

# Education 4.0: integration of educational robotics and smart mobile devices as a didactic strategy for the training of engineers in STEM

Daniel Restrepo-Echeverri, Jovani Alberto Jiménez-Builes & John Willian Branch-Bedoya

Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión, Medellín, Colombia. [drestrepo@unal.edu.co](mailto:drestrepo@unal.edu.co), [jajimen1@unal.edu.co](mailto:jajimen1@unal.edu.co), [jwbranch@unal.edu.co](mailto:jwbranch@unal.edu.co)

Received: December 22<sup>th</sup>, 2021. Received in revised form: March 16<sup>th</sup>, 2022. Accepted: March 24<sup>th</sup>, 2022.

## Abstract

This article presents a model for the implementation of cell phones as a functional component of educational robotics. With this, a massification of the educational practices of robotics can be achieved, and an approach to innovative solutions with the use of everyday components. The above constitutes an easily adaptable model to develop specific skills of students in STEM areas with a low investment. As a result, it was evidenced that robotics facilitates the possibility of introducing technology in the teaching and learning processes through these kits that have sensors, mechanisms, parts and characteristics that can be coupled and integrated with a cell phone to assemble a functional robot. Through an online questionnaire on the integration of educational robotics and cell phones, the interest of engineering students and teachers was verified, so that their higher education institutions include robotics in their training processes, thus contributing to the preparation to face the challenges of the Education 4.0 line within the context of Industry 4.0.

*Keywords:* education 4.0; STEM; educational robotics; mobile devices; artificial intelligence.

# Educación 4.0: integración de robótica educativa y dispositivos móviles inteligentes como estrategia didáctica para la formación de ingenieros en STEM

## Resumen

En este artículo se presenta un modelo para la implementación de los celulares como un componente funcional de la robótica educativa. Con esto se puede lograr una masificación de las prácticas educativas de la robótica, y un planteamiento de soluciones innovadoras con el uso de componentes cotidianos. Lo anterior se constituye en un modelo de fácil adaptación para desarrollar habilidades específicas de los estudiantes en las áreas STEM con una baja inversión. Se evidenció como resultado, que la robótica facilita la posibilidad de introducir la tecnología en los procesos de enseñanza y aprendizaje por medio de estos *kits* que poseen sensores, mecanismos, piezas y características que pueden acoplarse e integrarse con un celular para armar un robot funcional. A través de un cuestionario en línea sobre la integración de robótica educativa y celulares, se constató el interés que tienen los estudiantes de ingeniería y docentes, para que sus instituciones de educación superior incluyan la robótica en sus procesos formativos, contribuyendo de esta forma a la preparación para afrontar los retos de la línea de Educación 4.0 dentro del contexto de la Industria 4.0.

*Palabras clave:* educación 4.0; STEM; robótica educativa; dispositivos móviles; inteligencia artificial.

## 1. Introducción

En el contexto actual, la educación debe incluir y vincular en sus procesos de formación, la implementación de nuevas tecnologías emergentes para garantizar que los estudiantes

desarrollen habilidades que les permitan adaptarse a los frecuentes cambios de la sociedad [1], las cuales a su vez, son acondicionadas y aceptadas por la industria, a un ritmo exponencial para mejorar la productividad y competitividad de sus organizaciones [2,3].

**How to cite:** Restrepo-Echeverri, D., Branch-Bedoya, J.W. and Jiménez-Builes, J., Educación 4.0: integración de robótica educativa y dispositivos móviles inteligentes como estrategia didáctica para la formación de ingenieros en STEM. DYNA, 89(222), pp. 124-135, special engineering education July, 2022.

Hoy en día, las capacidades de procesamiento que tienen los teléfonos móviles inteligentes han mejorado de forma significativa, y la incorporación de múltiples sensores en cada dispositivo los convierte en una caja de herramientas para su implementación como centro neural y de mando de un robot móvil. Sin embargo, es poco común encontrar este tipo de desarrollos, a pesar de las grandes ventajas que se reportan en la literatura, como por ejemplo, la conectividad y velocidad de respuesta, bajo consumo energético y hardware correctamente configurado [4].

