VISUAL REVIEW | Vol. 17, No. 3, 2025 | ISSN 2695-9631
International Visual Culture Review / Revista Internacional de Cultura Visual
https://doi.org/10.62161/revvisual.v17.5896

SIMULADORES COMO APOYO VISUAL PARA EL FORTALECIMIENTO DE LOS CURSOS DE AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA INDUSTRIAL

MANUEL SÁNCHEZ-CHERO[1], JOSE ANTONIO SÁNCHEZ-CHERO[2], JUAN PEDRO SOPLAPUCO-MONTALVO[3], MÓNICA YSABEL ORTEGA CABREJOS[2]
[1] Universidad Nacional de Frontera, Perú
[2]Universidad César Vallejo, Piura-Perú
[3]Universidad César Vallejo, Chiclayo-Perú

PALABRAS CLAVE

Cursos de automatización
Soportes visuales
Simuladores
Simulación
Educación

RESUMEN

Los cursos de automatización básicos presentes en diversas carreras de ingeniería, se han visto en la necesidad de implementar nuevas metodologías que acerquen a los estudiantes a la práctica real. Durante la pandemia se observó la necesidad de implementar metodología de enseñanza como la simulación basada en apoyos visuales para lograr este objetivo. Es por ello que la presente revisión de la literatura busca generar un alcance sobre el uso de simuladores en los cursos de automatización, y dar a conocer los simuladores que han sido empleados con éxito en la enseñanza de este curso, además de resaltar las ventajas de su uso en la educación.

Recibido: 05/ 11 / 2024
Aceptado: 06/ 03 / 2025

1. Introducción

La necesidad de agilizar la producción y reducir la intervención humana en los procesos industriales, llevo al desarrollo de la automatización y la robótica industrial; tecnologías que vienen siendo implementada en las industrias a nivel mundial hace más de un siglo y que en la actualidad son los pilares más importantes para el buen rendimiento de la producción. Es debido a esta adopción de la automatización por parte de la industria mundial, se hizo necesario que los profesionales de las carreras de ingeniería en el ámbito industrial requieran integrar cursos de automatización y robótica industrial a sus currículos, siendo actualmente cursos de carácter obligatorio para la carrera (Rehg, 2020).

En los países más desarrollados, las carreras de ingeniería, cuentan con laboratorios de automatización para poner en contacto al estudiante con la teoría aprendida, sin embargo, en los países subdesarrollados, los estudiantes ven muy limitadas sus posibilidades de interactuar en laboratorios de automatización, principalmente porque las universidades se centran en invertir en laboratorios de ciencias naturales, dejando de lado las referentes a estas tecnologías. Pereira et al. (2012) señala que estos cursos deben buscar disminuir la brecha entre estos y la práctica industrial real, por lo que el procurar que los estudiantes tengan contacto con dispositivos, sistemas y técnicas similares a las de la industria real, debería ser una prioridad. En un curso de automatización convencional la práctica se lleva a cabo en laboratorios, donde el uso de tarjetas de desarrollo, sensores, robots y PLC´s son necesarios (Bhardwaj et al., 2021).

Por otro lado, una alternativa al uso de laboratorios físicos se hizo presente con la pandemia generada por el Covid-19, con la cual el mundo académico se vio con la necesidad de implementar entornos virtuales con apoyo de visuales para continuar con la enseñanza de manera remota. En el caso de laboratorios de automatización y robótica, el apoyo visual como videos en los programas de simulación fueron una gran alternativa debido a que estos pueden imitar o replicar procesos y objetos del mundo real con una alta precisión, lo que permite al estudiante ponerse en contacto con realidades que en un ámbito real no podrían (Cabero-Almenara & Costas, 2016), en este contexto, los simuladores son apoyos visuales de gran potencial para la enseñanza de cursos de automatización. Por otra parte, el uso de apoyos visuales en la educación, mejoran el aprendizaje ya que proveen al estudiante información explicativa visual relevante para las clases teórica (Buckley & Nerantzi, 2020).

Teniendo en cuenta el contexto planteado se tiene como principal objetivo para esta revisión identificar aquellos entornos visuales como la simulación sirvan como herramientas de apoyo visual para la enseñanza de los cursos de automatización y robótica en carreras de ingeniería.

2. Simuladores como apoyo visual para la enseñanza de automatización y robótica

Los apoyos visuales hoy en día cumplen un rol importante en la educación moderna, que permiten transforma la información ya sea verbal o textual en información visual con la finalidad de mejorar la comprensión del estudiante. Según autores como Erduran & Kaya (2018) y Kalyani et al. (2018) la incorporación de herramientas visuales ayuda al estudiante a comprender mejores conceptos y a desarrollar la imaginación.

Los simuladores, por su parte, como apoyos visuales son herramientas que permiten replicar entornos de la realidad de un evento o situación específica (Beaubien, 2004). En la educación la simulación ha sido empleada para exponer al estudiante a situaciones semejantes a las que enfrentaría en un entorno real. Si bien el uso de simuladores visuales en la educación ya estaba presente en algunas instituciones de educación superior, era solo privilegio de instituciones privadas. Por otro lado, con la llegada de la pandemia y el confinamiento generado, se hizo evidente la necesidad de utilizar los simuladores como apoyo visual para la educación, sobre todo para aquellas carreras como la ingeniería donde el uso de laboratorios se vio suspendido por la pandemia (ANUIES, 2020; Li et al., 2020).

