Y LABORATORIOS VIRTUALES EN LA ETAPA UNIVERSITARIA

Teaching of descriptive statistics using simulators and virtual laboratories at university level

FERNANDA TATIANA COX⁽¹⁾, DANIEL GONZÁLEZ⁽¹⁾, ÁNGEL ALBERTO MAGREÑÁN⁽²⁾
Y LARA ORCOS⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de Las Américas (Ecuador)

⁽²⁾ Universidad de La Rioja (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.94121

Fecha de recepción: 06/04/2022 • Fecha de aceptación: 21/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Lara Orcos. E-mail: lara.orcos@unirioja.es

Cómo citar este artículo: Cox, F. T., González, D., Magreñán, Á. A. y Orcos, L. (2022). Enseñanza de estadística descriptiva mediante el uso de simuladores y laboratorios virtuales en la etapa universitaria. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 103-123. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94121>

INTRODUCCIÓN. Uno de los principales objetivos del profesorado en las asignaturas de matemáticas de todas las etapas educativas es ser capaz de mantener la atención del estudiantado y mantenerlo motivado para su aprendizaje. El uso de tecnologías educativas, así como las oportunidades que otorgan, permiten considerarlas como un potente aliado. **MÉTODO.** En este estudio se presenta el uso de diferentes laboratorios y simuladores virtuales para el aprendizaje de la estadística descriptiva en la asignatura Lenguaje Cuantitativo de primer curso de universidad en Ecuador. Para llevar a cabo la experiencia, se han tomado las calificaciones de un pretest y un postest diseñados para medir la adquisición de competencia estadística. Para ello, se han obtenido las medias de los grupos control, aquellos que han trabajado de forma habitual, y el experimental, aquellos en los que el trabajo de ejemplos y ejercicios se ha realizado mediante el uso de laboratorios y simuladores virtuales, y se han comparado mediante la prueba *t* de Student de grupos independientes. **RESULTADOS.** La comparación de las medias obtenidas por ambos grupos muestra que, a pesar de ser homogéneos en el inicio, las diferencias del grupo experimental y control superan los 2.7 puntos de forma significativa. **DISCUSIÓN.** El tamaño del efecto, la *d* de Cohen, obtenido fue superior a 1, es decir, que es grande, lo que permite concluir que el uso conjunto de varios simuladores y laboratorios virtuales ha sido muy efectivo para superar las dificultades de aprendizaje que se encuentran en el estudio de la estadística descriptiva en el aula.

Palabras clave: Laboratorio universitario, Estadística, Tecnología educativa, Educación matemática, Universidad.

Introducción

El profesorado de matemáticas lleva trabajando desde hace mucho tiempo en la forma de trabajar las matemáticas y su didáctica de forma que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea lo más satisfactorio posible y además la motivación del alumnado con esta asignatura sea lo más alta posible. El mundo académico ha vivido en los últimos años cambios asociados con su actividad debido a la intensificación del uso de las tecnologías de la información y la comunicación, alcanzando un nivel máximo acelerado con la entrada de la pandemia de COVID-19 que ha azotado todo el planeta, que ha llevado la docencia a su modalidad *online* y que tanto ha afectado al profesorado, a la docencia, a la evaluación (Cabero-Almenara y Palacios-Rodríguez, 2021; Díez-Gutiérrez y Gajardo, 2021) y al propio estudiantado, especialmente a aquel que no tiene recursos altos (Pérez-López *et al.*, 2021). Estas tecnologías han ayudado a que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea más llevadero en los tiempos de confinamiento y han llegado para quedarse (Andriani *et al.*, 2022). Las tecnologías representan un potencial que ha sido resaltado en los últimos años por diversos autores (Medina *et al.*, 2013; López-Sánchez y González-Lara, 2021) y ha puesto de manifiesto que la competencia digital, tanto en estudiantes que van a ser docentes (Vidal *et al.*, 2021) como en docentes, es necesaria en todos los niveles y que, con la formación apropiada, se pueden alcanzar niveles adecuados (Mosquera-Gende, 2021).

Debido a la multitud de plataformas y recursos tecnológicos actuales para todo tipo de aprendizajes y para la enseñanza de las matemáticas, el docente tiene continuamente el reto de estar diseñando actividades didácticas, lo cual es complejo ya que se involucran recursos de diferente tipo (Arcavi y Hadas, 2000). Artigue (2007) señala que la tecnología debe ser utilizada en la educación del área, y que esta puede ser aprovechada para enfatizar el uso del conocimiento matemático, yendo más allá de los procedimientos rutinarios que han prevalecido tanto en los cursos de esta disciplina. Hay muchas discrepancias entre educadores en esta ciencia debido a que unos

rechazan el uso de tecnologías para el aprendizaje mientras que otros expertos se centran en desarrollar otras habilidades y competencias. Hitt (1996) indica que cuando se dispone de recursos y materiales tecnológicos efectivos para usar en el aula, donde se presenta un concepto inmerso en un problema y se busca un adecuado sistema de representación para visualizarlo, entonces el profesor tendrá la necesidad de cambio.

En las áreas de ciencia y tecnología especialmente se han tenido que adaptar a que no se puedan utilizar los laboratorios habituales, debido a las restricciones, y aquí es donde surge la idea del uso de laboratorios y simuladores virtuales.

El presente artículo se centra en el uso de ciertos laboratorios y simuladores virtuales para el aprendizaje de estadística en los primeros niveles de educación superior con estudiantes cuyas bases estadísticas son deficientes o nulas debido a que en la educación media no se encuentra esta competencia de manera obligatoria en los contenidos de los cursos. Dichos estudiantes inician carreras relacionadas con las ciencias sociales en general. Se realizaron simulaciones interactivas en el aula mediante el manejo de diferentes herramientas y se asignaron tareas para el trabajo autónomo.

Uno de los laboratorios virtuales con mayor desarrollo y aceptación es PhET, un proyecto de la Universidad de Colorado, Boulder Physics Education Technology (<http://phet.colorado.edu>). Este proyecto cuenta con diversos laboratorios definidos por áreas (física, química, matemáticas, ciencias de la tierra y biología) útiles para la exploración de diferentes fenómenos. Es una herramienta interactiva de fácil uso que los estudiantes utilizan a través de la exploración. Las simulaciones de PhET se basan en investigación educativa extensiva e involucran a los estudiantes mediante un ambiente intuitivo y similar a un juego, en donde aprenden explorando y descubriendo. Dentro de PhET las simulaciones funcionan con Java, Flash o HTML5 y se pueden ejecutar en línea o descargar en un ordenador. Todas las simulaciones son de código abierto.

Estas simulaciones PhET fueron desarrolladas para ayudar a que los estudiantes se involucren en ciencias y matemáticas a través de la investigación, destacando como ideas fundamentales la investigación científica, proveer interactividad, hacer visible lo invisible, ilustrar modelos mentales, incluir imágenes, usar ejemplos de la vida real, guiar de manera implícita a los usuarios en la exploración productiva y crear simulaciones que se puedan usar en varias situaciones educativas. Es por ello por lo que, junto con otros simuladores, se ha desarrollado una experiencia para el aprendizaje de estadística mediante su uso.

Así pues, este trabajo está estructurado de la siguiente forma. En la sección “Marco teórico” se realiza una revisión bibliográfica y se presentan las herramientas seleccionadas: GeoGebra, Proyecto Descartes y PhEt Colorado, destacando especialmente esta última, ya que es la que mayor uso ha tenido en esta experiencia. En la sección “Método”, se describe la metodología usada, la muestra, el proceso seguido y los principales análisis efectuados. En la sección “Resultados” se realiza el análisis junto con una exposición de los resultados obtenidos. Finalmente, en “Conclusiones” se muestran las resoluciones derivadas del trabajo presentado.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es comprobar si el uso de laboratorios virtuales constituye una buena herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la estadística descriptiva en un grupo de estudiantes de primer curso universitario en Ecuador y conocer las percepciones de quienes los han usado.

Marco teórico

Dificultades en el aprendizaje de la estadística descriptiva

La estadística descriptiva es una de las ramas que presenta dificultades asociadas, bien sea por errores a la hora de hacer los cálculos necesarios

para obtener los estadísticos, bien por la no comprensión de los significados y propiedades que pueden poseer. Así, si nos centramos en las medidas de tendencia central, según comentan Batanero *et al.* (1994), las dificultades más comunes son las siguientes:

- El uso de frecuencias absolutas en lugar de los valores propiamente dichos para calcular las principales medidas que son usadas: la media, la moda y la mediana.
- Identificar la mediana con el valor central de los datos sin tener en cuenta que lo primero que deben hacer es ordenar los datos de menor a mayor.
- En el caso de presentar los datos en tablas con datos, se ha de asumir que la mediana se corresponde con el valor central, tanto en el caso de datos agrupados en intervalos como en el caso en el que los datos no están agrupados.
- Confundir la media con la mediana, es decir, confundir la media con el valor central de la distribución de los datos.
- Interpretaciones erróneas de las medias, como, por ejemplo, el hecho de pensar que la media tiene que ser uno de los valores que aparecen en los datos consignados.
- No contabilizar los valores nulos a la hora de computar la media.

Otro tipo de errores que aparecen a la hora de trabajar con las medidas de tendencia central son las siguientes:

- A la hora de calcular la media, no contabilizar el número de apariciones de cada valor, es decir, realizar una suma de valores individuales (Pollatsek *et al.*, 1981).
- Con datos agrupados en intervalos, no ponderar los distintos intervalos de modo distinto al calcular la media (Li y Shen, 1992).

Por otro lado, en este estudio también se realiza el cómputo de la dispersión de un conjunto de

datos, por lo que también conviene tener en cuenta algunas de las dificultades que aparecen en el estudio de esta dispersión de los datos. Algunos investigadores, como Loosen *et al.* (1985), citado en Batanero *et al.* (1994), estudiaron diferentes libros de texto y observaron que no se hacía tanto hincapié en la desviación respecto de la posición central como en la heterogeneidad propia entre las observaciones. Además, Loosen *et al.* (1985) también observaron que las palabras empleadas podían admitir diferentes significados, por lo que este hecho podía contribuir a la hora de generar dichas dificultades en el estudiantado: variación, dispersión, fluctuación, etc. Por otro lado, y ya en estudios más recientes como el de Arce *et al.* (2019), se pone el foco en que el estudio de las medidas de dispersión es ignorado por el estudiantado porque no perciben que la información que aportan sea de utilidad, así como en el hecho de confundir mayor varianza con mayor variación y heterogeneidad de los propios datos, y no con respecto a la media de dichos datos considerados, donde comentan que el profesorado debe prestar especial atención en la docencia.

El uso de tecnologías en el aprendizaje

Diversos investigadores han hecho estudios sobre cómo influye el uso de la tecnología en clase (Prendes-Espinosa y Cartagena, 2021), incluyendo la influencia que estas tienen en el alumnado vulnerable (González, 2021). Miranda y Sacristán (2013) estudian diversos problemas que aparecen a la hora de usar la tecnología en matemáticas sin que previamente se hayan definido unos objetivos claros; Trouche y Drijvers (2010) presentan un estudio de enseñanza-aprendizaje para ciencias exactas a través del uso de la tecnología; y Wijers *et al.* (2010) indican que la tecnología es muy útil cuando el alumno no se encuentra en contacto con el docente en clase resolviendo problemas matemáticos y sirven para asimilar de mejor forma los conceptos vistos en el aula.

La tecnología actual ha conseguido llevar los conocimientos a los estudiantes en cualquier lugar y a cualquier hora, recibiendo explicaciones de temas específicos y teniendo acceso a ejercicios interactivos. Los estudiantes valoran mucho tener recursos didácticos que usan la tecnología para mejorar su proceso de enseñanza-aprendizaje (Medina *et al.*, 2013).

Hay multitud de herramientas tecnológicas que actualmente los estudiantes pueden utilizar, pero los recursos interactivos más atractivos son los más valorados. Se puede hablar entonces de una tecnología poco desarrollada, de los laboratorios virtuales. Este tipo de herramientas se emplea para conducir experimentos a través de simulaciones web o aplicaciones diseñadas como laboratorios reales que se usan como material de aprendizaje con un propósito específico (Bajpai y Kumar, 2015). El uso de los laboratorios virtuales muestra que sus aplicaciones son muy efectivas y útiles, facilitando a los estudiantes hacer prácticas que son limitadas con otras herramientas y materiales (Tatli y Ayas, 2010). También se ha comprobado que los laboratorios virtuales mejoraron la asimilación de conceptos, actitudes, logros, habilidades de pensamiento crítico y pensamiento creativo de los estudiantes (Gunawan y Liliyasi, 2012; Stuckey-Mickell y Stuckey-Danner, 2007; Tüyüz, 2010). Hay estudios que examinan el efecto de la enseñanza de las matemáticas con una simulación interactiva a través del juego (Hensberri *et al.*, 2015) y que arrojan muy buenos resultados.

El uso de tecnologías para el aprendizaje de la estadística

El uso de tecnología educativa en el aula de matemáticas ha sido uno de los estudios más recurrentes en los últimos años e incluso décadas, ya que estas herramientas pueden considerarse unos potentes aliados en el aprendizaje y enseñanza de las mismas (Castillo, 2008; Muñiz-Rodríguez y Rodríguez-Muñiz, 2021; Rueda y Rodríguez-Muñiz, 2020). Su uso ha venido justificado por la necesidad de un enfoque diferente

en la materia y también porque el profesorado debe ser capaz de utilizar estas tecnologías para aumentar la motivación del estudiantado (Hosseini *et al.*, 2022).

Por otro lado, se debe tener en cuenta que existen multitud de estudios (Graus, 2020; Grisales-Aguirre, 2018; Olivo-Franco y Jaar, 2020; Salas-Rueda, 2018) en los que se pone de manifiesto cómo el uso de tecnologías en el aula, en la enseñanza de matemáticas, ha de ser considerado, previa planificación temporal y de recursos. Se ha mostrado que un dominio de las herramientas ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas en los diferentes niveles en los que se imparte, incluso en otras ramas (Casillas-Martín *et al.*, 2020; Cebrián-Cifuentes *et al.*, 2021). Se pueden considerar, asimismo, diferentes perfiles docentes en un contexto en el que nos encontramos en plena transformación digital (Sosa y Valverde, 2020).

Además, ya existen diversos estudios que muestran que el uso de las simulaciones constituye un gran aliado para el aprendizaje de matemáticas (Díaz, 2018). Por el formato de la propia rama, el aprendizaje de estadística es un candidato ideal para el uso de simulaciones, ya que estas permiten obtener datos que pueden provenir de cualquier estudio. En este sentido, también hay estudios que observan el efecto del uso de GeoGebra para el aprendizaje de medidas de dispersión (Del Pino, 2013) e incluso del uso de entornos virtuales de aprendizaje para la enseñanza de la inferencia estadística (Inzunza, 2010). Dados los buenos resultados, se cree oportuno realizar esta experiencia usando varios recursos de forma simultánea en lugar de usar únicamente cada herramienta por separado.

GeoGebra, Proyecto Descartes y PhET Colorado

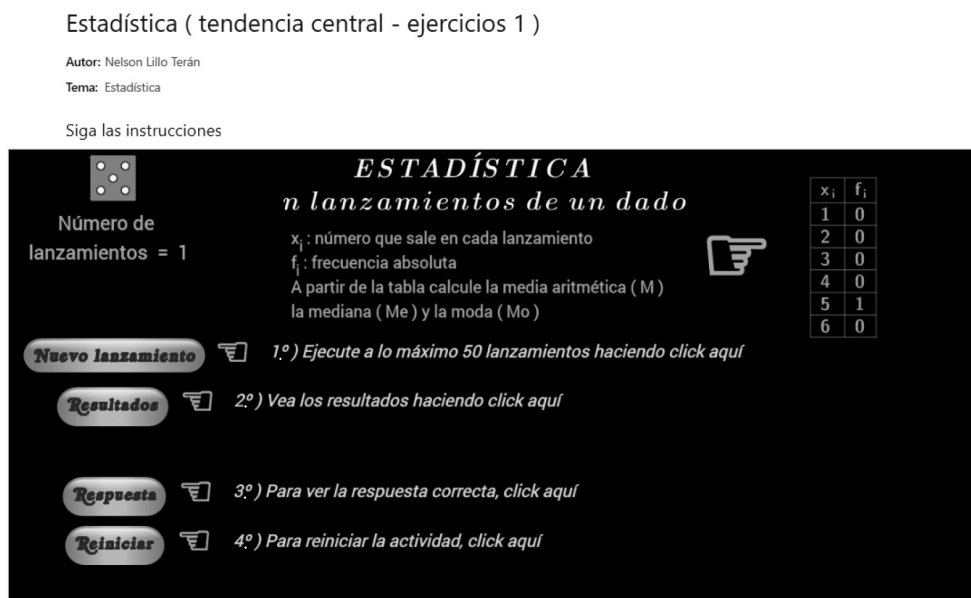
Para el presente estudio, se ha decidido utilizar conjuntamente varias herramientas que pueden

actuar a modo de laboratorio virtual, como PhET, y que pueden ser empleadas en cualquier momento y desde cualquier dispositivo, con el único requisito de necesitar una conexión a Internet.

Con respecto a GeoGebra, esta herramienta ha sido muy utilizada por parte del profesorado de matemáticas en las últimas décadas, ya que este *software* es ideal para el trabajo en geometría, que era su propósito inicial, pero con el paso del tiempo y de las funcionalidades que se le han ido añadiendo, ha sido utilizado en todas las ramas propias de las matemáticas y se han demostrado grandes resultados en el aula (Arbain y Shukor, 2015; Majerek, 2014; Saha *et al.*, 2010; Sangwin, 2007).

El uso de esta herramienta en el aula está instaurado y diversos autores justifican su uso en el aula (García e Izquierdo, 2017; Santana y Clement, 2015; Vargas y Araya, 2013), puesto que por sus características permite, especialmente en las ramas de geometría y álgebra, una comprensión profunda en el aula de matemáticas. En este sentido, se están generando multitud de recursos vinculados con todas las ramas de las matemáticas para trabajar en el aula en diferentes etapas (Pereiro, 2020; Pereiro y Cayetano, 2021) y se está poniendo de manifiesto en las formaciones del profesorado, ya que ofrece una amplia variedad de posibilidades para su uso en el aula (Bolaños y Ruiz-Hidalgo, 2018; Dockendorff y Solar, 2016; Esteban, 2016). Con las nuevas utilidades se han diseñado multitud de *applets* que permiten ser reutilizados por el profesorado. Entre estos *applets* aparecen los que hacen las veces de simuladores y de generadores de ejemplos y ejercicios que permiten trabajar las medidas de tendencia central y de dispersión en forma de simulador, entendiendo simulación como una aplicación interactiva en la que el usuario observa e interactúa con un fenómeno, modificando alguno de los parámetros que lo definen para obtener resultados. Un ejemplo de *applets* de simulación aparece en la figura 1.

FIGURA 1. Ejemplo de un *applet* de simulación de lanzamiento de un dado



Fuente: ejercicios interactivos con GeoGebra para el trabajo con estadística (Lillo, 2022).

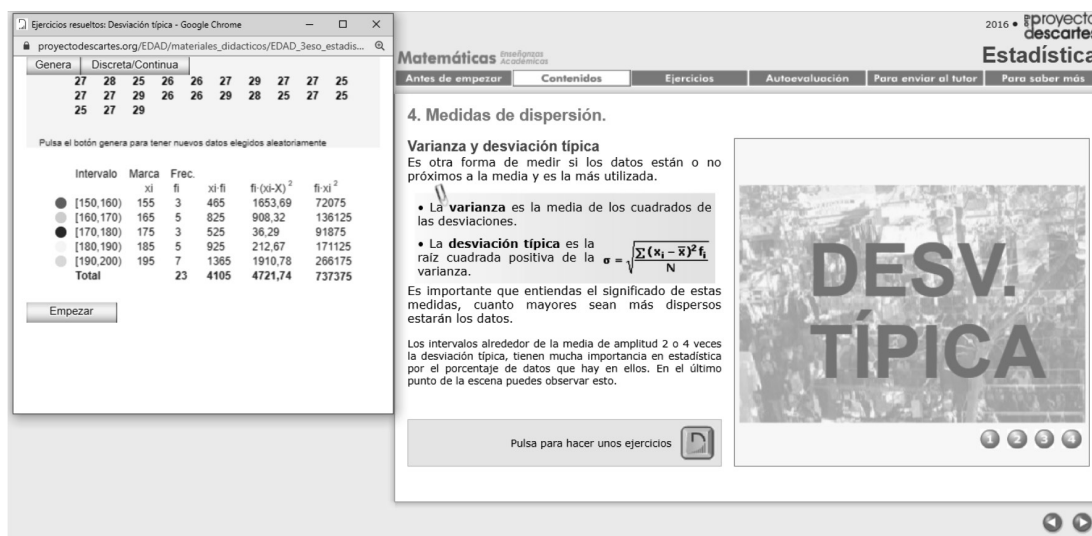
Como puede verse en la figura 1, con cada botón se producen diferentes cambios que afectan al cálculo de las medidas de tendencia central que se pueden calcular y después comprobar las respuestas dadas. Por otro lado, se ha optado por otra herramienta *online*, el Proyecto Descartes, que es una red que según palabras de su propia página web Proyecto Descartes es una “Asociación no gubernamental que promueve la renovación y cambio metodológico en los procesos de aprendizaje y enseñanza de las matemáticas y en otras áreas de conocimiento, utilizando los recursos digitales interactivos generados en el Proyecto Descartes” (Proyecto Descartes, 2022). En la figura 2 se puede ver una de las páginas de materiales que ofrece el Proyecto Descartes.

La página del Proyecto Descartes tiene una serie de *applets* que también son simulaciones y que permiten obtener tanto ejemplos como ejercicios sobre el trabajo con las medidas de tendencia central, así como con las de dispersión. Con

respecto a las investigaciones sobre el uso del Proyecto Descartes en el aula, existe también un gran número de ellas que pone de manifiesto que su uso beneficia al estudiantado en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Ávila *et al.*, 2016; Núñez, 2005). Existen además investigaciones que prueban los beneficios que tiene el uso de los recursos del Proyecto Descartes (Jiménez, 2017; Karin y Hernández, 2011; Muga, 2007; Pérez, 2001).

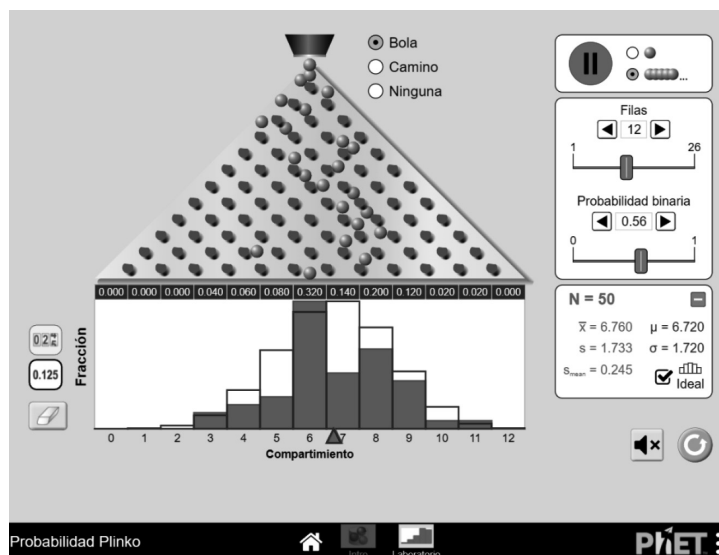
Por último, la tercera de las herramientas seleccionadas y que es un simulador completo es el conocido como Plinko, y forma parte de los simuladores generados y tratados en Phet Colorado, especializado en la creación de diferentes simuladores para diferentes materias entre las que se incluyen las matemáticas, que es la que aquí nos compete. En la figura 3 puede verse cómo actúa la simulación en la que se observa cómo aunque está pensado para trabajar la probabilidad, también admite el trabajo con estadísticos, ya que en la parte de abajo y a la

FIGURA 2. Página del Proyecto Descartes para trabajar la estadística



Fuente: tomado de Proyecto Descartes (2022).

FIGURA 3. Página de trabajo de Plinko de Phet Colorado



Fuente: tomado de PhET (2022).

derecha aparecen tanto la media como la desviación típica y los datos ideales.

Esta herramienta ha sido muy utilizada en el aula y, mientras que existen muchas investigaciones

de su uso en el aula de ciencias, en el caso de matemáticas todavía no se han explorado todas sus posibilidades, aunque ya hay estudios que prueban su eficacia en el aula de matemáticas de diferentes niveles (Hensberry *et al.*, 2018;

Meadows y Caniglia, 2019; Sokolowski *et al.*, 2011). En la figura 3 puede verse la simulación explicada anteriormente.

Método

Muestra

En este estudio se ha tomado una muestra de estudiantes de primer curso en una universidad de Ecuador, más concretamente de la asignatura Lenguaje Cuantitativo. Dicha muestra estuvo compuesta por 113 estudiantes (media de edad 19.177 y desviación típica de 1.969) con una formación homogénea, de los cuales 59 eran hombres y 54 mujeres, es decir, que es un grupo paritario. Dicho grupo se dividió en 2 subgrupos, el primero de ellos, el control, estuvo compuesto por 55 estudiantes, de los cuales 32 eran hombres y 23 mujeres, mientras que el grupo experimental lo conformaron 58 estudiantes de los que 27 eran hombres y 31 mujeres.

Procedimiento

Para poder llevar a cabo la actividad, antes de nada, se debían separar los estudiantes en dos grupos que fueran homogéneos en cuanto a los conocimientos sobre estadística antes de comenzar. Para ello, se diseñó y utilizó un test de ideas previas que incluía varias preguntas sobre el cálculo de media, moda y mediana tanto en datos no agrupados como agrupados. Con los resultados obtenidos en dicho test, se procedió a dividir el estudiantado en 2 grupos de forma que fueran homogéneos, es decir, los conocimientos que tenían ambos grupos eran similares, hecho que fue corroborado por el profesorado implicado en el proceso.