La educación 4.0 avanza a un ritmo sin precedentes. Según los reportes del Foro Económico Mundial, uno de los tópicos centrales es la selección del talento humano con capacidades específicas en el pensamiento computacional. Otros puntos relevantes se encuentran en el aprendizaje de máquinas y tecnologías para procesamiento de lenguaje natural [5]. Para ello la educación juega un papel fundamental creando las bases necesarias en los estudiantes para que desarrollen habilidades específicas en estos campos y es allí donde juega un papel relevante, la implementación de técnicas STEM para el desarrollo de estas habilidades [2].

La educación usualmente tiene una tendencia tradicional y requiere adaptarse a los cambios tecnológicos que aparecen con el avance del tiempo para garantizar que los estudiantes de ingeniería en formación desarrollen las habilidades necesarias para enfrentarse al mundo laboral. Se ha identificado que para el éxito de la Educación 4.0 el entrenamiento, competencias y la cualificación de los tecnólogos y profesionales universitarios es un escalón fundamental para afrontar los retos y requerimientos de la industria [2,5]. A continuación se describen tres características de la nueva educación en el contexto de la Industria 4.0 [6]: 1. Programación científica como el nuevo lenguaje de comunicación entre los ingenieros y las máquinas. 2. Desarrollo empresarial con enfoque en la innovación que facilita la revolución de las tecnologías sobre la evolución de la tecnología. 3. Aprendizaje analítico, porque el conocimiento de lo intangible como las señales digitales es de obligatorio entendimiento en todas las disciplinas [7,8].

En este manuscrito se presenta un modelo para la implementación de los celulares como un componente funcional de las prácticas de robótica educativa, orientado hacia los procesos de enseñanza y aprendizaje de las áreas STEM en ingeniería [9]. El artículo está distribuido de la siguiente manera: en el capítulo dos se exteriorizan los materiales y métodos empleados en la investigación. En el capítulo tres se muestran el modelo de integración diseñado y la validación del mismo; para finalmente, en los capítulos cuatro y cinco, presentar las conclusiones y las referencias bibliográficas.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Educación 4.0

En la actualidad el modelo tradicional estandarizado y dirigido de enseñanza y aprendizaje fue influenciado en gran medida por las necesidades de la primera y segunda

revoluciones industriales, especialmente cuando la producción masiva de talento uniforme se necesitó y utilizó para llenar trabajos repetitivos y orientados a procesos de fabricación en masa. La tercera y cuarta revoluciones industriales introdujeron la automatización de la producción y la admisión de algo intangible como la creación de valor [10].

Muchos de los niños en edad escolar de hoy trabajarán en nuevos tipos de actividades que aún no existen, la mayoría de los cuales probablemente, tengan un mayor dominio en las habilidades digitales y socioemocionales. En un mundo cada vez más interconectado, se espera que los futuros trabajadores colaboren con pares que residen en varias partes del mundo, comprendan los matices culturales y en muchos casos, utilicen herramientas digitales que permiten estos nuevos tipos de interacciones [10]. De manera muy rápida se presenta un recuento de los enfoques de la educación de acuerdo con su contexto histórico [9]: La educación 1.0 respondió a la necesidad de la sociedad agrícola. Se desarrolló en el contexto de la primera revolución industrial y el esquema de transmisión del conocimiento era del profesor al alumno, utilizando los conceptos y un estudio exhaustivo. El alumno seguía al maestro, que era el centro de las explicaciones, como un método principal transmisionista [11]. La Educación 2.0 respondió al requerimiento de la sociedad industrial con el concepto de enseñanza para el aprendizaje con el objeto de realizar tareas específicas en lugar de ser creativo. La educación en esta era estaba en línea con la producción en masa de la segunda revolución industrial, donde las instituciones educativas eran como un complemento de una planta industrial. Es decir, el estudiante es como un producto, el plan de estudios es como especificaciones del producto, el examen es como un control de calidad, un certificado o el diploma es como un documento de garantía y la institución educativa es como una marca del producto [11]. La Educación 3.0 abordó la necesidad de la “*sociedad tecnológica*” en donde se crea conocimiento para apoyar el autoaprendizaje. La educación en esta era utiliza tecnología de aprendizaje en forma de materiales didácticos, medios digitales y redes sociales. Se centra en el aprendizaje interactivo [11] se busca que los estudiantes estén en capacidad de ampliar y generar conocimiento [12]. La Educación 4.0 satisface las necesidades de la sociedad en la “*era innovadora*”. Busca ayudar a desarrollar la capacidad del alumno para aplicar la nueva tecnología y desarrollarse de acuerdo con los cambios en la sociedad [11,13,14].

