

ATOM+: Integration of Visual Programming and Digital Twins in the ESTER Simulator for Teaching Programming and Robotics

Néstor Adrián Balich^[0009-0002-3868-1967], Berenice Lourdes Balich^[0009-0007-2783-2842]

Laboratorio de Robótica Física e Inteligencia Artificial, CAETI - Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana, Montes de Oca 745, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
{Nestor.Balich, BereniceLourdes.Balich}@uai.edu.ar

Abstract. The use of the ESTER simulator in undergraduate and postgraduate courses has demonstrated a remarkable effectiveness in the training of computer systems engineering students, training more than 250 students. In 2024, its application was extended to courses and a master's subject with a non-computer science profile. Initial focus groups revealed that code-based programming environments presented a steep learning curve, making it difficult for them to understand basic algorithmic and programming concepts. To reverse this situation, we developed our own visual programming modules, based on Scratch and implemented in TurboWarp, enabling students with no prior knowledge to program and learn algorithmic thinking from the very first class. In 2025, a new digital twins module was developed and integrated into ESTER V4.2, allowing physical robots to be linked to their virtual representations in real time. This enhancement created a hybrid environment, where programs developed in the simulator can be transferred to physical robots, significantly enriching the educational experience. This article presents the evolution of the simulator, the integration architecture for visual programming and digital twins, and the results obtained in the "robotics, programming, and 3D printing" cohort of the master's in educational technology.

Keywords: Digital twins, Robotics, 3D Virtual Simulator, Visual Programming, E-learning

ATOM+: Integración de Programación Visual y Gemelos Digitales en el Simulador ESTER para la Enseñanza de Programación y Robótica

Resumen. El uso del simulador ESTER en materias de grado y posgrado ha demostrado una notable efectividad en la formación de estudiantes de ingeniería en sistemas informáticos, capacitando a más de 250 alumnos. En 2024, se amplió

su aplicación a cursos y una materia de maestría con perfil no informático. Los primeros grupos de prueba evidenciaron que los entornos de programación basados en código generaban una curva de aprendizaje elevada para estos alumnos, dificultando la comprensión de conceptos básicos de algoritmia y programación. Para revertir esta situación, se desarrollaron módulos propios de programación visual, basados en Scratch e implementados en TurboWarp, logrando que alumnos sin conocimientos previos pudieran programar y aprender algoritmia desde la primera clase.

En 2025, se desarrolló y se incorporó al simulador ESTER V4.2 un nuevo módulo de gemelos digitales, permitiendo vincular robots físicos a sus representaciones virtuales en tiempo real. Esta mejora dio lugar a un entorno híbrido, donde los programas desarrollados en el simulador pueden transferirse a robots reales, enriqueciendo significativamente la experiencia educativa. Este trabajo presenta la evolución del simulador, la arquitectura de integración de programación visual y gemelos digitales, y los resultados obtenidos en la cohorte “robótica, programación e impresión 3D” de la maestría en tecnología educativa.

Palabras clave: Gemelos digitales, Robótica, Simulador virtual 3D, Programación visual, E-learning

1 Introducción

La enseñanza de la programación y la robótica se ha beneficiado del uso de simuladores como ESTER (Balich et al., 2024), que ha sido implementado exitosamente en la formación de estudiantes de ingeniería en sistemas informáticos. Este simulador ha sido utilizado por más de 250 estudiantes, permitiéndoles desarrollar habilidades técnicas en programación y control de robots de manera efectiva. En 2024, ESTER (ver Fig. 1) se amplió para incluir cursos dirigidos a perfiles no informáticos, como la Maestría en Tecnología Educativa (MTE) de la Universidad Abierta Interamericana (UAI), donde la programación visual fue clave para superar las barreras de aprendizaje. Los primeros grupos de prueba durante 2013 con la segunda versión del simulador (Balich et al., 2023), el cual utilizaba programación por código, revelaron que los estudiantes sin conocimientos previos experimentaban dificultades con la programación basada en texto, lo que retrasaba su progreso en la comprensión de conceptos básicos de algoritmia y lógica computacional.