Una vez asignado el estudiantado a los grupos, en el grupo experimental se realizaron las experiencias diseñadas utilizando Plinko de Phet Colorado, GeoGebra y Proyecto Descartes para

trabajar en clase. Se utilizaron estas herramientas ya que se ajustan a los contenidos de la materia de manera sencilla, interactiva, de acceso libre, asincrónica, de carácter formativo y con la posibilidad de realizar múltiples simulaciones mediante ejemplos y varios ejercicios. Por otra parte, con el grupo control, la docencia se impartió de forma habitual, mediante la realización de actividades, pero sin usar laboratorios virtuales, es decir, a través del uso de la pizarra para realizar ejemplos y ejercicios que ilustraran los conocimientos. Dichas actividades consistieron en realizar cálculos manuales de las medidas de tendencia y dispersión a través de unos datos dados o de tablas de frecuencias de datos agrupados. Cabe mencionar que los ejercicios realizados en ambos grupos llevaron un desarrollo teórico de las medidas de centralización y de dispersión análogo y que las actividades en las que se calculan estas medidas fueron equivalentes, a pesar de que en el grupo de control se desarrollen utilizando fichas de actividades y en el experimental a través de las simulaciones virtuales.

La planificación de la experiencia fue de la siguiente forma:

- Realización del pretest de forma presencial con el profesorado por todo el alumnado, en forma de test *online* a través de Microsoft Forms.
- Asignación de los sujetos a los grupos de forma que ambos grupos sean homogéneos.
- 2 semanas de trabajo de clase en las que cada semana consta de 3 horas lectivas, es decir, en total 6 horas en las que trabajaron ejercicios similares con la única salvedad de que en el grupo control se trabajaron desde hojas de ejercicios mientras que en el grupo experimental lo hicieron a través de las 3 herramientas (GeoGebra, Descartes y Plinko).
- El grupo control trabajó la teoría de la forma usual y en las clases de resolución

de ejercicios practicaron también de forma tradicional, es decir, con una hoja de problemas. Además, las tareas realizadas en casa por parte de los estudiantes también se correspondían con la utilización de cuestionarios en el aula virtual del curso con ejercicios previamente fijados.

- El grupo experimental trabajó la teoría de forma habitual, pero acompañada de diferentes simulaciones durante las clases mediante las herramientas seleccionadas, en especial Plinko (https://phet.colorado.edu/sims/html/plinko-probability/latest/plinko-probability_es.html). Por otro lado, en las sesiones dedicadas a la resolución de ejercicios y a la hora de mostrar ejemplos, también este estudiantado trabajó con todas las herramientas. Además, las tareas realizadas en casa por parte del alumnado se basaban en el uso de las herramientas, en especial Plinko, es decir, no había datos prefijados como los ejercicios del grupo control, sino que utilizaban las simulaciones en las que podían encontrar diferentes ejercicios con datos aleatorios. La planificación del uso de las herramientas ha sido de la siguiente manera:
 - Ejercicios sobre media (*applet* de GeoGebra). Grupo experimental.
 - Ejercicios sobre media y desviación típica con Descartes (Proyecto Descartes, 2022a).
 - Trabajo con Plinko sobre media y desviación típica con las bolas cayendo (Phet, 2022). Grupo experimental.
 - Ejercicios de una hoja con tiradas de dado concretas o datos concretos similares a los que se ven en las herramientas. Grupo control.
- Realización del postest, también de forma presencial con el profesorado, en forma de test *online*, a través de Microsoft Forms.

Variables y herramientas de recolección de datos

Las variables que se van a considerar en este estudio van a ser las calificaciones obtenidas por el estudiantado en el pretest, cuyas preguntas incluían el cálculo de medidas de posición central, tanto para datos agrupados en intervalos como datos no agrupados, y el postest, cuyas preguntas estaban vinculadas con el cálculo y manejo de datos de las principales medidas de tendencia central y, además, se introdujo también el cálculo de las principales medidas de dispersión. Por otro lado, la composición de dichos test tenía una estructura similar, donde se incluyeron varias preguntas de razonamiento teórico, así como práctico. Por último, para el grupo experimental, es decir, aquel que ha usado los laboratorios virtuales, se hizo una pequeña encuesta sobre la utilidad que creían que tenía el uso de dichas herramientas en su aprendizaje. Las preguntas fueron de opción múltiple y de desarrollo. Las herramientas utilizadas son:

- El pretest consta de 10 preguntas.
- El postest consta de 10 preguntas, que incluye la parte de la satisfacción con respecto a la experiencia, en el caso del grupo experimental.

Análisis de datos y pregunta de investigación

Para garantizar que los grupos estudiados eran homogéneos, es decir, que tenían un nivel de conocimientos similar entre ellos con respecto a la estadística descriptiva principal, se realizó un pretest para formar los grupos control y experimental. Una vez formados los grupos, se hizo una comparación de medias entre los grupos control y experimental en el postest para comprobar la efectividad del uso de estas herramientas en el aula de matemáticas. Para ello, se usó la prueba *t* de Student con un nivel de significación de 0.05 para grupos independientes, estableciendo:

- Hipótesis sobre los resultados del pretest en los grupos control y experimental:
 - Hpre_0: no hay diferencias significativas.
 - Hpre_1: sí hay diferencias significativas.
- Hipótesis sobre los resultados del posttest en los grupos control y experimental:
 - Hpost_0: no hay diferencias significativas.
 - Hpost_1: sí hay diferencias significativas.
- Tamaño del efecto: como viene descrito en American Psychological Association (2010), se debe proporcionar el tamaño de efecto, su interpretación y un intervalo de confianza si es posible, para ello se calculará la *d* de Cohen.

Además, se va a proceder con un estudio de las respuestas dadas por el estudiantado en cada una de las preguntas que componen el test, así como los resultados de la encuesta de satisfacción, en ambos casos haciendo uso de la estadística descriptiva.

Resultados

Estadísticos descriptivos para el total de estudiantes

Antes de comenzar con los datos relacionados con la intervención mediante el uso de laboratorios virtuales, se mostrarán los datos de todo el estudiantado de forma conjunta, donde se ponen de manifiesto las dificultades que presentan en el cálculo de las principales medidas de tendencia central. Los datos obtenidos por todo el grupo pueden observarse en la tabla 1.

TABLA 1. Estadísticos descriptivos para el grupo general

Variable	Media	Desviación estándar
Pretest	3.870	1.887
Posttest	5.513	2.387

De los datos de la tabla 1 se observa, a partir de la media obtenida en el pretest, que el conocimiento inicial de las medidas de tendencia central por todo el grupo es muy bajo, mientras que en el posttest, después de dos semanas de trabajo, la nota media alcanzada es ya superior a 5, lo cual lleva a concluir que la experiencia ha sido satisfactoria. A continuación, se estudiará cada grupo por separado para poder observar el efecto de la intervención.

Comparación de las medias de ambos grupos

Para observar si la intervención utilizada es o no efectiva se debe realizar la prueba de Levene para conocer si se debe o no asumir igualdad de varianzas, en este caso, al obtener una significatividad asociada a dicha prueba de 0.493, se deben asumir las varianzas iguales (Rubio-Hurtado y Berlanga-Silvente, 2012). En la tabla 2 pueden verse los resultados obtenidos en la prueba *t* de Student para grupos independientes con las medias de las calificaciones obtenidas en el pretest con un nivel de significación de 0.05. Además, este hecho fue refrendado por el profesorado implicado, ya que el nivel mostrado durante la sesión inicial fue similar en ambos casos, poniendo de manifiesto que era necesaria una intervención por parte del profesorado.

TABLA 2. Resultados obtenidos en la prueba *t* de Student para grupos independientes

Par	Diferencia de medias	Valor de <i>t</i>	Sig. (bilateral)
Pretest (control-experimental)	-0.237	-0.666	0.507

De los datos de la tabla 2 se obtiene que no se puede descartar la igualdad de medias, además el profesorado pudo constatar que los conocimientos de ambos grupos eran similares. Por otro lado, con respecto a las calificaciones obtenidas en el postest, las diferencias entre grupos son evidentes, pero falta por ver si dichas diferencias son significativas, para ello se muestran los datos de la prueba *t* de Student en la tabla 3. A partir de la prueba de Levene, al obtener una significatividad asociada de 0.493, se deben asumir las varianzas iguales.

TABLA 3. Resultados obtenidos en la prueba *t* de Student para grupos independientes

Par	Diferencia de medias	Valor de <i>t</i>	Sig. (bilateral)
Postest (control-experimental)	-2.700	-7.010	0.000

Por lo tanto, se puede observar cómo la diferencia de medias, en este caso de más de 2.7 puntos, es además significativa, con un nivel de significación de 0.05. Por último, es necesario calcular el tamaño de efecto para poder cuantificar dicha diferencia de medias de manera adecuada. Para ello se usará la *d* de Cohen, que es la prueba habitual cuando se quiere comparar el tamaño de efecto de medias de grupos independientes, y que se muestra en la tabla 4.

TABLA 4. Tamaños de efecto computados

Prueba	Tamaño de efecto (<i>d</i> de Cohen)	Ext. inf. intervalo	Ext. sup. intervalo
Pretest (control-experimental)	-0.125	-0.499	0.248
Postest (control-experimental)	-1.131	-1.439	-0.822

De la tabla 4 puede desprenderse que el tamaño de las diferencias en el caso del pretest es ínfimo, mientras que, por el contrario, en el postest se observa que las diferencias son significativas y además el tamaño de efecto asociado es de 1.131, por lo que se engloba en la categoría de alto (Sullivan y Feinn, 2012). Este valor del tamaño de efecto supone que el 87.1% de los estudiantes del grupo experimental, el que ha trabajado con los laboratorios y simulaciones virtuales, estará por encima de la media del grupo control. Además, hay un 78.8% de probabilidad de que una persona elegida al azar del grupo experimental tenga una puntuación más alta que una persona elegida al azar del grupo control (Psychology, 2022).

Análisis de cada una de las preguntas

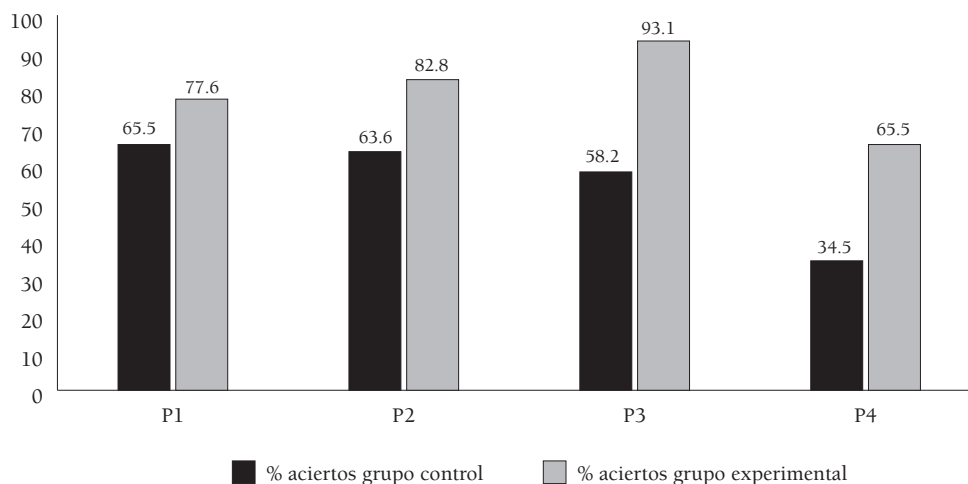
Respuestas de preguntas de teoría aplicada

El análisis pormenorizado de las respuestas que ha dado el estudiantado comienza con la primera parte, que no se corresponde con el simple cálculo, sino con la comprensión del cálculo y de lo que significa. Así, en esta primera parte se incluyen 4 preguntas:

- P1: si tiramos un dado 7 veces y obtenemos los siguientes resultados (5, 3, 2, 1, 2, 1, 6), ¿qué número debe salir en la octava tirada para que el 2 no sea moda?
- P2: escribe las edades de 11 personas de manera que la moda y la mediana sean 15 años, de forma que todos los datos no sean 15.
- P3: ¿qué tiene que ocurrir para que la varianza de un conjunto de datos sea 0?
- P4: ¿qué tiene que ocurrir para que la desviación típica de un conjunto de datos sea negativa?

Como puede verse, se trata de trabajar conceptos, pero desde una perspectiva en la que deben demostrar que comprenden su significado y lo que su cálculo involucra. Así, el porcentaje de respuestas correctas por parte del grupo control y del grupo experimental puede verse en la figura 4.

FIGURA 4. Porcentaje de respuestas acertadas por cada grupo



En la figura 4 puede verse cómo en todas las preguntas de esta parte el grupo experimental obtiene un mayor porcentaje de aciertos que el control, especialmente las preguntas P3 y P4, relacionadas con la dispersión en términos de varianza y desviación típica, donde el porcentaje de respuestas acertadas es de más de un 30% en el grupo experimental que en el control. La diferencia de porcentaje de aciertos en la pregunta P1, vinculada con tirar los dados, es un 12% superior en el grupo experimental. Por otro lado, en la segunda pregunta, relacionada con las edades, las respuestas correctas dadas por el grupo experimental son casi un 20% superiores que en el grupo control.

Respuestas de preguntas prácticas

El análisis pormenorizado de las respuestas que ha dado el estudiantado prosigue con la segunda parte, que se corresponde con la aplicación de los conocimientos adquiridos en el cómputo de diferentes medidas de tendencia central y de dispersión.

- P5: cómputo de la moda con datos no agrupados.
- P6: cómputo de la media con datos no agrupados.

- P7: cómputo de la mediana de datos agrupados.
- P8: cómputo de la moda de datos agrupados.
- P9: cómputo de la media de datos en tabla.
- P10: cómputo de la desviación típica de datos en tabla.

Se trata de trabajar todos los conceptos desarrollados durante el periodo que ha durado la experiencia. Los porcentajes de acierto por cada uno de los grupos involucrados quedan recogidos en la figura 5 y puede verse cómo los resultados alcanzados por el grupo que ha trabajado con los laboratorios virtuales son superiores a los de aquellos que trabajaron de forma tradicional, poniendo de manifiesto que el uso de los laboratorios virtuales ha ayudado a la comprensión de los procedimientos y procesos involucrados.

Al igual que sucedía en la parte de teoría aplicada, en esta segunda parte más teórico-práctica puede verse cómo de nuevo en cada una de las preguntas, el porcentaje de aciertos del grupo experimental es superior al del grupo control. Destacan las preguntas P5, relativa al cómputo de la moda en datos no agrupados, P7, vinculada al cómputo de la mediana en

FIGURA 5. Porcentaje de respuestas acertadas por cada grupo en la segunda parte de la prueba

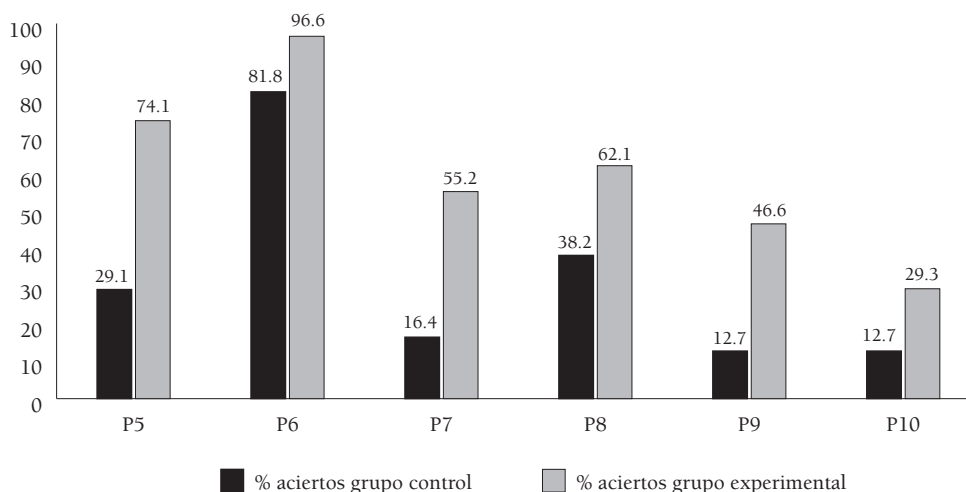


FIGURA 6. Respuestas a las preguntas de opinión sobre la utilidad de las herramientas



datos agrupados, y P9, en la que debían calcular la media de unos datos que se proporcionaban en una tabla, donde las diferencias en porcentaje de aciertos superan el 30%, por lo que, en estos casos, el uso de laboratorios virtuales en los sujetos del grupo experimental ha ayudado en la

comprensión y cómputo de dichos estadísticos. Otro hecho que destaca es que mientras que en el grupo control el 50% de aciertos únicamente se produce en esta parte en la pregunta P6, en el grupo experimental se produce en las preguntas P5, P6, P7 y P8, por lo que la mayoría de los

estudiantes del grupo que ha usado los laboratorios virtuales ha comprendido los procedimientos y conceptos involucrados.

Análisis de la satisfacción del estudiantado

Además de utilizar las herramientas, también se quería conocer la satisfacción del estudiantado con respecto a su uso y si creían que les habían ayudado o no. Para ello, se incluyeron 3 preguntas en el cuestionario:

- PO1: ¿crees que usar los laboratorios virtuales te ha ayudado a comprender mejor la asignatura?
- PO2: ¿cuánto te han ayudado los laboratorios virtuales?
- PO3: ¿cuánto te han gustado las herramientas utilizadas?

Las respuestas dadas por el estudiantado quedan recogidas en la figura 6 de forma resumida.

De los datos de la figura 6, se desprende que el 91.4% de los encuestados ha afirmado que el uso de los laboratorios virtuales les ha ayudado con la comprensión de la asignatura, en especial el temario relacionado con la estadística descriptiva, que es el que se ha tratado. Por otro lado, destaca que en la cuantificación de cuánto creen que les ha ayudado, el 83.1% afirman que entre bastante y mucho, el 6.9% que poco, y el resto no respondió. Por último, con respecto a cuánto les han gustado las herramientas trabajadas, la nota media obtenida es de 8.651 sobre 10, es decir, una nota muy alta donde se observa que casi el 60% de los encuestados otorgan una nota de 9 o 10.

Conclusiones

En primer lugar, y a tenor de los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas de comparación de medias, puede concluirse que el grupo

que trabajó con los laboratorios virtuales obtuvo resultados mucho mejores que el grupo que trabajó de forma tradicional, en concreto más de 2.7 puntos de formas significativa con un nivel de significación de 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula del postest y se debe aceptar la hipótesis alternativa, relativa a los resultados del postest, ya que las diferencias existentes son significativas y tienen un tamaño de efecto grande. Por otro lado, teniendo en cuenta el tamaño de efecto, las diferencias antes de comenzar eran despreciables y, además, no significativas con un nivel de significación de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis de igualdad de resultados en el pretest, lo cual reafirma la idea de que el uso de estas herramientas ha sido beneficioso para el estudiantado que ha participado en la experiencia. Estas conclusiones concuerdan con las obtenidas por Inzunza (2010), Del Pino (2013) y Díaz (2018). Asimismo, el uso de ordenadores para la enseñanza de estadística ya había sido recomendado por Godino (1995), Batanero *et al.* (1998) y Batanero *et al.* (2002), entre otros, y este estudio contribuye, dados los buenos resultados, a reforzar las conclusiones de todos esos estudios en los que se destacan las posibilidades del uso de ordenadores para trabajar la estadística.

Por otro lado, destaca también el hecho de que el uso de tecnologías de la información y la comunicación fomentan la motivación del estudiantado (Córdoba, 2014; Mercado *et al.*, 2019; Rosero, 2018) y son una herramienta que debe considerarse para el trabajo en clase. Este estudio, de nuevo, pone el foco en que el uso de este tipo de herramientas —y considerando las respuestas dadas por el estudiantado— hace que su motivación incremente, otorgándole a las propias herramientas una nota media de más de 8.6 puntos en su global.

Además, teniendo en cuenta que el estudiantado asegura en su gran mayoría (91.4%) que las herramientas seleccionadas les han servido para aprender estadística, que era el propósito final de esta investigación, se puede concluir que la

selección de herramientas ha sido adecuada y que la planificación desarrollada ha sido efectiva. Asimismo, en cuanto a la cuantificación por parte del estudiantado sobre la ayuda que han brindado las herramientas, se observa cómo más del 84% han determinado que ha sido bastante o mucha, por lo que también se refuerza la idea de la eficacia del uso de diferentes tecnologías en el aula de matemáticas en educación superior.

La efectividad de las herramientas combinadas ha demostrado ser muy eficaz, tanto en la comprensión de los conceptos recogida en las primeras 4 preguntas del postest, donde se ha obtenido mejora en todas ellas, y que están vinculadas con la aplicación de conocimientos más

teóricos, como en las últimas 6, que son más aplicadas, donde también se ha producido una mejora en todas y cada una de las respuestas, por lo que la eficacia se ha puesto de manifiesto, concordando con los estudios de Inzunza (2010), Del Pino (2013), Díaz (2018), Godino (1995), Batanero *et al.* (1998) y Batanero *et al.* (2002).

Agradecimientos

Este trabajo se ha llevado a cabo como parte del proyecto FGE.DGS.20.14, Metodologías y Herramientas Docentes para la Enseñanza de Matemáticas, concedido por la Universidad de Las Américas.

Referencias bibliográficas

- American Psychological Association (2010). *Publication manual of the American Psychological Association* (6th ed.).
- Andriani, T., Ulya, N. H. A., Alfiana, T. P., Solicha, S., Hafsari, S. B. A. e Ishartono, N. (2022). Improving student's critical thinking skill in mathematics through GeoGebra-based flipped learning during pandemic Covid-19: an experimental study. *Journal of Medives: Journal of Mathematics Education IKIP Veteran Semarang*, 6(1), 49-66. <https://doi.org/10.31331/medivesveteran.v6i1.1901>
- Arbain, N. y Shukor, N. A. (2015). The effects of GeoGebra on students' achievement. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 172, 208-214. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.356>
- Arcavi, A. y Hadas, N. (2000). Computer mediated learning: an example of an approach. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 5(1), 25-45. <https://doi.org/10.1023/A:1009841817245>
- Arce, M., Conejo, L. y Muñoz, J. M. (2019). *Aprendizaje y enseñanza de las matemáticas*. Síntesis.
- Artigue, M. (2007). Tecnología y enseñanza de las matemáticas: desarrollo y aportaciones de la aproximación experimental. En E. Mancera y C. Pérez, *Historia y prospectiva de la educación matemática. XII Conferencia Interamericana de Educación Matemática* (pp. 8-21).
- Ávila, C. S., García, M. A., Doñate, A. C. y Fanego, R. M. M. (2016). Proyecto Descartes: desarrollo de carrera en estudiantes de la Universidad Politécnica de Madrid. *La Cuestión Universitaria*, 5, 45-57.
- Bajpai, M. y Kumar, A. (2015). Effect of virtual laboratory on students' conceptual achievement in physics. *International Journal of Current Research*, 7(2), 12808-12813.
- Batanero, C., Godino, J. D., Vallecillos, A., Green, D. R. y Holmes, P. (1994). Errors and difficulties in understanding elementary statistical concepts. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 25(4), 527-547. <https://doi.org/10.1080/0020739940250406>
- Batanero, C., Godino, J. D. y Estepa, A. (1998). *La construcción del significado de la asociación mediante actividades de análisis de datos: reflexiones sobre el papel del ordenador en la enseñanza de la estadística*. Segundo Simposio Nacional de la SEIEM.

- Batanero, M. D. C., Godino, J. D. y Castro, A. E. (2002). La construcción del significado de la asociación mediante actividades de análisis de datos: reflexiones sobre el papel del ordenador en la enseñanza de la estadística. En *Segundo Simposio de la Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática* (pp. 169-185). Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática (SEIEM).
- Bolaños, C. y Ruiz-Hidalgo, J. F. (2018). Demostrando con GeoGebra. *Números. Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 99, 153-171.
- Cabero-Almenara, J., Palacios-Rodríguez, A. (2021). La evaluación de la educación virtual: las e-actividades. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(2), 169-188. <https://doi.org/10.5944/ried.24.2.28994>
- Casillas-Martín, S., Cabezas-González, M., Ibarra-Saiz, M. y Rodríguez-Gómez, G. (2020). El profesorado universitario en la sociedad del conocimiento: manejo y actitud hacia las TIC. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 72(3), 45-63. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2020.76746>
- Castillo, S. (2008). Propuesta pedagógica basada en el constructivismo para el uso óptimo de las TIC en la enseñanza y el aprendizaje de la matemática. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 11(2), 171-194.
- Cebrián-Cifuentes, S., Ros, C., Fernández-Piqueras, R., Guerrero, E. (2021). Análisis de la competencia digital docente y uso de recursos TIC tras un proceso de intervención universitario, basado en la implementación de una metodología innovadora de gamificación. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 73(2), 41-61. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.87134>
- Córdoba, F. (2014). Las TIC en el aprendizaje de las matemáticas: ¿qué creen los estudiantes? Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación.
- Del Pino, J. (2013). El uso de GeoGebra como herramienta para el aprendizaje de las medidas de dispersión. *Probabilidad Condicionada: Revista de Didáctica de la Estadística*, 2, 243-250.
- Díaz, J. E. (2018). Aprendizaje de las matemáticas con el uso de simulación. *Sophia*, 14(1), 22-30. <https://doi.org/10.18634/sophiaj.14v.1i.519>
- Díez-Gutiérrez, E. J., Gajardo, K. (2021). Evaluación online en educación superior en tiempos de coronavirus. ¿Qué piensan los estudiantes? *Bordón, Revista de Pedagogía*, 73(1), 39-57. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.86058>
- Dockendorff, M. y Solar, H. (2016). Formación de profesorado: conceptualización del uso del software GeoGebra en la enseñanza de la matemática en educación media como parte de la didáctica de la disciplina. *RECHIEM. Revista Chilena de Educación Matemática*, 10(1), 92-99.
- Esteban, C. G. (2016). GeoGebra: ¿un juguete para el profesorado o una herramienta para su alumnado? *Uno Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 71, 26-32.
- García, J. G. J. e Izquierdo, S. J. (2017). GeoGebra, una propuesta para innovar el proceso enseñanza-aprendizaje en matemáticas. *Revista Electrónica sobre Tecnología, Educación y Sociedad*, 4(7). <https://www.ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/654>
- Godino, J. D. (1995). ¿Qué aportan los ordenadores a la enseñanza y aprendizaje de la estadística? *UNO*, 5, 45-56.
- Graus, M. E. G. (2020). Escala estadística y software para evaluar coherencia didáctica en procesos de enseñanza-aprendizaje de matemáticas. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 11(1), 140-165.
- Grisales-Aguirre, A. M. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas. *Entramado*, 14(2), 198-214. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4751>
- Gunawan, G. y Liliasari, L. (2012). Model virtual laboratory Fisika Modern untuk meningkatkan keterampilan generik sains calon guru. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 20(1), 185-199.
- Hensberry, K., Moore, E. y Perkins, K. (2015). Effective student learning of fractions with an interactive simulation. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 34(3), 273-298.