### 2.2 Robótica educativa

La robótica educativa se utiliza como referencia, a un espacio de enseñanza y aprendizaje, sin hacer alusión directa a la robótica industrial o de servicios. El propósito de utilizar la robótica en la educación es desarrollar en el alumno competencias básicas que generen aprendizajes que a su vez le permitan desarrollarse en la sociedad actual. Dichas competencias son entre otras: aprendizaje colaborativo y toma de decisiones en equipo [12,15]. Los ambientes de aprendizaje generados por la robótica educativa están basados en la acción del estudiante posicionándolo en un rol activo y protagonista de su propio proceso de aprendizaje. De

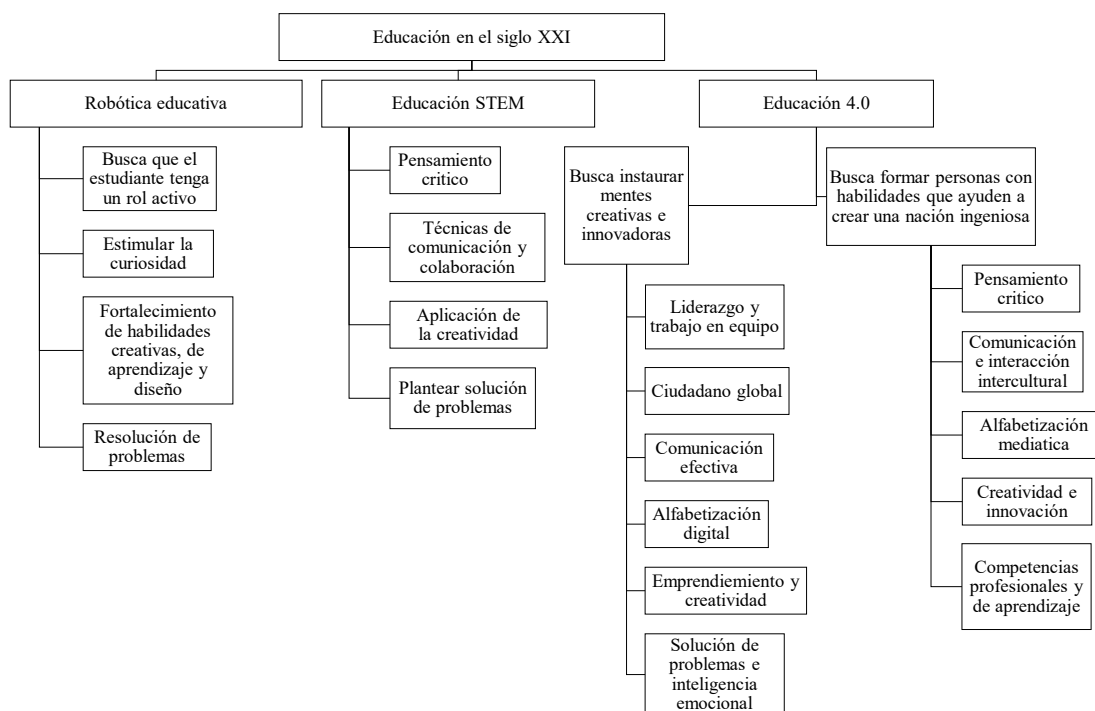


Figura 1. Mapa conceptual objetivo de la robótica educativa, educación STEM y la Educación 4.0. Fuente: los autores.

Tabla 1. Habilidades objetivo para fortalecer y desarrollar.