Durante los cursos de automatización, sobre todo en los niveles básicos, se prioriza la enseñanza de los diversos sensores, actuadores y controladores existentes para automatizar procesos (Farrow & LeMaster, 2006). La enseñanza de circuitos y prototipos básicos, usualmente requiere la adquisición de elementos como protoboards, tarjetas de desarrollo, sensores y actuadores, sin embargo, la adquisición de estos elementos por parte de los estudiantes muchas veces es limitado (Faíña, 2022). Los

simuladores en ese sentido son la alternativa cuando no es posible adquirir estos elementos y permiten ser un apoyo visual para los estudiantes para comprender los aprendido teóricamente. Actualmente existen diversos simuladores basados en apoyos visuales de carácter online y gratuitos, que permiten simular circuitos y su funcionamiento.

Autores como (Faíña, 2022) quien como docente implementó el uso de simuladores en cursos de electrónica básica, señaló que estos no solo permitieron la continuidad de clases en la pandemia, sino que fueron y deberían seguir siendo un complemento a los ejercicios de laboratorio y la enseñanza en aula. (Ferreira et al., 2022) por otro lado señala que los simuladores de circuitos sirven de manera efectiva para los estudiantes como una herramienta visual virtual para la introducción a componentes electrónicos evitando el miedo que causa la exposición por primera vez a estos elementos, así como también se evitan los peligros del daño de componentes durante una mala manipulación. Las simulaciones hacen posible que los estudiantes interactúen en entornos seguros, mientras ponen en práctica la teoría aprendida (Campos et al., 2020).

3. Metodología:

3.1. Pregunta de investigación:

Teniendo en cuenta el objetivo planteado y habiendo presentado el estado del uso de simuladores como apoyo visual en la enseñanza de cursos de automatización, se formuló la siguiente pregunta de investigación:
¿Cuáles son los entornos de simulación existentes que pueden servir como apoyo visual para la enseñanza de curos de automatización y robótica?

Debido a la limitada información respecto a la variedad de simuladores empleados para la enseñanza de cursos de automatización en bases de datos específicas, se optó por realizar una revisión de la literatura de tipo narrativa. La cual es un tipo de revisión que no cuenta con una metodología estructurada, pero sin embargo permite abordar el tema tratado de una manera más extensa y flexible (Byrne, 2016). Así también, se empleó como medio de consulta de investigaciones el buscador de Google Académico, ya que permite tener acceso a una gran variedad de recursos de carácter académico (artículos, tesis, libros, patentes, documentos relativos a congresos y resúmenes).

4. Resultados

4.1. Simuladores para la enseñanza de automatización:

Como se mencionó anteriormente la simulación como herramienta de apoyo visual ha ganado importancia en la enseñanza luego de la pandemia, por lo que su implementación para el aprendizaje de cursos de automatización y robótica se hace necesario para crear un entorno de aprendizaje más dinámico y de confianza en los estudiantes. Dentro del mundo de las simulaciones para enseñanza de automatización y robótica, se pueden distinguir simuladores con representaciones graficas visuales en 2D y en 3D. En general los simuladores en 2D están destinados a la simulación de circuitos electrónicos, mientras que los 3D se usan principalmente en robótica y para representar visualmente diversas maquinarias de tipo industrial (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los simuladores empleados como apoyo visual para la enseñanza de cursos de automatización y robótica industrial

Simulador	Tipo de simulación	Rubro	Plataforma
Tinkercad	2D	Circuitos	Web
Fritzing	2D	Circuitos	Windows, macOS, and Linux.
Wokwi	2D	Circuitos	Web
Factory I/O	3D	Maquinaria industrial	Windows
SIMULINK 3D Animation	2D y 3D	Equipos electrónicos	Windows
HOME I/O	3D	Domótica	Windows
Virtual Breadboard (VBB)	2D	Circuitos	Windows
AutoSIM-200	2D y 3D	Maquinaria industrial	Windows

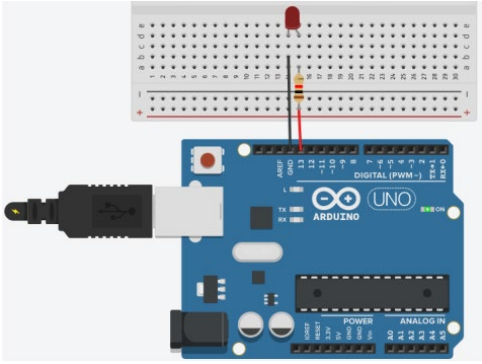
Fuente: Elaboración propia, 2024

A continuación, se presentan algunas de las plataformas virtuales de simulación de entorno visual que cuentan con las características necesarias para el aprendizaje de la automatización y robótica industrial y que han sido empleadas por docentes para su implementación en estos cursos:

4.1.1. Tinkercad

Es una aplicación gratuita desarrollada por Autodesk, que permite en su sección circuitos diseñar, programar y simular circuitos electrónicos (Ver Figura 1). Este simulador es una de las aplicaciones más conocidas entre los estudiantes universitarios que cursan ingenierías (Coronel & Ortega, 2022). En el ámbito de la educación, Tinkercad se perfila como una herramienta de simulación de apoyo visual muy valiosa para la electrónica, ya que permite acceder a una gran variedad de componentes electrónicos, sensores, actuadores, protoboards e incluye microcontroladores como Arduino (Chiluisa-Chiluisa et al., 2022). Autores como Chichekian et al., 2022), señalan que como docentes consideran Tinkercad como la opción principal para ayudar a los estudiantes a comprender como funciona cada componente electrónico por separado al emplear la simulación en tarjetas Arduino.

