

Herramientas de simulación como apoyo en la enseñanza de teoría electromagnética para ingeniería en el contexto de la virtualidad

Simulation tools to support the teaching of electromagnetic theory for engineering

José Pablo Araya Garbanzo

Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Eléctrica
San José, Costa Rica
josepa9911@gmail.com

Diego Sayed Dumani Jarquín

Universidad de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Eléctrica
San José, Costa Rica
diego.dumani@ucr.ac.cr

RESUMEN: La enseñanza de los cursos troncales de ingeniería conlleva importantes retos debido a la complejidad de ilustrar conceptos abstractos y a la vez mantener la atención del estudiantado, especialmente en modalidad virtual. Sin embargo, la modalidad virtual también permite aprovechar las ventajas de las herramientas de simulación para visualizar dichos conceptos. En este trabajo se aborda la experiencia de diversas estrategias didácticas desarrolladas en ambientes virtuales para la enseñanza y aprendizaje de teoría electromagnética en el curso Electromagnetismo I de Ingeniería Eléctrica. Las estrategias implementadas incluyeron sesiones sincrónicas, asincrónicas, foros, simulaciones, entre otras. La efectividad de las estrategias fue evaluada mediante sondeos al estudiantado al final de cada semestre. Los resultados de esta experiencia son un insumo útil para ser tomado en cuenta para futuras ediciones del curso tanto para la enseñanza como para las actividades de evaluación. Se concluyó que el aprendizaje activo permitió al estudiantado comprender conceptos abstractos de una forma visual, lo cual derivó en una mejor experiencia académica.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje activo, electromagnetismo, enseñanza asistida por ordenador, educación a distancia, educación técnica superior, enseñanza virtual.

ABSTRACT: Teaching of core engineering courses involves significant challenges due to the complexity of illustrating abstract concepts while maintaining student attention, particularly in the context of virtual learning. However, virtual modalities also allow to take advantage of simulation tools to visualize such concepts. This paper discusses the experience of different didactic strategies implemented in a virtual environment for teaching electromagnetic theory in the Electromagnetism I course at the School of Electrical Engineering. The strategies implemented included synchronous and asynchronous sessions, forums, simulations, among others. The effectiveness of the strategies was evaluated using student surveys at the end of each semester. The results of this experience will be a useful resource for future versions of the course, both for teaching and evaluation activities. It was concluded that active learning allowed students to understand abstract concepts in a visual way, which resulted in a better academic experience.

KEYWORDS: active learning, electromagnetism, simulation, remote teaching, visualization.

Recibido: 10-06-22 | Aceptado: 24-10-22

Introducción

La teoría electromagnética estudia la carga y los campos de fuerza asociados a ella, así como los campos eléctricos y magnéticos. Esta rama del conocimiento, también llamada teoría de campo o electromagnetismo, es indispensable para el desarrollo de profesionales en áreas de la ingeniería y física. No obstante, varios factores impiden que se tenga una visión favorable del curso relacionado con esta teoría tanto por parte del estudiantado como del personal docente, entre ellos la característica abstracta de los contenidos. Por tanto, se presenta un reto en la enseñanza del electromagnetismo que dificulta el correcto aprendizaje.

Una técnica de enseñanza que presenta una oportunidad para superar este reto es la implementación de herramientas de simulación para visualizar los efectos electromagnéticos. Esta técnica constituye un recurso digital o tecnológico que permite al estudiantado observar y experimentar con los conceptos de teoría de campo en una interfaz más clara (Dori y Belcher, 2005a). De igual manera, al implementar las herramientas de simulación, el docente puede presentar los conceptos de una forma más integral, reduciendo las limitaciones presentes en libros de texto o apuntes de clase. La implementación de esta técnica de enseñanza se llevó a cabo en el contexto de la virtualización de la educación provocada por la crisis sanitaria global de la COVID-19. Por tanto, sus efectos positivos y negativos deben ser analizados, para decidir las técnicas a conservar una vez finalizada la crisis sanitaria, con el propósito de superar los retos inherentes de la enseñanza del electromagnetismo mediante la implementación de herramientas didácticas sustentadas por la tecnología.