STEM	Educación 4.0
	Innovación
	Liderazgo
Investigación	Colaboración
Pensamiento crítico	Creatividad
Solución a problemas	Alfabetización digital
Creatividad	Comunicación efectiva
Técnicas efectivas de comunicación	Inteligencia emocional
Colaboración entre los estudiantes	Emprendimiento
	Ciudadano global
	Resolución de problemas
	Trabajo en equipo

Fuente: los autores.

esta manera el estudiante puede pensar, imaginar, decidir, planificar, anticipar, investigar, hacer conexiones con el entorno, inventar, documentar, equivocarse y realimentar a otros compañeros [16,17]. Entre los resultados palpables en primera instancia con la implementación de la robótica educativa, se puede observar que cuando los estudiantes logran hacer que el robot ejecute las acciones programadas, se incrementa la autosatisfacción y el deseo de intentar realizar cosas nuevas. Con ello se logra estimular la curiosidad en temas relacionados con la tecnología en áreas tales como las matemáticas, ciencias e ingeniería, que están ligadas a la tecnología [12] y son el núcleo básico de las áreas STEM.

### 2.3 STEM

Desde la década de los años 90, con el surgimiento de la Educación 3.0, se identificó la necesidad de tener perfiles

completos en estas áreas transversales que involucran un dominio de las matemáticas, ciencias, tecnología e ingeniería. Fue entonces cuando la National Science Foundation (NSF) acuñó el acrónimo STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) con un enfoque educativo en el cual se ha demostrado tener buenos resultados en el fortalecimiento de estas áreas específicas y ha tenido gran aceptación a nivel mundial generando puentes entre la academia y la industria. Como lo menciona [2] “es conveniente que mediante las TIC se genere interés y fortalecimiento de las áreas STEM en los estudiantes” de ingeniería, las cuales están encaminadas al fortalecimiento de las habilidades para afrontar problemas del mundo real y actual. La educación STEM tiene como principal objetivo potenciar en los estudiantes habilidades y competencias para la investigación, desarrollar el pensamiento crítico, planteamiento de soluciones a problemas reales, incrementar la aplicación de la creatividad, implementando técnicas efectivas de comunicación y colaboración entre los estudiantes. En la Fig. 1 y en la Tabla 1, se muestran el comparativo entre las habilidades que busca fortalecer la educación STEM y las habilidades objetivo de la educación 4.0.

En el contexto colombiano, la adopción de las metodologías STEM ha tomado fuerza, con grandes actores desde la academia que han trabajado juntos, como la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes en convenio con el Ministerio de Educación Nacional, las cuales han participado en programas y desarrollos para mejorar la educación STEM [18]. Actualmente se gestan programas gubernamentales para fortalecer la enseñanza STEM en las instituciones de educación superior.

### 2.4 Sensores de los dispositivos móviles

Los dispositivos móviles cuentan con unas características especiales que los diferencian de otros dispositivos. Son fáciles de desplazar por su tamaño, facilitan el acceso a internet desde cualquier lugar ya que cuenta con conexión inalámbrica por lo que no necesita cables para acceder a una red. Además posibilitan la interacción entre personas, puesto que están diseñados para comunicarse con otros dispositivos móviles y su sistema operativo permite el uso de aplicaciones sociales. Estos dispositivos no solo son los celulares, existen múltiples tipos de aparatos móviles, como la Tablet, computadores portátiles, *ereaders* y otros. Los dispositivos móviles más utilizados son los celulares o *smartphones* porque sus características y componentes los hacen ser imprescindibles para cumplir con los deberes y obligaciones del día a día.

Tabla 2. Comparación módulos de robótica comerciales.

	Innobot	Mindstorms EV3	Vex IQ	Huawei P40 Lite	iPhone 12
Procesador	Tarjeta programable Arduino	ARM9	Vex IQ Brain	Kirin 810	Apple A14 Bionic
Sensores	Sensor en línea infrarrojo	Sensor de color	Interruptor de parachoques	Sensor de huella	Sensor de profundidad
	Sensor ultrasonido	Sensor de contacto de IR	Sensor de luz	Sensor de proximidad	Sensor de cámara
Actuadores	Motoreductores	Servomotor interactivo	4 Smart motor	-	-
	Lenguaje de programación	Software Pygmalion IDE	Software Make code	Software Vex IQ Firmwarre	Java y Kotlin
Precio	\$110 USD aprox.	\$775 USD aprox.	\$292 USD aprox.	\$378USD D aprox.	\$1.135 USD aprox.

Fuente: los autores.