Figura 1. Esquema visual de circuito para la simulaciòn del encendido de un led empleando Tinkercad



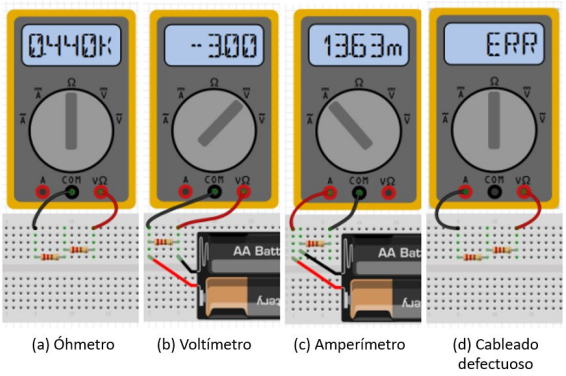
Fuente: Tupac-Yupanqui et al. (2021)

4.1.2. Fritzing

Es un programa de acceso abierto que permite crear, diseñar y simular circuitos electrónicos. Su propósito principal es la de servir como herramienta para la enseñanza de electrónica para principiantes, sin embargo, su capacidad se limita al análisis de circuitos DC, por lo demás es un programa muy funcional, de fácil uso y con representaciones visuales fieles a la realidad (Fritzing Blog, 2022). Respecto a su uso en educación autores como Faíña (2022) formularon prácticas de simulación en Fritzing, destacando que su uso permite a los estudiantes trabajar en tres vistas distintas: protoboard,

esquema y PCB, todas con gráficos visuales fieles a la realidad (Ver Figura 2). (Han et al., 2021) señala que el uso de Fritzing para el diseño y simulación de E-textiles en estudiantes ayudó a los estudiantes a comprender el funcionamiento de este tipo de prendas y lograr mejores notas en los cursos de E-textiles en comparación con los estudiantes que emplearon los métodos tradicionales de enseñanza.

Figura 2. Representación visual de simulaciòn de propiedades de un multímetro en Fritzing

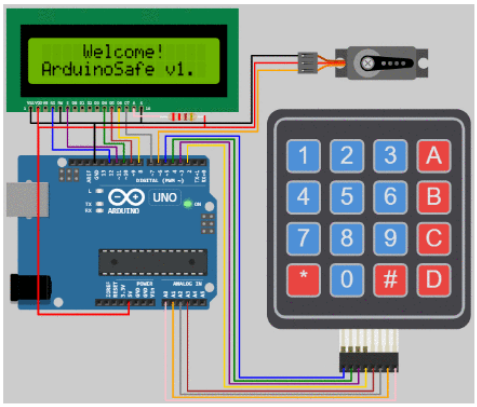


Fuente: Traducido de Faíña (2022)

4.1.3. Wokwi

Wokwi es un simulador de proyectos Arduino y que también cuenta con microcontroladores ESP32, STM32 y muchas otras tarjetas, sensores y diversos componentes electrónicos (Ver Figura 3). En la bibliografía se encuentran diversas investigaciones (Tuyen, 2022; Widianto & Cahaya Putra, 2023; Yaremchenko et al., 2020) de docentes que han empleado Wokwi como herramienta de apoyo visual práctico para la enseñanza de cursos de IoT, destacando el uso de esta plataforma debido a que el simulador cuenta con tarjetas con acceso a internet, bluethooth que permite simular proyectos IoT.

Figura 3. Visualización de la simulación de un sistema de seguridad electrónico con contraseña



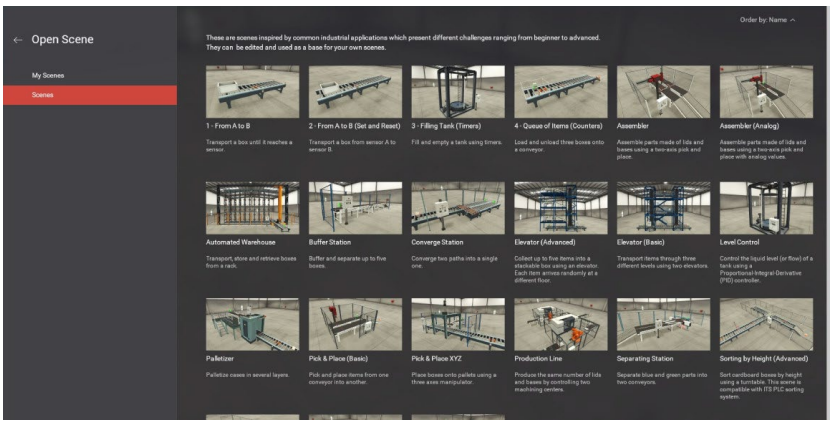
Fuente: Traducido de Faíña (2022)