La teoría de campos electromagnéticos se sustenta significativamente en conceptos matemáticos como el álgebra lineal, cálculo vectorial, cálculo integral y funciones complejas. La profunda relación de los tópicos del curso con la matemática crea una barrera para la disposición del estudiantado, ya que causa la impresión de que el curso es difícil o demandante (Roussel y Hélier, 2012). Por lo tanto, se produce un prejuicio erróneo hacia los temas del curso, lo que ha incrementado el índice de deserción de cursos relacionados con los temas de electromagnetismo

(Roussel y Hélier, 2012). Además del considerable sustento matemático, la teoría electromagnética describe fenómenos de carácter intangible, lo que también dificulta el correcto entendimiento por parte del estudiantado. En contraste con cursos introductorios de física, no se pueden entablar analogías fácilmente para fenómenos electromagnéticos (Sağlam y Millar, 2006). Los temas iniciales de mecánica clásica son más simples de concebir por parte del estudiantado, por ejemplo, los eventos de caída libre (Özcan, 2010). Esto se debe a que los conceptos son más fácilmente asociados con situaciones cotidianas experimentadas por el estudiantado. En cambio, la teoría de campo cubre tópicos desde el comportamiento del campo eléctrico y magnético en el espacio hasta la propagación de ondas en distintos materiales. Por esta razón, es más complejo asociar los fenómenos del electromagnetismo con situaciones cotidianas para su entendimiento y, por ende, se les atribuye un cierto grado de abstracción. Por último, los fenómenos electromagnéticos son tridimensionales, pero se suelen representar en interfaces bidimensionales, por ejemplo: pizarra, libro de texto, notas de clase. Al representar un evento tridimensional en dos dimensiones, es esperado que se pierda información global del sistema (Sağlam y Millar, 2006). Por tanto, la enseñanza del electromagnetismo depende, en gran medida, de la capacidad de la persona docente para interpretar y representar el fenómeno, así como para transmitir correctamente estas representaciones al estudiantado.

Adicionalmente, en la enseñanza clásica del electromagnetismo, el estudiantado tenía un rol pasivo, en el cual el aprendizaje se basaba en las clases magistrales de la persona docente. De esta forma, se entabla una dependencia directa en las capacidades de enseñanza del profesorado, su forma de interpretar el conocimiento del contenido y visualizarlo (Dori y Belcher, 2005b). Por otro lado, el aprendizaje activo supone un rol dinámico y participativo por parte del estudiantado, y pretende que este desarrolle habilidades de búsqueda, análisis, síntesis, resolución de problemas, comunicación, entre otros, en un ambiente y acompañamiento favorables para su crecimiento (Dori y Belcher, 2005a). La presencia de la persona docente es fundamental para el correcto aprendizaje del estudiantado, debido a que es quien

facilita este entorno de aprendizaje y, de igual forma, supervisa la debida formación del estudiantado (Dori y Belcher, 2005b). Sin embargo, las herramientas de aprendizaje activo permiten reducir la dependencia de la capacidad de transmitir conocimiento de la persona docente, a la vez que se incrementa la responsabilidad del estudiantado sobre su aprendizaje.

En este artículo se considera la tecnología como una potencial herramienta para fomentar el aprendizaje activo y mejorar la comprensión de conceptos abstractos de la teoría electromagnética. El uso de las herramientas de simulación permite promover un rol activo en el estudiantado con respecto a su aprendizaje y rompe con los esquemas tradicionales en la enseñanza de la teoría electromagnética (SenthilKumar, 2019). Lo anterior hace alusión a que el estudiantado dispone de la tecnología para visualizar y experimentar con los conceptos del curso; por tanto, se desarrolla un entorno donde puede experimentar y formular sus propias conclusiones sobre los fenómenos electromagnéticos. La implementación de las herramientas de simulación puede utilizarse para la resolución de ejercicios, la ilustración de conceptos, distintos casos de estudio, entre muchas otras aplicaciones.