Un teléfono móvil simple está compuesto por un micrófono, altavoz, pantalla de cristal, teclado, antena, batería, placa de circuitos y un microprocesador encargado de ejecutar todos los programas y aplicaciones desde su sistema operativo, funcionando mediante un lenguaje binario. El *smartphone* es un teléfono que combina la capacidad del teléfono móvil y la de un computador. Este artefacto permite guardar información, descargar aplicaciones, tener acceso al correo electrónico y un sistema operativo fácil de utilizar por los usuarios. Permiten disfrutar de una gran variedad de aplicaciones, ofrecen sistemas operativos más modernos y tienen mayor capacidad de memoria [19]. Las empresas de tecnología modernas, como Apple, Samsung, Xiaomi, LG, entre otros, han incorporado dispositivos con tecnologías avanzadas con más capacidades y funciones; han integrado a los celulares las videollamadas, pantallas multitareas, cámaras con más megapíxeles, grabación y edición de alta definición, procesadores de doble núcleo y una de las mayores ventajas es el software avanzado que poseen. Sin embargo, la característica más valiosa y que muchos la dejan desapercibida es la gran variedad de sensores que poseen. Los celulares contienen potentes cámaras digitales, micrófonos, GPS, acelerómetro, giroscopios, sensores de magnetismo, luxómetros, barómetros, termómetros, sensores de humedad del aire, sensores biométricos y muchos más [20] (Tabla 2).

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Diseño

Los *kits* de robótica educativa están constituidos por un mecanismo de procesamiento, un conjunto de sensores para realizar diversas prácticas y los actuadores asociados a una estructura con fines de práctica y demostración. Dentro de la investigación, se configuró un modelo que permite aprovechar los sensores presentes en los dispositivos inteligentes móviles, para integrarlos como didácticas activas y constructivas en talleres usando la robótica. Esto con el fin de aprovechar los sensores ya incluidos en los celulares, con lo cual se alcanzó disminuir los costos de implementación con el propósito de tener un modelo funcional, brindando la oportunidad de incluir los últimos desarrollos de software y procesamiento de estos celulares para vincularlos a los robots (Fase 1, Fig. 2).

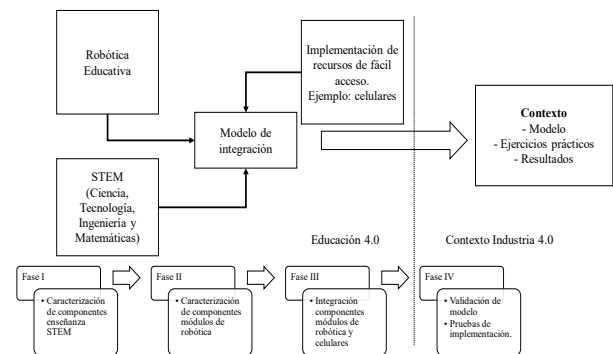


Figura 2. Estrategia para desarrollar el modelo.

Fuente: los autores.



Figura 3. Esquema de funcionamiento de la App para recopilar datos de los sensores y transmitir al robot.  
Fuente: los autores.

El uso más común que se da de los dispositivos móviles en las prácticas de robótica es la implementación como un mando a distancia para el robot, donde se hace uso de una aplicación desarrollada con una interfaz de botones programados para enviar determinado comando. Estos datos se le comunican al robot por medio de *bluetooth*, *wi-fi*, infrarrojo u otro. El robot recibe los datos y en su lógica, procesa el comando para actuar en consecuencia (Fase 2, Fig. 2).

Para acceder a los datos de los sensores instalados en el dispositivo móvil, es necesario la implementación de una aplicación móvil personalizada (APP) la cual se instala en el celular y utiliza las librerías que el sistema operativo ya tiene instaladas por defecto. Adicionalmente, el sistema operativo del dispositivo móvil por seguridad restringe el acceso directo a los datos de los componentes internos del sistema (sensores). A través de un cable de datos USB y una APP se soluciona este problema para que el usuario pueda hacer uso de los mismos (Fase 3, Fig. 2).