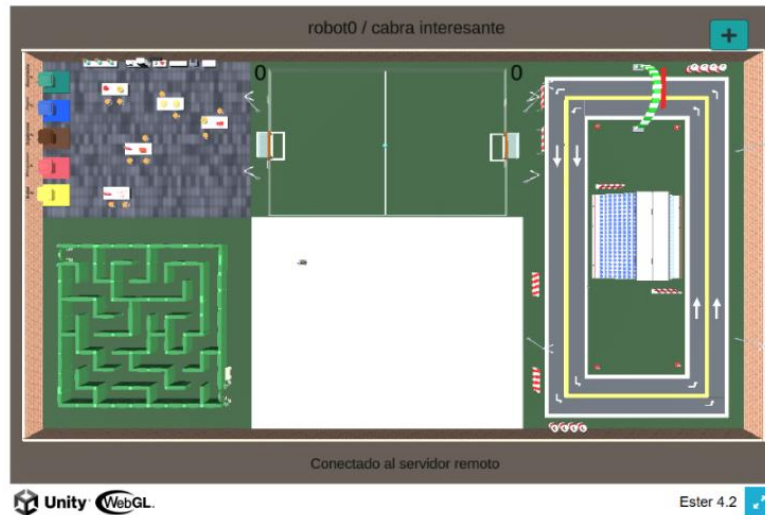


Fig. 1. Simulador Ester 4.2

Para resolver este problema se seleccionó un enfoque basado en programación visual en Scratch, un excelente entorno para que usuarios sin conocimientos previos se inicien en la programación informática (Federici et al., 2023). Para ello se diseñaron un conjunto de módulos para ATOM+ (ver Fig. 2) en TurboWarp (TurboWarp, 2025) una versión libre y más rápida de Scratch. Estos módulos se comunican con el simulador ESTER y proporcionan una interfaz intuitiva y accesible para los estudiantes, permitiéndoles programar robots sin la necesidad de comprender la sintaxis compleja de los lenguajes de programación tradicionales. La introducción de ATOM+ ha permitido a los estudiantes programar desde su primera clase, facilitando una rápida integración en el mundo de la robótica.

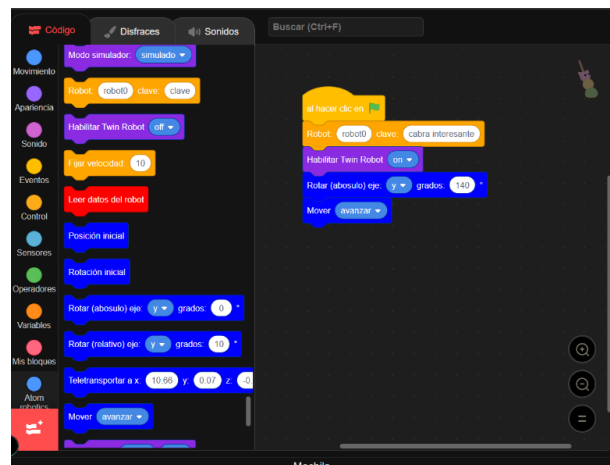


Fig. 2. interfaz ATOM+ de programación visual remota

En 2025, ESTER incorporó un avance significativo al agregar un módulo de gemelos digitales, lo que permitió la conexión en tiempo real de robots físicos con sus representaciones virtuales en el simulador. Este enfoque híbrido ofrece un entorno de aprendizaje interactivo y dinámico, donde los programas desarrollados en el simulador pueden transferirse y ejecutarse en robots reales, mientras que los robots físicos pueden enviar datos que actualizan la simulación. Este trabajo detalla la evolución del simulador ESTER, la arquitectura de los módulos ATOM+ y gemelos digitales, y los resultados obtenidos en la Maestría en Tecnología Educativa.

2 Desarrollo de los Módulos ATOM+

Los módulos ATOM+ fueron creados para simplificar la programación de robots dentro del simulador ESTER, un robot (ver Fig. 3) por cada alumno conectado. Utilizando bloques visuales que representan acciones y comandos específicos, los estudiantes pueden manipular fácilmente los movimientos y comportamientos de los robots. La interfaz visual está diseñada para ser intuitiva y accesible, lo que permite a los estudiantes sin experiencia en programación iniciar su aprendizaje de manera efectiva.