El uso de herramientas de simulación para la enseñanza de electromagnetismo representa, entonces, claros beneficios hacia la población estudiantil. Primero, le brinda la potestad al estudiantado de asociar las imágenes, figuras o resultados de las distintas simulaciones con conceptos abstractos de la teoría. De esta manera, preserva y recuerda la esencia de estos fenómenos con más eficiencia, en lugar de limitarse a descripciones verbales o textuales. Además, al utilizar tecnología no solo para el desarrollo de ejercicios, sino también para la ilustración de la parte teórica del electromagnetismo, se promueve un entorno creativo e innovador para el estudiantado. En esencia, el principal beneficio es proveer una visualización y expresión más clara de los conceptos abstractos del electromagnetismo (Coetzee *et al.*, 2020).

Al ser un curso con un fuerte sustento matemático, debe de existir un balance entre las aplicaciones teóricas y prácticas de la teoría electromagnética (Leppävirta *et al.*, 2011). En ese sentido, las herramientas tecnológicas pueden ser explotadas para la ilustración tanto de la teoría del curso como de la parte práctica.

La crisis sanitaria global causada por la COVID-19 obligó a generalizar la virtualización de la educación o la enseñanza remota, por lo que se acentuaron los retos en lo que respecta a la enseñanza del electromagnetismo. Por ejemplo, en un entorno presencial, la persona docente puede hacer mímicas o demostraciones que estimulen la percepción espacial del estudiantado, aun si la materia se presenta en una pizarra o proyección. En un entorno virtual, la persona docente pierde la habilidad de interactuar con el estudiantado en forma tridimensional, y se torna en un elemento bidimensional más dentro de la clase. Adicionalmente, se debió plantear una nueva metodología teniendo en consideración los retos ya presentes en la enseñanza de teoría de campo, así como los nuevos planteamientos de la virtualización de la educación. A pesar de ser un panorama complejo, esto permitió dar paso al uso consistente de herramientas de simulación en el desarrollo del curso. Por tanto, se utilizaron las simulaciones junto con el aprendizaje mediante problemas conceptuales y ejercicios, lo que permitió al estudiantado experimentar y formular sus propias conclusiones de los fenómenos electromagnéticos.

Metodología aplicada

Dada la crisis sanitaria global causada por la COVID-19, la Universidad de Costa Rica implementó medidas para que la enseñanza de los cursos se realizara de manera remota. Desde marzo del 2020 hasta diciembre del 2021, el curso de Electromagnetismo 1 de la Escuela de Ingeniería Eléctrica se impartió de forma completamente virtual. En ese plazo, se enfrentaron numerosos desafíos para asegurar el óptimo aprendizaje del estudiantado. Principalmente, fue necesario un cambio en la metodología del curso para adaptarlo a la enseñanza remota. La metodología utilizada involucró principalmente el uso de siete actividades didácticas: clases sincrónicas, clases asincrónicas, demostraciones de laboratorios virtuales, foros, simulaciones, charlas, y evaluaciones asincrónicas.

Las clases sincrónicas se desarrollaron con el propósito de

mantener un balance entre la solución de ejercicios y la explicación del material teórico. Se utilizó la herramienta de videoconferencia Zoom para su desarrollo. Se buscó producir un espacio de aprendizaje cercano al que se tiene en modalidad presencial, y el principal beneficio fue la comunicación en tiempo real entre el estudiantado y el cuerpo docente. Esta comunicación incluyó la discusión de dudas de la temática del curso, problemas puntuales o aspectos generales, con la persona docente supervisando la formación del estudiantado. Las clases en tiempo real tienen como enfoque la solución de temas teóricos con un mayor grado de complejidad al igual que la solución de ejercicios. Otra característica importante de las lecciones sincrónicas es que se pueden grabar y seguidamente publicarse en el entorno virtual del curso para que el estudiantado pueda disponer de ellas.