- Hensberry, K. K., Whitacre, I., Findley, K., Schellinger, J. y Wheeler, M. B. (2018). Engaging students with mathematics through play. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 24(3), 179-183. <https://doi.org/10.5951/mathteacmiddscho.24.3.0179>
- Hitt, F. (1996). Educación matemática y uso de nuevas tecnologías. En L. M. Santos, E. Sánchez (eds.), *Perspectivas en educación matemática*. Cinvestav (pp. 22-44).
- Hosseini, Z., Mehdizadeh, M. y Sadegi, M. (2022). Using GeoGebra in teaching geometry to enhance students' academic achievement and motivation. *Innovare Journal of Education*, 10(3), 34-38. <https://doi.org/10.22159/ijoe.2022v10i3.44792>
- Inzunsa, S. (2010). Entornos virtuales de aprendizaje: un enfoque alternativo para la enseñanza y aprendizaje de la inferencia estadística. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 15(45), 423-452.
- Jiménez, R. (2017). *El Proyecto Descartes en el aula*. En FESPM, Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas (ed.), *VIII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática* (pp. 443-452). FESPM.
- Karin, C. y Hernández, J. (2011). Matemáticas: web mágica para aprender y disfrutar de las matemáticas. *Números. Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 77, 151-156.
- Li, K. Y. y Shen, S. M. (1992). Students' weaknesses in statistical projects. *Teaching Statistics*, 14(1), 2-8. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9639.1992.tb00195.x>
- Lillo, N. (2022). *Estadística*. <https://www.geogebra.org/m/byRjTjMQ#material/N4XVJ8Yj>
- Loosen, F., Lionen, M. y Lacante, M. (1985). The standard deviation: some drawbacks of an intuitive approach. *Teaching Statistics*, 7(1), 2-5. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9639.1985.tb00560.x>
- López-Sánchez, A. Y. y González-Lara, A. L. (2021). Evaluación de un juego serio que contribuye a fortalecer el razonamiento lógico-matemático en estudiantes de nivel medio superior. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 221-243. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27450>
- Majerek, D. (2014). Application of Geogebra for teaching mathematics. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 8(24), 51-54. <https://doi.org/10.12913/22998624/567>
- Meadows, M. L. y Caniglia, J. C. (2019). Using PhET simulations in the mathematics classroom. *The Mathematics Teacher*, 112(5), 386-389. <https://doi.org/10.5951/mathteacher.112.5.0386>
- Medina, L., Jaquez, J., Noguez, J. y García, R. M. (2013). *Newton GymLab: gimnasio-laboratorio virtual de física y matemática*. Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey. <http://hdl.handle.net/11285/621356>
- Mercado, A. E., Sánchez, E. y Rodríguez, A. V. (2019). Estrategias de motivación en ambientes virtuales para el autoaprendizaje en matemáticas. *Revista Espacios*, 40(12).
- Miranda, M. y Sacristán, A. (2013). Lack of sense of purpose in the use of technology for mathematical teaching. *Proceedings de 11th International Conference on Technology in Mathematics Teaching* (pp. 200-205).
- Mosquera-Gende, I. (2021). El desarrollo de la competencia digital de futuros docentes en una universidad en línea. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 73(4), 121-143. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2021.89823>
- Muga, J. M. (2007). Descartes: un proyecto para ver y hacer matemáticas. *Matematicalia: Revista Digital de Divulgación Matemática de la Real Sociedad Matemática Española*, 3(1).
- Muñoz-Rodríguez, L. y Rodríguez-Muñoz, L. J. (2021). Análisis de la práctica docente en el ámbito de la educación estadística en educación secundaria. *Revista Paradigma*, 42(n.º extra 1), 191-220. <https://doi.org/10.37618/PARADIGMA.1011-2251.2021.p191-220.id1023>
- Núñez, Á. N. (2005). El Proyecto Descartes: matemáticas interactivas en Internet. *Boletín de la Sociedad Puig Adam de Profesores de Matemáticas*, 71, 47-64.
- Olivo-Franco, J. L. y Jaar, J. C. (2020). De los entornos virtuales de aprendizaje: hacia una nueva praxis en la enseñanza de la matemática. *Revista Andina de Educación*, 3(1), 8-19. <https://doi.org/10.32719/26312816.2020.3.1.2>

- Pereiro, D. (2020). Descubriendo las cúpulas geodésicas con GeoGebra. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 93, 51-60.
- Pereiro, D. y Cayetano, J. (2021). Flores: del jardín a GeoGebra. *Unión, Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 17(62), 1-20. <https://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/331>
- Pérez, A. (2001). El Proyecto Descartes: visualizar las matemáticas. *Suma*, 38, 107-110.
- Pérez-López, E., Atochero, A. V. y Rivero, S. C. (2021). Distance education in COVID-19's period: an analysis from the perspective of university students. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 331-350. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27855>
- PhET (2022). Probabilidad Plinko. https://phet.colorado.edu/sims/html/plinko-probability/latest/plinko-probability_es.html
- Pollatsek, A., Lima, S. y Well, A. D. (1981). Concept or computation: students' understanding of the mean. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 191-204. <https://doi.org/10.1007/BF00305621>
- Prendes-Espinosa, M. P. y Cartagena, F. C. (2021). Advanced technologies to face the challenge of educational innovation. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 35-53. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.28415>
- Proyecto Descartes (2022a). Estadística. https://proyectodescartes.org/EDAD/materiales_didacticos/EDAD_3eso_estadistica-JS-LOMCE/index.htm
- Proyecto Descartes (2022b). Volumen VII de la publicación periódica "Recursos educativos interactivos de RED Descartes". <https://proyectodescartes.org/descartescms/blog/ifuion/item/4142-volumen-vii-de-la-publicacion-periodica-recursos-educativos-interactivos-de-red-descartes>
- Psychology (2022). *What does effect size tell you?* <https://www.simplypsychology.org/effect-size.html>
- Rosero, J. R. (2018). Impacto del uso de las TIC como herramientas para el aprendizaje de la matemática de los estudiantes de educación media. *Cátedra*, 1(1), 70-91. <https://doi.org/10.29166/catedra.v1i1.764>
- Rubio-Hurtado, M. J. y Berlanga-Silvente, V. (2012). Com aplicar les proves paramètriques bivariades t de Student i ANOVA en SPSS. Cas pràctic. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca En Educació*, 5(2), 83-100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Rueda, K. L. y Rodríguez-Muñiz, L. J. (2020). Estrategia tecnológica para nivelar los presaberes matemáticos en la educación superior. En *IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red* (pp. 357-365). Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/INRED2020.2020.11979>
- Saha, R. A., Ayub, A. F. M. y Tarmizi, R. A. (2010). The effects of GeoGebra on mathematics achievement: enlightening coordinate geometry learning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 8, 686-693. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.12.095>
- Salas-Rueda, R. A. (2018). Uso del modelo TPACK como herramienta de innovación para el proceso de enseñanza-aprendizaje en matemáticas. *Perspectiva Educacional*, 57(2), 3-26. <http://dx.doi.org/10.4151/07189729-vol.57-iss.2-art.689>
- Sangwin, C. (2007). A brief review of GeoGebra: dynamic mathematics. *Msor Connections*, 7(2), 36-38.
- Santana, N. y Climent, N. (2015). Conocimiento especializado del profesor para la utilización de GeoGebra en el aula de matemáticas. *Números*, 88, 75-91.
- Setiawan, A., Malik, A., Suhandi, A. y Permanasari, A. (2018). Effect of higher order thinking laboratory on the improvement of critical and creative thinking skills. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 306(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/306/1/012008>
- Sokolowski, A., Yalvac, B. y Loving, C. (2011). Science modelling in pre-calculus: how to make mathematics problems contextually meaningful. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 42(3), 283-297. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2010.526255>
- Sosa, M. y Valverde, J. (2020). Perfiles docentes en el contexto de la transformación digital de la escuela. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 72(1), 151-173. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2020.72965>

- Stuckey-Mickell, T. y Stuckey-Danner, B. (2007). Virtual labs in the online biology course: student perceptions of effectiveness and usability. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching*, 3(2), 105-111.
- Sullivan, G. M. y Feinn, R. (2012). Using effect size—or why the P value is not enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279-282. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
- Tatli, Z. y Ayas, A. (2010). Virtual laboratory applications in chemistry education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 9, 938-942.
- Trouche, L. y Drijvers, P. (2010). Handheld technology: flashback into the future. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 42(7), 667-681. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0269-2>
- Tüyüz, C. (2010). The effect of the VLon students' achievement and attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1), 37-53.
- Vargas, G. V. y Araya, R. G. (2013). La enseñanza del teorema de Pitágoras: una experiencia en el aula con el uso del GeoGebra, según el modelo de Van Hiele. *Uniciencia*, 27(1), 95-118.
- Vidal, I. M. G. (2021). Influencia de las TIC en el rendimiento escolar de estudiantes vulnerables. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 351-365. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27960>
- Vidal, I. M. G., Cebreiro-López, B. y Casal-Otero, L. (2021). Nuevas competencias digitales en estudiantes potenciadas con el uso de realidad aumentada. Estudio piloto. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), 137-157. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27501>
- Wijers, M., Jonker, V. y Drijvers, P. (2010). MobileMath; exploring mathematics outside the classroom. *ZDM, The International Journal on Mathematics Education*, 42(7), 789-799. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0276-3>

Abstract

Teaching of descriptive statistics using simulators and virtual laboratories at university level

INTRODUCTION. One of the main objectives of teachers in mathematics subjects at all educational stages is to be able to maintain the attention of students and keep them motivated to learn. The use of educational technologies, as well as the opportunities they provide, allow them to be considered as a powerful ally. **METHOD.** This study presents the use of different virtual laboratories and simulators to learn descriptive statistics in the subject of Quantitative Language in the first university course in Ecuador. To carry out the experience, the scores of a pretest and a posttest designed to measure the acquisition of the statistical competence have been taken. For this, the means of the control groups have been into account, those that have worked in the usual way and the experimental one, in which the work of examples and exercises has been carried out through the use of virtual laboratories and simulators, and compared using the Student's *t*-test for independent groups. **RESULTS.** The comparison of the means obtained by both groups shows that, despite being homogeneous at the beginning, the differences between the experimental and the control group exceed significantly in 2.7 points. **DISCUSSION.** The effect size, Cohen's *d*, obtained was greater than 1, that is, it is large, which allows us to conclude that the joint use of various simulators and virtual laboratories has been very effective to overcome the learning difficulties found in the study of descriptive statistics in the classroom.

Keywords: University laboratories, Statistics, Educational technology, Mathematics education, University.

Résumé

Enseignement des statistiques descriptives par l'utilisation de simulateurs et de laboratoires virtuels au niveau de l'université

INTRODUCTION. L'un des principaux objectifs des enseignants des matières mathématiques à tous les niveaux d'enseignement est de retenir l'attention des étudiants et de les motiver à apprendre. L'utilisation des technologies éducatives, ainsi que les opportunités qu'elles offrent, leur permettent d'être considérées comme des alliées puissantes. **MÉTHODE.** Cette étude présente l'utilisation de différents laboratoires virtuels et simulateurs pour l'apprentissage de la statistique descriptive dans le cours de Langue Quantitative de la première année dans une université en Équateur. Pour mener à bien l'expérience, les résultats d'un pré-test et d'un post-test destinés à mesurer l'acquisition de compétences statistiques ont été pris en compte. Pour cela, nous avons travaillé avec les moyens des groupes de contrôle, ceux qui ont travaillé de manière habituelle, et celles du groupe expérimental, ceux dans lesquels le travail d'exemples et d'exercices a été réalisé grâce à l'utilisation de laboratoires virtuels et de simulateurs, et nous avons réalisé la comparaison par le test t de Student de groupes indépendants. **RÉSULTATS.** La comparaison des moyennes obtenues par les deux groupes montre que, bien qu'homogènes au départ, les écarts entre le groupe expérimental et le groupe contrôle dépassent significativement 2.7 points. **DISCUSSION.** La taille d'effet, d de Cohen, obtenue était supérieure à 1, c'est-à-dire qu'elle est importante, ce qui nous permet de conclure que l'utilisation conjointe de divers simulateurs et de laboratoires virtuels a été très efficace pour surmonter les difficultés d'apprentissage rencontrées dans l'étude de statistiques descriptives en cours.

Mots-clés : *Laboratoire universitaire, Statistiques, Technologie éducative, Enseignement des mathématiques, Université.*

Perfil profesional de los autores

Fernanda Tatiana Cox

Ingeniera en sonido y acústica de la Universidad de Las Américas, Quito. Completó un Máster en Ingeniería Computacional y Matemática. Sus áreas de investigación también incluyen metodologías en la educación matemática en la educación superior.

Universidad de Las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4580-4902>

Correo electrónico de contacto: fernanda.cox@udla.edu.ec

Daniel González

Matemático e ingeniero técnico en informática de gestión. Hizo su doctorado en Matemática Aplicada con especialidad en métodos numéricos para la resolución de ecuaciones no lineales. Además, realizó un Máster en Formación del Profesorado con especialidad en didáctica de las matemáticas. Todas sus calificaciones fueron obtenidas en la Universidad de La Rioja, España. Publica y colabora como revisor en las revistas internacionales más destacadas relacionadas con su área y también tiene funciones de editor. Actualmente es profesor e investigador de la Universidad de Las Américas, Quito, Ecuador. Sus colaboradores son tanto internos del Ecuador como externos internacionales, de

países como Estados Unidos y España. También realiza actividades docentes como la dirección de tesis de maestría en las áreas de Matemáticas e Informática y en Didáctica de las Matemáticas en la Universidad Internacional de La Rioja, también en España.

Universidad de Las Américas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5282-7251>

Correo electrónico de contacto: daniel.gonzalez.sanchez@udla.edu.ec

Ángel Alberto Magreñán

Matemático e ingeniero técnico en informática de gestión. Posteriormente, hizo el Máster en Formación del Profesorado, especialidad matemáticas. Realizó su doctorado en Matemáticas en la Universidad de La Rioja en 2013, obteniendo el premio extraordinario de doctorado. Ha publicado más de 100 artículos en revistas indexadas en las principales bases de datos, así como varios capítulos y libros en editoriales de prestigio internacional. Actualmente es profesor titular e investigador de la Universidad de La Rioja. Sus intereses de investigación se dividen en: matemática aplicada, formación del profesorado y uso de tecnología en el aula de matemáticas.

Universidad de La Rioja, Departamento de Matemáticas y Computación, Logroño, España.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6991-5706>

Correo electrónico de contacto: angel-alberto.magrenan@unirioja.es

Lara Orcos (autora de contacto)

Realizó su tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Valencia en didáctica de las matemáticas en el año 2019, obteniendo el premio extraordinario de doctorado. Sus intereses de investigación están relacionados con la educación matemática, así como con el uso de tecnología en el proceso de enseñanza- aprendizaje de matemáticas en las diferentes etapas educativas. Ha publicado más de 30 artículos en revistas indexadas en las principales bases de datos, además de varios capítulos y libros en editoriales de prestigio internacional. Actualmente es profesora e investigadora de la Universidad de La Rioja.

Universidad de La Rioja, Departamento de Matemáticas y Computación, Logroño, España.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8138-551X>

Correo electrónico de contacto: lara.orcos@unirioja.es

Dirección para la correspondencia: C/Madre de Dios, 53, 26006 Logroño (La Rioja).

EXPERIENCIA *BLENDED LEARNING* APOYADA EN UN LABORATORIO VIRTUAL PARA EDUCACIÓN DE MATERIAS STEM

Blended learning experience supported by a virtual laboratory for STEM subjects training

ELENA ARCE⁽¹⁾, FRANCISCO ZAYAS-GATO⁽¹⁾, ANDRÉS SUÁREZ-GARCÍA⁽²⁾, ÁLVARO MICHELENA⁽¹⁾,
ESTEBAN JOVE⁽¹⁾, JOSÉ-LUIS CASTELEIRO-ROCA⁽¹⁾, HÉCTOR QUINTIÁN⁽¹⁾ Y JOSÉ LUIS CALVO-ROLLE⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Universidade da Coruña (España)*

⁽²⁾ *Centro Universitario de la Defensa de la Armada Española (España)*

DOI: 10.13042/Bordon.2022.95592

Fecha de recepción: 14/07/2022 • Fecha de aceptación: 27/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Francisco Zayas-Gato. E-mail: f.zayas.gato@udc.es

Cómo citar este artículo: Arce, E., Zayas-Gato, F., Suárez-García, A., Michelena, Á., Jove, E., Casteleiro-Roca, J. L., Quintián, H. y Calvo-Rolle, J. L. (2022). Experiencia *blended learning* apoyada en un laboratorio virtual para educación de materias STEM. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 125-143. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95592>

INTRODUCCIÓN. La reciente pandemia provocada por la COVID-19 ha supuesto numerosos cambios en los protocolos de salud pública, así como un profundo impacto socioeconómico. Políticas como el distanciamiento social y los confinamientos han condicionado las relaciones interpersonales y derivado en consecuencias dramáticas para muchas empresas y trabajadores. Concretamente, en el marco educativo, las universidades se han visto obligadas a adaptar las metodologías docentes a causa de las políticas de control implantadas por las autoridades. Por ello, el uso de herramientas para la docencia *online*, combinadas con experiencias en docencia presencial (*blended learning*, BL), constituye un interesante enfoque dentro de este contexto. **MÉTODO.** BL permite la reducción de la ratio de estudiantes por aula, evitando la supresión total de la presencialidad, y permitiendo también aprovechar las ventajas de ambas modalidades. En este sentido, una interesante propuesta es la implementación de un entorno de simulación virtual para estudiantes de ingeniería, cuyo objetivo es la emulación de un sistema real de control de nivel de líquido, disponible en los laboratorios de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol, de la Universidad de A Coruña. Con el objetivo de evaluar el efecto de la metodología BL en el rendimiento académico del alumnado, se compararon las calificaciones obtenidas en el trabajo tutelado en dos cursos académicos. **RESULTADOS.** Para llevar a cabo este trabajo, se propone una experiencia BL apoyada en un laboratorio virtual construido a partir de la integración de dos novedosas la frase correcta sería: “herramientas de *software*”. Factory I/O como sistema de virtualización y emulación de escenas y plantas industriales reales y Node-RED como entorno de programación para el diseño de sistemas de control y comunicación. Con base en los resultados académicos, se concluye que esta metodología tiene un efecto positivo en el rendimiento de los estudiantes. **DISCUSIÓN.** Este entorno realista de simulación y de visualización 3D en tiempo real aporta flexibilidad a los estudiantes facilitando la organización de sus tareas y les permite trabajar de forma autónoma aplicando los conceptos base de la ingeniería de control. Además, esta experiencia BL ayuda a los estudiantes a desarrollar competencias básicas (duras) y transferibles (blandas).

Palabras clave: *Blended learning*, Educación en ingeniería, Aulas virtuales, COVID-19.

Introducción

El impacto de la COVID-19 ha derivado en graves y dramáticas consecuencias para la sociedad a nivel mundial. Desde la declaración de pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mayoría de los Gobiernos han aplicado medidas urgentes con el objetivo de prevenir la rápida propagación del coronavirus y evitar el colapso de los centros sanitarios. En este contexto, con la aplicación de políticas de restricción de movilidad la sociedad se ha visto obligada a adaptarse a esta nueva situación, condicionando notablemente tanto la vida laboral como las relaciones sociales (R.D.L. 21/2020, de 9 de junio; R.D. 926/2020, de 25 de octubre).

Con respecto a la comunidad educativa, la mayoría de los centros han tenido que suspender la actividad docente (Nicola *et al.*, 2020) de forma presencial, atendiendo a las directrices de las autoridades. Por ello, la implantación de la modalidad *online* se ha convertido en esencial para dar continuidad a los cursos. Estas circunstancias han supuesto un reto para estudiantes y profesores, al condicionar notablemente las metodologías docentes (Jena, 2020).

Por otra parte, metodologías docentes como las prácticas de laboratorio, que se realizan en espacios especiales, con equipamiento especializado (laboratorios, aulas de informática, etc.) y con un carácter eminentemente presencial, se han visto especialmente afectadas por estas circunstancias excepcionales, al precisar de material y espacios específicos para su desarrollo. En este sentido, es común que exista una limitación en el número de equipos o herramientas, lo cual hace necesaria la organización de las prácticas de laboratorio en grupos de varios estudiantes. En el contexto de pandemia, no ha sido factible ni recomendable la realización presencial de prácticas en grupos debido a la naturaleza contagiosa del coronavirus SARS-CoV-2. Por ello, surgió la necesidad de proponer una estrategia alternativa. Hay que señalar que los grados STEM (*Science, Technology, Engineering*

and Mathematics), junto con los del ámbito de ciencias de la salud, se han visto especialmente afectados por esta coyuntura, debido a la carga horaria asociada a la realización de prácticas de laboratorio dentro del plan de estudios de las titulaciones.

En el ámbito STEM, las prácticas de laboratorio, entendidas como actividades de aplicación de conocimientos a situaciones concretas y de adquisición de habilidades básicas y procedimentales relacionadas con la materia objeto de estudio, representan un importante complemento a las sesiones expositivas, al poder aplicar ese conocimiento a través del manejo de equipos y la realización de experimentos (De Jong *et al.*, 2013). La literatura ha demostrado que el aprendizaje de la ciencia por indagación, en el que el alumnado realiza investigaciones, en comparación con la enseñanza clásica, que incluye exclusivamente conferencias o demostraciones del profesor, presenta innumerables ventajas (Singer *et al.*, 2005). Las prácticas de laboratorio ofrecen a los estudiantes la oportunidad de interactuar directamente con los materiales y/o equipos utilizando herramientas, técnicas de recogida de datos, modelos y teorías científicas (Comisión Europea, 2007). Si se considera la dificultad de realizar las prácticas de laboratorio de manera presencial, una solución alternativa es el manejo y control remoto de las plantas de laboratorio. Aunque este enfoque es interesante, podría no ser factible en algunos casos, ya que necesita de infraestructura de telecomunicaciones y aplicaciones informáticas a medida para poder acceder a dichos equipos. A esto se suma la carencia de interfaces físicos del equipamiento para poder establecer dicha conexión. Por todo ello, la aplicación de experiencias de aprendizaje mixto o *blended learning* (BL), con el apoyo de modernas herramientas para emulación y virtualización, surgen como una alternativa interesante para abordar esta problemática.

La metodología BL se basa en la combinación de actividades de enseñanza *online* y *offline* (Deschacht y Goeman, 2015). Considerado como un

modelo mixto de aprendizaje, la principal ventaja de esta herramienta es su flexibilidad en términos de planificación para los estudiantes (Fernández-Miranda *et al.*, 2022). Además, BL permite ofrecer una enseñanza personalizada, centrada en las necesidades de los alumnos, brindando también un entorno colaborativo para alumnos y docentes (Al-Samarraie y Saeed, 2018). Una de las desventajas de este método es la alta dependencia tecnológica. Esto podría derivar en un desperdicio de recursos, en caso de que los estudiantes desconozcan la tecnología utilizada (Míguez-Álvarez *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que los estudiantes necesitan desarrollar una combinación de habilidades, adquiriendo competencias básicas (duras) y transferibles (blandas) (Clarke, 2018). El desarrollo de habilidades blandas se considera esencial dentro de la OCDE y la UE, debido a la relevancia de estas habilidades a nivel laboral (Llamas *et al.*, 2019). Además, desde el ámbito educativo universitario se debe promover el desarrollo de competencias y habilidades que no están específicamente incluidas en el currículo, pero que son demandadas en el mercado laboral (habilidades blandas). Sin embargo, los planes de estudio convencionales se desarrollan en función de las competencias básicas o duras (Yildiz *et al.*, 2021). De este modo, los docentes deben promover el desarrollo de competencias o habilidades, por lo que la elaboración de materiales y experiencias no debe centrarse exclusivamente en los contenidos (Rizzi *et al.*, 2020).

En este contexto, es necesario un rediseño de la metodología docente con el apoyo de los últimos avances de las tecnologías de la información (TI). Hoy en día, gracias a la digitalización, es posible la combinación de aplicaciones de *software* para la implementación de laboratorios virtuales (Daniel, 2020). Por ello, se propone la integración de dos aplicaciones: Factory I/O y Node-RED, en el marco de la materia de Tecnología de Sistemas de Control dentro del Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Estas aplicaciones se utilizaron para la construcción

de un escenario virtual que emula el aspecto y el comportamiento de las plantas de laboratorio reales, sirviendo como herramienta de apoyo para una experiencia BL. Adicionalmente, esta propuesta didáctica buscó abordar algunas de las deficiencias encontradas en el diseño de metodologías de aprendizaje virtual convencionales (p. ej., conseguir emular los dispositivos reales tanto en comportamiento como en apariencia) y lograr el desarrollo de habilidades del siglo XXI. La propuesta implicó la integración de la teoría y la práctica, la aplicación de los conocimientos y el desarrollo de habilidades duras y blandas.

Método

Asignatura de Tecnología de Sistemas de Control

El Máster Universitario en Ingeniería Industrial tiene una carga total de 120 ECTS. Es importante destacar que se trata de un máster que habilita para el ejercicio de la profesión de ingeniero industrial (Orden CIN/311/2009). El plan de estudios del Máster Universitario en Ingeniería Industrial consta de dos cursos académicos y está dividido en módulos, siguiendo la estructura que marca la Orden CIN/311/2009.

La asignatura de Tecnología de Sistemas de Control pertenece al Módulo 1 de Tecnologías Industriales, es de carácter obligatorio y tiene una carga total de 3 ECTS. Esta asignatura se imparte en el segundo cuatrimestre del primer curso. El alumnado que accede al máster tiene diversos perfiles, en función de los estudios de grado cursados previamente. Así, tal y como se recoge en la propia memoria, se considera como perfil de acceso recomendado estar en posesión de un título de Grado en Ingeniería Industrial que cumpla la Orden Ministerial CIN/351/2009. Por ello, el planteamiento de la materia, así como la selección de recursos y materiales, debe adaptarse a un amplio abanico de perfiles.