4.1.4. Factory I/O

Factory I/O es una plataforma visual de simulación de fábrica en 3D que permite aprender tecnologías de automatización. Es una plataforma de fácil uso y permite construir fabricas virtuales empleando diversas piezas industriales de mayor uso (Ver Figura 4), las cuales son fieles a su forma y características que las de un entorno real (Factory I/O, n.d.). Trabajos como los de Gomez et al. (2022), quienes emplearon este simulador para enseñr un curso relacionado a los PLC (Controladores Lógicos Programables) señalan que Factory I/O cuenta con una calidad visual muy alta con un alto grado de realismo. Autores como Vargas et al. (2023) emplearon Factory I/O para la enseñanza de la automatización en un master de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) de Chile, donde lo estudiantes resaltaron que la plataforma ofrece un entorno visual muy realista e inmersivo, lo cual ayuda a la comprensión del curso al poder visualizar el comportamiento real de los componentes físicos. Otros docentes investigadores como (Michelena et al. (2023); Philippot et al, (2017); Riera & Vigário

(2017); Tran et al. (2019), también emplearon Factory I/O para la simulación de prácticas de control y automatización virtuales, aprovechando lo llamativo, práctico y realista visualmente de la plataforma.

Figura 4. Lista de escenas visuales 3D listas para usar inspiradas en aplicaciones industriales típicas.



Fuente: Factory I/O (n.d.)

4.1.5. MATLAB/SIMULINK/SIMULINK 3D Animation:

MATLAB es un software de matemática de negocios que se emplea a menudo en el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, cálculos numéricos, entre otros, sin embargo, Simulink hace referencia a un complemento de MATLAB que genera entornos gráficos interactivos para, modelar, simular y analizar sistemas dinámicos (Liu & Hu, 2012). Por otra parte, Simulink 3D Animation integra los algoritmos de Matlab y Simulink a Unreal Engine®, que es una herramienta de simulación en tiempo real, con la finalidad de simular y poder visualizar sistemas dinámicos en un entorno 3D fotorrealista (*Simulink 3D Animation*, n.d.). Esta herramienta de MATLAB, ha sido empleada para la simulación de laboratorios virtuales (Bedillion & Nizar, 2015), donde los autores resaltan el software como una de las herramientas de simulación visual más empleadas dentro del ámbito universitario por su alta calidad en gráficos visuales (Ver Figura 5).

Figura 5. Generador de señales comercial y modelo Simulink correspondiente.

Fuente: Bedillion & Nizar (2015)

4.1.6. HOME I/O:

HOME I/O es una plataforma visual de simulación interactiva de casas inteligentes y entornos circundantes, creada con la finalidad de englobar una gran cantidad de objetivos curriculares dentro de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, permitiendo a los estudiantes aprender sobre la domótica, comportamiento térmico, eficiencia en el consumo de energía entre otros temas que forman parte de la vida diaria dentro de una casa (Home I/O, n.d.). Diversas investigaciones como las de (Riera et al., 2016, 2019, 2022) han empleado HOME I/O como medio par visualizar y simular entornos automatizados, ya que estos generan una "conciencia de la situación" al exponerlos a entornos virtuales visuales con un alto grado de fidelidad de la realidad (Ver Figura 6).

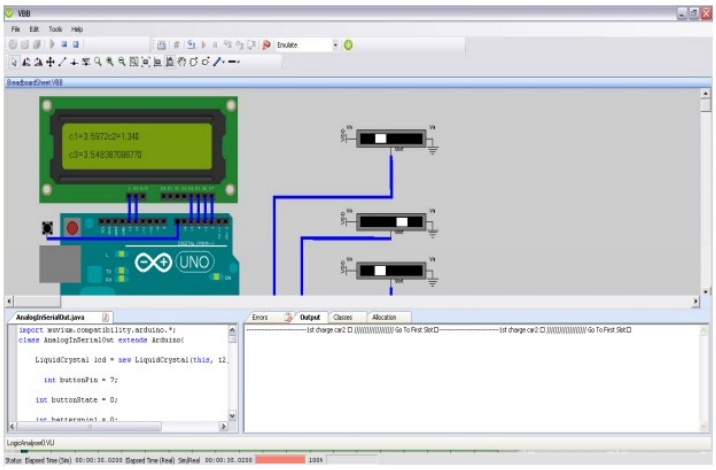
Figura 6. Entorno de simulación de una persiana automatizada de una habitación en HOME I/O

Fuente: Home I/O (n.d.)

4.1.7. Virtual Breadboard (VBB):

Virtual Breadboard (VBB) es una aplicación de pago de Windows Store que funciona como una herramienta de programación visual e interactiva para aprender electrónica a estudiantes o aficionados, permitiendo a los usuarios diseñar e interactuar con circuitos sin el riesgo de dañar los componentes físicos (Virtual Breadboard, n.d.). Investigaciones como las de (Benela & Jamuna, 2013; Bin, 2014) han empleado esta aplicación con éxito para simular sus proyectos, destacando la importancia de contar con herramientas de simulación como VBB que sirvan como apoyo visual para la comprensión y maquetación de proyectos que impliquen circuitos (Ver Figura 7).