Por otra parte, las clases asincrónicas consisten en lecciones pregrabadas por la persona docente que se encuentran a disposición del estudiante en el entorno virtual. La mayor parte del material teórico del curso de Electromagnetismo 1 se impartió mediante clases asincrónicas. El principal beneficio consistió en brindar flexibilidad de horario, pues el estudiantado pudo acceder al material en todo momento, independientemente del horario de clase. Las lecciones asincrónicas cubrieron principalmente el material teórico y ejercicios demostrativos básicos. Luego de presentar el material, se formularon preguntas abiertas al estudiantado, para fomentar la reflexión y posterior discusión en las sesiones sincrónicas. Asimismo, la asignación de preguntas abiertas fomentó que el estudiantado siguiera el cronograma del curso y asistiera a las grabaciones cada semana sin rezago.

La virtualidad implicó que el estudiantado no pudiera asistir en forma presencial a las prácticas de laboratorio. Por esta razón, las prácticas se llevaron a cabo por el personal docente en el laboratorio, donde se grabaron mientras se comentaban detalladamente. El video de la práctica se puso luego a disposición del estudiantado en el entorno virtual del curso. La evaluación de dicha actividad consistió en un reporte breve que incluyera una reflexión sobre la relación de la práctica experimental con la teoría del curso.

Se utilizaron foros para alentar la participación e interacción

del estudiantado y, consecuentemente, fomentar un interés en los temas de electromagnetismo. En estas actividades, se instó al estudiantado a investigar aplicaciones prácticas de los temas del curso, programas de simulación de acceso libre sobre fenómenos electromagnéticos o contenido de interés en lo que respecta al aprendizaje. Los resultados obtenidos se compartían entre los compañeros y compañeras del curso mediante el foro.

Las herramientas de simulación se utilizaron con el fin de promover el aprendizaje activo del estudiantado, así como una más clara visualización de los conceptos abstractos. Luego de ejecutar e interactuar con las simulaciones, se le solicitó al estudiantado compartir en foros lo hallado durante la simulación. Además, se realizaron simulaciones de conceptos más complejos con dos propósitos: consolidar el entendimiento de los fundamentos de la teoría y, a la vez, permitir la asimilación de nuevos conceptos. Se realizaron actividades en las que se le brindó al estudiantado un archivo editable con código de MATLAB y se le solicitó analizar y discutir los efectos que se presentan al cambiar distintos parámetros dentro de la simulación. De esta forma, se permitió observar y describir el comportamiento de distintos fenómenos electromagnéticos y su comparación con lo visto en la teoría.

Otra de las actividades implementadas fue la participación en charlas impartidas por personas profesionales invitadas. La importancia de la teoría electromagnética en el desempeño profesional y el desarrollo de nuevas tecnologías no suele ser un aspecto que el estudiantado asimile. Mediante estas charlas dirigidas por profesionales en ingeniería, el estudiantado pudo escuchar directamente cómo se aplican los conceptos del curso cotidianamente en la industria. Esta actividad no es necesariamente nueva en la enseñanza de la ingeniería, sin embargo, no solía ser frecuente en el curso de electromagnetismo en cuestión. Asimismo, la virtualidad permitió una mayor facilidad para que profesionales del área pudieran compartir sus conocimientos, sin necesidad de transportarse a las instalaciones universitarias. Por último, otra ventaja de este tipo de actividad en la virtualidad es romper con la monotonía usual de la clase magistral y permitir que el estudiantado interactúe y se motive con respecto a los temas del curso.

Finalmente, la evaluación del conocimiento en los cursos académicos es una necesidad. Para este efecto, se implementaron exámenes y actividades de evaluación asincrónicas. Los exámenes representaron un 65 % de la evaluación final del curso mientras que el resto del porcentaje se asignó a las evaluaciones de actividades asincrónicas semanales. Estas actividades se pueden desglosar en la participación de los foros y las charlas, los reportes de laboratorio, la resolución de ejercicios cortos, y las respuestas a las preguntas abiertas del material del curso. En cuanto a los exámenes parciales, se asignaron de forma individual y su formato fue similar al utilizado en la presencialidad, con la diferencia de que se permitió al estudiantado resolverlo en modalidad “libro abierto”, dada su naturaleza virtual.