La APP accede y obtiene los datos recopilados por los sensores. Para transmitir estos datos al robot se puede hacer uso de alguno de los métodos de conexión inalámbrica *wi-fi* o *bluetooth* disponibles en los dispositivos móviles. El *bluetooth* tiene mayor grado de aplicación gracias a su facilidad de conexión, emparejamiento sin requerir un *router* y bajo consumo energético. En el modelo, el dispositivo móvil está instalado sobre el robot, por lo que la distancia será mínima, dejando así el *bluetooth* en una posición más conveniente para su aplicación (Fig. 3). En las Figs. 5, 6 y 7 se utiliza el símbolo de conexión por *wi-fi* o *bluetooth*, para efectos de la aplicación real y pruebas del modelo (Fase 4, Fig. 2). Se hace referencia al robot como el conjunto general de actuadores y componentes estructurales y funcionales para llevar a cabo una función o tarea, de forma genérica. El robot puede cambiar su forma y componentes básicos para cumplir con sus funciones. Usualmente se implementa un chasis estructural para ensamblar los componentes motrices como motores y brindar soporte para instalar los módulos de procesamiento y para este caso, instalar el celular (Fig. 4).

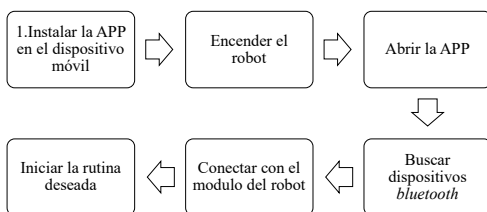


Figura 4. Pasos para realizar la conexión e implementación.  
Fuente: los autores.

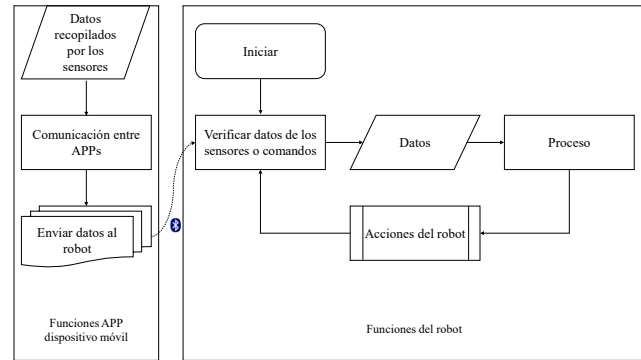


Figura 5. Proceso simplificado de un robot autónomo.  
Fuente: los autores.

### 3.1.1 Robot autónomo

El robot funciona de forma independiente, por lo cual no requiere ninguna intervención del usuario para ejecutar sus funciones (Fig. 3). El modelo lógico del robot obedece a actuar en consecuencia de los datos recopilados por los sensores (Fig. 5). Algunos ejemplos de esta aplicación son [9]:

- Un robot que se desplaza y evita obstáculos: en este caso se puede utilizar el sensor de proximidad del celular para detectar los obstáculos.
- Un robot que acelera o frena dependiendo de la intensidad de la luz: en este caso la fuente de entrada será el sensor de luz ambiental presente en el dispositivo móvil.

### 3.1.2 Robot controlado desde otro dispositivo

Con la implementación de una APP personalizada se tiene la posibilidad de ampliar las funcionalidades de ésta, al comunicarse por medio del internet con otros dispositivos, utilizando la misma APP para enviar y recibir datos e información entre dispositivos. Este enfoque de aplicación toma gran relevancia porque supera los límites de comunicación utilizados tradicionalmente con las metodologías *wi-fi* o *bluetooth*, las cuales usualmente tienen rangos de operación limitados. Adicionalmente brinda la funcionalidad de obtener retroalimentación de los datos e información que tiene el robot.

Con esta configuración se hace necesario el uso de dos dispositivos inteligentes, así: un dispositivo estará en las manos del usuario recibiendo los datos y enviando los comandos que se requieren para controlar el robot, y el otro dispositivo estará funcionando como plataforma de sensores y puente de comunicación con el robot (Fig. 6). Algunos ejemplos de implementación de esta configuración pueden ser [9]:

- Controlar el robot manualmente enviando comandos para el movimiento, con un rango mayor a diez metros (típicamente el máximo disponible para *bluetooth*).
- Controlar el robot remotamente y recibir retroalimentación con: imágenes tomadas por la cámara, audio capturado por el micrófono, y ubicación del dispositivo la cual es obtenida utilizando el GPS del dispositivo dos.