Las actividades formativas de esta asignatura se dividieron en clases magistrales, seminarios de resolución de problemas y prácticas de laboratorio. El sistema de evaluación consistió en un trabajo tutelado que supuso el 100% de la nota final. Los laboratorios virtuales se emplearon, en el presente curso, como metodología para el desarrollo del trabajo tutelado. Las metodologías de evaluación se han mantenido sin modificaciones en los últimos cuatro cursos académicos. Esto es, desde el curso 2018-2019, que fue cuando se realizó la última modificación del plan de estudios del máster.

Participantes

Con el objetivo de evaluar el efecto de la nueva metodología de prácticas de laboratorio virtuales en el rendimiento del alumnado, se compararon las calificaciones obtenidas en el trabajo tutelado en dos cursos académicos: curso 2020-2021 (con prácticas de laboratorio tradicionales presenciales) y curso 2021-2022 (con laboratorios virtuales). Los trabajos tutelados se realizaron en grupos de 2 a 3 estudiantes.

La muestra de estudiantes para el curso 2020-2021 estaba formada por 35 alumnos, de los cuales 10 eran mujeres (28.57%) y 25 eran hombres (71.43%). La edad de los participantes oscilaba entre los 23 y los 42 años ($M = 25.94$, $DT = 3.66$). Se desarrollaron un total de 13 proyectos.

La muestra de estudiantes para el curso 2021-2022 estaba formada por 29 alumnos, de los cuales 6 eran mujeres (20.69%) y 23 eran hombres (79.31%). La edad de los participantes oscilaba entre los 23 y los 38 años ($M = 25.55$, $DT = 3.11$). Se desarrollaron un total de 12 proyectos.

Prácticas de laboratorio tradicionales

Los laboratorios de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol (EPEF) de la Universidad de A Coruña (UDC) están equipados con varias

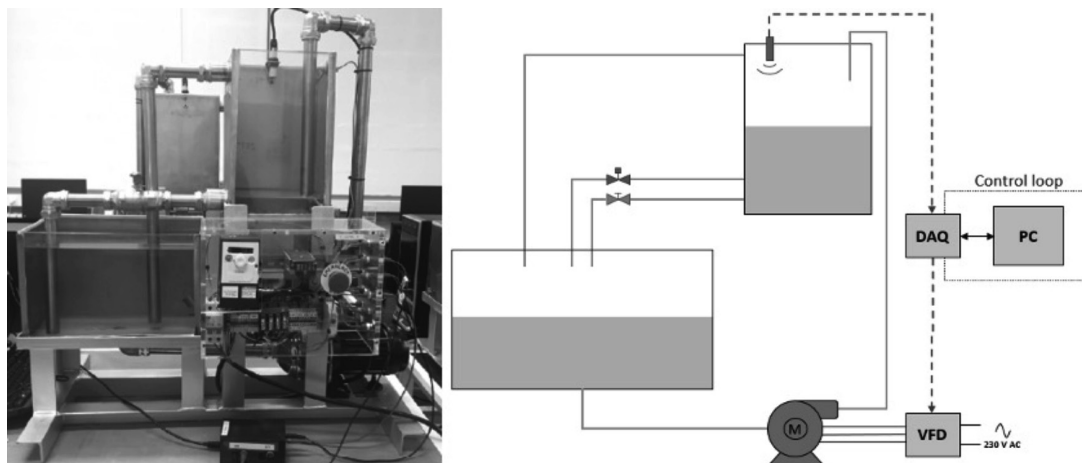
maquetas a escala que emulan plantas industriales reales. Algunos de los procesos más comunes en industria, como el control de temperatura, control de nivel de líquido, etc., son emulados a partir de estas plantas de laboratorio. Este marco permite a los estudiantes recibir formación práctica y trabajar en sus proyectos a través de la interacción física con estos equipos.

Una de las maquetas disponibles en el laboratorio es la planta de control de nivel, usada para realizar experimentos de control de nivel de líquido en el interior de un tanque. Sin embargo, no se dispone de suficientes plantas de control de nivel para trabajar de forma individual, por tanto, es necesario confeccionar varios grupos de estudiantes para cada sesión de laboratorio. En concreto, en los laboratorios de la EPEF hay un total de cinco plantas de control. Esto supone un hándicap en un contexto COVID, ya que se debe respetar el distanciamiento social. Además, el hecho de tener que trabajar exclusivamente en grupo y en los espacios y tiempos disponibles en la EPEF limita el tiempo que los estudiantes pueden interactuar con los equipos de forma individual y, por tanto, también restringe el desarrollo de las competencias.

La planta de nivel está construida a partir de dos tanques a diferentes alturas (figura 1). El tanque inferior cumple la función de reserva de líquido y el superior se emplea para el control de nivel de líquido. Se utiliza una bomba centrífuga para realizar el bombeo desde el tanque inferior al superior. El sistema dispone de una válvula manual y otra eléctrica proporcional para evacuar líquido del tanque superior. Para la medición de nivel, se utiliza un sensor de ultrasonidos analógico. La tasa de llenado del tanque superior se controla a partir de un motor trifásico conectado a la bomba, a su vez controlado por un variador de frecuencia (VFD).

El sistema de control se desarrolla desde un PC, implementando un controlador proporcional integral derivativo (PID). La señal de entrada al controlador PID (señal de error) resulta de la

FIGURA 1. Planta de control de nivel y esquema de control de nivel de líquido



diferencia entre el nivel de líquido deseado (*set point*) y el nivel actual de líquido medido a través del sensor (*process value*). La señal de salida del controlador PID (señal de control o *control signal*) es enviada hacia el VFD a través del DAQ, cerrando el lazo de control.

Nuevos laboratorios virtuales

Planta de control de nivel con Factory I/O

Factory I/O es una herramienta para la simulación de procesos industriales. Su principal objetivo es servir como plataforma de automatización con visualización en 3D (Factory I/O, 2022). Esta herramienta incorpora muchos de los elementos presentes en entornos industriales (p. ej., motores, bombas, sensores, cilindros o cintas de transporte). Esto permite que los estudiantes tengan la posibilidad de integrar los elementos disponibles en la librería del programa y construir una planta industrial customizada o incluso una fábrica virtual completa.

Factory I/O sirve como plataforma de escenas y plantas susceptibles de ser controladas externamente. Sin embargo, no incluye herramientas

de ingeniería de control. Por tanto, se necesitan componentes adicionales para construir un sistema de control completo. Esta herramienta incluye un amplio abanico de protocolos de comunicación (p. ej., OPC UA o Modbus TCP) ampliamente utilizados en aplicaciones industriales. Esto permite controlar las plantas virtuales a partir de *software* de terceros.

FIGURA 2. Virtualización de planta de nivel en 3D con Factory I/O



La figura 2 muestra el modelo virtual de la planta de nivel en 3D creada con Factory I/O que se propone como alternativa a la planta real de laboratorio. La planta virtual comparte muchas características con la real (p. ej., depósito principal de vidrio, válvulas de llenado y vaciado, sensor de nivel, cuadro eléctrico de maniobra). Este diseño aporta una visión realista del equipo a la vez que mejora la experiencia de los estudiantes.

Node-RED

Node-RED es una herramienta de programación gráfica de propósito general para desarrollo a través de navegador web. En los últimos años, su uso se ha extendido debido a su simplicidad y potencial integración en entornos IoT. Esta herramienta puede ser integrada tanto en ordenadores convencionales como en dispositivos electrónicos con recursos limitados, ofreciendo soporte para varios sistemas operativos.

A diferencia de otros lenguajes de programación más comunes, Node-RED se basa en la interconexión de bloques (nodos) (figura 3), a través de los cuales se produce el flujo de información. Por defecto, Node-RED se instala con

una librería básica (*node palette*) con un set de nodos con funcionalidades preconfiguradas. Esto incluye operaciones básicas, funciones *ad hoc*, interfaz gráfico o comunicaciones.

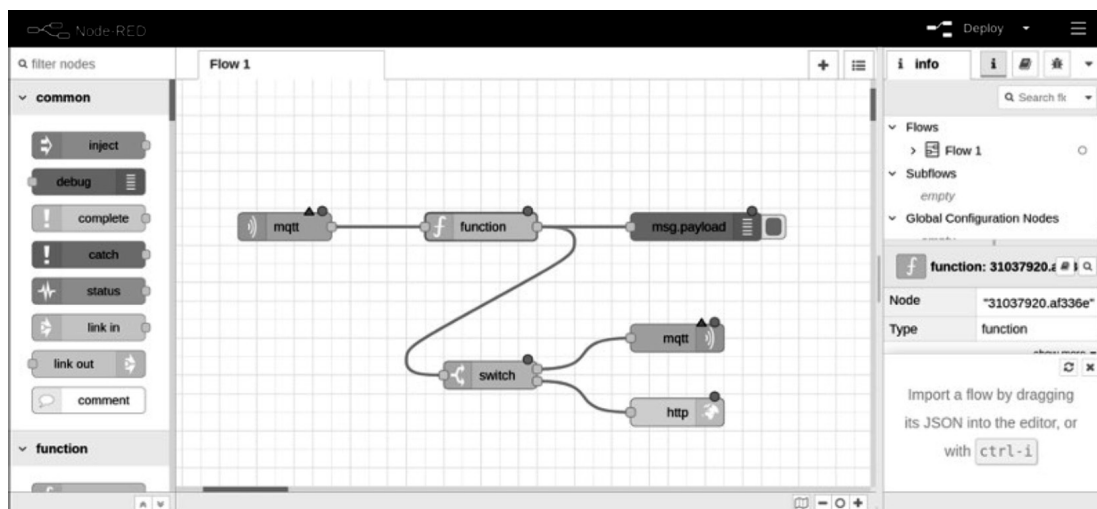
Node-RED no necesita de la instalación de un entorno de desarrollo, ya que cuenta con un servidor web para tal efecto. Esto constituye una importante ventaja, puesto que únicamente se requiere de un PC con navegador web para el desarrollo de aplicaciones. Además, se puede acceder al entorno de programación a través de dispositivos como *smartphones* o *tablets* que se encuentren conectados a la misma red de área local (LAN).

En el ámbito didáctico, la principal ventaja de este *software* reside en su flexibilidad para la integración de protocolos de comunicación industriales y herramientas de ingeniería de control. A través de un único PC permite construir una plataforma completa de ingeniería de control, incorporando e interconectando aplicaciones.

Modbus TCP

Como se ha indicado, es necesario implementar un enlace entre Factory I/O y Node-RED para

FIGURA 3. Entorno de programación de Node-RED



realizar el intercambio de información. Una opción es la integración del protocolo de comunicación Modbus TCP. Modbus se ha convertido en un estándar *de facto* en industria al ser aceptado e implementado por la mayoría de los fabricantes del sector. En los últimos años, se han publicado variantes del protocolo (p. ej., Modbus ASCII, RTU, TCP). El Modbus TCP presenta una gran ventaja en el contexto educativo, ya que permite integrar equipos o aplicaciones dentro de redes LAN existentes. Esto permite ejecutar Factory I/O y Node-RED de forma independiente a través de equipos diferentes. En esta propuesta se buscó la comunicación entre aplicaciones usando los recursos internos del sistema operativo, sin depender de redes locales, y ejecutando las aplicaciones con el uso de un simple PC.

Regulador PID

Aunque existen nuevos algoritmos de control, la mayoría de los controladores de procesos continuos siguen usando la ley de control PID básica. Además, gracias a su simplicidad, el algoritmo de control (Jove *et al.*, 2021) PID puede ser implementado en prácticamente cualquier dispositivo electrónico, incluso con recursos limitados de procesamiento y memoria.

La figura 4 ilustra el esquema tipo de regulador PID en un sistema de control de lazo cerrado. En esta figura se muestran los distintos componentes o nodos del sistema. El *set point* (SP) representa el punto de operación deseado para la planta (p. ej., nivel de agua deseado para el

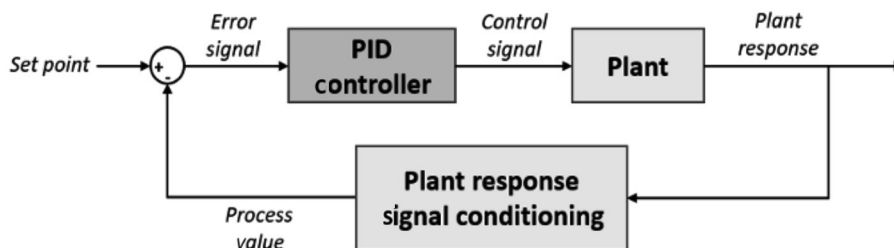
depósito virtual). El *process value* (PV) es el punto actual medido en la planta (p. ej., el nivel actual de agua en el tanque medido a través del sensor de nivel). Para un correcto funcionamiento del sistema, el valor de PV debe ser acondicionado y escalado al mismo rango de trabajo del SP. La señal de error, que es la entrada de control PID, se obtiene como la resultante de la diferencia entre los valores de SP y de PV. La señal de control es calculada y actualizada por el algoritmo de control PID, y representa su salida, la cual es enviada a la planta y cierra el lazo de control.

Etapas

Esta propuesta didáctica se estructura en cuatro etapas:

- *Etapa 1. Construcción entorno virtual.* Esta etapa tiene como objetivo que los alumnos se familiaricen y utilicen Factory I/O para configurar y personalizar la escena del control de nivel. Uno de los integrantes del grupo asume el rol de programador y se encarga de coordinar y dirigir la etapa. Los alumnos deben estudiar las herramientas del programa (p. ej., entorno simulación, *drivers* de comunicación). Se facilita un manual y también ayuda *online* del programa (<https://docs.factoryio.com/manual/>).
- *Etapa 2. Desarrollo programa.* Esta etapa tiene como objetivo que los alumnos empleen el programa Node-RED para aplicar conceptos de ingeniería de control. Los

FIGURA 4. Regulador PID en sistema de control de lazo cerrado



- alumnos deben también implementar el enlace de comunicación entre Node-RED y Factory I/O. Uno de los integrantes del grupo asume el rol de programador y se encarga de coordinar y dirigir la etapa.
- *Etapas 3. Visualización y comprobación de resultados.* Los alumnos deben aplicar técnicas de ingeniería de control para visualizar y comprobar los resultados obtenidos.
 - *Etapas 4. Análisis de resultados.* Se comprueban y comparan los resultados obtenidos. En una sesión práctica se realizan exposiciones grupales de resultados, explicando al resto de grupos la metodología utilizada y las dificultades encontradas. Una vez expuestos todos los trabajos, se analiza la mejor técnica empleada. Esto permite estudiar los motivos que pueden haber llevado a que alguno de los grupos no haya alcanzado los objetivos propuestos.

Metas educativas

Las metas educativas de esta propuesta didáctica pueden ser divididas en dos grupos: metas relacionadas con las habilidades duras y metas relacionadas con las habilidades blandas. Las cinco metas educativas de esta propuesta didáctica son:

- Familiarizarse con la planta experimental.
- Identificar los diferentes métodos para el control de la planta.
- Conocer diferentes herramientas de *software*.
- Gestionar el aprendizaje autónomo.
- Colaborar y comunicarse con los compañeros para el desarrollo de un proyecto.

Uno de los objetivos de esta experiencia es alinear competencias y metodología. Esta actividad busca combinar el trabajo individual y en equipo. Así, en el diseño se utilizaron las áreas de la Escala de Habilidades Blandas de Malasia (My3S), que resume las 36 habilidades blandas clave identificadas por el proyecto SkillsMatch. Las habilidades blandas cubren siete áreas consideradas clave para la empleabilidad: comunicación, pensamiento crítico y resolución de problemas, trabajo en equipo, ética moral y profesional, liderazgo, aprendizaje a lo largo de toda la vida y capacidad de emprendimiento (Abdul-Karim *et al.*, 2012). Las habilidades blandas que se desarrollan en cada etapa de esta práctica se muestran en la figura 5.

Hay habilidades que no se desarrollan en todas las etapas. Cada etapa tiene una serie de características que las hacen distintas. Todas las etapas se realizan en equipo, por lo que esta habilidad es necesaria en todas ellas. El liderazgo es algo que se desarrolla cuando los alumnos

FIGURA 5. Habilidades blandas desarrolladas

	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4
Comunicación				
Pensamiento crítico y resolución de problemas				
Aprendizaje a lo largo de toda la vida				
Trabajo en equipo				
Capacidad de emprendimiento				
Ética moral y profesional				
Liderazgo				

tienen que ponerse de acuerdo y tomar decisiones, de modo que esta habilidad no se desarrolla ni en la etapa 3 ni en la 4. Las etapas 1 y 2, al ser iniciales y clave en el desarrollo y éxito del proyecto, suponen la puesta en práctica de más competencias. La etapa 4, aunque se desarrolla en equipo, consiste en la presentación del proyecto y su evaluación, por lo que tampoco se desarrolla la capacidad de emprendimiento, al igual que en la etapa 3.

La metodología BL puede ser una herramienta eficaz para el cumplimiento de los objetivos educativos de sostenibilidad. Tal y como destaca la UNESCO (Mula y Tilbury, 2009), los docentes tienen un papel clave en la transformación social de cara a una educación para el desarrollo sostenible. Los objetivos de esta experiencia se valoraron en función de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible aprobada por los líderes mundiales en septiembre de 2015. Esta experiencia se centró en 5 de los 17 ODS (figura 6). Cada objetivo se divide en una serie de metas (Naciones Unidas, 2021). Esta actividad contribuye al desarrollo de ocho metas: 4.4, 7.1, 7.b, 9.5, 9.b, 12.1, 12.8 y 13.3. El laboratorio virtual desarrollado busca, aplicando herramientas de control remoto, que el alumnado trabaje en la gestión del consumo de una planta industrial real.

Los laboratorios virtuales, a diferencia de las tradicionales prácticas de laboratorio presenciales, reducen, en gran medida, la barrera económica que, muchas veces, limita o impide la interacción con equipos y el desarrollo de prácticas. Esto contribuye a aumentar el número de estudiantes que desarrollan competencias técnicas y profesionales para el empleo en el ámbito STEM (meta 4.4). No siempre se puede garantizar la eliminación de la barrera económica. El laboratorio virtual presentado requiere del uso de ordenadores y la adquisición de licencias que, aunque tienen un coste reducido, no es nulo. Si queremos que se garantice el acceso a

servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, debemos dar herramientas a los estudiantes de grados STEM que les permitan aprender a optimizar equipos y recursos. Los laboratorios virtuales, como el diseñado, permiten mejorar la tecnología que ayuda a prestar servicios energéticos, lo que contribuye al desarrollo de las metas 7.1 y 7.b. La literatura ha demostrado que el aprendizaje de la ciencia por indagación, en el que los estudiantes realizan investigaciones, en comparación con la enseñanza centrada exclusivamente en lecciones magistrales por parte del profesor, presenta innumerables ventajas (De Jong *et al.*, 2013). El modelo de laboratorio virtual desarrollado permite potenciar la investigación científica, mejorando las capacidades tecnológicas del alumnado y, por su carácter virtual, es fácilmente exportable a países en vías de desarrollo (metas 9.5 y 9.b). Si introducimos sistemas de control a cualquier equipo, se posibilita una producción y consumo responsable, en tanto se puede regular y optimizar su funcionamiento (metas 12.1 y 12.8). La implementación de sistemas de control y comunicación para regular tanques con fluido ayuda al alumnado a identificar formas de ahorro de agua, mejorando la educación respecto de la mitigación del cambio climático (meta 13.3).

FIGURA 6. ODS incluidos en los proyectos



Esta metodología buscó la integración de distintos enfoques de enseñanza (p. ej., conductista y algorítmico), asumiendo el profesor un rol de facilitador del proceso de enseñanza-aprendizaje, en lugar de trabajar los contenidos en cajas estancas. Esto implica que el docente deba ser flexible y capaz de integrar información de diferentes ámbitos del conocimiento. Esta propuesta didáctica, *a priori*, puede parecer una sobrecarga en el plan de estudios. Sin embargo, si se tienen en cuenta las sinergias existentes entre las competencias que se buscan y las competencias recogidas en la memoria del título, la enseñanza sobre temas de sostenibilidad no incrementa la sobrecarga curricular. En esta experiencia se hace hincapié en la toma de decisiones, el pensamiento crítico y creativo, la resolución de problemas, el análisis, el aprendizaje cooperativo y las habilidades de comunicación.

Trabajo tutelado

El sistema de evaluación de la materia en la que se implementó esta nueva metodología se basa en la realización de un trabajo tutelado. El trabajo consistió en el ajuste de un controlador P, PI y PID en lazo cerrado-*relay/feedback* y la comparativa de las especificaciones en función de las expresiones de ajuste empleadas. Las instrucciones para la realización del trabajo fueron homólogas en el desarrollo con la planta virtual (curso 2021-2022) en comparación con el laboratorio presencial (anteriores cursos académicos). El trabajo tiene un peso del 100% de la evaluación. El profesorado de la materia ha sido el mismo durante los cursos académicos analizados. En la tabla 1 se recogen los puntos o especificaciones que figuraban en el enunciado del trabajo.

El trabajo queda totalmente abierto en determinados aspectos. Esto permite dar libertad de diseño. En lo que concierne a la estructuración de los trabajos por etapas, descritas previamente, los ítems 1, 6, 7 y 9 pertenecen a la etapa 2, mientras que los ítems 2, 3, 4, 5 y 8 a la etapa 3.

TABLA 1. Ítems del trabajo tutelado

Ítem	Descripción
1	Se empleará un bloque de control PID (proporcional, integral y derivativo) en el que se pueda dar valores a los parámetros típicos de reguladores de este tipo (K_p , T_i y T_d). Existirá la posibilidad de que el regulador pueda ser: P, PI, PD o PID. Se programará el parámetro N de la acción derivativa que permite eliminar la acción del ruido
2	Se compararán las siguientes variables: tiempo de pico, tiempo de establecimiento, tiempo de respuesta y sobreoscilación
3	Se probará el sistema para tres consignas de nivel indicadas en el documento de la descripción del modelo
4	Se empleará un tiempo de muestreo que permita ver de forma satisfactoria las curvas generadas
5	Además del nivel de líquido, se visualizará la consigna (% nivel), el error (% nivel) y la señal de control (%)
6	Se programará un regulador proporcional con cuatro ganancias diferentes, dos menores que uno y dos mayores
7	Se programará un PI con <i>anti-windup</i> y sin él
8	Se emplearán expresiones en función de la segunda cifra numérica empezando por la derecha (Zayas <i>et al.</i> , 2020, pp. 47 a 51): 0, 2, 4, 6, 8 a Z&N, Z&N No Overshoot 1, 3, 5, 7, 9 a Tyreus Luyben, Z&N Some Overshoot
9	Se deberá añadir ruido aleatorio a la lectura del sensor de $\pm 1.5\%$ y hacer el control PID de las tres consignas

La evaluación del trabajo se hizo con base en la entrega de una memoria de proyecto y una defensa pública. Ambas tareas pertenecen a la etapa 4, descrita anteriormente. En referencia a la memoria, los trabajos tenían que cumplir una serie de normas:

- Secciones obligatorias: “Objeto”, “Alcance”, “Antecedentes”, “Normas y referencias”, “Definiciones y abreviaturas”, “Requisitos de diseño”, “Análisis de las soluciones” y “Resultados finales”.

- Contenido mínimo: además de lo que el alumno estime oportuno incluir a mayores, el trabajo incorporará cálculos y simulaciones. Se tendrá en cuenta de forma muy significativa la implementación práctica.
- Documentación que entregar: documento con extensión de entre 9 y 15 páginas más documentos generados a mayores si se usa la plantilla (portadas, índices, etc.). La parte de resultados y su análisis deberá suponer al menos el 70% de la extensión total del trabajo.

La presentación de los trabajos tutelados tuvo una duración delimitada de entre 8 y 10 minutos, a los que se añadía un turno de preguntas de aproximadamente 2 minutos. En la presentación y defensa debían intervenir todos los miembros del grupo. La evaluación de los trabajos se hizo con base en la defensa pública, la memoria del proyecto y el desarrollo de los ítems (tabla 2). Se procedió con un análisis de comparación de medias para muestras independientes (t de Student) para conocer los efectos del tipo de docencia (laboratorio virtual vs. presencial) sobre el rendimiento académico (calificaciones) de los estudiantes. Adicionalmente, se ejecutaron análisis descriptivos.

El control y desarrollo de los trabajos tutelados se hizo a través del Campus Virtual (Moodle). El alumnado volcó en Moodle las distintas tareas y

evidencias de desarrollo y los docentes les pudieron proporcionar retroalimentación continua, a fin de conformar una evaluación formativa. Las tutorías y atención personalizada se hicieron principalmente a través de la plataforma Microsoft Teams.

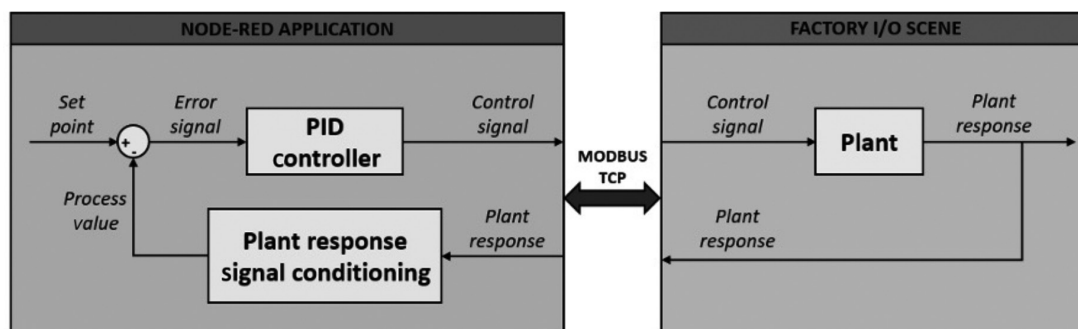
Resultados

El sistema de control para la planta real de nivel está basado en un regulador PID. Este regulador está implementado a través de Matlab/Simulink, lo cual aporta un enfoque interesante en términos didácticos. Sin embargo, aun tratándose de un *software* flexible para simulación y diseño de reguladores PID, carece de ciertos módulos de comunicación industriales.

Node-RED ofrece nodos con algoritmos de control PID, lo cual representa una alternativa funcional a Matlab/Simulink. Al igual que con bloques PID de Matlab/Simulink, un nodo PID de Node-RED recibe la señal de error a través de su entrada, el algoritmo actualiza la señal de control y esta se envía a través de su salida. Así, no existe la necesidad de recodificar el algoritmo y los estudiantes pueden enfocar su trabajo exclusivamente en el aprendizaje de los conceptos de ingeniería de control.