Figura 7. Simulación de un circuito con tarjeta arduino en VBB

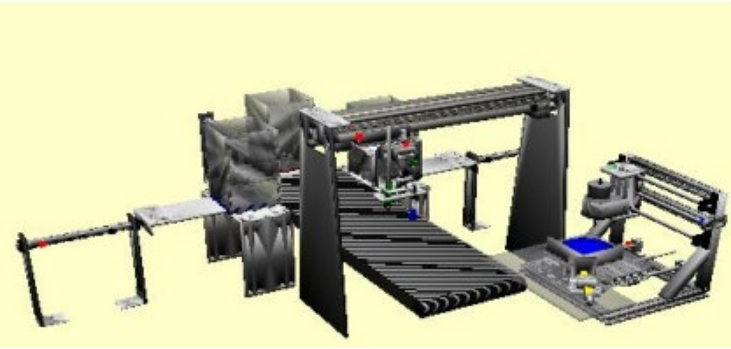


Fuente: Benela & Jamuna (2013)

4.1.7.1. AutoSIM-200:

AutoSIM-200 es un software diseñado para el entrenamiento en tecnologías de la automatización, permitiendo a los usuarios probar sus programas o diseños en un sistema virtual antes de aplicarlos en la realidad, por otra parte, la visualización de los componentes industriales disponibles o diseñados por el usuario en vistas 2D y 3D (SMC International Training, n.d.). No se identificaron investigaciones donde se halla empleado este software en educación, sin embargo, ha sido empleado para simular sistemas neumáticos basados en PLC (Ankamma et al., 2020) y como herramienta para simular y visualizar el funcionamiento correcto de proyectos de líneas de producción (Ver Figura 8) como en Castillo (2019) y Chávez (2020).

Figura 8. Modelo virtual de la célula de fabricación en AutoSIM-200



Fuente: Chávez (2020)

4.1.8. Simuladores desarrollados por docentes:

Si bien existen programas exclusivos para la enseñanza de cursos de automatización y control, por otro lado, algunos docentes investigadores han optado por generar y proponer sus propias plataformas visuales de simulación. Los docentes buscan con el desarrollo de sus propios simuladores, adecuarlos a las necesidades de los cursos que vienen dictando (Goncalves et al., 2020; Lai et al., 2018; Seo et al., 2022).

Lai et al. (2018) desarrollaron un sistema de aprendizaje basado en simulación Arduino, el cual fue puesto en evaluación por otros docentes experimentados STEAM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), de los cuales el 81% de ellos mostraron gran interés en aplicar simuladores en sus clases.

Así mismo, Balaguer et al. (2008) propusieron y validaron un Sistema unificado de simulación de automatización y robótica o USARsim por sus siglas en inglés, siendo este un simulador direccionado a la automatización y robótica automovilística. Esta construido en base a un motor de juegos comercial explotando un rendimiento visual muy realista y una simulación física de muy alta calidad (Carpin et al., 2007). Este simulador es de acceso abierto y con un costo modesto para respecto al motor de juego que lo soporta, por lo que lo hace ideal como herramienta visual para la enseñanza. USARsim ha sido empleado en otras investigaciones con el objetivo de simular robots con un modelamiento dimensional y de masa altamente realista (Okamoto et al., 2014), en incluso ha sido empleado junto con herramientas de diseño gráfico como Adobe Photoshop con la finalidad de personalizar las simulaciones combinando un alto nivel de detalle gráfico (Ver Figura 9) con una velocidad de cálculo en tiempo real y una interfaz flexible para los usuarios (Alemany, 2011).

Figura 9. Alto grado de realismo en simulaciones de USARsim

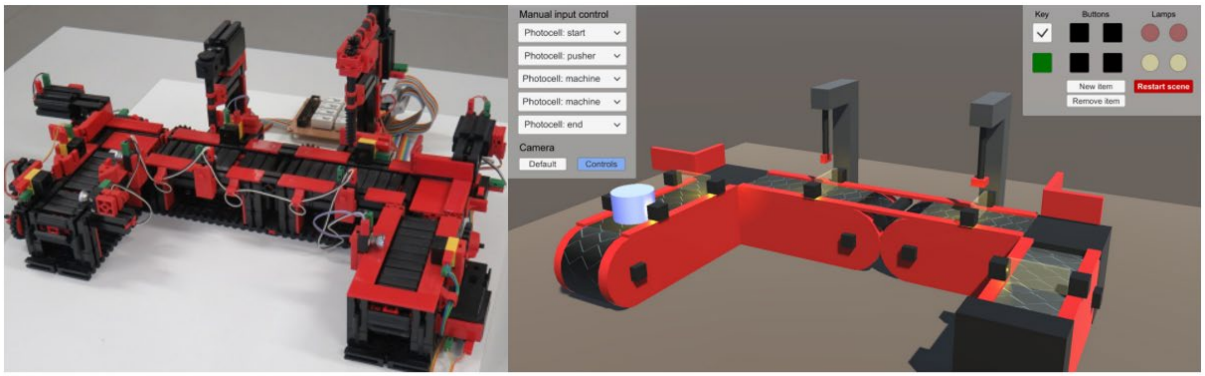
(a) Ambiente y robot simulado (b) Ambiente y robot real

Fuente: Alemany (2011)

Otro simulador llamado FTsim, fue desarrollado por los docentes Ile & Lotric (2018) en colaboración con un grupo pequeño de estudiantes, quienes definen su logro como una herramienta de visualización 3D y simulación. Al igual que USARsim, este simulador también fue desarrollado en base a

un motor de juego y buscan imitar el comportamiento de modelos de entrenamiento Fischertechnik (Ver Figura 10). Autores como (Zupančič, 2020) emplearon USARsim como herramienta de apoyo visual durante el auge de las clases virtuales debido al confinamiento social generado por el Covid-19. Otra investigación Malaga & Ulrych (2021) emplearon el simulador con la finalidad de diseñar y simular fábricas de formación bajo los principios de la industria 4.0 para ingenieros industriales.