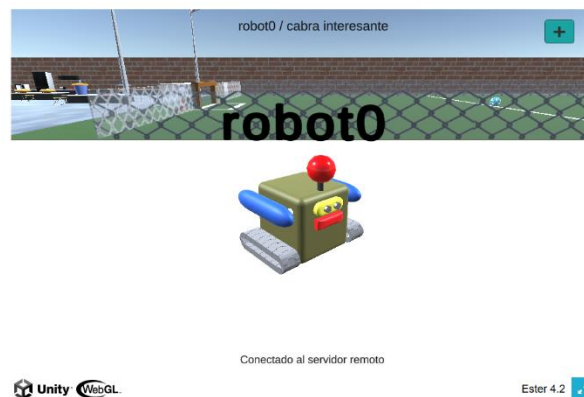


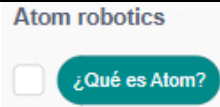


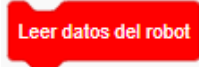
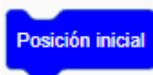
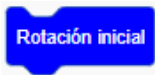
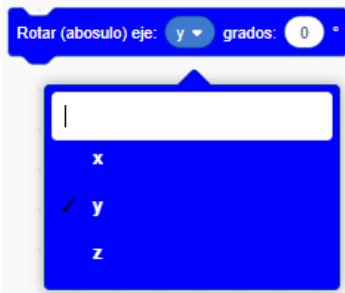
Fig. 3. Robot simulado

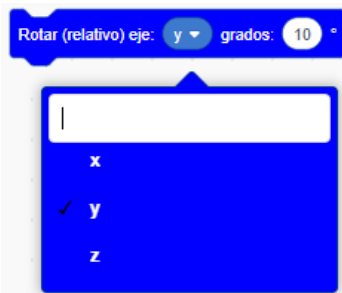


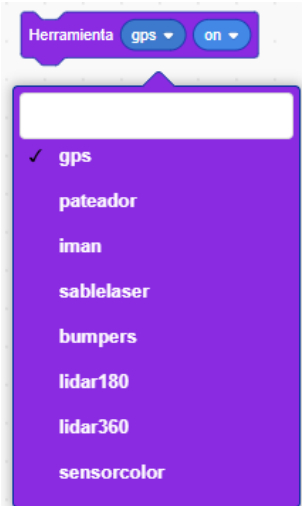
Cada módulo de ATOM+ está diseñado para cubrir un aspecto fundamental del control robótico, sensores, actuadores, comportamiento reactivo y proactivo, comportamiento colaborativo, aplicación de modelos de inteligencia artificial y gemelos digitales. Los módulos abarcan desde el movimiento básico del robot, hasta la lectura de datos de sensores para Arduino o Wemos como el LIDAR (Suha et al., 2025), GPS, ultrasonido, y bumpers para la detección de colisiones. A través de estos bloques, los estudiantes pueden comprender y aplicar conceptos complejos de control y sensores de manera sencilla como primera aproximación a la robótica y la programación.

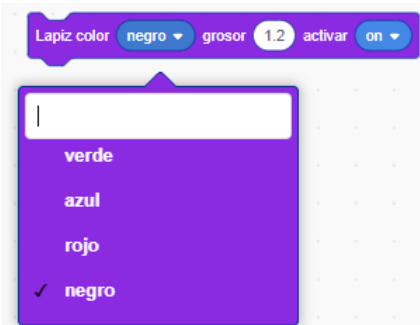
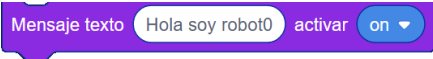