El repositorio de Node-RED incluye también librerías para el protocolo de comunicación

FIGURA 7. Esquema de interconexión entre aplicaciones



Modbus TCP. Esto representa un gran beneficio, al habilitar la integración de ambas funcionalidades en una única herramienta.

Los *drivers* Modbus TCP tanto de la escena de control de nivel de Factory I/O como de Node-RED deben ser habilitados y debidamente configurados (direcciones IP, puertos y direcciones de registros). El *driver* Modbus TCP asume el rol de servidor a la escucha, atendiendo peticiones de la aplicación con el rol de cliente (Node-RED). Configurados ambos agentes de comunicación, el enlace entre aplicaciones permite el intercambio necesario de datos, incluyendo el *process value* y la señal de control PID. La figura 7 muestra la solución obtenida para la interconexión entre aplicaciones.

En ingeniería de control, un aspecto clave para el ajuste de reguladores PID es la visualización de la respuesta de la planta. Para ello se emplean técnicas como *relay feedback* u oscilación mantenida, que requieren de una representación precisa de las variables en el dominio del tiempo. Node-RED dispone de la librería *node-red-dashboard* para el graficado en tiempo real. Los elementos de la librería pueden ser ensamblados para construir una interfaz gráfica de usuario, y, así, proponer una plataforma de laboratorio educativa completa y adaptada.

El entorno virtual desarrollado puede ser evaluado y clasificado de acuerdo con los cuatro criterios de Potkonjak *et al.* (2014). Estos criterios se basan en un requisito clave: el estudiante debe sentirse como si estuviera trabajando con dispositivos reales en un espacio real. Así, esta

propuesta cumple con tres de los cuatro puntos, a saber: 1) la interfaz de usuario de cada equipo es idéntica a la de los dispositivos reales; 2) el comportamiento del sistema virtual es equivalente al comportamiento del sistema físico; y 3) el entorno proporciona una visualización que permite que los estudiantes sientan que están viendo un entorno real. Sin embargo, no desarrolla el criterio 4 (p. ej., el espacio de laboratorio 3D permite la comunicación y la colaboración entre los estudiantes y con el supervisor del laboratorio [o experto en la materia]). El criterio 1 es especialmente importante para los laboratorios destinados a la formación de operadores del sistema. Hay que tener en cuenta que puede haber problemas de derechos de autor a la hora de copiar aspectos del dispositivo real y, por tanto, puede ser necesario disponer de permisos para hacerlo (Potkonjak, 2010). Es importante destacar que de los veinte proyectos de laboratorio virtual analizados en el trabajo de Potkonjak *et al.* (2014), solo siete cumplían con tres de los cuatro criterios y tan solo uno desarrollaba los cuatro, exponiendo en el resto de propuestas dos o menos criterios.

El rendimiento del alumnado, en términos de calificaciones obtenidas, fue estudiado. Los resultados de los efectos del factor tipo de docencia (laboratorio virtual vs. laboratorio presencial) en la evaluación del trabajo tutelado mostraron que los alumnos del grupo presencial ($M = 6.81$) tienen una evaluación inferior, $t(60.3) = -2.23$, $p < .05$, $d = 0.55$ (tamaño del efecto moderado), que los que realizaron las prácticas en formato virtual ($M = 7.43$). La tabla 2 resume las calificaciones obtenidas.

TABLA 2. Calificaciones según el tipo de docencia

	M [95% CI]	Mediana	Desviación estándar	Rango	
				Min.	Máx.
Laboratorios presenciales (2020-2021)	5.00	9.50	6.78 [6.38, 7.25]	6.50	.904
Laboratorios virtuales (2021-2022)	6.00	9.00	7.43 [7.10, 7.76]	7.00	.904

Este nuevo método presenta la ventaja de facilitar el trabajo autónomo, pudiendo hacer las tareas en cualquier lugar y momento. Los estudiantes realizan los proyectos en entornos abiertos y flexibles, marcándose su propio ritmo. Esta experiencia BL ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades duras y blandas. Concretamente, habilidades blandas como comunicación, manejo de TI, colaboración, pensamiento crítico, resolución de problemas e iniciativa, a la vez que promueve la adquisición de habilidades duras, incluyendo la comprensión de la materia. La propuesta e implementación de esta propuesta ha buscado la integración de conocimiento y competencias.

Lecciones aprendidas

Desde la experiencia adquirida, se pueden resumir algunas lecciones aprendidas:

- En primer lugar, los recursos técnicos de la universidad son un factor clave para desarrollar y promover esta metodología. La infraestructura tecnológica de la EPEF soporta la práctica de BL (p. ej., aula móvil con ordenadores portátiles en préstamo, campus virtual [Moodle], acceso gratuito a Internet en el campus universitario, etc.). La UDC a través de Microsoft Teams ofrece un medio de conexión entre el profesor y el alumno. Esta plataforma, junto con el campus virtual, facilita el seguimiento y control.
- En segundo lugar, la práctica sobre el desarrollo de sistemas de control eficientes, los métodos experimentales presenciales y *online* están relacionados con los ODS (Lin y Wang, 2012).
- En tercer lugar, la posible reticencia del profesorado a aplicar nuevos métodos de enseñanza y a transformar sus prácticas docentes puede ser el principal obstáculo para promover esta metodología. Por ello, las políticas universitarias de incentivos son clave para el éxito de la

enseñanza (p. ej., Programa Docencia, convocatorias de proyectos de investigación docentes).

- Por último, la importancia del papel del docente en el seguimiento de las tareas. Los estudiantes pueden experimentar una apreciación contextual más amplia si se ven obligados a desarrollar tareas individuales, pero están supervisados por el profesor (*in situ* y a través de plataformas virtuales) y acompañados por el resto de los integrantes del grupo.

Conclusiones

En este trabajo se propone una experiencia BL apoyada en un laboratorio virtual como entorno de simulación para estudiantes de máster de ingeniería. Los trabajos tutelados se centraron en el desarrollo del ajuste de un controlador P, PI y PID en lazo cerrado-*relay/feedback*. Con este enfoque, los estudiantes tienen la flexibilidad de organizar sus tareas sin la necesidad de un laboratorio físico real. Esta metodología, además de permitir una mayor interacción con el sistema, reduce la barrera económica que puede suponer el tener que adquirir equipamiento industrial de laboratorio y facilita el desarrollo de docencia semipresencial y/o a distancia. En asignaturas ligadas a la habilitación para el ejercicio profesional es muy importante que los alumnos comprueben la utilidad y aplicabilidad de los contenidos teóricos. Esta propuesta permitió poner en práctica todos los contenidos estudiados. El seguimiento del desarrollo de los trabajos se hizo a través de plataformas de apoyo a la docencia. La metodología BL resulta útil para la creación de una experiencia de aprendizaje holística para los estudiantes.

Esta propuesta representa una alternativa para minimizar los cambios de planificación de la docencia en un contexto de pandemia. Adicionalmente, gracias al rápido crecimiento de la tecnología, el modelo *e-learning* sigue en auge,

permitiendo la combinación de las modalidades *online* y presencial.

En esta propuesta, al implementar Factory I/O para la virtualización y emulación de escenas se consigue que el estudiante se sienta como si estuviera trabajando con dispositivos reales en un espacio real, a diferencia de otras propuestas en las que se emplea únicamente Node-RED (Domínguez *et al.*, 2020) o Matlab/Simulink (Granado *et al.*, 2007). Esta premisa se considera clave en el desarrollo de laboratorios docentes virtuales.

A lo largo de las cuatro etapas del proyecto, los estudiantes desarrollan las siete áreas consideradas cruciales para la empleabilidad (basadas en la Escala de Habilidades Blandas de Malasia [My3S]). La metodología BL también facilita los vínculos entre el contenido y los 17 ODS, sin agravar el problema de la sobrecarga curricular. Esto supone un aliciente para la utilización de esta metodología en futuras ediciones de esta asignatura.

Cabe destacar los buenos resultados obtenidos con este trabajo, ya que a partir de esta propuesta se ha conseguido mejorar el rendimiento académico de los estudiantes. Se ha encontrado un efecto positivo en las calificaciones en las tareas en formato virtual respecto de las tareas en formato presencial. Estos resultados son acordes con lo reportado en estudios previos (Herga *et al.*, 2014).

No obstante, este trabajo está sujeto a limitaciones de diseño. En primer lugar, la asignación a los grupos fue aleatorizada natural. En consecuencia, la equivalencia entre grupos no es total. En segundo lugar, el tamaño de los grupos limita la potencia de los resultados.

Finalmente, en trabajos futuros se podrá considerar la aplicación de la metodología BL a partir de la virtualización de otros experimentos y plantas de laboratorio. Además, otras asignaturas pueden beneficiarse de la aplicación de este enfoque.

Referencias bibliográficas

- Abdul-Karim, A. M., Abdullah, N., Abdul-Rahman, A. M., Noah, S. M., Wan-Jaafar, W. M., Othman, J. *et al.* (2012). A nationwide comparative study between private and public university students' soft skills. *Asia Pacific Education Review*, 13(3), 541-548. <https://doi.org/10.1007/s12564-012-9205-1>
- Al-Samarraie, H. y Saeed, N. (2018). A systematic review of cloud computing tools for collaborative learning: opportunities and challenges to the blended-learning environment. *Computers & Education*, 124, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.016>
- Comisión Europea (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe* (vol. 22845). Office for Official Publications of the European Communities.
- Daniel, S. J. (2020). Education and the COVID-19 pandemic. *Prospects*, 49(1), 91-96. <https://doi.org/10.1007/s11125-020-09464-3>
- De Jong, T., Linn, M. C. y Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Deschacht, N. y Goeman, K. (2015). The effect of blended learning on course persistence and performance of adult learners: a difference-in-differences analysis. *Computers & Education*, 87, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.020>
- Domínguez, M., González-Herbón, R., Rodríguez-Ossorio, J. R., Fuertes, J. J., Prada, M. A. y Morán, A. (2020). Development of a remote industrial laboratory for automatic control based on Node-RED. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17210-17215. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1741>
- Fernández-Miranda, M., Dios-Castillo, C. A., Sosa-Córdova, D. M. y Camilo Cépeda, A. (2022). Método invertido y modelo didáctico: una perspectiva motivadora del aprendizaje virtual en contextos de pandemia. *Bordón, Revista de Pedagogía*. <https://doi.org/10.13042/2022.92677>

- Granado, E., Colmenares, W., Strefezza, M. y Alonso, A. (2007). A web-based virtual laboratory for teaching automatic control. *Computer Applications in Engineering Education*, 15(2), 192-197. <https://doi.org/10.1002/cae.20111>
- Herga, N. R., Grmek, M. I. y Dinevski, D. (2014). Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 13(4), 157-165. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1043246>
- Jena, P. K. (2020). Impact of Covid-19 on higher education in India. *International Journal of Advanced Education and Research (IJAER)*, 5(3), 77-81. <http://www.alleducationjournal.com/archives/2020/vol5/issue3/5-3-27>
- Jove, E., González-Cava, J. M., Casteleiro-Roca, J. L., Quintián, H., Méndez-Pérez, J. A., Vega-Vega, R. et al. (2021). Hybrid intelligent model to predict the Remifentanyl Infusion Rate in patients under general anesthesia. *Logic Journal of the IGPL*, 29(2). <https://doi.org/10.1093/jigpal/jzaa046>
- Llamas, B., Storch-de Gracia, M. D., Mazadiego, L. F., Pous, J. y Alonso, J. (2019). Assessing transversal competences as decisive for project management. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.11.009>
- Míguez-Álvarez, C., Crespo, B., Arce, E., Cuevas, M. y Regueiro, A. (2020). Blending learning as an approach in teaching sustainability. *Interactive Learning Environments*. Publicación anticipada en línea. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1734623>
- Mula, I. y Tilbury, D. (2009) A United Nations decade of education for sustainable development (2005-14). What difference will it make? *Journal of Education for Sustainable Development*, 3(1), 87-97. <https://doi.org/10.1177/097340820900300116>
- Naciones Unidas (2021). *The 17 goals*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Desarrollo sostenible. Sustainable development. <https://sdgs.un.org/goals>
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C. et al. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): a review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018>
- Perignat, E. y Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: an integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M. y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review. *Computers & Education*, 95, 309-327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Potkonjak, V., Vukobratović, M., Jovanović, K. y Medenica, M. (2010). Virtual mechatronic/robotic laboratory—A step further in distance learning. *Computers & Education*, 55(2), 465-475. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.010>
- Rizzi, V., Pigeon, C., Rony, F. y Fort-Talabard, A. (2020). Designing a creative storytelling workshop to build self-confidence and trust among adolescents. *Thinking Skills and Creativity*, 38, 100704. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100704>
- Sa, M. J. y Serpa, S. (2018). Transversal competences: their importance and learning processes by higher education students. *Education Sciences*, 8(3), 126. <https://doi.org/10.3390/educsci8030126>
- Singer, S. R., Hilton, M. L. y Schweingruber, H. A. (2005). America's lab report: investigations in High School science. En *America's lab report: investigations in High School science*. <https://doi.org/10.17226/11311>
- Spooren, P., Mortelmans, D. y Denekens, J. (2007). Student evaluation of teaching quality in higher education: development of an instrument based on 10 Likert-scales. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 32(6), 667-679. <https://doi.org/10.1080/02602930601117191>

Yildiz, İ, Topçu, E. y Kaymakci, S. (2021). The effect of gamification on motivation in the education of pre-service social studies teachers. *Thinking Skills and Creativity*, 42, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100907>

Zayas-Gato, F., Quintián, H., Jove, E., Casteleiro-Roca, J. L. y Calvo-Rolle, J. L. (2020). *Diseño de controladores PID*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de A Coruña.

Abstract

Blended learning experience supported by a virtual laboratory for STEM subjects training

INTRODUCTION. The recent pandemic caused by COVID-19 has led to numerous changes in public health protocols, as well as a deep socioeconomic impact. Policies such as social distancing and lockdowns have conditioned interpersonal relations and resulting in dramatic consequences for many companies and workers. Specifically, in the educational context, universities have been forced to adapt teaching methodologies due to the control policies applied by authorities. Therefore, the use of on-line teaching tools, combined with face-to-face teaching experiences (blended learning, BL), represents an interesting approach within this context. **METHOD.** BL allows the reduction of the student's ratio per classroom, avoiding a total suppression of face-to-face teaching, taking advantage of both modalities. Hence, an interesting proposal is the implementation of a virtual simulation environment for engineering students, with the aim of emulating a real liquid level control system, located at the laboratories of the Escuela Politécnica of Engineering of Ferrol, of the University of A Coruña. The marks obtained in the tutored work in two academic years were compared to evaluate the effect of the BL methodology on students' academic performance. **RESULTS.** To carry out this work, we propose a BL experience supported by a virtual laboratory built from the integration of two novel software tools: Factory I/O as a virtualization and emulation system of real industrial scenes and plants and Node-RED as a programming environment for the design of control and communication systems. Based on the academic results, it can be concluded that this methodology has a positive effect on students' performance. **DISCUSSION.** This realistic real-time 3D simulation and visualization environment provides flexibility to students by simplifying the organization of their tasks and allowing them to work autonomously by applying the basic concepts of control engineering. In addition, this BL experience helps students to develop hard and soft skills.

Keywords: *Blended learning, Engineering education, Virtual classrooms, COVID-19.*

Résumé

Une expérience d'apprentissage mixte (blended learning) soutenue par un laboratoire virtuel pour l'enseignement des matières STEM

INTRODUCTION. La récente pandémie causée par la COVID-19 a entraîné des nombreux changements dans les protocoles de santé publique, ainsi qu'un profond impact socio-économique. Des politiques de distanciation sociale et les confinements ont conditionné les relations interpersonnelles et ont entraîné des conséquences dramatiques pour beaucoup d'entreprises et travailleurs. Plus

précisément, dans le cadre éducatif, les universités ont été obligées d'adapter leurs méthodes d'enseignement à cause des politiques de contrôle mises en œuvre par les autorités. Par conséquent, l'utilisation des outils pour l'enseignement en ligne, combinée avec des expériences d'enseignement en présentiel constitue une approche (d'apprentissage mixte ou *blended learning*, BL), intéressante dans ce contexte. **MÉTHODE.** Le BL permet de réduire le ratio des étudiants par classe en évitant l'élimination totale de l'enseignement en présentiel et en permettant, également, d'en profiter des avantages des deux modalités. Dans ce sens, une proposition intéressante est la mise en œuvre d'un environnement de simulation virtuelle pour les étudiants en ingénierie, dont l'objectif est la simulation d'un système réel de contrôle du niveau de liquide, étant disponible dans les laboratoires de l'École Polytechnique d'Ingénierie de Ferrol de l'Université de A Coruña. Afin d'évaluer l'effet de la méthodologie BL dans le rendement académique des étudiants, nous avons comparé les notes obtenues lors du travail tutoré au cours de deux années académiques. **RÉSULTATS.** Pour réaliser ce travail, nous avons proposé une expérience BL soutenue par un laboratoire virtuel construit à partir de l'intégration de deux logiciels innovants : le Factory I/O comme système de virtualisation et d'émulation de scènes et des installations industrielles réelles, et le Node-RED comme environnement de programmation pour la conception de systèmes de contrôle et de communication. Sur la base des résultats académiques observés, il est conclu que cette méthodologie a un effet positif sur le rendement des étudiants. **DISCUSSION.** Cet environnement réaliste de simulation et de visualisation en temps réel en 3D offre un cadre d'étude flexible aux étudiants en leur facilitant l'organisation de leurs tâches et en leur permettant de progresser de manière autonome en appliquant les concepts de base de l'ingénierie de contrôle. En outre, cette expérience BL aide les étudiants à développer autant des compétences de base (dures) que transférables (douces).

Mots-clés : Apprentissage mixte, Formation en ingénierie, Classes virtuelles, COVID-19.

Perfil profesional de los autores

Elena Arce

Elena Arce es profesora en el área de Expresión Gráfica en la Ingeniería en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol en la Universidade da Coruña (España). Es autora y coautora de más de 40 artículos en revistas científicas indexadas en bases de datos de referencia. La mayor parte de su investigación la ha desarrollado en el campo del aprovechamiento energético. En el ámbito de la docencia cuenta con diversas publicaciones científicas en revistas de alto impacto, además de varios proyectos de innovación docente. Sus intereses de investigación incluyen la simulación y optimización de sistemas, el aprovechamiento energético, el diseño y la innovación docente.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7222-7827>

Correo electrónico de contacto: elena.arce@udc.es

Francisco Zayas-Gato (autor de contacto)

Francisco Zayas-Gato es docente e investigador del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidade da Coruña. Es autor y coautor de once artículos en revistas indexadas en el Journal Citations Report, más de veinte comunicaciones en congresos internacionales y de tres libros de carácter investigador, entre otros. Sus líneas de investigación están enfocadas en la educación y

también en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para la predicción y la detección de anomalías en el sector de la medicina e industrial.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-1961>

Correo electrónico de contacto: f.zayas.gato@udc.es

Dirección para la correspondencia: Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol. Calle Mendizábal, s/n, 15403 Ferrol, A Coruña.

Andrés Suárez-García

Andrés Suárez-García es investigador del Departamento de Ingeniería Mecánica en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar (Universidad de Vigo). Es autor y coautor de artículos científicos en revistas y congresos internacionales y sus líneas de investigación se centran en las energías renovables, el diseño para la fabricación aditiva, la optimización y la educación.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6471-0261>

Correo electrónico de contacto: andres.suarez@cud.uvigo.es

Álvaro Michelena

Álvaro Michelena Grandío tiene el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y el Máster Universitario en Informática Industrial y Robótica por la Universidade da Coruña. Desde mayo de 2021 trabaja como técnico de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CITIC) de la Universidad de A Coruña, donde ha colaborado en diferentes proyectos de investigación. Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la detección de anomalías y el modelado de sistemas.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0134-5660>

Correo electrónico de contacto: alvaro.michelena@udc.es

Esteban Jove

Esteban Jove es actualmente ayudante doctor en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidade da Coruña. Sus principales líneas de investigación se centraron inicialmente en los sistemas híbridos inteligentes para modelar sistemas no lineales mediante técnicas de inteligencia artificial combinadas con métodos de agrupamiento. Esta propuesta se aplica de manera exitosa en un amplio rango de aplicaciones del ámbito industrial y médico, entre otras. Posteriormente, incorpora a su carrera investigadora una nueva línea que trata la detección de anomalías mediante técnicas *one-class* y métodos proyeccionistas en sistemas industriales y ciberseguridad.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0625-359X>

Correo electrónico de contacto: esteban.jove@udc.es

José-Luis Casteleiro-Roca

José-Luis Casteleiro-Roca forma parte del personal docente e investigador de la UDC como profesor ayudante doctor en el Departamento de Ingeniería Industrial. Es coautor de más de 50 publicaciones en revistas con factor de impacto en JCR, y más de 50 contribuciones a congresos científicos internacionales, más de 10 en congresos nacionales y varios capítulos de libros, así como libros completos. Sus temas de investigación principal se han centrado en la aplicación de tecnologías de sistemas

expertos a los sistemas de diagnóstico y control y en sistemas inteligentes para la ingeniería de control y la optimización.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9740-6477>

Correo electrónico de contacto: jose.luis.casteleiro@udc.es

Héctor Quintián

Héctor Quintián es profesor ayudante de la Universidade da Coruña en el Departamento de Ingeniería Industrial. Sus principales líneas de investigación se centraron inicialmente en la inteligencia artificial y el aprendizaje no supervisado desarrollando varios algoritmos con aplicación a sistemas de modelado industrial. En este periodo se destaca la publicación de 47 artículos en revistas indexadas, todas ellas en JCR. Ha publicado un total de 41 artículos en congresos internacionales de reconocido prestigio. Cabe destacar la participación en un total de 8 convenios, proyectos y contratos de investigación, 3 de ellos proyectos europeos, 1 internacional y 4 nacionales.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0268-7999>

Correo electrónico de contacto: hector.quintian@udc.es

José Luis Calvo-Rolle

José Luis Calvo-Rolle es ingeniero técnico industrial por la Universidade da Coruña, ingeniero industrial y doctor en Sistemas Inteligentes en la Ingeniería por la Universidad de León en 1998, 2004 y 2007, respectivamente. Es catedrático de universidad perteneciente al área de Ingeniería de Sistemas y Automática, adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial de la Escuela Politécnica de Ingeniería de la Universidade da Coruña, España. Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la optimización, el modelado, la detección de anomalías y el control aplicados a múltiples tipos de sistemas.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2333-8405>

Correo electrónico de contacto: jose.rolle@udc.es

USO DIDÁCTICO DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA FAVORECER LA PROGRESIÓN DE LOS MODELOS MENTALES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE CIRCUITOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA

Didactic use of a virtual laboratory to promote the progression of students' mental models of electric current circuits

ALFONSO PONTES PEDRAJAS
Universidad de Córdoba (España)

DOI: 10.13042/Bordon.2022.93290

Fecha de recepción: 02/02/2022 • Fecha de aceptación: 05/04/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Alfonso Pontes Pedrajas. E-mail: apontes@uco.es

Cómo citar este artículo: Pontes Pedrajas, A. (2022). Uso didáctico de un laboratorio virtual para favorecer la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre circuitos de corriente eléctrica. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 145-160. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.93290>

INTRODUCCIÓN. Estamos desarrollando un proyecto de investigación sobre aprendizaje de conceptos físicos en la enseñanza universitaria, utilizando las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la calidad educativa. En este estudio se describe una experiencia sobre el uso didáctico de un programa de simulación de circuitos eléctricos que permite al alumnado realizar tareas de indagación y modelización, trabajando en el entorno virtual Phet-DC. **MÉTODO.** En la experiencia han participado 59 estudiantes de primer curso de ingeniería, que han cumplimentado un cuestionario de preguntas abiertas sobre circuitos eléctricos básicos, en la fase previa y posterior al proceso de enseñanza. Mediante una rúbrica de análisis cualitativo se han categorizado las respuestas de los participantes, identificando los modelos mentales sobre la corriente eléctrica que subyacen en sus explicaciones. **RESULTADOS.** En el pretest aplicado antes de la enseñanza se aprecia la existencia predominante de ideas acientíficas y modelos mentales de carácter alternativo en las respuestas del alumnado. Durante la experiencia los estudiantes analizan el comportamiento de diferentes tipos de circuitos en el laboratorio virtual, plantean hipótesis sobre el funcionamiento de tales sistemas y contrastan sus hipótesis previas con los resultados observados en cada simulación. Tras el desarrollo de esta experiencia educativa los resultados del postest muestran una mejora significativa en la comprensión y aplicación del modelo científico de corriente eléctrica por parte de los participantes. **DISCUSIÓN.** Tras utilizar un laboratorio virtual como principal recurso educativo, en esta experiencia se ha observado una evolución bastante positiva de los modelos mentales de los estudiantes sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos. Por ello podemos considerar que el uso didáctico de programas de simulación supone una mejora importante de la calidad de la educación científica.

Palabras clave: Educación superior, Física, Método educativo, Simulación, Aprendizaje por descubrimiento.

Introducción

En las últimas décadas se han realizado numerosas investigaciones educativas sobre las dificultades de aprendizaje en el dominio de la electricidad, poniendo de manifiesto que los estudiantes utilizan de forma intuitiva una serie de ideas personales y modelos mentales de carácter alternativo al hacer predicciones sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos más sencillos (Metioui *et al.*, 1996; Mei-Hung y Jing-Wen, 2005).

En los modelos mentales de los alumnos sobre la corriente eléctrica se combinan concepciones intuitivas y razonamientos espontáneos que implican un aprendizaje deficiente del modelo de corriente eléctrica, ya que tales modelos mentales se expresan como ideas no científicas resistentes al cambio durante la enseñanza tradicional, aparecen en diferentes contextos, persisten a través de diferentes niveles educativos y afectan al alumnado de diferentes países y edades (Pontes, 2020a). Estos modelos mentales de carácter alternativo se han detectado también en los razonamientos del profesorado de ciencia y tecnología durante el proceso de formación inicial (Gunstone *et al.*, 2009; Chazbeck y Ayoubi, 2018).

