



**NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

Creando espacios extracurriculares de participación y formación de estudiantes para la industria 4.0

**Eduardo A. Gerlein, Jairo Alberto
Hurtado**

**Pontificia Universidad Javeriana
Bogotá, Colombia**

Gabriel Alberto Díaz Guevara

**EKUMEN Labs
Buenos Aires, Argentina**

Resumen

La utilización de las herramientas para desarrollo de aplicaciones robóticas y la integración con plataformas de inteligencia artificial se ha incrementado en entornos académicos y de investigación en los últimos años, tendencia creciente que siguen de cerca los entornos industriales que reclaman cada vez más la automatización e interconexión de sus procesos en lo que se ha denominado Industria 4.0. El Gobierno Nacional de Colombia, estableció el Pacto por la Transformación Digital del país en su Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, en el cual se incluye a la robótica y a la inteligencia artificial como parte de las tecnologías disruptivas capaces de potenciar de productividad tanto en el sector privado como en el público (Gobierno-Nacional, 2018).

En este contexto, el Sistema Operativo para Robots (ROS - *Robot Operating System*) adquiere una importancia estratégica, siendo uno de los entornos de desarrollo de aplicaciones en robótica más utilizados de la actualidad. Dada la importancia de tales herramientas, y la urgente necesidad de profesionales expertos en estas áreas se creó, por iniciativa de un grupo de estudiantes, el semillero de investigación derivado de la rama estudiantil RAS - IEEE (Robotic & Automation Society), en donde estudiantes de diferentes carreras y semestres aprenden las herramientas para desarrollo de aplicaciones sobre plataformas robóticas comerciales utilizadas a nivel industria y aplicaciones de inteligencia artificial orientadas a robótica. El Semillero de investigación RAS - IEEE vincula actualmente estudiantes de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Sistemas y Ciencia de Datos. Para lograr los objetivos del semillero tanto en formación como en generación de conocimiento, se establece un trabajo basado en proyectos semestrales que construyan cuerpo de conocimiento en las áreas de robótica e inteligencia artificial y en segunda instancia, un modelo de formación mediante un programa de mentorías para ayudar la transición de

los nuevos miembros al aprendizaje y uso de las herramientas. El presente artículo discute los retos de la creación del semillero de investigación e impactos positivos observados a lo largo de cuatro semestres de trabajo, así como proyecciones futuras y recomendaciones.

Palabras clave: semillero de investigación; grupos estudiantiles; micro-comunidades; instrucción por pares; robótica

Abstract

The use of modern tools for the development of robotic applications and integration with artificial intelligence platforms has skyrocketed in academic and research environments in recent years, a growing trend that is closely followed by industrial environments that increasingly demand automation and interconnection of its processes in what has been called Industry 4.0. In this context, the Robot Operating System (ROS) acquires strategic importance, being one of the most widely used environments for development of robotic applications. Given the importance of such tools, and the urgent necessity of expert professionals in these areas, a new research hotbed was created derived from the student branch RAS - IEEE (Robotic & Automation Society) and conformed by students of different engineering areas and semesters. In RAS, the participants learn the tools for developing applications on commercial robotic platforms used at the industry level and robotics-oriented artificial intelligence applications. The RAS - IEEE student group currently links students of Electronic Engineering, Mechatronics Engineering, Industrial Engineering, Systems Engineering and Data Science. To achieve the proposed objectives in learning the tools and generation of knowledge, a work model is established based on semestral projects that build a body of knowledge in the areas of robotics and artificial intelligence and, secondly, a training model through a mentoring program, to help new members transition to learning and using the tools. This article discusses the challenges of creating the research hotbed and the positive impacts observed over four semesters of work, as well as future projections and recommendations.

Keywords: research hotbed; student groups; micro-communities; peer instruction; robotics

1. Introducción

Incluir robots en la industria o en la vida cotidiana, implica una creciente necesidad de herramientas de programación estandarizadas y ecosistemas de desarrollo maduros, que no solamente facilite la integración de múltiples plataformas robóticas en entornos comunes, sino que a su vez resuelvan problemas inherentes a la comunicación de los múltiples procesos y agentes involucrados en la realización de tareas (Automation-Review, 2022). Esto es particularmente cierto en el desarrollo de la llamada Industria 4.0, donde confluyen un sinnúmero de aplicaciones robóticas interactuando con sistemas computacionales y agentes humanos, para dar mayor eficiencia a procesos productivos (Schwab, 2017). Incluso aplicaciones en robótica de servicio como por ejemplo en restaurantes o asistentes en el hogar requerirán de herramientas de desarrollo que permitan adaptar rápidamente los autómatas a las nuevas condiciones presentes en ambientes humanos dinámicos (Manthiou et al., 2021).