Con el fin de conocer los efectos de las distintas actividades en la experiencia de aprendizaje del estudiantado, se realizó un sondeo a partir de la aplicación de un cuestionario anónimo como instrumento. El sondeo constó de 15 preguntas obligatorias de selección múltiple sobre las distintas actividades realizadas. Además, se incluyeron 4 espacios opcionales para añadir comentarios específicos sobre las actividades que el estudiantado consideró de mayor o menor valor, y los efectos percibidos en su experiencia de aprendizaje.

Simulaciones

Las simulaciones implementadas en el curso se usaron con dos enfoques principales: la ilustración de conceptos abstractos de la nota teórica, y en proyectos de simulación con archivos de MATLAB como parte de las actividades asincrónicas. Para las simulaciones con enfoque ilustrativo, existe gran variedad de recursos en línea que presentan simples simulaciones para exponer conceptos electromagnéticos como la Ley de Faraday o el comportamiento de las líneas de campo eléctrico con distintas cargas presentes.

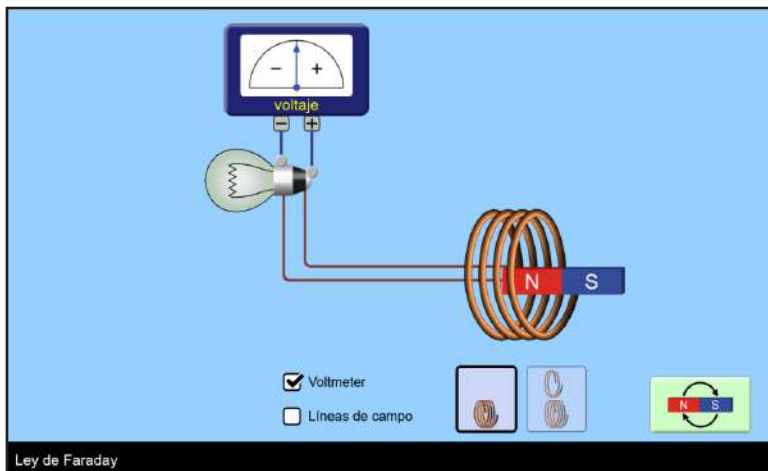
En el caso de la Ley de Faraday, su demostración consiste en inducir una corriente eléctrica mediante cambios en el campo magnético aplicado a una bobina. Esto se suele demostrar con

el experimento clásico de Faraday, que muestra el principio de inducción mediante un imán que pasa a través de una bobina que se encuentra conectada a un galvanómetro o a un bombillo. Mientras el imán esté en reposo dentro o fuera de la bobina, no se produce el efecto de inducción y, por ende, no se detecta una medida en el galvanómetro y la bombilla no se enciende. En el momento en que se desplaza el imán por la bobina, se produce un campo magnético variable que induce una corriente en el circuito de la bobina. Este movimiento del imán logra producir una medida de tensión eléctrica en el galvanómetro o enciende la bombilla.

En el caso de este estudio, se presentó al estudiantado una simulación parte del paquete PhET, desarrollado por la Universidad de Colorado en Boulder (Perkins *et al.*, 2006). Este paquete no solo incluye la demostración de la Ley de Faraday, sino que permite a la persona usuaria interactuar con el movimiento del imán en distintas posiciones, velocidades, entre otros parámetros, a través de la interfaz gráfica, según se muestra en la figura 1.