Para ayudar a los alumnos a superar las dificultades de aprendizaje del modelo de corriente eléctrica se han formulado, desde hace tiempo, diferentes propuestas metodológicas basadas en el enfoque constructivista y que ponen el acento en la necesidad de realizar actividades educativas orientadas a favorecer el aprendizaje reflexivo y la progresión de los modelos mentales de los estudiantes (Zeynep e Ibilge, 2011; Taramopoulos y Psillos, 2017). Entre tales propuestas cabe citar los estudios relacionados con el uso de analogías, simulaciones y otros recursos TIC tales como mapas conceptuales digitales, pizarra digital interactiva, realidad aumentada, animaciones, vídeos, etc. (Romero y Quesada, 2014; López-Simó *et al.*, 2018; Pontes, 2019).

Por tales motivos estamos desarrollando un proyecto de trabajo orientado a mejorar la comprensión

del modelo básico y avanzado de corriente eléctrica en primer curso de ingeniería, en el que se han utilizado de forma gradual diferentes estrategias y recursos TIC que favorezcan el aprendizaje basado en modelos y la reflexión en el aula (Oliva, 2019), tratando de experimentar diferentes propuestas metodológicas en el aula y de evaluar su influencia en el aprendizaje. En la primera fase de este proyecto se han utilizado mapas conceptuales elaborados con Cmap-Tools. En una fase posterior se han incorporado otros recursos TIC como la plataforma educativa Moodle, en la que se ubican los materiales didácticos elaborados para la enseñanza y aprendizaje de los temas de electricidad y, sobre todo, se han usado otras herramientas TIC de gran interés como simulaciones por ordenador y laboratorios virtuales (Pontes, 2022).

Los programas de simulación han experimentado en los últimos tiempos un importante desarrollo debido al gran avance de las TIC en aspectos como la rapidez de procesamiento y acceso a la información, la interactividad con los usuarios y la calidad visual de la información (Ronen y Eliahu, 2000; Develaki, 2019). Tales programas tienen una especial relevancia en la enseñanza de la física y en otras muchas materias del área científico-técnica, porque proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema físico y permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran (Uddin y Zaheer, 2019). Los laboratorios virtuales pueden considerarse una variante de las simulaciones, en las que se muestra una representación del contexto de un laboratorio, permitiendo el desarrollo de un experimento simulado, con mayor o menor grado de interactividad e incluyendo el uso de instrumentos virtuales de medición de magnitudes (Pontes, 2022).

En las simulaciones y laboratorios virtuales se utilizan modelos de sistemas físicos donde se modifican algunos parámetros o variables y

se obtienen resultados observables que permiten realizar inferencias sobre la influencia de tales variables en el comportamiento del sistema representado (Balta, 2015; Yuliati *et al.*, 2018). Tales entornos virtuales ofrecen al alumnado la oportunidad de interactuar, reflexionar y aprender, participando de forma activa en el proceso educativo, ya que se pueden contrastar las ideas previas o hipótesis de partida sobre un problema con el resultado del experimento virtual y contrastar los modelos mentales iniciales de cada estudiante con los resultados que proporciona el modelo científico subyacente en el programa de simulación (Jaakkola y Nurmi, 2008; Achuthan *et al.*, 2017), lo cual puede servir como medio eficaz para favorecer la progresión de las concepciones de los alumnos sobre el tema en el que están experimentando virtualmente, como se ha puesto de manifiesto en numerosos estudios anteriores (Zeynep e Ibilge, 2011; Wade *et al.*, 2018; Develaki, 2019). Para aprovechar las ventajas educativas de los laboratorios virtuales en el aprendizaje reflexivo del tema de circuitos eléctricos hemos desarrollado una experiencia educativa que se describe a continuación.

Diseño de la experiencia y metodología de investigación

Contexto y objetivos

Este trabajo se inscribe en el marco de un proyecto de investigación educativa relacionado con el uso de diversas herramientas TIC para favorecer la implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización, en el desarrollo de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II (FFI2), de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica, que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba (Pontes, 2019). Las estrategias docentes y los recursos educativos relacionados con esta investigación se han centrado en el tratamiento didáctico del tema de circuitos eléctricos de corriente continua, que forma parte del

programa de dicha asignatura. Dentro de este contexto global, los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

- Diseñar actividades de modelización científica y de indagación (o descubrimiento orientado) que permitan mejorar el aprendizaje significativo del tema de circuitos eléctricos de corriente continua, utilizando un laboratorio virtual como principal recurso didáctico.
- Utilizar un cuestionario de problemas abiertos que permita evaluar el conocimiento inicial y final de los estudiantes sobre el tema en cada experimentación.
- Analizar la evolución de los modelos mentales de los estudiantes universitarios sobre el funcionamiento de circuitos eléctricos de corriente continua y la influencia de la innovación metodológica llevada a cabo.

Características de la experiencia

Numerosos estudios sobre las dificultades de aprendizaje en el tema de los circuitos eléctricos han puesto de manifiesto el papel que desempeñan los modelos mentales y las concepciones personales de los estudiantes en el proceso educativo (Metioui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009). Por ello, el primer punto de partida de esta investigación ha sido la exploración de los conocimientos previos del alumnado sobre esta temática, utilizando un cuestionario de problemas abiertos sobre el funcionamiento de tres tipos de circuitos simples, integrados por baterías, lámparas y resistencias, que se pueden asociar en diferentes tipos de montajes (en serie, en paralelo o en montaje mixto). Los montajes eléctricos propuestos y las cuestiones incluidas en tales problemas se han mostrado en un trabajo anterior (Pontes, 2020a), describiendo con detalle los procedimientos de análisis cualitativo que se han empleado para evaluar las explicaciones que aportan los estudiantes al responder de forma abierta a las diversas cuestiones planteadas. Los resultados obtenidos en tal estudio

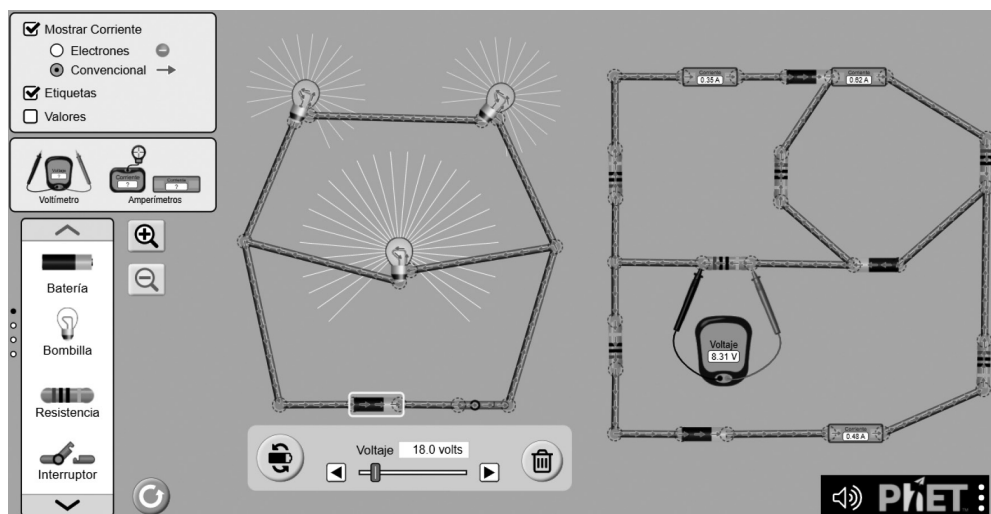
indican que los alumnos de primer curso de universidad utilizan diversos modelos mentales de carácter alternativo, sobre el funcionamiento de los circuitos simples, poniendo de manifiesto la falta de comprensión adecuada del modelo científico de corriente eléctrica.

Tras explorar los conocimientos previos de los estudiantes y sus dificultades para utilizar el modelo de corriente eléctrica se ha llevado a cabo, dentro de este proyecto de investigación, una primera experiencia educativa en la que se han utilizado mapas conceptuales digitales elaborados con el *software* CmapTools, como vía para fomentar la reflexión y el trabajo cooperativo al estudiar los modelos científicos que se utilizan en el tema de circuitos eléctricos, que se ha descrito detalladamente en un trabajo anterior (Pontes, 2020b). Tras la primera experiencia apreciamos que este tipo de actividades ayudan al alumnado a reflexionar sobre la estructura conceptual de los modelos científicos estudiados en clase, lo cual favorece una evolución positiva de sus concepciones previas en torno a los circuitos eléctricos. Pero también observamos que el nivel de cambio conceptual no es del todo satisfactorio, ya que los participantes todavía siguen utilizando bastantes

explicaciones y modelos de carácter alternativo tras el proceso de instrucción.

Por ello hemos llevado a cabo una nueva experiencia educativa que se ha centrado en la realización de actividades de análisis e indagación de circuitos eléctricos en un entorno virtual. La principal innovación educativa de esta experiencia ha sido el uso del laboratorio virtual denominado Kit de Construcción de Circuitos DC, del proyecto Phet Simulations, que es un *software* libre (<https://phet.colorado.edu/es/>) y de muy fácil manejo, cuyas características se han descrito de forma detallada en otros estudios (Yuliati *et al.*, 2018; Pontes, 2022). Como principales ventajas de este programa de simulación cabe destacar la posibilidad de construir circuitos sencillos o complejos, arrastrando diferentes tipos de elementos e instrumentos hasta la ventana de trabajo, hacer medidas de las principales magnitudes eléctricas (voltaje e intensidad de corriente), comprobar los cambios que experimentan tales magnitudes al realizar alguna modificación en una variable independiente o en la estructura del circuito y poder visualizar (mediante analogías) el brillo de lámparas, el flujo de corriente o el movimiento de portadores de carga por los cables del circuito.

FIGURA 1. Ejemplos de circuitos diseñados en el laboratorio virtual Phet-DC



En la figura 1 se muestra la interfaz de trabajo del laboratorio virtual Phet DC y algunos ejemplos de circuitos eléctricos que han sido diseñados y utilizados por los participantes en el desarrollo de esta experiencia. En la parte izquierda se muestra un circuito simple diseñado para indagar cómo cambia en el brillo de las lámparas al modificar el voltaje que proporciona la batería al circuito. En la parte derecha se muestra un circuito más complejo diseñado para medir magnitudes eléctricas y comprobar las leyes de Kirchoff.

En el proceso formativo desarrollado en esta experiencia los estudiantes han utilizado, además del laboratorio virtual, un programa-guía de actividades, dividido en varias secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA) que se han descrito en un trabajo anterior (Pontes, 2022) y que se resumen en el diagrama de la figura 2.

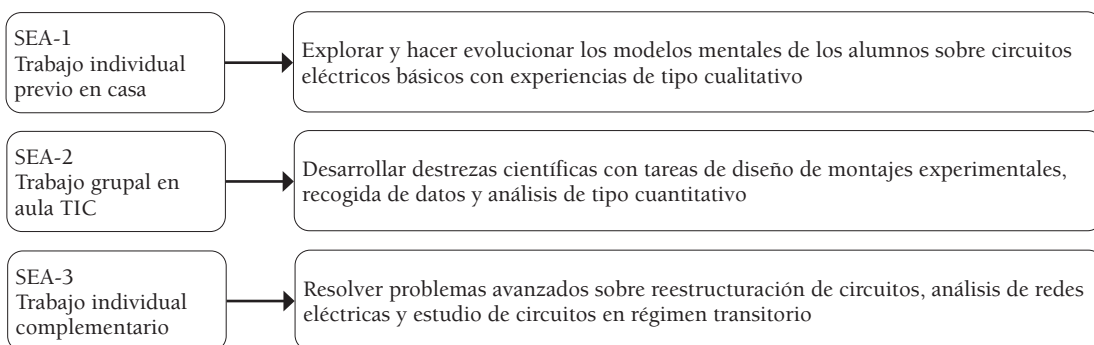
La parte principal del programa de actividades es la SEA-2, que tiene carácter obligatorio y está formada por un conjunto de tareas orientadas a favorecer la reflexión y la discusión de cuestiones, problemas o experimentos virtuales en pequeños grupos. Esta secuencia se realiza en una sesión de dos horas de clase en un aula de ordenadores conectados a Internet (aula TIC). Para desarrollar competencias de modelización y realizar procesos de descubrimiento orientado con

el *software*, los participantes deben abordar diversos problemas, emitiendo hipótesis y tratando de contrastarlas mediante experiencias virtuales que incluyen el diseño de circuitos y la recogida de datos sobre las magnitudes eléctricas (intensidad de corriente y voltaje) que caracterizan a los elementos del circuito. Al finalizar el desarrollo del tema de circuitos los estudiantes deben presentar un informe escrito del trabajo realizado en cada una de las secuencias de actividades.

Metodología de investigación

En este estudio se han recogido datos de una muestra formada por 59 estudiantes de primer curso de ingeniería (8 alumnas y 51 alumnos), con una edad media de 19.6 años, utilizando el mismo cuestionario de preguntas abiertas que se ha usado en la exploración de los conocimientos previos de los estudiantes, que se ha comentado anteriormente. Dicho cuestionario, cuyos ítems se muestran en la sección de resultados, se ha pasado también al finalizar el tratamiento del bloque de contenidos de electricidad de la asignatura FFI2, como parte de una prueba de examen más amplia, con objeto de analizar la influencia del tratamiento didáctico en la evolución de los modelos mentales de los alumnos sobre los circuitos de corriente eléctrica.

FIGURA 2. Secuencias de enseñanza-aprendizaje del programa de actividades



Para el análisis de datos recogidos con el citado cuestionario se clasificaron las respuestas de los alumnos en cuatro categorías generales: I) respuestas en blanco y respuestas que incluyen ideas confusas e incoherentes, II) explicaciones erróneas desde el punto de vista científico o modelos de pensamiento alternativo, III) respuestas aceptables desde el punto de vista científico pero deficientes en su explicación o argumentación y IV) respuestas correctas que incluyen una explicación razonable y acorde con el modelo científico de corriente eléctrica. En el análisis de las respuestas de los estudiantes y su categorización han participado tres docentes expertos en la materia, que han colaborado en un proyecto de innovación docente, utilizando la rúbrica de evaluación diseñada por el investigador principal del proyecto (Pontes, 2020a).

Los datos cuantitativos recogidos tras la categorización anterior se han analizado con el programa SPSS y se ha realizado un análisis de frecuencias relativas (%), que permite identificar la extensión de los diferentes modelos de pensamiento en cada pregunta del cuestionario, tanto en la fase previa como en la fase posterior a la instrucción. Al realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos en ambas fases, mediante una prueba estadística de contraste no paramétrico (prueba de Wilcoxon), se ha observado que las diferencias son significativas en todos los ítems (con valores de p inferiores a .05 en todos los casos). En la sección de resultados se muestran los porcentajes de respuestas correspondientes a los diferentes ítems del cuestionario en las cuatro categorías descritas, en ambas aplicaciones del cuestionario.

Resultados

En esta sección se muestran los resultados recogidos en cada uno de los problemas del cuestionario y se comparan los datos de la prueba de conocimientos iniciales con los datos obtenidos tras la experiencia educativa.

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en serie

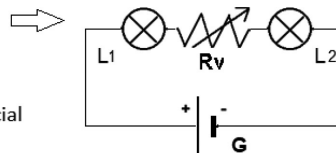
En torno al primer problema (P1) del cuestionario usado en esta investigación, que se incluye en la figura 3, los estudiantes deben analizar un circuito de dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , conectados en serie con un generador ideal de corriente continua. Sobre este montaje los participantes han de hacer predicciones acerca del brillo de lámparas situadas a un lado y otro de la resistencia, los cambios en el brillo de las lámparas al aumentar el valor de la resistencia R_v y la reestructuración del circuito para valores extremos de la citada resistencia.

En la parte inferior de la citada figura se muestra el resultado del proceso de simulación de la primera cuestión de este problema (1.1), donde se aprecia que ambas lámparas brillan igual, como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica en un circuito de varios elementos en serie. En este laboratorio virtual también se pueden hacer indagaciones para verificar si las predicciones de los estudiantes respecto a las otras cuestiones se ajustan a la aplicación adecuada del modelo de corriente eléctrica. Por ejemplo, en la cuestión 1.2 se podría apreciar que ambas lámparas van a ir aumentando su brillo por igual a medida que disminuye el valor de la resistencia intermedia. Asimismo, en la cuestión 1.3 se podría observar que el brillo de L_1 y L_2 es máximo cuando la resistencia alcanza el valor mínimo (equivale a un cable o un interruptor cerrado) y que ambas lámparas dejan de brillar cuando la resistencia alcanza el valor máximo (equivalente a un interruptor abierto).

En la tabla 1 se muestran los resultados derivados de la categorización de ideas en cada uno de los tres ítems del primer problema, con arreglo a las cuatro categorías establecidas anteriormente (I, II, III y IV), reflejando los porcentajes de cada categoría en el pretest y post-test.

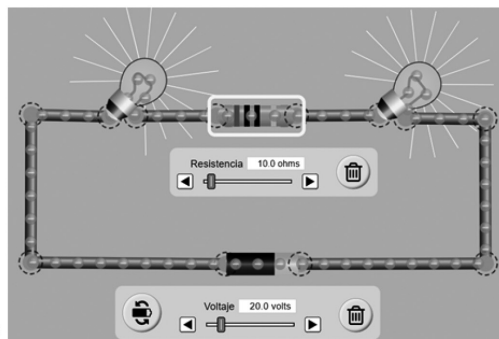
FIGURA 3. Análisis de un circuito de varios elementos en serie

1. El circuito de la figura está formado por un generador ideal G (que proporciona una tensión constante V_0) y dos lámparas iguales $L1$ y $L2$ (que tienen una resistencia interna de valor R_L) en serie con una resistencia externa variable, cuyo valor inicial es igual que la resistencia de las lámparas ($R_v = R_L$)



- 1.1. Explicar cuál de tales lámparas brilla más al principio
- 1.2. Predecir si se produce algún cambio en el brillo de ambas lámparas cuando el valor de la resistencia externa disminuye hasta cero (cable sin resistencia)
- 1.3. Predecir qué ocurre en el circuito cuando el valor de la resistencia externa aumenta hasta un valor infinito (equivale a interruptor abierto)

Ventana de simulación



En un trabajo anterior (Pontes, 2020a) se han descrito con detalle las dificultades que muestran los estudiantes sobre esta cuestión en la prueba de conocimientos previos (pretest) y el papel que desempeñan algunos modelos mentales de carácter alternativo en las respuestas incorrectas de los estudiantes a las tres cuestiones del problema P1. Entre tales dificultades e ideas de carácter alternativo, que se han detectado también en otras investigaciones previas (Metioui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009), cabe citar las siguientes: (1.1) la corriente eléctrica se consume al pasar por las resistencias y lámparas del circuito; (1.2) se usan razonamientos de tipo local y secuencial para predecir que el cambio R_v no afecta al brillo de la primera

lámpara; (1.3) se aprecia bastante incompreensión de los efectos de la ley de Ohm en una resistencia nula o de valor muy elevado.

En el desarrollo de esta experiencia educativa los estudiantes han usado el laboratorio virtual Phet DC para realizar actividades de aprendizaje por descubrimiento orientado, en las que han podido contrastar sus modelos mentales con el modelo científico de corriente eléctrica y han reflexionado sobre los resultados que ofrece el entorno virtual al implementar actividades de simulación e indagación sobre varios circuitos de elementos asociados en serie. Este hecho ha influido en los resultados apreciados al aplicar el postest, tras finalizar la experiencia, ya que

TABLA 1. Evolución del conocimiento en cuestiones sobre un circuito en serie

P1 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1.1	7.4	34.5	27.8	31.3	0.0	11.8	37.3	50.9
1.2	13.1	37.7	29.6	20.5	3.4	18.7	33.8	44.1
1.3	9.8	35.2	30.6	25.4	1.7	17.0	33.9	47.5

según muestran los datos de la tabla 1 los participantes han mejorado notablemente en la comprensión y aplicación del modelo de corriente eléctrica a la hora de interpretar los efectos de la corriente eléctrica en este tipo de circuitos en serie. En efecto, se puede apreciar que el uso de modelos mentales alternativos en las cuestiones del problema P1 se reduce bastante (entre el 12% y el 19% aproximadamente) y se aprecia un aumento notable de ideas coherentes con el modelo científico de corriente eléctrica al combinar los resultados de las categorías III y IV en las tres cuestiones sobre circuitos en serie (entre el 81% y el 88% aproximadamente).

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en paralelo

Con relación al segundo problema (P2) del cuestionario, que se incluye en la figura 2, los estudiantes deben analizar un circuito de dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , conectados en paralelo con un generador ideal de corriente continua.

Sobre dicho montaje los participantes han de hacer predicciones acerca del brillo inicial de las dos lámparas, los cambios en el brillo de tales lámparas al aumentar el valor de la resistencia R_v y la reestructuración del circuito para valores extremos de dicha resistencia. En la parte inferior derecha de la citada figura se muestra la simulación relativa a la primera cuestión (2.1), donde se aprecia que ambas lámparas brillan igual en la situación inicial (puesto que tienen igual resistencia) y que su brillo no cambia al aumentar la resistencia intermedia (cuestión 2.2), como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica, en un circuito de varias lámparas iguales conectadas en paralelo a la batería. Por otra parte, en este laboratorio virtual de circuitos también se puede apreciar que si la resistencia intermedia se anula (cuestión 2.3), entonces toda la intensidad de corriente circulará por esa rama y las lámparas dejarán de brillar porque se produce un cortocircuito (que acabará dañando la batería).

En la tabla 2 se muestran los resultados de los porcentajes obtenidos tras la categorización de

FIGURA 4. Análisis de un circuito de varios elementos en paralelo

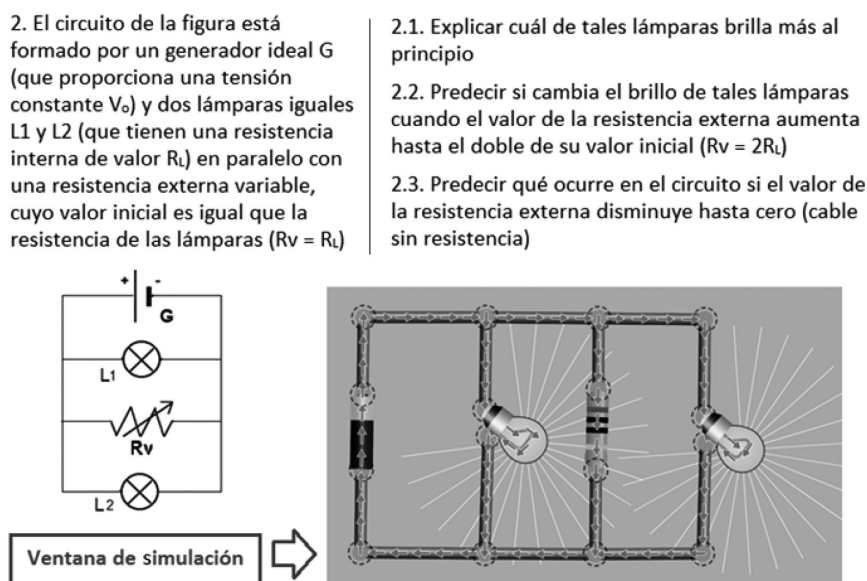


TABLA 2. Evolución del conocimiento en cuestiones sobre un circuito en paralelo

P2 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
2.1	10.7	29.5	31.9	28.7	1.6	12.7	36.5	49.2
2.2	14.8	43.4	25.5	17.3	3.2	17.5	33.3	45.9
2.3	18.2	52.4	18.9	11.5	4.8	26.9	31.7	36.5

ideas correspondientes a los tres ítems del 2.º problema, con arreglo a las cuatro categorías establecidas anteriormente. Tales porcentajes permiten contrastar los resultados de cada categoría obtenidos en el pretest con los datos del postest logrados tras el desarrollo de esta experiencia.

En las tres cuestiones del segundo problema también se aprecian elevados porcentajes de respuestas erróneas en el pretest, sobre todo en los ítems 2.º y 3.º, a pesar de que se trata de un circuito bastante simple. En las respuestas incorrectas a tales cuestiones (categorías I y II) se aprecian modelos mentales de carácter alternativo sobre la asociación de elementos en paralelo, analizados con detalle en un estudio anterior (Pontes, 2020a) y que se han detectado también en otras investigaciones (Gunstone *et al.*, 2009; Balta, 2015). Entre tales dificultades e ideas de carácter alternativo, cabe citar las siguientes: (2.1) la corriente eléctrica se va debilitando con la distancia a la pila de modo que la bombilla L1 brilla más que L2; (2.2) se usan razonamientos de tipo local y secuencial para predecir que el aumento de R_v solo afecta al brillo de L2, o que ambas lámparas disminuyen su brillo al aumentar la resistencia global del circuito; (2.3) se observa una incomprensión elevada del efecto cortocircuito que produce una resistencia nula en paralelo con las otras lámparas del sistema.

Al analizar los resultados de la tabla 2 se aprecia una evolución positiva al comparar los datos de la prueba inicial (pretest) con los datos obtenidos tras el desarrollo de esta experiencia

(postest), mostrando que ha mejorado bastante la comprensión de las ideas clave del modelo científico aplicadas al análisis de un circuito de varios elementos asociados en paralelo. En efecto, al utilizar un laboratorio virtual de circuitos eléctricos en el aprendizaje interactivo de este tema hemos observado que los participantes han progresado significativamente en la evolución de sus concepciones, ya que el uso de modelos alternativos sobre este tipo de circuitos se reduce bastante (oscilando entre el 13% y el 26% aproximadamente) y se aprecia un aumento bastante interesante de ideas científicas en las tres cuestiones planteadas sobre este tema (que varían entre el 68% y el 86% aproximadamente).

Modelos mentales sobre un circuito de varios elementos en montaje mixto

En cuanto al tercer problema (P3) del cuestionario, que se describe en la figura 5, los estudiantes deben analizar el funcionamiento de un circuito de varios elementos conectados en montaje mixto, que está formado por un generador ideal, dos lámparas iguales y una resistencia variable R_v , de modo que la bombilla L1 está conectada en serie con la resistencia R_v y la bombilla L2 queda conectada en paralelo con la rama anterior. En relación con este montaje, los participantes deben hacer predicciones sobre la bifurcación de la corriente eléctrica en un nudo y deben explicar cómo cambia la intensidad de corriente del generador al cambiar el valor de la resistencia R_v . También deben predecir cómo

afecta el aumento de R_v en la potencia eléctrica de las dos ramas diferentes que están conectadas en paralelo y los cambios en la intensidad de corriente y el voltaje que se producen en los dos elementos conectados en serie ($L1$ y R_v).