En este contexto, el Sistema Operativo para Robots (ROS - *Robot Operating System*) adquiere una importancia estratégica para la consolidación de la cuarta revolución industrial (Heyer, 2010). ROS es uno de los entornos orientados a robótica más utilizados de la actualidad. Fue creado en California por los desarrolladores de Willow Garage en 2007 y actualmente es mantenido por la *Open Source Robotics Foundation* (OSRF). ROS es un meta-sistema operativo de código abierto que permite implementar *software* para controlar plataformas robóticas. Proporciona servicios similares a un sistema operativo tales como la abstracción de *hardware*, el control de dispositivos de bajo nivel, la implementación de funciones de uso común, el paso de mensajes entre procesos y la gestión de paquetes de información. También proporciona herramientas y bibliotecas para obtener, construir, escribir y ejecutar código en varios computadores (Suárez et al., 2022). La utilización de ROS en entornos académicos y de investigación se ha incrementado en los últimos años, tendencia creciente que siguen de cerca los entornos industriales (Automation-Review, 2022), lo que a su vez sugiere que ROS será un elemento indispensable en muchas aplicaciones de la robótica en un futuro cercano (Zhang et al., 2017).

Por otro lado, la inteligencia artificial (IA) en robótica está siendo utilizada en aplicaciones tan diversas como robots sociales, *chatbots* y periodismo basado en IA (Belk, 2021). En su ensayo, Belk (2021) estima que los sistemas basados en algoritmos de IA serán integrados en buena parte de las aplicaciones de interacción humano-máquina en un futuro no muy lejano.

Dada la importancia de las herramientas para desarrollo de aplicaciones robóticas y la integración con IA y la creciente y urgente necesidad de profesionales expertos en estas áreas (Pagliarini & Lund, 2017), se creó el grupo de interés derivado de la rama estudiantil RAS – IEEE, el cual ha venido funcionando por algunos semestres aprendiendo las herramientas para desarrollo de aplicaciones en plataformas robóticas.

El Semillero de investigación RAS, nace de la rama estudiantil IEEE-RAS (*Robotic & Automation Society*), y vincula actualmente estudiantes de diferentes carreras de la Facultad de Ingeniería, con el interés aprender las herramientas utilizadas a nivel industria en el desarrollo de robots y aplicaciones de IA orientas a robótica. Tales herramientas incluyen programación en Python y C++, programación en ROS, programación de modelos de IA, apoyándose en el uso de robots comerciales disponibles en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana (ver Figura 3). Se espera que las y los estudiantes construyan una base de conocimiento en ingeniería robótica de carácter enteramente práctico, el cual no está incluido actualmente en los planes de estudio de los diferentes programas. Para cumplir tal objetivo se propone el desarrollo de proyectos semestrales en las áreas de robótica móvil e industrial, e inteligencia artificial utilizando herramientas presentes en la industria sobre las plataformas robóticas disponibles en la Facultad de Ingeniería. Lo anterior no solamente permitirá complementar la formación en programación, robótica e IA, sino también prepararán a las y los estudiantes para una vida profesional en alguna de estas áreas tanto en la industria como en la academia. El presente artículo discute los retos de la creación del semillero de investigación e impactos positivos observados a lo largo de cuatro semestres de trabajo, así como proyecciones futuras y recomendaciones.



2. Contexto del Semillero de Investigación

La rama IEEE-Javeriana abrió el capítulo RAS en 2017, enfocado en el diseño y construcción de robots tipo mini-sumo con el objetivo de participar en competencias de robótica en esta categoría. En el segundo semestre de 2017 el capítulo RAS participó en una competencia en Bucaramanga, y en 2018, se participó en las competencias de Runibot donde se llegó a octavos de final, y la competencia Maetrónica donde se obtuvo el primer lugar.