Figura 10. Modelo Fischertechnik simulado en FTsim



(a) Modelo Fischertechnik real (b) Modelo simulado en Ftsim

Fuente: Ile & Lotric (2018)

5. Ventajas de la simulación como apoyo visual para la enseñanza de automatización y robótica

La simulación como herramienta visual para la enseñanza de cursos de automatización y robótica presentan grandes beneficios para los estudiantes y para los docentes como medio práctico de enseñanza. Su carácter visual hace más atractivo el aprendizaje, despertando la curiosidad y generando motivación a los estudiantes. A continuación, se mencionan las principales ventajas de los simuladores deducidas de las investigaciones encontradas, en la enseñanza de cursos de iniciación en automatización y cursos de robótica:

- Aporta seguridad en la práctica, sobre todo cuando se trata de estudiantes principiantes, que interactúan por primera vez con componentes electrónicos.
- Los apoyos visuales de los simuladores son de muy buena calidad ya que son muy fieles a los componentes electrónicos reales.
- Se pueden encontrar simuladores con vistas en 2D y 3D, permitiendo al estudiante visualizar su proyecto en diferentes posiciones.
- La mayoría de las plataformas cuentan con galerías de proyectos que pueden ser empleados directamente por los docentes como apoyo visual.
- Los simuladores se pueden emplear como sistemas de inspección visual para comparar la calidad de piezas o circuitos diseñados.
- Permite evitar los costes tiempo de adquisición de componentes electrónicos, y evitar las postergaciones de las prácticas debido a la no disponibilidad de estos.
- La simulación ha demostrado ser efectiva en la comprensión de los cursos donde se ha empleado en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza.
- Los simuladores empleados en educación suelen ser de acceso gratuito y de fácil comprensión y manejo.

6. Conclusiones

El uso de simuladores como apoyo visual para la enseñanza en estudiantes de automatización y robótica ha desarrollado un crecimiento debido a las ventajas que dejó su uso durante la pandemia, donde una de las alternativas a la asistencia de laboratorios físicos de automatización, se basó en el uso de simuladores. Los simuladores ofrecen apoyos visuales de vital importancia que permiten identificar los componentes electrónicos de manera eficiente y reconocer el accionar de diversas maquinarias y robots industriales, de esta manera los estudiantes se fidelizan visualmente con objetos de la visa real con los que interactuarán en el ámbito profesional. La revisión logró identificar los simuladores basados en apoyos visuales más empleados por docentes al implementarlos en sus cursos de automatización, siendo TinkerCad, Wokwi, Fritzing, Virtual Breadboard (VBB) los más empleador por docentes para la enseñanza y simulación de circuitos electrónicos, mientras que simuladores como Factory I/O, Home I/O, Simulink 3D animation y AutoSIM – 200 fueron empleados para simulaciones 3D y robótica. Por otro lado, el desarrollo de simuladores por parte de docentes también se identificó, donde estos fueron diseñados siguiendo las necesidades de los cursos de destino, así mismo cabe resaltar que el uso de simuladores para llevar a cabo prácticas de laboratorio virtual, no busca reemplazar los laboratorios físicos, sino que se busca que su uso se expanda más como una herramienta de apoyo visual para la enseñanza.

Referencias

Alemany, J. (2011). *DESIGN OF HIGH QUALITY, EFFICIENT SIMULATION ENVIRONMENTS FOR USARSIM* [Universitat Jaume I]. http://repositori.uji.es

Ankamma, K., Reddy, S., Reddy, S. M., & Pavan, J. (2020). Sequencing of PLC-Based pneumatic system using AUTOSIM-200. *Science, Technology and Development*, *9*(9). https://www.researchgate.net/publication/362667669

ANUIES. (2020). *Crisis por pandemia evidenció necesidad de simuladores en la educación a distancia*. http://www.anuies.mx/noticias_ies/crisis-por-pandemia-evidenci-necesidad-de-simuladores-en-la-educacin

Balaguer, B., Balakirsky, S., Carpin, S., Lewis, M., & Scrapper, C. (2008). USARSim: a validated simulator for research in robotics and automation. *Workshop on Robot Simulators: Available Software, Scientific Applications, and Future Trends at IEEE/RSJ*.

Beaubien, J. M. (2004). The use of simulation for training teamwork skills in health care: how low can you go? *Qual Saf Health Care*, *13*(1), 51–56. https://doi.org/10.1136/qshc.2004.009845

Bedillion, M., & Nizar, N. M. (2015). Virtual laboratories using simulink: a pilot study. *2015 ASEE Annual Conference & Exposition*, 1–12. https://peer.asee.org/virtual-laboratories-using-simulink-a-pilot-study

Benela, R. A., & Jamuna, K. (2013). Design of charging unit for electric vehicles using solar power. *2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2013*, 919–924. https://doi.org/10.1109/ICICES.2013.6508236

Bin, B. M. (2014). *Antenna Rotator design and control* [Bachelor]. Universiti Teknologi PETRONAS.