3 Listado de Módulos ATOM+

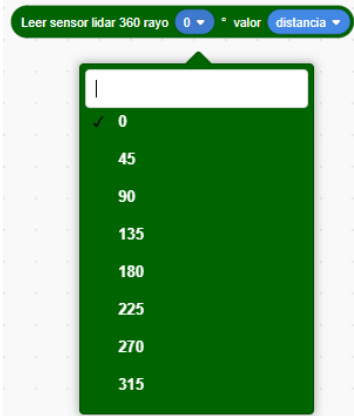
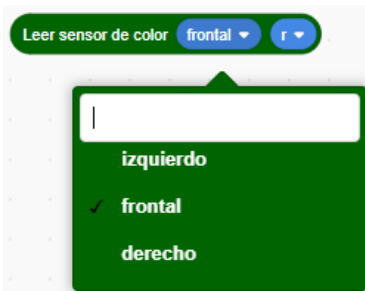
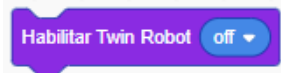



La siguiente Tabla 1 ofrece un listado de los módulos creados para ATOM+.

Tabla 1. Listado de módulos ATOM+.

Nro.	Módulo	Descripción
1		Muestra un texto con los datos generales del conjunto de módulos ATOM+.
2		Permite elegir el robot y la clave.
3		Fija la velocidad en vueltas por minuto de las ruedas
4		Actualiza los datos del robot.
5		Posiciona el robot en su posición inicial que obtuvo al comenzar la simulación.
6		Rota el robot a su rotación original que obtuvo al comenzar la simulación.
7		Rotación absoluta en X, Y, Z.

- 8  Rotación relativa en X, Y, Z.
- 9  Posiciona el robot en X, Y, Z.
- 10  Mueve el robot en el simulador o gemelo físico.
- 11  Activar herramientas como GPS, imán, etc.

- 12  Permite dibujar con color en el suelo simulado.
- 13  Envía un mensaje de texto sobre el robot.
- 14  Lee posición o rotación GPS en X, Y, Z.
- 15  Detecta colisión en bumpers (sensores de choque) del robot.
- 16  Lectura del sensor Lidar 180.

- 17  Lectura del sensor Lidar 360.
- 18  Lectura RGB u objeto detectado.
- 19  Activa el modo híbrido y vincula al robot real.
- 20  Mapea el entorno físico en el simulador.
- 21  Configura modo: real, híbrido, simulado.
- 22  Define posición actual como origen.
-

4 Caso de Uso en la Maestría en Tecnología Educativa

En 2024, se implementó ATOM+ en una cohorte de la MTE. Los estudiantes, que no tenían experiencia previa en programación, pudieron aprender a programar robots desde el primer día a través de clases sincrónicas. Posteriormente, mediante ejercicios asincrónicos, los estudiantes resolvieron desafíos usando retroalimentación automática, una de las características de la programación de robots físicos y de los modelos simulados o basados en juegos serios. Esta metodología basada en el aprendizaje autónomo y en los principios de los juegos serios (Pisabarro et al., 2024) motivó a los estudiantes a desarrollar soluciones innovadoras sin necesidad de conocimientos previos en programación textual. Para el relevamiento se utilizó una encuesta anónima en Google docs sobre 27 alumnos, que arrojó los siguientes resultados: Solo el 63% de alumnos poseía conocimientos de programación (ver Fig. 4).



Fig. 4. Alumnos con conocimiento de programación.

Dado que el total de alumnos están vinculados a una oferta educativa, se encuestó sobre el uso del simulador en las aulas como propuesta didáctica (Ortiz et al., 2024) con la siguiente pregunta: ¿En qué propuesta educativa podría usar el simulador y qué actividad realizaría? la siguiente Tabla 2 ofrece un resumen de las respuestas de los docentes.

Tabla 2. Respuesta propuesta educativa docente.