Figura 1. Participación en eventos de robótica en la categoría mini-sumo

Igualmente, se participó sin premios en las competencias Robofest y Competencia de Robótica en Pasto, Nariño. A partir de 2018 también se comenzó la construcción de robots seguidores de línea para participar en la competencia ETI. En 2019, se construyeron nuevos robots con *hardware* electrónico diseñado por los estudiantes (Figura 2). Durante el segundo semestre de 2019, se participó en el *Mercury Challenge* en la categoría de robot tele-operado remoto.



Figura 2. Robots Mini-Sumo diseñados por los estudiantes de IEEE-RAS

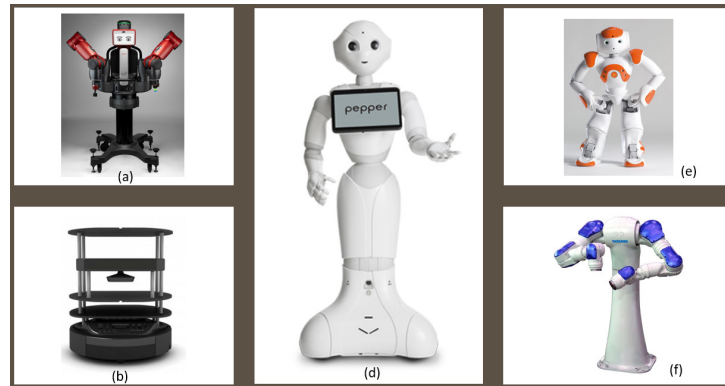


Figura 3. Algunos de los robots comerciales disponibles en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana: (a) Baxter, (b) Turtlebot2, (c) Pepper, (d) Nao, (e) Motoman

Más allá de los buenos resultados obtenidos, a partir del 2020 por iniciativa de los estudiantes pertenecientes a RAS se decide dar un giro al modelo de trabajo que se había venido realizando, buscando incluir el aprendizaje y desarrollo de proyectos que incluyan inteligencia artificial orientada a robótica y el uso de herramientas de la industria. Se contacta un profesor del Departamento de Electrónica, quién precisamente ha venido trabajando en las plataformas robóticas disponibles en la Facultad de Ingeniería, observadas en la Figura 3. A partir del primer semestre de 2020, se comenzó un plan de formación en programación para robótica que incluía cursos de Python, C++ y ROS. El aprendizaje de las herramientas durante los últimos semestres ha dado sus frutos, en tanto que los estudiantes más antiguos están en capacidad de programar los robots mostrados en la Figura 3 y apoyar algunos procesos de capacitación para estudiantes de trabajo de grado de pregrado, estudiantes de maestría e investigadores de los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería. Muestra de ello, se observó en el evento ExpoJaveriana 2022 donde los estudiantes de RAS se encargaron de las demostraciones con los robots durante los recorridos al edificio de laboratorios como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Evento ExpoJaveriana 2022 - Demostración de robótica

2.1 Objetivos del semillero

Para el semillero RAS – IEEE se han planteado objetivos de trabajo, alineados con el proyecto educativo de la Universidad y los objetivos de formación de los programas a los cuales se impacta directamente. En primer lugar, desde el punto de vista técnico, el semillero busca fomentar la investigación en las áreas de robótica e inteligencia artificial a estudiantes de pregrado y posgrado. Desde el punto de vista académico, el semillero pretende promover la participación del estudiante en actividades académicas extracurriculares que motiven la investigación y la apropiación de nuevo conocimiento en las áreas del semillero, así como una futura participación en eventos científicos que permitan exponer los proyectos realizados en el marco del semillero. Se espera adicionalmente que el trabajo del semillero derive en la participación en eventos tanto nacionales como internacionales que se ajusten a los objetivos del semillero. Se espera adicionalmente, que la participación en el semillero de investigación genere un sentido de pertenencia, cooperación y colaboración entre los integrantes como parte fundamental de la formación de futuros profesionales. Finalmente, el trabajo desarrollado busca crear cuerpo de conocimiento en las áreas de robótica e inteligencia artificial para ser llevado a futuros cursos para los diferentes programas de la Facultad de Ingeniería. Este último aspecto se profundizará más adelante.