Buckley, C., & Nerantzi, C. (2020). Effective Use of Visual Representation in Research and Teaching within Higher Education. *International Journal of Management and Applied Research*, *7*(3), 3–197. https://doi.org/10.18646/2056.54.cfp008

Byrne, J. A. (2016). *Improving the peer review of narrative literature reviews*. https://doi.org/10.1186/s41073-016-0019-2

Cabero-Almenara, J., & Costas, J. (2016). La utilización de simuladores para la formación de los alumnos. *Revista Prisma Social*, *17*, 343–372. https://revistaprismasocial.es/article/view/1288

Campos, N., Nogal, M., Caliz, C., & Juan, A. A. (2020). Simulation-based education involving online and on-campus models in different European universities. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *17*, 8. https://doi.org/10.1186/s41239-020-0181-y

Carpin, S., Lewis, M., Wang, J., Balakirsky, S., & Scrapper, C. (2007). USARSim: a robot simulator for research and education. *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1400–1405.

Castillo, M. D. (2019). *Supervisió i Control d'un Procés de Fabricació sobre una Cèl·lula Automatitzada Memòria i Annexos Autor* [Bachelor's thesis]. Universitat Politècnica de Catalunya.

Chávez, D. J. (2020). Implementation and validation of tracking control on a real manufacturing system [Master en Ciencias, Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey]. In *repositorio.tec.mx*. https://repositorio.tec.mx/handle/11285/640768

Chichekian, T., Trudeau, J., & Tawfiq Jawhar, ·. (2022). Disrupted Lessons in Engineering Robotics: Pivoting Knowledge Transfer From Physical to Virtual Learning Environments. *Journal of Science Education and Technology*, *31*(3), 555–569. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09973-0

Chiluisa-Chiluisa, M. A., Lucio Ramos, Y. J., Velásquez Campo, F. R., Chiluisa-Chiluisa, M. A., Lucio Ramos, Y. J., & Velásquez Campo, F. R. (2022). Tinkercad como herramienta estratégica en el proceso de aprendizaje significativo. *Horizontes Revista de Investigación En Ciencias de La Educación*, *6*(25), 1759–1767. https://doi.org/10.33996/REVISTAHORIZONTES.V6I25.451

Coronel, B. A. S., & Ortega, E. M. I. (2022). *Innovación en Educación en Base a Cursos en Línea como Opción Formativa y Autoaprendizaje*. https://pure.ups.edu.ec/es/publications/innovaci%C3%B3n-en-educaci%C3%B3n-en-base-a-cursos-en-l%C3%ADnea-como-opci%C3%B3n-for

Erduran, S., & Kaya, E. (2018). Drawing Nature of Science in Pre-service Science Teacher Education: Epistemic Insight Through Visual Representations. *Research in Science Education*, *48*(6), 1133–1149. https://doi.org/10.1007/S11165-018-9773-0/FIGURES/9

Factory I/O. (n.d.). *About Factory I/O*. Retrieved March 30, 2024, from https://docs.factoryio.com/

Faíña, A. (2022). Learning Hands-On Electronics from Home: A Simulator for Fritzing. *International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2206.07146

Farrow, D., & LeMaster, R. (2006). Automatton laboratory development enhances student learning. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. https://doi.org/10.18260/1-2--22

Ferreira, P., Malheiro, B., Silva, M., Guedes, P., Justo, J., Ribeiro, C., & Duarte, A. (2022). *TEACHING EMBEDDED/IOT TO ALL ENGINEERS*. http://repositorio.inesctec.pt/bitstreams/23448dd3-4c3c-47d2-a86e-c42332192754/download

Fritzing Blog. (2022, June 27). *Simulating Circuits with Fritzing*. https://blog.fritzing.org/

Gomez, C. A., Haidee, M., Jaramillo, Y., Castrillón, A. S., & Camperos, A. G. (2022). Factory I/O As Simulation Software For Teaching The Subject Of Programmable Logic Controllers At UFPSO. *Webology*, *19*(6). http://www.webology.org

Goncalves, P. F., SÃi, J., Coelho, A., & Durães, J. (2020). An Arduino Simulator in Classroom- A Case Study. *OpenAccess Series in Informatics*, *81*. https://doi.org/10.4230/OASICS.ICPEC.2020.12

Han, A., Wohn, K., & Ahn, J. (2021). Towards new fashion design education: learning virtual prototyping using E-textiles. *International Journal of Technology and Design Education*, *31*(2), 379–400. https://doi.org/10.1007/S10798-019-09558-W/METRICS

Home I/O. (n.d.). *About Home I/O*. Retrieved April 2, 2024, from https://docs.realgames.co/homeio/en/

Ile, N., & Lotric, U. (2018). FTsim: A 3D tool for teaching automation concepts. *13th APCA International Conference on Control and Soft Computing, CONTROLO 2018 - Proceedings*, 31–36. https://doi.org/10.1109/CONTROLO.2018.8514259

Kalyani, D., research, K. R. applied and advanced, & 2018, undefined. (2018). Innovative teaching and learning. *Scholar.Archive.OrgD Kalyani, K RajasekaranJournal of Applied and Advanced Research, 2018•scholar.Archive.Org*, *2018*(3), 23–25. https://doi.org/10.21839/jaar.2018.v3S1.162

Lai, A. F., Chen, C. H., & Lai, H. Y. (2018). Developing an arduino simulation-based learning system and evaluating its suitability. *ACM International Conference Proceeding Series*, 38–42. https://doi.org/10.1145/3241748.3241764

Li, L., Lin, M., Wang, X., Bao, P., & Li, Y. (2020). Preparing and responding to 2019 novel coronavirus with simulation and technology-enhanced learning for healthcare professionals: challenges and opportunities in China. *BMJ Simulation & Technology Enhanced Learning*, *6*(4), 196. https://doi.org/10.1136/BMJSTEL-2020-000609