FIGURA 1

SIMULACIÓN INTERACTIVA DE LA LEY DE FARADAY



Fuente: PhET. (s.f.). *Ley de Faraday*. PhET University of Colorado Boulder. Consultado en febrero, 2022. <https://phet.colorado.edu/es/simulations/faradays-law>

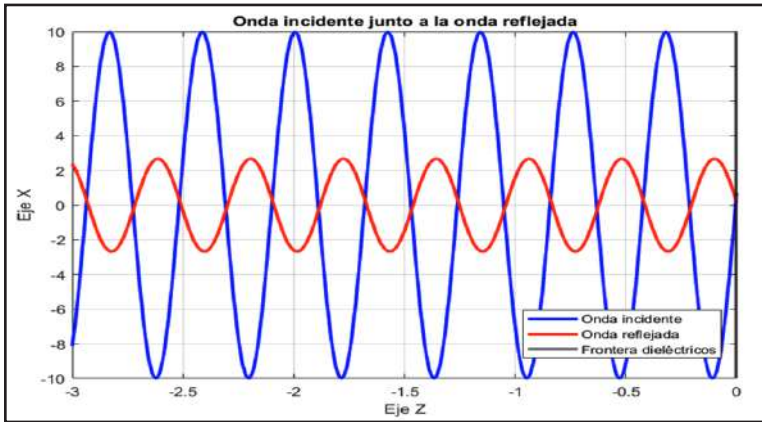
En el instante en que el imán se mueve dentro de la bobina, se nota cómo se enciende la bombilla y se registra un cambio en el indicador de tensión eléctrica. Esta es una demostración simple, clara e interactiva sobre la Ley de Faraday. Este tipo de simulaciones, que exponen de una manera creativa los fundamentos de los fenómenos electromagnéticos, son ideales para ilustrar los conceptos que tradicionalmente se presentarían de forma abstracta.

En el caso de los proyectos de simulación en MATLAB, se posee un enfoque adicional al de solamente ilustrar las nociones de teoría de campo. Se busca utilizar el programa de simulación MATLAB para sustentar el desarrollo de los ejercicios prácticos con gráficas que muestran el comportamiento de las variables de importancia. La principal ventaja de estas evaluaciones es que el estudiantado puede visualizar los problemas con mayor facilidad y, a la vez, tienen la oportunidad de experimentar con los parámetros del ejercicio. Al cambiar las magnitudes de distintas variables, se puede compilar nuevamente la simulación y obtener distintos resultados según el comportamiento de las variables de interés. Lo anterior permite que se formulen conclusiones sobre los fenómenos electromagnéticos, sus características, y su dependencia en cada variable en distintos escenarios.

De igual forma, mediante las simulaciones de MATLAB, se pueden asociar los conceptos teóricos con las respuestas gráficas generadas. En el caso del tema de propagación de onda, cuando una de ellas se desplaza en el espacio y pasa por un material, se espera que se refleje una parte de la onda incidente conocida como onda reflejada. Las gráficas en MATLAB, tal como la mostrada en la figura 2, permiten observar directamente cómo las magnitudes de estas ondas varían en el tiempo y en el espacio. A partir de la información del enunciado del problema y los datos de la gráfica, se pueden estudiar conceptos teóricos como la diferencia entre la potencia incidente y la potencia reflejada, el principio de conservación de energía, entre otros.

FIGURA 2

SIMULACIÓN DE PROPAGACIÓN DE ONDAS



Fuente: Elaboración propia.

Otra simulación implementada en el desarrollo del curso fue la visualización de una onda plana uniforme, que consta de campos eléctricos y magnéticos que oscilan y viajan en un espacio tridimensional, tal y como se muestra en la figura 3. En este caso, el campo eléctrico y magnético son ortogonales entre sí, por lo que existe una diferencia de noventa grados entre sus curvas. La presentación tradicional de estas ondas en una pizarra o libro de texto podría resultar confusa para el estudiantado, pues muestra únicamente la proyección bidimensional de la onda y, además, omite el comportamiento dinámico en el tiempo y espacio. En especial, pueden ser confusos aspectos como la dirección de propagación, en cuál eje se propagan los campos, cuándo suceden los valores máximos y mínimos en ambas curvas, entre otros factores. Por lo tanto, la simulación ayuda a una mejor comprensión pues ilustra los aspectos de la onda en tres dimensiones, muestra las variaciones espaciotemporales y, a la vez, permite manipular la ilustración para verla desde diferentes ángulos, visualizar proyecciones, así como alterar distintos parámetros de la onda.