2.2 Perfil de los participantes

Se ha abierto la participación a estudiantes de cualquier semestre de la Universidad, con intereses en las áreas de robótica, inteligencia artificial y diseño. Actualmente, el semillero RAS acoge estudiantes de varias ingenierías tales como Electrónica, Mecatrónica, Industrial, de Sistemas, así como estudiantes de otras carreras, tales como Ciencia de Datos.

3. Modelo de trabajo en el semillero

El modelo de trabajo en el semillero se enmarca bajo dos metodologías pedagógicas para lograr sus objetivos. En primer lugar, se propone un trabajo basado en proyectos semestrales y en segunda instancia, un modelo de formación mediante un programa de mentorías. A continuación, se describen las dos metodologías propuestas.

El modelo de trabajo basado en proyectos se fundamenta en pedagogías de *engagement* (Smith et al., 2005), que buscan la participación activa del estudiante y entienden el aprendizaje como resultado de la interacción con el ambiente más allá de las capacidades intelectuales propias. El semillero fundamenta el trabajo de las y los estudiantes mediante el desarrollo de una serie de proyectos semestrales que construyan cuerpo de conocimiento en las áreas de robótica e inteligencia artificial. Las personas involucradas en el semillero definen una serie de posibles proyectos al comenzar el periodo académico. Mediante consenso, se decide cuáles de los proyectos propuestos serán desarrollados y quienes integrarán los equipos. Cada proyecto tendrá un líder y un equipo de trabajo.

Por otro lado, se ha propuesto un programa de mentores para ayudar la transición de los nuevos miembros al aprendizaje y uso de las herramientas. El aprendizaje se realiza mediante el seguimiento de cursos en línea en una combinación de trabajo independiente y reuniones presenciales en donde se trabajan algunos temas en conjunto, con el apoyo de los mentores lo cuales son estudiantes más antiguos que ya dominan las herramientas de trabajo. El modelo de mentores está enmarcado en la metodología de instrucción por pares (Mazur, 1997), la cual ha sido reconocida como una herramienta potenciadora del aprendizaje dentro y fuera del aula (Wood et al., 1976). El semillero se ha dividido en tres niveles con el fin de aprender las habilidades necesarias para cumplir los objetivos propuestos. Esta división responde en primera instancia a la antigüedad, pero es el conocimiento de las herramientas el criterio principal de pertenencia. Se ha estimado un tiempo de un semestre para cada uno de los niveles, después de observar el comportamiento del semillero durante cuatro semestres. Estos niveles son:

- **Semillero:** el nivel de entrada es semillero en donde se trabajará en aprender herramientas de programación mediante cursos en línea de Python y C++ y el programa de mentorías. Cabe mencionar, que muchos estudiantes han pasado por el nivel de semillero con la única intención de aprender a programar en los lenguajes anteriormente mencionados. Aunque los estudiantes no decidan seguir en los niveles superiores, se considera que el modelo del semillero impacta positivamente en el desarrollo de habilidades de programación para los y las estudiantes de la Facultad de Ingeniería, proveyendo precisamente un espacio de aprendizaje extracurricular, más allá de los cursos formales de programación en los diferentes programas.
- **Junior:** Los estudiantes de nivel intermedio se encuentran aprendiendo las herramientas propias de la robótica, en particular la plataforma ROS, y plataformas de inteligencia artificial sobre uno de los robots disponibles en la Facultad. Así mismo, podrán participar en los proyectos semestrales del semillero.
- **Senior:** Los estudiantes más antiguos pertenecen al nivel senior en donde se tendrá acceso a los robots de acuerdo con la disponibilidad de estos. Una vez los estudiantes han adquirido proficiencia en el uso de las herramientas podrán liderar los proyectos semestrales y ser parte del equipo de mentores para los otros niveles.

Actualmente, en el primer semestre del 2022, el semillero cuenta con seis estudiantes en el nivel más avanzado (senior), los cuales están en capacidad de manejar los robots y proponer proyectos semestrales, 15 estudiantes en nivel intermedio (junior), quienes se encuentran en un proceso de aprendizaje de las herramientas de ROS utilizando uno de los Turtlebot2 disponibles, y finalmente, 32 estudiantes en nivel principiante (semillero) los cuales se encuentran aprendiendo herramientas de programación (Python y C++) mediante el seguimiento de cursos y un modelo de mentorías, donde los estudiantes más antiguos tienen a su cargo el seguimiento de pequeños grupos en los niveles de entrada e intermedio (ver Figura 5).