Liu, L., & Hu, J. (2012). The practice of MATLAB simulation in modern control theory course teaching. *2012 IEEE Fifth International Conference on Advanced Computational Intelligence(ICACI)*, 896–899. https://doi.org/10.1109/ICACI.2012.6463300

Malaga, M., & Ulrych, Z. (2021). *Training factories s principy Industry 4.0 v průmyslovém inženýrství*. https://doi.org/10.24132/PI.2021.07927.133-149

Michelena Grandío, Á., Casteleiro-Roca, J. L., Jove Pérez, E., Quintián Pardo, H., Zayas-Gato, F., & Calvo-Rolle, J. L. (2023). *Diseño de prácticas de control virtuales con MatLab y Factory I/O*. 161–171. https://doi.org/10.17979/SPUDC.000016.161

Okamoto, S., Saga, S., Kurose, K., Ohno, K., & Tadokoro, S. (2014). *Validation of Simulated Robots with Realistically Modeled Dimensions and Mass in USARSim*. https://doi.org/10.1109/SSRR.2008.4745881

Pereira, C. E., Paladini, S., & Schaf, F. M. (2012). Control and automation engineering education: Combining physical, remote and virtual labs. *International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, SSD 2012 - Summary Proceedings*. https://doi.org/10.1109/SSD.2012.6197908

Philippot, A., Riera, B., Koza, M., Pichard, R., Saddem, R., Gellot, F., & Annebicque, D. (2017). HOME I/O and FACTORY I/O 2 Pieces of innovative PO simulation software for automation education. *2017 27th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE)*, 1–6. https://realgames.co/home-io/

Rehg, J. (2020). *Plcs In The New Automation Laboratory*. 7.920.1-7.920.6. https://doi.org/10.18260/1-2--11275

Riera, B., Emprin, F., Annebicque, D., Riera, B., Emprin, F., Annebicque, D., Colas, M., & Vigário, B. (2016). *HOME I/O: a virtual house for control and STEM education from middle schools to Universities*. https://www.researchgate.net/publication/303814420

Riera, B., Maze, C., Debernard, S., Philippot, A., Galaup, M., Panzoli, D., Renard, D., Pettinelli, B., & Eynard, B. (2022). Hybridization of automation practical courses. *IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE), IFAC*, 115–120. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.266ï

Riera, B., Philippot, A., & Annebicque, D. (2019). Teaching the first and only logic control course with HOME I/O and Scratch 2.0. *IFAC-PapersOnLine*, *52*(9), 109–114. https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.08.133

Riera, B., & Vigário, B. (2017). HOME I/O and FACTORY I/O: a virtual house and a virtual plant for control education. *IFAC-PapersOnLine*, *50*(1), 9144–9149. https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2017.08.1719

Seo, H.-H., Kim, J.-W., Kim, D.-H., & Park, S.-H. (2022). Internet of Things Simulation Learning Model Based on Virtual Remote Input Output. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, *18*(5), 1423–1428. https://doi.org/10.1166/JCTN.2021.9615

Simulink 3D Animation. (n.d.). Retrieved March 31, 2024, from https://la.mathworks.com/products/3d-animation.html

SMC International Training. (n.d.). *autoSIM-200 - Automation Simulator*. Retrieved April 2, 2024, from https://www.smctraining.com/en/webpage/indexpage/335

Tran, T. K., Yahoui, H., & Siauve, N. (2019). An interactive approach to teach automation in the training of the industry 4.0. *2019 13th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications, SKIMA 2019*. https://doi.org/10.1109/SKIMA47702.2019.8982491

Tupac-Yupanqui, M., Vidal-Silva, C. L., Sánchez-Ortiz, A., & Pereira, F. (2021). *Experiencias y beneficios del uso de Arduino en un curso de programación de primer año*. *14*(6), 87–96. https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000600087

Tuyen, N. T. (2022). On an application in supporting practical teaching of IoT course and embedded programming. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, *2022*(03), 39–044. https://doi.org/10.30574/gjeta.2022.13.3.0199

Vargas, H., Heradio, R., Donoso, · Matias, & Farias, · Gonzalo. (2023). Teaching automation with Factory I/O under a competency-based curriculum. *Multimedia Tools and Applications*, *82*, 19221–19246. https://doi.org/10.1007/s11042-022-14047-9

Virtual Breadboard. (n.d.). *Introducing VBB Windows Store App*. Retrieved April 1, 2024, from https://www.virtualbreadboard.com/docs

Widianto, M. H., & Cahaya Putra, V. H. (2023). Utilization of Wokwi Simulation Application in Supporting Internet of Things Learning (IoT). *Proceedings of 2023 International Conference on Information Management and Technology, ICIMTech 2023*, 807–812. https://doi.org/10.1109/ICIMTECH59029.2023.10277981

Yaremchenko, Y., Parkhomenko, A., Tulenkov, A., Parkhomenko, A., Zalyubovskiy, Y., Sokolyanskii, A., & Gladkova, O. (2020). *Virtual Environment for Internet of Things Technologies Studying*.

Zupančič, F. (2020). *Univerza v Ljubljani Fakulteta za računalništvoraˇ računalniračunalništvo in informatiko Odprtokodna orodja za vodenje industrijskih procesov* [Tesis Doctoral]. University of Ljubljana.