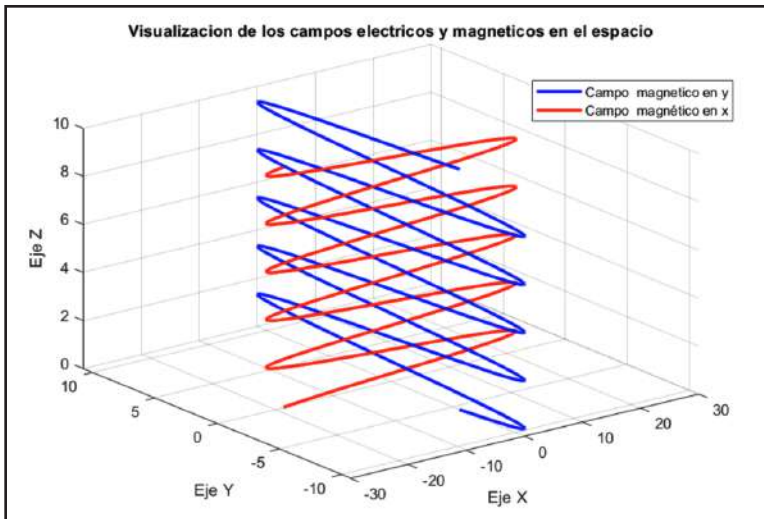
Como se mencionó anteriormente, a partir de una interfaz bidimensional no se pueden representar fenómenos tridimensionales en su totalidad. No obstante, las simulaciones rompen con las limitaciones presentes en libros de texto o representadas en

la pizarra, debido a que se les puede añadir características como mover manualmente los ejes o que el desarrollo de la gráfica sea animado.

Por último, un beneficio añadido del trabajo con código y programas de simulación es que el estudiantado se familiarice e incremente su experiencia con herramientas tecnológicas que, en el caso de la ingeniería, serán parte importante de su ejercicio profesional.

FIGURA 3

SIMULACIÓN DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS EN EL ESPACIO



Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Con el fin de evaluar directamente la opinión respecto a la implementación de herramientas de simulación en el desarrollo del curso, se utilizó un sondeo como herramienta de recolección de datos. Se solicitó a la población de veinticuatro estudiantes que cursaron Electromagnetismo 1 en el periodo I-2021 en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica

completar un sondeo de carácter anónimo al finalizar el semestre. Se utilizó una escala de Likert como el principal criterio de evaluación para medir la utilidad de la estrategia didáctica. Para cuantificar las mediciones, se le asignó a la respuesta “muy útil” un valor de 5 y a la respuesta “para nada útil” un valor de 1. De esta forma, se puede apreciar la perspectiva del grupo de estudiantes que cursaron Electromagnetismo 1 ante las herramientas de simulación implementadas. En la tabla 1 se detallan los resultados de interés.

TABLA 1

EVALUACIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

Pregunta	Muy útil y útil (%)	Para nada útil y poco útil (%)	Moderadamente útil (%)	Moda	Promedio
Herramientas de simulación	91.6	0.0	8.3	5	4.63
Foros de investigación	87.5	4.2	8.3	5	4.42
Proyectos de simulación en MATLAB	87.5	0.0	12.5	5	4.58

Nota: Resultados del cuestionario aplicado a estudiantes del curso Electromagnetismo 1. Fuente: Elaboración propia.

Se desprende directamente de los resultados que la percepción del estudiantado sobre la implementación de herramientas de simulación es muy favorable. Las respuestas del cuestionario mostraron que la mayoría del estudiantado valora estas técnicas de enseñanza como muy útiles para la explicación de temas con un alto grado de abstracción. Por lo tanto, la metodología empleada fue bien recibida por parte del estudiantado y, a partir de los resultados expuestos, se puede afirmar que el uso de tecnología para la enseñanza del electromagnetismo es un apoyo valioso para el aprendizaje del estudiantado.