En la parte inferior de la figura 5 se muestra el resultado del proceso de simulación de la primera cuestión de este problema (3.1), donde se aprecia que la lámpara $L2$ brilla más que $L1$ porque esta lámpara está en serie con R_v , como cabe esperar al aplicar el modelo científico de corriente eléctrica en este circuito mixto (mayor intensidad de corriente en la rama de menor resistencia). Respecto a la cuestión 3.2, el entorno de simulación permite apreciar que el amperímetro va marcando una intensidad de corriente menor a medida que aumenta el valor de R_v , porque el modelo científico indica que en tal caso aumenta la resistencia total del circuito. Asimismo, al analizar la cuestión 3.3 se observa que la lámpara $L1$ disminuye su brillo a medida

que aumenta R_v , mientras que la bombilla $L2$ sigue brillando igual que antes (por estar en paralelo con la batería). Por último, en torno a la cuestión 3.4, al situar un amperímetro en la rama primera, conectar un voltímetro en los bornes de la lámpara $L1$ y otro en los extremos de la resistencia R_v , se podría observar que la intensidad de corriente disminuye al aumentar R_v , lo cual explica la disminución del brillo de $L1$, la disminución de voltaje en dicha lámpara y el aumento de voltaje en R_v , ya que en esta rama se verifica la ley de Kirchhoff de los voltajes en una malla cerrada.

En la tabla 3 se muestran los datos correspondientes al análisis de las respuestas de los estudiantes en los cuatro ítems del tercer problema, con arreglo a las mismas categorías de análisis utilizadas anteriormente, reflejando los porcentajes de cada categoría en el pretest y los datos del postest obtenidos tras la experiencia de aprendizaje que se ha desarrollado al utilizar el laboratorio virtual Phet DC.

Figura 5. Análisis de un circuito de varios elementos en montaje mixto

3. En la figura se muestra un circuito mixto formado por un generador ideal G (que proporciona una tensión constante V_0), dos lámparas iguales $L1$ y $L2$ que tienen la misma resistencia R_L , y una resistencia variable R_v cuyo valor inicial es igual que la resistencia de las lámparas ($R_v = R_L$)
- 3.1. Explicar si la intensidad de corriente eléctrica que circula por la lámpara $L1$ es igual o diferente que en la lámpara $L2$

- 3.2. Si en un determinado instante aumenta el valor de R_v hasta el doble de su valor inicial, explicar si se produce algún cambio en la intensidad de corriente eléctrica que suministra el generador al circuito
- 3.3. Explicar si se produce algún cambio en el brillo o potencia luminosa de la lámpara $L2$, al aumentar el valor de R_v
- 3.4. Explicar si se produce algún cambio en la diferencia de potencial de la resistencia R_v y en el brillo de la lámpara $L1$, al aumentar el valor de R_v

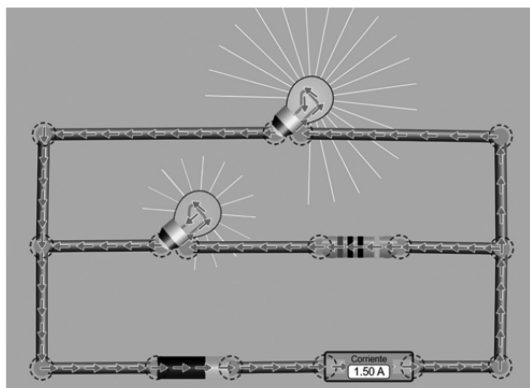
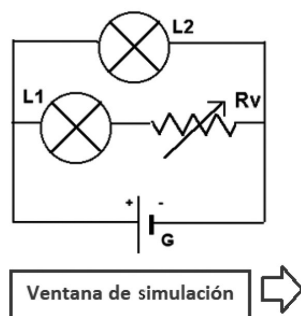


TABLA 3. Resultados del análisis de respuestas en cuestiones sobre un circuito mixto

P3 Ítems	Pretest				Postest			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
3.1	17.6	50.3	19.8	12.3	6.8	20.3	33.9	38.9
3.2	14.8	71.7	8.6	4.9	10.2	33.9	27.1	28.8
3.2	17.3	61.7	7.4	13.6	8.5	28.8	30.5	32.2
3.4	16.0	69.2	11.1	3.7	11.8	30.5	28.8	30.5

En los resultados mostrados en la tabla 3 se puede observar la existencia de porcentajes muy altos de respuestas erróneas en el pretest, sobre todo en los ítems 2.º y 4.º, ya que en este problema se trata de analizar un circuito un poco más complejo que los dos anteriores. En las respuestas incorrectas a tales cuestiones se aprecian modelos mentales de carácter alternativo sobre la asociación de varios elementos en un montaje mixto, que se ha analizado detalladamente en un estudio anterior (Pontes, 2020a). Muchas de estas dificultades de los estudiantes sobre los circuitos mixtos se han detectado también en otras investigaciones previas (Metioui *et al.*, 1996; Mei-Hung y Jing-Wen, 2005). Entre las ideas de carácter alternativo que se han encontrado en las respuestas a las cuestiones del P3 observamos, de nuevo, la incidencia del modelo de consumo de la corriente eléctrica, el uso reiterado de razonamientos de tipo local y secuencial, la falta de comprensión significativa de las leyes de Kirchoff y la confusión que muestran los estudiantes de este nivel entre las magnitudes intensidad de corriente y voltaje. Esta falta de diferenciación entre dos magnitudes básicas influye apreciablemente en la idea de que un generador ideal proporciona una intensidad de corriente constante al circuito, independientemente de los cambios que se produzcan en su estructura o en el valor de alguna de sus variables independientes.

Finalmente, los resultados de la tabla 3 muestran una evolución positiva al comparar los datos del pretest y el postest. En los resultados

obtenidos tras el desarrollo de esta experiencia se aprecia una mayor utilización de las ideas clave del modelo científico de corriente eléctrica al responder a las cuestiones planteadas en este problema. En efecto, al utilizar el programa de simulación Phet DC hemos observado que los participantes alcanzan una mejor comprensión del funcionamiento de los circuitos eléctricos de tipo mixto, ya que el uso de modelos alternativos sobre este tema se reduce de forma apreciable (oscilando entre el 20% y el 34% aproximadamente) y se aprecia un aumento gradual de las explicaciones de carácter científico en las cuatro cuestiones que integran el problema P4 (variando entre el 56% y el 73% aproximadamente). No obstante, aunque los resultados de esta experiencia muestran la utilidad del laboratorio virtual para mejorar la comprensión del funcionamiento de los circuitos eléctricos, seguimos apreciando unos niveles relativamente importantes de predicciones erróneas en las cuestiones 3.3, 3.4 y 3.2. Por tanto, sería conveniente seguir mejorando las actividades de simulación de circuitos de tipo mixto para avanzar en la comprensión y utilización adecuada del modelo científico de corriente eléctrica en este tipo de montajes.

Discusión y conclusiones

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ejercen actualmente una gran influencia en la renovación de los métodos de enseñanza y en la mejora de la formación

docente (Marín, 2017; Miotto *et al.*, 2002), ya que ofrecen la posibilidad de utilizar interesantes herramientas didácticas en el aula y permiten implementar estrategias educativas innovadoras, especialmente en la educación superior de carácter científico-técnico (Romero y Quesada, 2014).

En cuanto a las aplicaciones de las TIC hay que señalar que las simulaciones por ordenador suponen un gran avance para la investigación científica contemporánea y constituyen también una importante herramienta educativa. En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, se han desarrollado durante las últimas décadas numerosas investigaciones que han puesto de manifiesto las importantes posibilidades educativas de las simulaciones y laboratorios virtuales (Achuthan *et al.*, 2017; Develaki, 2019), evaluando su impacto en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, analizando los factores que afectan a su eficacia educativa (Jaakkola y Nurmi, 2008; Yuliati *et al.*, 2018) y destacando, entre otros aspectos, la posibilidad de ayudar a los estudiantes a desarrollar competencias científicas al poder trabajar con modelos o realizar indagaciones y experimentos virtuales (Chazbeck y Ayoubi, 2018; Uddin y Zaheer, 2019).

En esta línea de trabajo hemos realizado una experiencia educativa, que forma parte de un proyecto de trabajo más amplio relacionado con la aplicación de estrategias innovadoras y recursos TIC para mejorar el proceso de aprendizaje de modelos físicos en la enseñanza universitaria (Pontes, 2019). Los modelos juegan un papel fundamental en la ciencia y en la educación científica, al actuar como mediadores entre la realidad y la teoría (Oliva, 2019). Por ello, en la investigación educativa actual se concede importancia a la necesidad de favorecer la progresión de los conocimientos científicos de los alumnos mediante actividades de modelización relacionadas con el uso de simulaciones, analogías y experimentos mentales (Mei-Hung y Jing-Wen, 2005; Balta, 2015; Yuliati *et al.*, 2018).

En esta línea de trabajo hemos llevado a cabo una experiencia sobre el uso educativo de un programa de simulación para ayudar a los estudiantes a superar las notables dificultades de aprendizaje significativo detectadas en numerosas investigaciones previas sobre el tema (Mettoui *et al.*, 1996; Gunstone *et al.*, 2009) y favorecer la comprensión adecuada del modelo de corriente eléctrica, realizando tareas de descubrimiento orientado en un entorno virtual y tratando de aportar evidencias empíricas sobre la utilidad didáctica de este tipo de innovaciones (Ronen y Eliahu, 2000; Zeynep e Ibilge, 2011; Wade *et al.*, 2018). En este sentido, conviene señalar que las simulaciones interactivas pueden actuar como interesantes herramientas para mejorar la educación científica cuando su aplicación docente se vincula a enfoques educativos contemporáneos, como pueden ser los trabajos sobre indagación y modelización con recursos TIC (Taramopoulos y Psillos, 2017; Uddin y Zaheer, 2019), en contraste con el uso inicial de tales programas, que se centraban principalmente en el desarrollo de habilidades para su manejo y en el apoyo al modelo de transmisión de conocimientos (Develaki, 2019).

Para evaluar el proceso educativo llevado a cabo en esta innovación docente se ha utilizado un cuestionario de preguntas abiertas, sobre el funcionamiento de algunos circuitos eléctricos básicos, que ha permitido recoger datos de un grupo de estudiantes de primer curso de ingeniería (Pontes, 2020a), procediendo a realizar un análisis comparativo de las respuestas de los participantes en la fase previa (pretest) y posterior (postest) al del laboratorio virtual Phet DC en el desarrollo de esta experiencia. Al comparar tales datos hemos observado una mejora notable en la calidad de las explicaciones de los participantes sobre los problemas planteados en el cuestionario, tras la acción educativa implementada. Sin embargo, también hay que constatar que los modelos mentales de carácter alternativo no han desaparecido del todo en las respuestas a algunas de las preguntas sobre circuitos básicos planteadas en el cuestionario, lo

cual indica que algunas de las preconcepciones son persistentes (Metioui *et al.*, 1996; Balta, 2015) y que hay que seguir mejorando la calidad del proceso educativo. Por tanto, podemos destacar que las estrategias y recursos usados en esta innovación docente han contribuido a enriquecer y mejorar el proceso de aprendizaje, favoreciendo la progresión de los modelos mentales de los estudiantes sobre el funcionamiento de los circuitos eléctricos (Pontes, 2022), pero quedan todavía aspectos que podrían mejorar en el aprendizaje del modelo científico de corriente eléctrica, de modo que sería conveniente seguir desarrollando nuevas experiencias que permitan avanzar en la mejora del proceso educativo sobre este tema.

Finalmente, hay que señalar que este estudio constituye, en realidad, una primera aproximación al tratamiento de un tema complejo, pues solo se han recogido datos sobre los conocimientos, previos y posteriores al proceso de instrucción, en

torno a problemas concretos que presentaban ciertas dificultades (Pontes, 2020b). Quedan, sin embargo, muchos aspectos por abordar respecto a los procesos de indagación y modelización que realizan los estudiantes al elaborar nuevos conocimientos sobre electrocinética y a tratar de diferenciar entre la influencia que ejercen los materiales didácticos, la acción explicativa del profesorado y el papel concreto que pueden desempeñar los programas de simulación en la mejora del proceso de aprendizaje. Sobre tales aspectos trataremos de avanzar en posteriores etapas de este proyecto de investigación.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto de investigación “Implicación de los estudiantes en prácticas reflexivas de modelización en la enseñanza de las ciencias” (EDU 2017-82518-P), financiado por la AEI.

Referencias bibliográficas

- Achuthan, K., Francis, S. P. y Diwakar, S. (2017). Augmented reflective learning and knowledge retention perceived among students in classrooms involving virtual laboratories. *Education and Information Technologies*, 22(6), 2825-2855. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9626-x>
- Balta, N. (2015). Development of 3-D mechanical models of electric circuits and their effect on students' understanding of electric potential difference. *European Journal of Physics Education*, 6(1), 15-24. <https://doi.org/10.20308/ejpe.80567>
- Chazbeck, B. y Ayoubi, Z. (2018). Resources used by Lebanese secondary physics teachers for teaching electricity: types, objectives and factors affecting their selection. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 4(2), 118-128. <https://doi.org/10.21891/jeseh.409487>
- Develaki, M. (2019). Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *Journal of Science Education and Technology*, 28(4), 353-370. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09772-0>
- Gunstone, R., Mulhall, P. y McKittrick, B. (2009). Physics teachers' perceptions of the difficulty of teaching electricity. *Research in Science Education*, 39(4), 515-538. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9092-y>
- Jaakkola, T. y Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271-283. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x>
- López-Simó, V., Grimalt, C. y Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la pizarra digital interactiva a promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza*

- y *Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3302. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3302
- Marín, V. (2017). TIC para la educación inclusiva. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 69(3), 17-22. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2017.58633>
- Mei-Hung, C. y Jing-Wen, L. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 429-464. <https://doi.org/10.1002/tea.20062>
- Metioui, A., Brassard, C., Levasseur, J. y Lavoie, M. (1996). The persistence of students' unfounded beliefs about electrical circuits: the case of Ohm's law. *International Journal of Science Education*, 18(2), 193-212.
- Miotto, A., Da Costa, A. y Suyó-Vega, J. (2022). Revisión sistemática sobre la formación inicial del profesorado en tecnologías digitales: iniciativas y posibilidades. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(1), 123-140. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.90806>
- Oliva, J. M. (2019). Algunas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Pontes, A. (2019). Recursos TIC para la innovación educativa en la enseñanza de la física universitaria. *Proceedings Book: III International Seminar of Science Education* (pp. 253-259). U. Porto Edições. <https://doi.org/10.24840/978-989-746-198-9>
- Pontes, A. (2020a). Evaluación de conocimientos previos de estudiantes universitarios sobre electrocinética e implicaciones para la enseñanza y el aprendizaje de modelos científicos. *IN-RED 2020: VI Congreso de Innovación Educativa en Red* (pp. 505-515). UPV. <http://dx.doi.org/10.4995/INRED2020.2020.11948>
- Pontes, A. (2020b). Una experiencia con mapas conceptuales y CmapTools sobre aprendizaje de modelos físicos. En E. López-Meneses, D. Cobos, L. Molina, A. Jaén y A. H. Martín (eds.), *Claves para la innovación pedagógica ante los nuevos retos: respuestas en la vanguardia de la práctica educativa* (pp. 3173-3182). Octaedro.
- Pontes, A. (2022). Actividades de indagación y modelización sobre circuitos de corriente eléctrica con ayuda de un laboratorio virtual. En N. Jiménez, L. Aragón, M. M. Aragón y J. M. Oliva (coords.), *Modelizar en las clases de ciencias: actividades y recursos útiles para la enseñanza y aprendizaje con modelos* (pp. 75-89). Octaedro.
- Romero, M. y Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 101-115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>
- Ronen, M. y Eliahu, M. (2000). Simulation a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 14-26. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2729.2000.00112.x>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2), 151-163. <https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- Uddin, Z. y Zaheer, M. H. (2019). Simulating physics experiments in spreadsheets - Experimenting with Ohm's law. *Physics Teacher*, 57(3), 182-183. <https://doi.org/10.1119/1.5092481>
- Wade, K., Demir, K. y Qureshi, A. (2018). Modeling strategies enhanced by metacognitive tools in high school physics to support student conceptual trajectories and understanding of electricity. *Science Education*, 102(4), 711-743. <https://doi.org/10.1002/sce.21444>
- Yuliati, L., Riantoni, C. y Mufti, N. (2018). Problem solving skills on direct current electricity through inquiry-based learning with PhET simulations. *International Journal of Instruction*, 11(4), 123-138. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.1149a>

Zeynep, U. e Ibilge, D. (2011). The effect of combining analogy-based simulation and laboratory activities on Turkish elementary school students' understanding of simple electric circuits. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(4), 320-329.

Abstract

Didactic use of a virtual laboratory to promote the progression of students' mental models about electric current circuits

INTRODUCTION. We are developing a research project on learning physical concepts in university education, using Information and Communication Technologies (ICT) to improve educational quality. This study describes an experience on the didactic use of an electrical circuit simulation program that allows students to perform inquiry and modeling tasks, working in the virtual environment Phet-DC. **METHOD.** 59 first-year engineering students participated in the experience, completing an open-ended questionnaire on basic electrical circuits, in the previous and later stage to the teaching process. A qualitative analysis rubric was used to categorise the participants' answers, identifying the mental models about electrical current that underlie their explanations. **RESULTS.** In the pretest applied before teaching, the predominant existence of unscientific ideas and alternative mental models in the students' answers was observed. During the experience, students analyze the behavior of different types of circuits in the virtual laboratory, hypothesize about the functioning of such systems and contrast their previous hypotheses with the results observed in each simulation. After the development of this educational experience, the results of the post-test show a significant improvement in the understanding and application of the scientific model of electric current by the participants. **DISCUSSION.** After using a virtual laboratory as the main educational resource, a fairly positive evolution of the students' mental models about the functioning of electric circuits has been observed. Therefore, we can consider that the educational use of simulation programs represents a significant improvement in the quality of science education.

Keywords: Higher education, Physics, Educational method, Simulation, Discovery learning.

Résumé

Utilisation didactique d'un laboratoire virtuel pour améliorer la progression des modèles mentaux des étudiants sur les circuits de courant électrique

INTRODUCTION. Nous développons un projet de recherche sur l'apprentissage des concepts physiques dans l'enseignement universitaire en utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour améliorer la qualité de l'enseignement. Cette étude décrit une expérience sur l'utilisation didactique d'un programme de simulation de circuits électriques qui permet aux étudiants d'effectuer des tâches de recherche et de modélisation en travaillant dans l'environnement virtuel Phet-DC. **MÉTHODE.** 59 étudiants en première année d'ingénierie ont participé à l'expérience en remplissant un questionnaire de questions ouvertes sur les circuits électriques de base avant et après le processus d'enseignement. Une grille d'analyse qualitative a été utilisée pour catégoriser les réponses des participants, en identifiant les modèles mentaux sur le courant électrique sous-jacent à leurs explications. **RÉSULTATS.** Dans le pré-test appliqué avant l'enseignement, nous pouvons

apprécier l'existence prédominante d'idées non scientifiques et de modèles mentaux de nature alternative dans les réponses des étudiants. Au cours de l'expérience, les étudiants analysent le comportement de différents types de circuits dans le laboratoire virtuel, ils émettent des hypothèses sur le fonctionnement de ces systèmes et ils confrontent leurs hypothèses aux résultats observés dans chaque simulation. Après le déroulement de cette expérience pédagogique, les résultats du post-test montrent dans les participants une amélioration significative de la compréhension et de l'application du modèle scientifique du courant électrique. **DISCUSSION.** Après avoir utilisé un laboratoire virtuel comme principale ressource pédagogique dans cette expérience, une évolution assez positive des modèles mentaux des étudiants sur le fonctionnement des circuits électriques a été observée. On peut donc considérer que l'utilisation pédagogique des programmes de simulation représente une amélioration significative de la qualité de l'enseignement des sciences.

Mots-clés : Enseignement supérieur, Physique, Méthode pédagogique, Simulation, Apprentissage par la découverte.

Perfil profesional del autor

Alfonso Pontes Pedrajas

Profesor titular de universidad del Departamento de Física Aplicada, de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba. Imparte docencia en estudios de ingeniería, en el Máster de Profesorado de Secundaria y en el Máster de Educación Ambiental. Ha colaborado en diversos proyectos de innovación e investigación educativa, ha participado en numerosos congresos y ha publicado un número amplio de artículos en revistas educativas, relacionados con los temas de didáctica de la ciencia y la tecnología, representación del conocimiento en educación, recursos TIC en la docencia y formación del profesorado de secundaria.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-5798>

Correo electrónico de contacto: apontes@uco.es

Dirección para la correspondencia: Campus Universitario de Rabanales. Edificio Albert Einstein, 1.ª planta, 14014 Córdoba (España).

RECENSIONES /
BOOK REVIEW

SANTOS REGO, M. A., LORENZO MOLEDO, M. Y MÍGUEZ SALINA, G. (2022). *Fondos de conocimiento familiar e intervención educativa. Comprender las circunstancias sociohistóricas de los estudiantes*. Narcea, 141 pp.

No cabe duda de la fuerza que tienen las relaciones sociales en la construcción de conocimiento y en los procesos educativos de los más jóvenes. La escuela no puede ser ajena a tal situación, y por ello urgen estrategias que tomen en consideración las prácticas culturales del alumnado como fuente de aprendizaje y construcción del conocimiento, especialmente cuando hablamos de colectivos marginados. Se trata de que la comunidad de los estudiantes y los activos de que en ella disponen no se vean como un déficit. Es más, conviene observarla como una oportunidad, en clave etnográfica y pedagógica, que permita romper con las discontinuidades entre los códigos y las prácticas culturales de familia y escuela.

Comienza el libro con un prólogo de la profesora Norma González (Universidad de Arizona), quien antepone al lector ante un libro que define como “desafiante”, pues no en vano hace un llamamiento a que los docentes tomen en consideración los recursos culturales, fuertemente arraigados en sus entornos comunitarios y familiares, con los que los alumnos llegan a las escuelas. Lo que sin duda anticipa es una obra cuya aportación a las pedagogías de la inclusión ha de ser destacable.

Después de una introducción donde los autores justifican la pertinencia del trabajo, se estructuran cuatro capítulos que podrían agruparse en dos bloques principales: los dos primeros de corte más teórico y epistémico, y los dos segundos con un mayor enfoque en la acción y la aplicabilidad educativa.

Inicia el primero de los capítulos realizando una aproximación teórica e histórica a los fondos de conocimiento (FdC), cuyo origen se remonta a los años sesenta del pasado siglo, cuando el término fue acuñado por el antropólogo Wolf. Surge, ya por aquel entonces, como un revulsivo al capital cultural, para ampliar el recorrido de dicha concepción a aquellos colectivos de estratos sociales más vulnerables y en exclusión, como la población mexicana residente en la frontera de los Estados Unidos. Lo que importaba era identificar los recursos culturales (social e históricamente conformados) con los que cuentan estos colectivos que se enfrentan a diferentes adversidades en su día a día. Se continúa haciendo un repaso histórico por su tránsito en Norteamérica para terminar hablando de su utilidad como estrategia en la educación reglada a fin de evitar el choque de la cultura escolar con la doméstica y, concretamente, de la función del profesorado como agente mediador entre escuela y familia para identificar e incorporar los FdC en el aula (donde el estudio etnográfico es primordial).

El segundo de los capítulos profundiza en los vínculos entre familia y escuela que se conforman bajo este enfoque. Se entiende la familia como un espacio que, desde el punto de vista educativo, juega un papel central en el desarrollo de la socialización, pues transmite a los más pequeños las prácticas socioculturales de su entorno. El libro repara también en su importancia en cuanto al rendimiento académico de la infancia, idea que se concreta en la relevancia que tiene

su participación en los procesos escolares y, en concreto, en la corresponsabilidad de escuelas-profesores y familia-comunidad, lo que lleva a los autores a hablar de la pertinencia de construir el currículo desde una perspectiva socio-comunitaria. Precisamente, termina abordando los procesos de socialización familiar, y las diferencias académicas que de ellos se pueden derivar en función de clases sociales, para concluir proponiendo los fondos de conocimiento como un enfoque ajustado de cara a mediar las relaciones entre escuela y familias en situaciones de riesgo y vulnerabilidad.

El tercer capítulo inicia una sección del libro con mayor proyección práctica. Primero, se vinculan los fondos de conocimiento con la experiencia social, entendiendo el aprendizaje como un fenómeno que, irremediablemente, se ve mediado socialmente. A continuación, se presentan una serie de experiencias de FdC que fueron aplicadas en diferentes contextos, si bien todas ellas giran en torno a concepciones de cambio y justicia social. Se amplía este análisis abordando ejemplos aplicados en otras latitudes geográficas: Nueva Zelanda, España, Australia y Uganda; para terminar analizando la utilidad de los fondos de conocimiento en la educación superior, pues no hemos de olvidar la fuerte discontinuidad existente entre universidad y estudiantes de colectivos vulnerables o en riesgo.

El cuarto y último capítulo presenta un programa de intervención basado en los FdC (fondos-conocimiento-familias), llevado a cabo en colaboración con la Fundación Secretariado Gitano, donde se estudian la percepción de las familias gitanas sobre el sistema educativo y las trayectorias de sus hijos, así como el interés en la escuela y las perspectivas de futuro del alumnado. Se concluye explicando los resultados de dicho programa, desde el que se han potenciado los recursos culturales de los jóvenes como aspecto que incorporar en sus trayectorias escolares.

Estamos ante un libro de utilidad para diferentes colectivos. En primer lugar, para investigadores de diferentes áreas (pedagogía, psicología, antropología, etc.), pero también para profesionales de la educación o de entidades del tercer sector, pues serán estos últimos los encargados de operativizar enfoques como el de los fondos de conocimiento, a fin de que los marcos culturales de escuelas y de comunidad-familias no supongan un choque para los más jóvenes. Se trata, en definitiva, de una oportunidad para explorar auténticas vías de inclusión educativa, donde los colectivos más vulnerables no sufran una discontinuidad tan acusada con los códigos culturales de la escuela, y su *background* sea incorporado por los docentes en el día a día de la escuela.