Figura 5. Reunión semanal del Semillero - Modelo de mentorías

Finalmente, el semillero se reúne presencialmente una vez a la semana, para desarrollar los proyectos del semestre en el caso del nivel senior, apoyar el aprendizaje de ROS, uso de los robots y plataformas de IA para el nivel junior, y tener sesiones conjuntas de trabajo en los cursos de programación para el nivel semillero. Los estudiantes utilizan sus computadores personales tanto para tomar los cursos de programación como para desarrollo de los proyectos. Así mismo, se espera que los y las estudiantes tengan acceso a los robots de la Facultad de Ingeniería de acuerdo con su disponibilidad. Cabe mencionar que se priorizará el uso de los robots para los proyectos de investigación y trabajos de grado vigentes.

4. Consideraciones sobre la creación del Semillero de Investigación

El ideal de la vida académica implica tener estudiantes comprometidos con sus procesos de aprendizaje, capaces de ir más allá de las temáticas impartidas en los diferentes planes de estudio. Los semilleros de investigación son un escenario ideal para lograr justamente este enganche con los y las estudiantes en los diferentes programas académicos. La participación en semilleros de investigación surge de entrada de un genuino interés del tema en cuestión. Es necesario aprovechar justamente esta motivación inicial, a veces tan difícil de lograr en las aulas, para generar un sentido de pertenencia, cooperación y colaboración entre los integrantes como parte fundamental de la formación de futuros profesionales.

El modelo de trabajo actual del grupo fue desarrollado durante el periodo 2020-2021 donde se organizaron las diferentes etapas dentro del semillero (semillero-junior-senior) y el plan de formación que se llevaría a cabo en cada una de ellas. En primer lugar, el uso de cursos en línea para llevar el plan de formación inicial en programación de Python y C++, permite llevar un currículo estructurado sin la necesidad de crear cursos formales desde los departamentos de la Facultad. Así mismo, se establecieron reuniones periódicas virtuales en donde los participantes, guiados por uno de los mentores, desarrollan las temáticas de los cursos de forma concurrente todos los asistentes. Finalmente, se propone un reto de programación que certificará la proficiencia en el manejo del lenguaje. Cabe aclarar que, dada la diversidad de participantes en estas etapas, y aunque los niveles en programación variaban de un estudiante a otro, existía una carencia generalizada en programación en Python y C++. Los cursos formales de la universidad se enfocan en otros lenguajes tales como C y Java, para introducir los conceptos de programación. La mayor parte de los desarrollos de ROS e IA se encuentran descritos en Python y C++. Esta diversidad conlleva a un avance variable en la primera etapa del semillero, lo cual es deseable en tanto las y los estudiantes se van

incorporando más rápidamente a etapas posteriores del semillero y además, harán parte más rápido del equipo de mentores.

Por otro lado, la plataforma de ROS ha sido desarrollada bajo la filosofía de *software open source*. Cabe mencionar que, aunque es deseable que un semillero de robótica cuente con los robots físicos para su estudio, tales herramientas *open source* integran simuladores en donde los usuarios pueden tener a disposición cualquier robot comercial con soporte a ROS (Figura 6), para usarlo en entornos que, aunque simulados, replican con fiabilidad las condiciones reales de operación y desarrollar aplicaciones sobre bases de datos reales también disponibles *open source*. En ese sentido, se evidencia que es posible hacer robótica sin robots y sin recursos adicionales más allá que un computador personal.

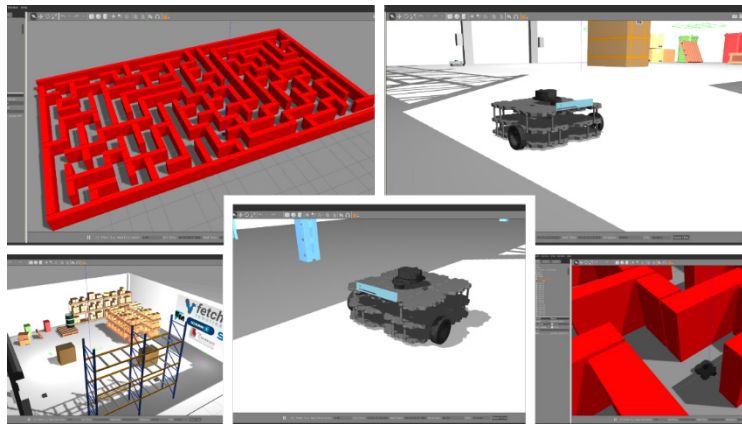


Figura 6. Entornos de Simulación R-Viz y Gazebo en ROS, simulaciones desarrolladas por los estudiantes del semillero RAS