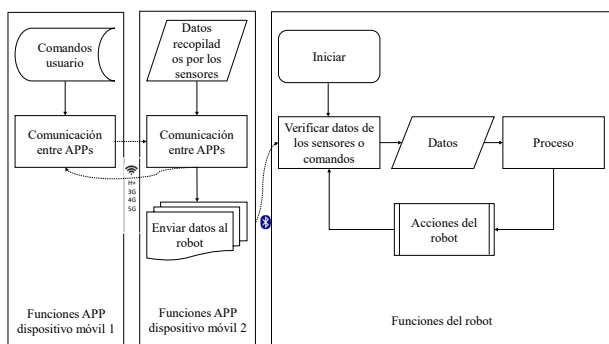


Figura 6. Funciones & lógica de funcionamiento de un robot controlado desde otro dispositivo.

Fuente: los autores.

### 3.1.3 Implementación de otras aplicaciones utilizando el procesamiento del dispositivo inteligente

En esta configuración se buscó establecer un desarrollo personalizado de la APP para llamar, vincular o implementar librerías de otras aplicaciones con el fin de procesar los datos e información en el dispositivo móvil. Se utilizó toda la capacidad de procesamiento y memoria disponible en el dispositivo móvil y una vez procesados los datos, enviaba al robot la información y comandos necesarios para ejecutar las acciones. Con este enfoque se logró que el núcleo de procesamiento del robot no requiriera de la interfaz de video, memoria o almacenamiento más allá de lo básico para operar sus componentes principales. Lo anterior, porque los procesos que requieren procesamiento gráfico y de memoria son ejecutados por el dispositivo móvil (Fig. 7). Algunos ejemplos son:

- Utilizar la cámara del dispositivo móvil para capturar el video del entorno donde se realiza una integración de reconocimiento de objetos conocido como YOLO (You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection) [21], el cual procesa la imagen y puede clasificar los objetos presentes en ella. Con esto ubica el elemento objetivo en la imagen y envía al robot la dirección en la cual debe moverse para llegar al objetivo.
- Utilizar el micrófono del dispositivo móvil para capturar audio, mediante la integración de algún desarrollo para reconocimiento de voz, convirtiéndolo en un comando de voz y enviando el comando decodificado al robot para su respectiva ejecución.

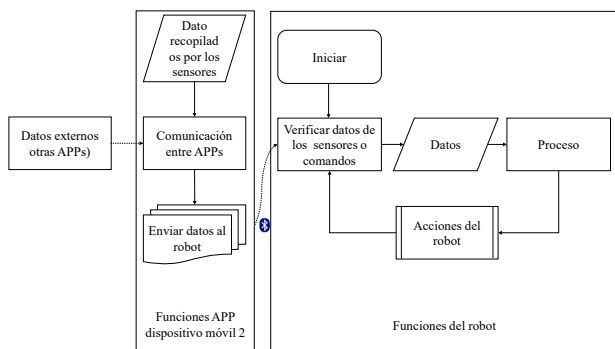


Figura 7. Diseño lógico: integración con otras APPs y un robot autónomo.

Fuente: los autores.

### 3.1.4 Comportamiento del modelo

Se tiene un comportamiento estable durante su funcionamiento, la velocidad de transferencia de datos se encuentra en función de la versión de los dispositivos *bluetooth* involucrados en el dispositivo móvil y el robot. Con la premisa de que el dispositivo dos, está instalado físicamente sobre el robot, la distancia será constante y usualmente menor a un metro dependiendo del tamaño del robot. Lo anterior brinda unas condiciones estables para la transferencia de datos entre el dispositivo móvil empleado como fuente de sensores y el robot. El comportamiento del robot por su parte, se mide con base en su programación. Se parte de la premisa de implementar un diseño estructural sólido, el cual está unido a la función específica del robot para soportar los componentes del modelo.

## 3.2 Validación

### 3.2.1 Prototipo

Para la validación del modelo se configuró un prototipo de robot. Por simplicidad para su ensamble y posterior aplicación en otros escenarios, se implementó un carro con llantas tipo oruga, el cual tiene como efectores dos motores para su desplazamiento, y la dirección se puede controlar cambiando la velocidad y sentido de giro de los motores. Los principales materiales o módulos utilizados para configurar el robot se detallan en la Fig. 8 y Tabla 3.