Nro.	Respuesta
1	No sé si podría utilizarla. Tendría que armar un proyecto con la materia tecnología.
2	en alguna actividad colaborativa, con proyector y una pc, para que los niños y niñas puedan observar el modo de programación y como se replica en el robot

3	En robótica
4	Podría hacerlo para mostrar la importancia de la inclusión de la robótica en las organizaciones, y lograr que esta sea vista como una oportunidad en lugar de como una amenaza.
5	propuesta educativa lúdica, en creación y composición musical
6	En primaria, ya que en nivel secundario enseño Python y C++
7	no se me ocurre
8	sí, lo utilizaría para dar pensamiento computacional
9	Lo trabajaría en el circuito de separación de basura con el propósito de concientizar sobre el artículo 41 de la constitución Nacional que establece el derecho a un ambiente sano y equilibrado apto para el desarrollo humano.
10	Los proyectos que llevo a cabo en ICT. Me interesa mucho utilizar simuladores para que los alumnos comprendan mejores conceptos teóricos.
11	Nivel primario
12	Desde Jardín lo utilizaría, para jugar y que aprendan lenguaje, matemáticas etc..
13	Carrera entre robot
14	Sí, por ejemplo, ya que mi asignatura está dedicada a futuros docentes de nivel inicial y primario, para que aprendan a programar el kinderbot para luego enseñar a sus alumnos.
15	Muchas, historia, ciencias naturales, etc..
16	sí, como actividad en lógica
17	En pensamiento computacional materia de la currícula de Formación Docente, podría pedirles algo de geometría
18	Si
19	Se podría utilizar en Cámara e implementar innovación tecnológica con simulador
20	Simuladores en carreras de Ingeniería es posible utilizarlas tanto en las materias básicas (matemática aplicada) como en materias específicas.
21	con estudiantes de programación para desarrollar capacidades de lógica
22	Ninguna

Análisis de los datos cualitativos de la Tabla 2

Las respuestas recogidas de los docentes muestran que la mayoría ve el simulador como una herramienta útil en niveles educativos iniciales y primarios, con propuestas que van desde actividades lúdicas en jardín hasta el desarrollo del pensamiento computacional

en primaria y secundaria. También se destacaron usos en áreas transversales como conciencia ambiental y música. Como ventajas percibidas se mencionan la motivación, la posibilidad de mostrar la relación entre programación y acción robótica, y el fomento del trabajo colaborativo. Entre las limitaciones aparecen la falta de ideas claras para algunos docentes y la necesidad de integración curricular específica. Estos datos cualitativos sugieren un gran potencial en contextos escolares, pero también la importancia de capacitación docente para optimizar su uso.

Para finalizar se realizó la pregunta: ¿Qué tan fácil fue para ti entender y utilizar el simulador 3D de robótica? La pregunta fue calificada en una escala de 1 (muy difícil) a 5 (muy fácil). El 58% de los estudiantes respondió que la herramienta fue fácil o muy fácil de usar (niveles 4 y 5), el 21% la percibió como de dificultad normal (nivel 3) y el 21% restante la consideró difícil o muy difícil (niveles 1 y 2) (Fig. 5).

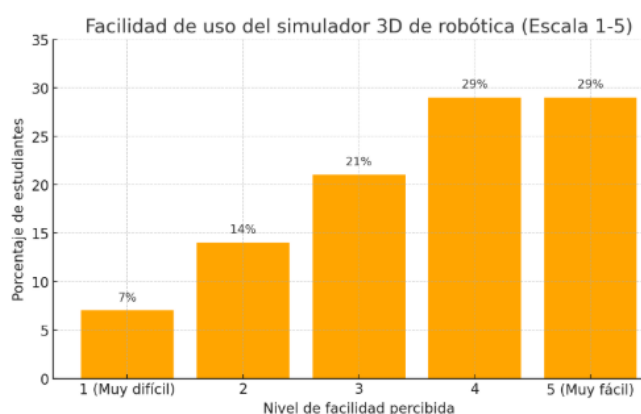


Fig. 5. Facilidad de uso del simulador

5 Incorporación de Twin Robot y Gemelos Digitales

En 2025, el simulador ESTER se enriqueció con la integración de un robot físico (Balich et al., 2025 TEYET), denominado TWIN ROBOT (Fig. 6). Este robot, diseñado e impreso en el laboratorio de robótica, se conecta al simulador ESTER en un entorno híbrido de gemelo digital enfocado a la prueba de algoritmos en entornos simulados y reales (Berjón, 2022). A través de esta integración, los estudiantes pueden interactuar con robots reales y virtuales simultáneamente, lo que permite una experiencia educativa más profunda y realista. Los datos del robot físico, como la posición y los datos de sensores, se actualizan en tiempo real en el simulador, lo que crea un modelo dinámico y altamente interactivo.