Los grupos de investigación SIRP del Departamento de Electrónica y SiDRE del Departamento de Ingeniería de Sistemas, son actualmente los principales beneficiarios de las actividades que se han planeado para el semillero, en tanto que rápidamente se contará con un grupo de estudiantes capaces de manejar las herramientas de trabajo necesarias para el desarrollo de los proyectos de los grupos en cuestión.

A la fecha, ninguno de los programas de ingeniería cuenta con asignaturas orientadas al uso de estas herramientas de uso común en la industria. A corto plazo, las actividades del semillero crearán cuerpo de conocimiento en las áreas de robótica e inteligencia artificial para ser llevado a futuros cursos. Los resultados del semillero son actualmente almacenados en una librería *open source* en línea (<https://gitlab.com/IEEERASJaveriana>) para ser consultada por los miembros del grupo y la comunidad científica en general.

A mediano plazo, se espera que los diferentes proyectos deriven eventualmente en artículos científicos para ser presentados en conferencias nacionales e internacionales de acuerdo con su alcance, o sean llevados a competencias de robótica o *hackatones* en caso de que el proyecto se ajuste a un evento particular. De igual forma, se pretende que el semillero participe en eventos científicos como conferencias y *workshops* que permitan exponer los proyectos realizados en el marco del semillero.

Finalmente, a más largo plazo, se espera que aquellos miembros del semillero que deseen desarrollar sus trabajos de grado de pregrado, posible posgrado y/o participación en proyectos bajo la modalidad de jóvenes investigadores con los grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería a la ejecución de los proyectos con un conocimiento fuerte en el manejo de las herramientas, lo que eventualmente permitirá acelerar los procesos de investigación y el alcance de los proyectos.

5. Referencias

- Automation-Review. (2022). ROS: una palanca estratégica para el futuro de la robótica. AER Automation. https://www.aer-automation.com/automation_review/ros-una-palanca-estrategica-para-el-futuro-de-la-robotica/
- Belk, R. (2021). Ethical issues in service robotics and artificial intelligence. *The Service Industries Journal*, 41(13–14), 860–876. <https://doi.org/10.1080/02642069.2020.1727892>
- Gobierno-Nacional. (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022*.
- Heyer, C. (2010). Human-robot interaction and future industrial robotics applications. *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 4749–4754. <https://doi.org/10.1109/IROS.2010.5651294>
- Manthiou, A., Klaus, P., Kuppelwieser, V. G., & Reeves, W. (2021). Man vs machine: examining the three themes of service robotics in tourism and hospitality. *Electronic Markets*, 31(3), 511–527. <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00434-3>
- Mazur, E. (1997). *PEER INSTRUCTION: A User's Manual*. Prentice Hall.
- Pagliarini, L., & Lund, H. H. (2017). The future of Robotics Technology. *Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics*, 22(April), 29–32. <https://doi.org/10.5954/ICA-ROB.2017.IS-1>
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Business & Economics.
- Smith, K. A., Sheppard, S. D., Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2005). Pedagogies of engagement: Classroom based practices. *Journal of Engineering Education*, January, 87–101.
- Suárez, R., Rosell, J., Vinagre, M., Cortes, F., Ansuategui, A., Maurtua, I., Martin, D., Guash, A., Azpiazu, J., Serranog, D., & García, N. (2022). Robot Operating System (ROS). In *Automation Review: Vol. VERSION 2*. https://www.aer-automation.com/wp-content/uploads/2022/03/ROS_articuloAER.pdf
- Wood, D. J., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100.
- Zhang, L., Merrifield, R., Deguet, A., & Yang, G.-Z. (2017). Powering the world's robots—10 years of ROS. *Science Robotics*, 2(11), 1–3. <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar1868>

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