Conclusiones

Este artículo tomó como enfoque el uso de las herramientas de simulación en la enseñanza del curso de Electromagnetismo I de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica. Mediante la aplicación de un sondeo al final del semestre, se estudió la opinión que tuvo el estudiantado respecto a las distintas simulaciones vistas en el desarrollo del curso. Se obtuvo como resultado que las simulaciones le permitieron al estudiantado visualizar, de manera eficaz, conceptos abstractos de la teoría de campo.

El alcance que tuvieron estas herramientas de simulación fue sustentar tanto el desarrollo del material teórico como algunos ejercicios prácticos. Contrario a los medios convencionales como pizarras o libros de texto, las simulaciones permiten visualizar conceptos de forma tridimensional y con un comportamiento dinámico. De esta manera, los recursos digitales se utilizan tanto para la comprensión de las bases del electromagnetismo como para asimilar nuevos conceptos a lo largo del curso. De este modo, el uso de tecnología como enfoque del aprendizaje activo del estudiantado resultó de utilidad en el aprendizaje de los conceptos del curso.

Por otro lado, uno de los principales desafíos con los que se enfrenta el estudiantado proviene del carácter abstracto de los conceptos vistos en clase y la relación que se percibe entre la teoría y sus aplicaciones en el ámbito profesional. Por tanto, enfrentar estos retos puede mejorar considerablemente la experiencia del estudiantado en el curso. La desconexión entre la teoría y sus usos industriales pudo mitigarse gracias a actividades como charlas de personas profesionales invitadas y recursos en línea para ilustrar distintos conceptos del electromagnetismo.

La enseñanza del electromagnetismo aún presenta muchos retos, tanto en modalidad presencial como virtual. Es importante considerar que el soporte de la tecnología abre numerosas puertas hacia una enseñanza potencialmente más integral, al permitir la visualización y entendimiento de conceptos abstractos del electromagnetismo, así como para fortalecer las bases teóricas en el estudiantado.

Referencias

- Coetzee, C., Rollnick, M., y Gaigher, E. (2020). Teaching Electromagnetism for the First Time: a Case Study of Pre-service Science Teachers' Enacted Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 52, 357 - 378. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09948-4>
- Dori, Y.J., y Belcher, J. (2005a). How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students Understanding of Electromagnetism Concepts? *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 243 - 279. <https://doi.org/10.2528/pierb08031103>
- Dori, Y.J., y Belcher, J. (2005b). Learning Electromagnetism with Visualizations and Active Learning. En Gilbert, J.K. (Ed.) *Visualization in Science Education* (pp. 187-216). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_11
- Leppävirta, J., Kettunen, H., y Sihvola, A. (2011). Complex Problem Exercises in Developing Engineering Students' Conceptual and Procedural Knowledge of Electromagnetics. *IEEE Transactions on Education*, 54(1), 63-66. <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2043531>
- Özcan, Ö. (2010). How do the Students Describe the Quantum Mechanics and Classical Mechanics? *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 22 - 26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3694882>
- PhET. (s.f.). *Ley de Faraday*. PhET University of Colorado Boulder. Consultado en febrero, 2022. <https://phet.colorado.edu/es/simulations/faradays-law>
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., y LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The physics teacher*, 44(18), 18 - 23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Roussel, H., y Hélier, M. (2012). Difficulties in teaching electromagnetism: an eight year experience at Pierre and Marie Curie University. *Advanced Electromagnetics*, 1(1), 65 - 69. <https://doi.org/10.7716/aem.v1i1.59>
- Sağlam, M. y Millar, R. (2006). Upper High School Students' Understanding of Electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 28(5), 543 - 566. <https://doi.org/10.1080/09500690500339613>
- SenthilKumar, R. D. (2019). Work in progress: Use of Interactive Simulations in the Active Learning Model in Physics Education for Engineering Students at a College in Oman. En A. K. Ashmawy y S. Schreiter (Comp.), *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (pp. 1359-1362). <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2043531>