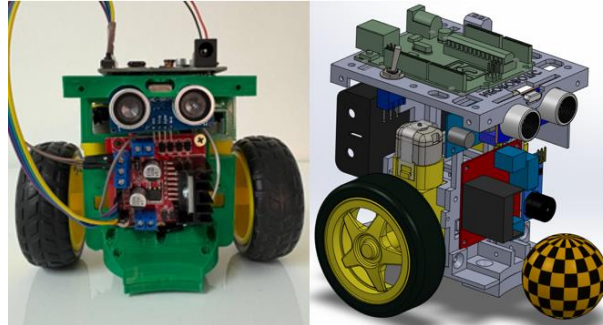


Fig. 6. Twin Robot

6 Resultados

Los resultados iniciales demostraron que el 58% de los estudiantes percibió la herramienta como fácil o muy fácil de usar (niveles 4 y 5), mientras que un 21% la consideró de dificultad normal (nivel 3) y otro 21% la encontró difícil o muy difícil (niveles 1 y 2) (ver Fig. 5). Estos resultados sugieren que más de la mitad de los estudiantes comprendió rápidamente el uso del simulador y logró completar las actividades propuestas, aplicando los contenidos pedagógicos de la materia en tiempo y forma. La herramienta online demostró ser muy efectiva para las clases virtuales y para fomentar el trabajo asincrónico y grupal.

La introducción del gemelo digital permitió a los estudiantes del laboratorio experimentar la integración entre la teoría y la práctica de manera tangible, mejorando su comprensión de conceptos como la navegación, los sensores y el control robótico. El modelo de robot desarrollado y el modelo de comunicación híbrido basado en MQTT (Boublenza et al., 2024), WebSocket (Chakraborty y Aithal, 2024) y API REST (Shetty y Badiger, 2024) demostraron ser altamente efectivos, logrando retardos inferiores a 100 ms (Balich et al., 2025 TEYET) (ver Fig. 7)

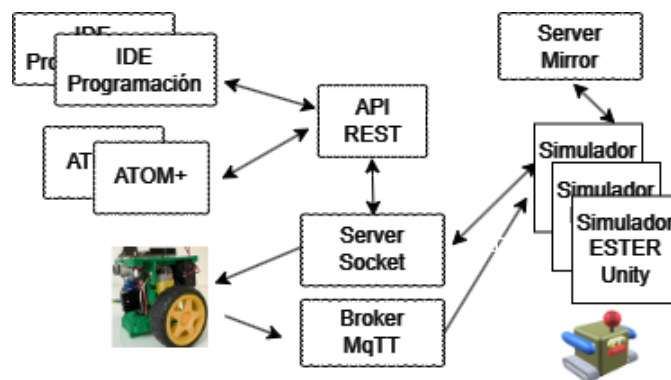


Fig. 7. Modelo de comunicación híbrida.

Contrastando con versiones previas del simulador basadas exclusivamente en programación por código, la implementación de ATOM+ con programación visual permitió que estudiantes sin experiencia previa pudieran comenzar a desarrollar soluciones funcionales desde la primera clase. Mientras que en cohortes anteriores se requerían en promedio 3 a 4 clases para completar los primeros desafíos, en la cohorte de 2024 el 58% de los estudiantes logró realizar correctamente las actividades propuestas en la primera semana, lo que sugiere una mejora significativa en los tiempos de aprendizaje y en la satisfacción estudiantil.

Durante las clases online y asincrónicas, los estudiantes trabajaron exclusivamente con el simulador 3D. Los robots físicos impresos (Twin Robot) no fueron utilizados en esta etapa, pero se encuentran disponibles como parte de un entorno híbrido que permitirá, en futuras implementaciones, validar los algoritmos desarrollados en el simulador sobre hardware real. Esta integración sienta las bases para una experiencia educativa más completa, conectando el aprendizaje virtual con la experimentación tangible.