Ígor Mella Núñez
Universidade de Santiago
de Compostela

HUERTA, R. (2021). *Cementerios para educar*. McGraw-Hill, 233 pp.

A través de un discurso que combina perfectamente texto e imagen, el hilo argumental de *Cementerios para educar*, obra del catedrático y artista visual Ricard Huerta, gira en torno a una visión novedosa de estos espacios concebidos para el recuerdo y la memoria. El primer contacto que el lector tiene con el volumen se plantea con una imagen de nichos en su portada que, a través de tonos grises y cierta nebulosa, llega a transmitir la soledad y el desamparo asociados a la naturaleza de los cementerios. Si bien es cierto, una mirada al índice del trabajo supone una clara ruptura con esta percepción inicial. Los siete capítulos que dan cuerpo a la obra, pues, se adentran en los entresijos de un entorno propicio para educar, un concepto diferente de lugares emblemáticos y, en ocasiones, desconocidos que el autor trata de una forma bastante acertada y enriquecedora.

Así pues, el libro se abre con un capítulo que, bajo el sello “Pedagogías del recuerdo”, da a conocer experiencias personales y reflexiones que no escapan a la esencia del ser humano y de su identidad. El profesor Huerta se refiere a lugares que son archivos con un enorme potencial para la transmisión de ideales estéticos y la reflexión desde la historia. Como entornos educativos y culturales, la conexión de los cementerios con la literatura, el cine o la pintura no escapa a la mirada del autor de la obra ya desde sus primeras páginas.

El capítulo segundo incide en el papel de los camposantos como espacios para la memoria, pero desde

una perspectiva diferente y tremendamente novedosa. En *Cementerios para educar* se alude a un recuerdo orientado a entender lo histórico como una posibilidad para integrar el contexto vital en el que habita el estudiantado, así como sus realidades familiares y sociales. Ante una perspectiva diferente de los lugares de la muerte, el autor plantea un estudio de los cementerios desde un contexto semiótico. Además, se hacen explícitas otras dimensiones sintácticas, semánticas y pragmáticas propias de unos lugares óptimos para el aprendizaje.

En el capítulo tercero, el catedrático reivindica la vertiente comunicativa de la educación artística y describe un trabajo experimental que parte de la creación de imágenes. Esta invitación para una educación desde lo visual permite reflexionar acerca de la necesidad de aprender a observar. Se destaca, además, la necesidad de fijar criterios para una práctica fotográfica orientada hacia el concepto de relato. Por su naturaleza, y tal y como queda puesto de manifiesto en la obra, esta estrategia de creación e informe a través de la imagen comparte los principios de una interesante Investigación Basada en las Artes.

Más adelante, se abre el debate sobre el cementerio como entorno patrimonial. Un nuevo capítulo permite al autor plantear un aprovechamiento del contexto próximo al alumnado, siempre desde el ámbito de la cultura visual. Resalta en este ambiente pedagógico el importante aporte del paisaje cotidiano y, de manera concreta, del cementerio. Entre otras cuestiones que destacar,

se alude a entornos convertidos en museos al aire libre y se invita al lector a aprovechar el paseo como práctica estética.

Interesa señalar, por otra parte, que las temáticas de actualidad tampoco escapan a los intereses del autor, pues su relato no permanece ajeno a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). “Disfrutar compartiendo jardines relajantes (ODS)” es el título del quinto capítulo, en el que se alude a los cementerios como espacios para el respeto. Desde esta mirada, se vuelven a destacar las posibilidades educativas de los entornos del recuerdo y la memoria en una sociedad marcada por la inmediatez tecnológica. Además, se invita al lector a adentrarse en los camposantos y buscar aspectos interesantes y, en ocasiones, ignorados encerrados tras sus muros: arquitectura, urbanismo, esculturas, tumbas, panteones, vegetación o personajes públicos son algunas de las sugerencias que se lanzan para despertar esa mirada curiosa y de renovación pedagógica.

La obra se cierra con un séptimo capítulo en el que se defienden las posibilidades de las letras como recurso para transmitir ideas. Esa mirada al cementerio engloba aspectos formativos de naturaleza diversa. Así pues, se mencionan criterios

antropológicos, sociológicos o lingüísticos; otros vinculados al diseño; y, como no podía ser de otra manera, el Dr. Huerta no se olvida de la educación artística. Sin duda, se da a conocer todo un recurso para promover el trabajo interdisciplinar en el marco de lo que el autor denomina *currículum vibrante* (p. 68), un modelo que se aleja de las imposiciones del currículo actual y tiene en cuenta los intereses del estudiantado.

En definitiva, la obra del catedrático de la Universidad de Valencia viene a ser una reivindicación de ruptura con los entornos pedagógicos tradicionales. En este proceso de necesaria metamorfosis, se evidencia que los cementerios son “un excelente aliado para celebrar aventuras pedagógicas” (p. 216). Como entornos educativos, nos aproximan al arte, al patrimonio, a la historia, a la estética y, en definitiva, a una cultura que siempre enriquece el progreso de la sociedad. La amena y enriquecedora lectura que nos ofrece *Cementerios para educar* invita, a tenor de todo lo señalado, a la meditación y al aprendizaje a través de un relato no limitado al texto y cargado de un potente e interesante aparato visual.

Pedro V. Salido López
Universidad
de Castilla-La Mancha

MEIRIEU, P. (2020). *La réplica: escuelas alternativas, neurociencias y métodos tradicionales: para acabar con los espejismos*. Dr Buk, 246 pp.

En el siempre fértil campo intelectual francés se ha constituido, durante las últimas décadas, la figura de Philippe Meirieu. Protagonista de una dilatada carrera, dedicó sus primeros años al estudio del aprendizaje por medio de prácticas educativas innovadoras. Tras ello, profundizó en sus estudios teóricos y orientó su interés hacia la filosofía para pasar, por último, a la dedicación política, tanto en la esfera intelectual como en su ejercicio, al participar activamente del diseño de la educación pública desde ambos márgenes de las instituciones.

Durante los últimos años esta vocación se ha visto acentuada en su expresión, quizás, más mediática y controversial, especialmente alenada por las múltiples discusiones que han enfrentado a “pedagogos reformistas” —con Meirieu a la cabeza— y “republicanos conservadores” antipedagógicos. De hecho, la disputa por el rumbo que tomar por la educación en Francia fragua la presente obra, en la que se declara que la sociedad en su conjunto precisa enfrentar un debate democrático, en el cual Meirieu busca insertar su palabra sobre el modelo educativo, reconociendo a la educación y la pedagogía como objetos políticos. El valor de su intervención, no obstante, traspasa los Pirineos, pues comporta una gran vigencia para el debate educativo en España.

La obra se segmenta en dos partes compuestas por breves capítulos, que, a modo de alegoría, representan el camino que seguir por el pedagogo dispuesto a surcar la polémica educativa. En la primera

parte, hallándose simbólicamente este “En la cúspide”, el autor presenta a uno de sus grandes adversarios, la postura antipedagógica, que, al haber rechazado la utilidad del saber pedagógico en la docencia, termina dictaminándolo culpable de un proceso de degradación generalizado en la educación francesa. Asimismo, se responde a algunos de sus pilares, como la creencia en la transmisión pura de conocimientos y la espontaneidad del proceso de enseñanza y aprendizaje, el apego por los contenidos, la transformación de los objetivos de la educación en condiciones previas imputables al educando y el rechazo a los esfuerzos igualitaristas en nombre de una heterogeneidad social naturalizada. De su lado, la “hiperpedagogía”, animada por el culto a la naturaleza del niño, aboga por una educación negativa (no directividad, espontaneidad, asamblearismo) que socaba la labor educativa, obvia las desigualdades y renuncia al principio de educabilidad universal.

Aunque aparentemente irreconciliables, ambas posturas convergen en desestimar la realidad institucional y la regulación pública de la educación, barriendo con su sentido social y ético en pro de un movimiento privatizador de “consumismo escolar”. En cambio, la construcción de un modelo educativo es posible desde una posición auténticamente pedagógica, la cual se define paulatinamente en los siguientes capítulos de la primera parte con motivo de los retos que ha enfrentado la disciplina a lo largo de su historia, la discrepancia interna entre partidarios de la

Escuela Nueva y la Escuela Única y la descentralización de los centros educativos. Situado en la cima, aclarada su identidad, el pedagogo ha de movilizarse generando una propuesta real, congruente y social que operativice una “línea de paso” con la que superar la encrucijada que aprisiona la educación.

Bajar a *la arena* del debate en la segunda parte significa, entonces, tanto mostrar la inmanencia de la pedagogía respecto a la educación, enmendando el mito de la “transmisión pura”, como discutir la validez de algunos planteamientos que protagonizan la actualidad. Ello pasa por definir los elementos constitutivos de toda pedagogía, esto es, las finalidades que persigue, los medios e instrumentos que precisa y los conocimientos que moviliza. Así, al interrogar algunas apuestas educativas por la validez de sus elementos y la congruencia que guardan, se descubren pedagogías que, bien yuxtaponen finalidades y medios inadecuados como son las prácticas tradicionales, bien articulan finalidades políticas y conocimientos científicos sin atender a su viabilidad, caso de los proyectos ultrapedagógicos, o bien obvian la reflexión sobre las finalidades y confían toda su dimensión práctico-instrumental a las evidencias científicas, derivando de las neurociencias una neuropedagogía.

Frente a estas pedagogías incompletas o deficientes, el autor presenta en los sucesivos capítulos una propuesta articulada sobre las bases de la pedagogía diferenciada. Haciendo gala de máximas humanistas y

democráticas, y con un eco ilustrado, defiende que, ante el dominio de la “hipermodernidad” individualista y frenética, la finalidad de la educación en nuestros tiempos ha de ser formar sujetos capacitados para resistir la omnipotencia pulsional, pensar por sí mismos (*¡sapere aude!*) y colaborar en democracia para el bien común. A su vez, esta meta requiere de la movilización de tres fuentes teóricas, a saber: la filosofía fenomenológica, las psicologías constructivista social y del desarrollo y la pedagogía institucional. En tercer lugar, tamaña propuesta se materializa mediante la práctica de una “desaceleración” en los espacios educativos que prime la reflexividad, la maduración y la búsqueda de la verdad, fijando la atención de los alumnos y promoviendo la viabilidad del placer de aprender.

La naturaleza polemista de la obra y su finalidad divulgadora se hacen patentes en su ágil disposición formal y la presentación asequible de sus contenidos, sin comprometer, empero, un análisis profundo que se ve enriquecido por múltiples referencias teóricas e históricas y que da lugar a una exposición procesual y negativa de su pensamiento. Así, haciendo honor a su título, *La réplica* responde con creces al esfuerzo de quien se ha convertido en personaje público por posicionarse en un debate complejo y de gran trascendencia para toda sociedad por comprometer su futuro: qué adultos está dispuesta a formar.

Katerin Tsenkov Asenov
Universidad de Salamanca

POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA *BORDÓN*

- 1) *Bordón* acepta trabajos científicos de temática multidisciplinar dentro del campo de la educación. Los trabajos presentados podrán utilizar cualquier método científico aceptado en nuestras ciencias. *Bordón* y la SEP protegen la investigación no empírica (teórica, filosófica e histórica) siempre que se destaque por su rigor científico en el tratamiento del tema en cuestión.
- 2) Todos los trabajos, con independencia de su naturaleza, deben incluir: una revisión significativa y actualizada del problema objeto de estudio que abarque el panorama internacional (como orientación y con las excepciones justificadas por el tema de estudio, al menos el 30% de las referencias serán de los cinco últimos años. Además, un porcentaje significativo de las citas provendrán de otras revistas científicas de impacto de ámbito internacional), así como una descripción precisa de la metodología adoptada. Igualmente deben incluir los hallazgos principales, discutir las limitaciones del estudio y proporcionar una interpretación general de los resultados en el contexto del área de investigación.
- 3) En el resumen debe presentarse una síntesis de los aspectos citados ajustándose al formato IMRyD¹ (Introducción, Método, Resultados y Discusión), tal y como se especifica en las normas de colaboración. El equipo editorial ha decidido adoptar el formato IMRyD porque permite dotar de sistematicidad a los resúmenes en todos artículos publicados en *Bordón*, adoptando un formato internacional multidisciplinar para comunicar resultados de la investigación. Por otra parte, favorece enormemente la capacidad de citación de cada artículo particular y de la revista en general. Responde, finalmente, a las recomendaciones de la FECYT para las publicaciones con sello de calidad, como es *Bordón*.
- 4) Se aceptarán trabajos de corte histórico, comparativo o filosófico. Se considerarán igualmente estudios empíricos así como trabajos de revisión y meta análisis sobre la investigación realizada en relación con un problema o área particular:

¹ El equipo editorial es consciente de que no todas las metodologías de estudio se ajustan, por su naturaleza y por tradición, a este formato de resúmenes, por lo que es flexible en su utilización en determinados casos. No obstante, toda investigación, más allá de su metodología y planteamientos epistemológicos, parte de un problema o unos objetivos para llegar a unos resultados que no necesariamente son cuantificables, pero sí identificables, y para ello se ha debido utilizar algún método (que no necesariamente corresponde con el método experimental ni con métodos estadísticos; por ejemplo, la Historia, la Teoría, la Filosofía, etc., tienen sus propios métodos de investigación). Así, de modo general y aplicable a cualquier área científica, la INTRODUCCIÓN busca identificar el planteamiento del tema objeto de estudio, los objetivos o preguntas que lo guían. El MÉTODO, los métodos, fuentes, instrumentos o procedimientos utilizados para responder a los objetivos. Los estudios empíricos incluirán siempre en este apartado el tamaño de la muestra, los instrumentos y las técnicas de análisis. Los RESULTADOS aportarán los hallazgos principales que puedan atraer a la lectura del artículo a un potencial investigador que esté realizando una búsqueda bibliográfica en bases de datos. La DISCUSIÓN confrontará los resultados o conclusiones a los que se ha llegado con los obtenidos por otros autores, teorías o posiciones, señalando las fortalezas y límites propios.

- Los trabajos de corte histórico, comparativo o filosófico deben mostrar que han sido conducidos con sistematicidad y rigor, conforme a la metodología propia de este tipo de estudios.
- Los trabajos de revisión deben adoptar los estándares convencionales de una revisión sistemática reproducible tanto como sea posible. En todo caso las revisiones tienen que:
 1. Justificar la revisión en el contexto de lo que ya se conoce sobre el tema.
 2. Plantear de forma explícita la/s pregunta/s que se desean contestar.
 3. Describir la metodología usada: fuentes de información (p.e. bases de datos), criterios de elegibilidad de estudios, estrategia de búsqueda, trabajos finalmente incluidos y excluidos con detalles de las razones, etc.

Serán rechazados los trabajos teóricos que propongan un mero resumen de la literatura sobre un tema sin objetivos específicos de indagación ni precisiones metodológicas.

- Los estudios empíricos (ya sean cuantitativos o cualitativos) deberán especificar con claridad la muestra utilizada y el método de selección de la misma, los instrumentos utilizados y sus características psicométricas cuando sea pertinente, así como las fuentes de recogida de información. Siempre que sea factible, se indicará el tamaño del efecto además de los datos de significación estadística. Los estudios descriptivos y correlacionales de enfoque cuantitativo basados en muestras pequeñas, sesgadas o de carácter local (por ejemplo, estudiantes universitarios de una única titulación o universidad) tienen menores probabilidades de ser considerados para su publicación. En todo caso deberán incluir una justificación suficiente sobre su aportación al conocimiento del problema estudiado; de otro modo, serán desestimados. Igualmente se desestimarán trabajos que supongan meras réplicas de trabajos existentes si no se justifica convenientemente su necesidad y el valor añadido que aportan al área de investigación.

NORMAS PARA LOS AUTORES.

REDACCIÓN, PRESENTACIÓN Y PUBLICACIÓN

DE COLABORACIONES

1. Todos los artículos publicados en la revista Bordón son previamente valorados por dos revisores externos según el sistema de revisión por pares (doble ciego). En caso de discrepancia, el Editor podrá solicitar la revisión a un tercer evaluador.
2. Los trabajos deben ser originales y no deben estar siendo evaluados simultáneamente en otra publicación. El incumplimiento de esta norma se considera falta muy grave e implicará la imposibilidad de volver a publicar en Bordón en el futuro.
3. Ética de publicación: dadas las relaciones históricas de la Sociedad Española de Pedagogía y la revista Bordón con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Sociedad Española de Pedagogía adopta el Código de Buenas Prácticas Científicas aprobado por el CSIC en marzo de 2010. Así, los artículos publicados en Bordón deben atenerse a los principios y criterios éticos de este Código (disponible en español e inglés en <http://www.csic.es/web/guest/etica-en-la-investigacion>).
4. Idioma de publicación: Bordón acepta artículos originales en español e inglés, publicándose en el idioma de envío. Excepcionalmente se aceptarán artículos originales en portugués; los autores interesados en publicar en portugués deberán ponerse en contacto previamente con la Secretaría de la revista.
5. Los trabajos deben ser enviados exclusivamente a través de la Plataforma de Gestión de Revistas RE-CYT, de la Fundación de Ciencia y Tecnología: <http://recyt.fecyt.es/index.php/index/login>. Los nuevos usuarios (autores, revisores) disponen de unas orientaciones en la web de la revista que les ayudará a registrarse adecuadamente en la plataforma.
6. Los autores redactarán el artículo de forma que los revisores no puedan deducir por las autocitas quiénes son los autores del mismo; por ejemplo, se evitarán expresiones del tipo “como dijimos anteriormente (Pérez, 2015)” o “según nuestro trabajo (Pérez, 2015)”, etc. También se eliminarán las etiquetas de identificación del archivo que crea por defecto el formato Word en el menú [archivo - preparar - inspeccionar un documento - propiedades del documento].
7. El equipo editorial comprobará si los artículos cumplen con los criterios formales y si se ajustan a la política editorial de Bordón. En caso positivo, los artículos pasarán al proceso de evaluación por pares de acuerdo con los criterios de evaluación de la revista Bordón (ver ficha de evaluación). En caso contrario, los artículos podrán ser directamente desestimados.
8. Una vez evaluado el artículo, el Director de Bordón o persona en quien delegue informará al autor de contacto de la decisión de los revisores, pudiendo solicitarse modificaciones o correcciones tanto de forma como de contenido para proceder a su publicación. Los autores tendrán un plazo máximo de un mes para enviar las modificaciones sugeridas.
9. La extensión de los trabajos, que deberán ser enviados en formato Word, no sobrepasará las 6.500 palabras en total, exceptuando únicamente las traducciones del resumen y de las palabras clave.
10. En un documento independiente se enviará la hoja de datos que se subirá a la plataforma como fichero complementario en el que NO se accionará la orden “Mostrar fichero a los revisores”, con los siguientes datos:
 1. Título del artículo.
 2. Autores, en el orden en el que aparecerán en la publicación.

3. Para cada autor: nombre y apellidos, filiación, categoría o puesto de trabajo, dirección postal, teléfono, e-mail y breve currículum vitae de los últimos cinco años (máximo 5 líneas).
4. Autor con el que se establecerá la correspondencia sobre el proceso de evaluación.
11. Se enviará el artículo en un documento cuyas páginas estén numeradas consecutivamente, que debe ajustarse a la estructura siguiente.
 1. TÍTULO DEL ARTÍCULO EN ESPAÑOL
 2. TÍTULO DEL ARTÍCULO EN INGLÉS
 3. RESUMEN EN ESPAÑOL (entre 250 y 300 palabras y en formato IMRyD). Se rechazarán los artículos que no cumplan esta norma. Tanto en español como en inglés, se seguirá el formato IMRyD (Introducción, Método, Resultados y Discusión/Introduction, Method, Results, Discussion), con la flexibilidad indicada en la política editorial. Estas palabras se indicarán como apartados en MAYÚSCULAS dentro del resumen, seguidas de un punto y seguido.
 4. PALABRAS CLAVE: Las palabras clave (entre 4 y 6) serán extraídas originalmente del y se traducirán al español.
 5. RESUMEN EN INGLÉS (ABSTRACT).
 6. KEYWORDS, extraídas del Tesauro de ERIC.
 7. TEXTO DEL ARTÍCULO.
 8. NOTAS (si existen).
 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.
 10. Las TABLAS, GRÁFICOS o CUADROS, cuando puedan ir en formato Word, deberán ir en el lugar que le correspondan dentro del artículo, con su correspondiente título y leyenda y numerados correlativamente. Cuando sea necesario utilizar otros formatos (tipo imagen jpg, tif, etc.), se enviarán en archivos aparte, indicando en el texto el lugar y número de la tabla, gráfico o cuadro que deberá insertarse en cada caso. La calidad de las ilustraciones deberá ser nítida y en escala de grises.
 11. SOLO a los artículos que resulten finalmente aceptados, se les pedirá traducción del título, resumen y palabras clave al FRANCÉS, que deberán entregar en el plazo de una semana.
12. Al RESUMEN, en su caso, podrá añadirse otro en cualquiera de las lenguas oficiales del Estado español.
13. Las NOTAS ACLARATORIAS al texto, numeradas correlativamente, se indicarán con superíndices y se incluirán al final del texto bajo el epígrafe de Notas.
14. Las referencias en el texto, las referencias bibliográficas finales, las citas textuales, etc., seguirán el formato de la última edición de las normas APA. Recuérdese la obligatoriedad de incluir el DOI siempre que exista.
15. Las pruebas de imprenta de los artículos aceptados para su publicación se enviarán al autor de contacto para su corrección. Las pruebas deberán ser devueltas en un plazo de tres días a la editora de la revista. Las correcciones no podrán significar, en ningún caso, modificaciones considerables del texto original.
16. Cada autor recibirá un ejemplar electrónico de la revista en la que haya salido publicada su colaboración, estando obligado a respetar el periodo de embargo de la revista.
17. Las RECENSIONES DE LIBROS, cuya fecha de publicación no podrá ser anterior al año previo de la fecha de envío (es decir, si se envía en 2014 no podrá haberse publicado el libro antes de 2013), también deben ser enviadas exclusivamente a través de la Plataforma de Gestión de Revistas RECYT seleccionando la sección de recensiones (no como artículo). Deberán ajustarse a la siguiente estructura:
 1. Apellidos del autor del libro, Iniciales (Año de publicación). Título del libro. Ciudad de publicación, Editorial, número de páginas del libro.
 2. TEXTO de la recensión del libro (extensión máxima de 900 palabras).
 3. NOMBRE Y APELLIDOS del autor de la recensión.
 4. Filiación del autor de la recensión.
 5. Datos del autor de la recensión (nombre, correo electrónico, dirección postal y puesto de trabajo).
18. El Consejo Editorial se reserva el derecho de introducir las modificaciones pertinentes, en cumplimiento de las normas descritas anteriormente.
19. Aceptado un artículo para su publicación, tendrán prioridad en la fecha de publicación aquellos artículos en los que todos los autores sean miembros de la Sociedad Española de Pedagogía o que se hagan miembros en el plazo de un mes una vez recibida la carta de aceptación.

- ◆ PRESENTACIÓN EDITORIAL: EL PAPEL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA EDUCACIÓN STEM / *THE ROLE OF NEW TECHNOLOGIES IN STEM EDUCATION*
Alicia Palacios, Virginia Pascual y Daniel Moreno-Mediavilla
- ◆ TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA EDUCACIÓN STEM. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE PUBLICACIONES EN SCOPUS Y WOS (2010-2020) / *EMERGING TECHNOLOGIES IN STEM EDUCATION. A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS IN SCOPUS & WOS (2010-2020)*
Francisco Silva-Díaz, Gracia Fernández-Ferrer, Mercedes Vásquez-Vilchez, Cristian Ferrada, Romina Narváez y Javier Carrillo-Rosúa
- ◆ LA TRASCENDENCIA DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA EDUCACIÓN STEM: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA EXPERIMENTACIÓN EN EL AULA / *THE IMPORTANCE OF VIRTUAL REALITY IN STEM EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW FROM THE POINT OF VIEW OF EXPERIMENTATION IN THE CLASSROOM*
Juan José Marrero-Galván y Manuel Hernández-Padrón
- ◆ ANÁLISIS DE APPLETS DE GEOGEBRA PARA LA ENSEÑANZA DEL LÍMITE DE UNA FUNCIÓN / *ANALYSIS OF GEOGEBRA APPLETS FOR TEACHING THE LIMIT OF A FUNCTION*
Álvaro Barreras, Luis Dubarbie y Antonio M. Oller-Marcén
- ◆ COMPETENCIAS DOCENTES EN EL USO DE SIMULACIONES VIRTUALES STEM: DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN INSTRUMENTO DE MEDIDA (CDUSV) / *TEACHER COMPETENCES IN THE USE OF STEM VIRTUAL SIMULATIONS: DESIGN AND VALIDATION OF A MEASUREMENT INSTRUMENT (CDUSV)*
Rosa Gómez, Alicia Palacios, Daniel Moreno-Mediavilla y Álvaro Barreras
- ◆ ENSEÑANZA DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MEDIANTE EL USO DE SIMULADORES Y LABORATORIOS VIRTUALES EN LA ETAPA UNIVERSITARIA / *TEACHING OF DESCRIPTIVE STATISTICS USING SIMULATORS AND VIRTUAL LABORATORIES AT UNIVERSITY LEVEL*
Fernanda Tatiana Cox, Daniel González, Ángel Alberto Magreñán y Lara Orcos
- ◆ EXPERIENCIA *BLENDED LEARNING* APOYADA EN UN LABORATORIO VIRTUAL PARA EDUCACIÓN DE MATERIAS STEM / *BLENDED LEARNING EXPERIENCE SUPPORTED BY A VIRTUAL LABORATORY FOR STEM SUBJECTS TRAINING*
Elena Arce, Francisco Zayas-Gato, Andrés Suárez-García, Álvaro Michelena, Esteban Jove, José-Luis Casteleiro-Roca, Héctor Quintián y José Luis Calvo-Rolle
- ◆ USO DIDÁCTICO DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA FAVORECER LA PROGRESIÓN DE LOS MODELOS MENTALES DE LOS ESTUDIANTES SOBRE CIRCUITOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA / *DIDACTIC USE OF A VIRTUAL LABORATORY TO PROMOTE THE PROGRESSION OF STUDENTS' MENTAL MODELS OF ELECTRIC CURRENT CIRCUITS*
Alfonso Pontes Pedrajas

Indexed in
SCOPUS



Bordón, desde 1949

ISSN: 0210-5934
e-ISSN: 2340-6577