7 Conclusiones

ATOM+ ha demostrado ser una herramienta efectiva para la enseñanza de programación y robótica, incluso para estudiantes sin experiencia previa. La integración con el gemelo digital en el simulador ESTER abre nuevas oportunidades para la educación técnica, al permitir que los estudiantes trabajen con robots físicos y simulados de manera simultánea, facilitando un aprendizaje más inmersivo y realista. Como objetivo a futuro se aplicará en la materia robótica 2025 de ingeniería en sistemas informáticos las nuevas funcionalidades de gemelo digital, aplicado al contenido del programa, específicamente en control colaborativo y algoritmos de navegación avanzados con robots gemelos.

Si bien los resultados evidencian un gran potencial para la enseñanza en niveles iniciales y primarios, se propone como objetivo a futuro la realización de un estudio piloto en la materia Robótica 2025 de Ingeniería en Sistemas, con el fin de validar la eficacia de las nuevas funcionalidades de gemelo digital en un contexto de educación superior técnica, ampliando su alcance y efectividad.

Bibliografía

- Al-Nassar, S. I., Hatem, H. R., & Hamd, H. I. (2025). Arduino based LIDAR system for measuring the distance. AIP Conference Proceedings, 3264(1), 020004.
- Balich N., Balich F., Balich B., (2024). Simulador de robótica 3D multirobot para enseñanza de programación. 12vo. Congreso Nacional de Ingeniería Informática – Sistemas de Información (CONAIISI), 7 y 8 de noviembre de 2024, Universidad Nacional de Catamarca. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.

- Balich, B.; Ocampo, T., Balich, A., Balich, N. (2023). Simulador de robótica en la nube para prácticas de programación colaborativa. En G. I. Aparicio et al. (Eds.), XI Congreso Nacional de Ingeniería en Informática y Sistemas de Información (CoNaISI) 2023 (pp. 380–387). edUTecNe.
- Balich, N., Balich, B., Regal, V. (2025). Implementación De Robot Gemelo Digital Para El Simulador ESTER. En Tecnología en educación y educación en tecnología (TEYET), Universidad Nacional de Avellaneda, 12 Junio 2025, Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.
- Berjón Valles, A. (2022). Desarrollo de un gemelo digital para el robot móvil Turtlebot3 usando ROS 2. [Trabajo de fin de máster, ICAI – Universidad Pontificia Comillas]. Madrid.
- Boublenza, R. N., Benadda, B., & Borsali, A. R. (2024). Hardware Design of a Low-cost IOT Current Monitoring with Mosquitto MQTT Broker. En 2024 2nd International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control (ICEEAC) (pp. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEEAC61226.2024.10576213>
- Chakraborty, S. & Aithal, P. S. (2024). Communication Channels Review For ESP Module Using Arduino IDE And NodeMCU. En International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML), 8(1), 1–14. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10562843>
- Federici, S., Gola, E., & Sergi, E. (2023). Is the Scratch programming environment ideal for all? Enhancements to the Scratch IDE to make it easier to use and more useful for students and teachers. Universidad de Cagliari. ISBN 978-989-758-641-5.
- Ortiz Yumisaca, A. (2024). Propuesta didáctica para el desarrollo del Pensamiento Computacional mediante la programación visual por bloques [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Riobamba, Ecuador.
- Pisabarro Marrón, A., Vivaracho, C., Arias Herguedas, S., Ortega Arranz, A., & Jiménez Gil, L. (2024). Videojuegos para el aprendizaje de programación: Sus características y preferencias de los estudiantes. En Actas de las XXX Jornadas sobre Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI) (N.º 9, pp. 43–50).
- Shetty, S. C. S., & Badiger, M. (2024) Communication Protocols in Cloud Robotics. In R. Gatti & C. Singh (Eds.), Shaping the Future of Automation with Cloud-Enhanced Robotics (pp. 143-161). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1914-7.ch008>.
- TurboWarp. (2025, abril 12). TurboWarp homepage documentation. <https://docs.turbowarp.org>