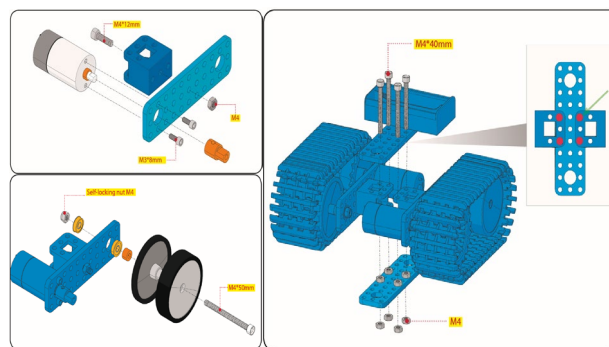


Figura 8. Ensamble del robot físico (Key Studio Tank).

Fuente: los autores.

Tabla 3. Componentes del robot utilizados en la configuración del prototipo.

Componente	Función
Kit ruedas tipo Oruga	Transmitir el movimiento de los motores al suelo y desplazar el robot
Motorreductor (2)	Generar movimiento de las orugas
Tarjeta <i>shield</i> motores	Alimentación de los motorreductores y Ajustar sentidos de giro
Tarjeta programable tipo uno	Ejecutar el programa y enviar señales para accionar los motorreductores
Módulo de Bluetooth 4.0 asociado	Recibir información desde el dispositivo móvil asociado
Baterías de litio 18650 (2)	Suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema
Cableado	Conectar los componentes del sistema para llevar la información y energía
Elementos estructurales	General el chasis y estructura de soporte para el carro

Fuente: los autores.

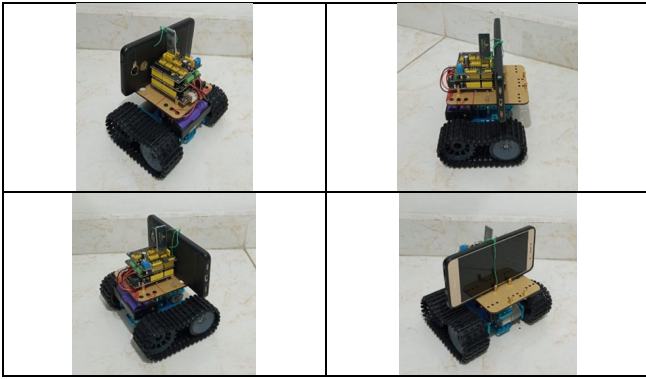


Figura 9. Prototipo configurado.  
Fuente: los autores.

Como dispositivo móvil inteligente se utilizó un teléfono celular marca Huawei Y7 Prime. En las Figs. 9 y 10 se muestran las fotografías del prototipo configurado.

Con el prototipo ensamblado se realizaron las pruebas de funcionamiento del modelo en donde se obtuvo un comportamiento según lo esperado. La comunicación fue estable entre el dispositivo móvil y el robot, brindando una integración entre ambos dispositivos. Se desarrolló una APP para facilitar el funcionamiento (Figs. 11 y 12). Como se ha indicado previamente, se utilizó un celular como fuente de sensores y permitiendo concluir que es un proyecto de fácil escalabilidad para implementar en el ámbito educativo potenciando la educación STEM y en consecuencia un desarrollo de las habilidades requeridas para la industria 4.0.

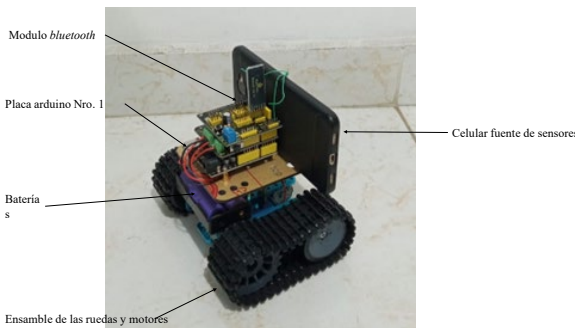


Figura 10. Ensamble del robot físico (Key Studio Tank).  
Fuente: los autores.

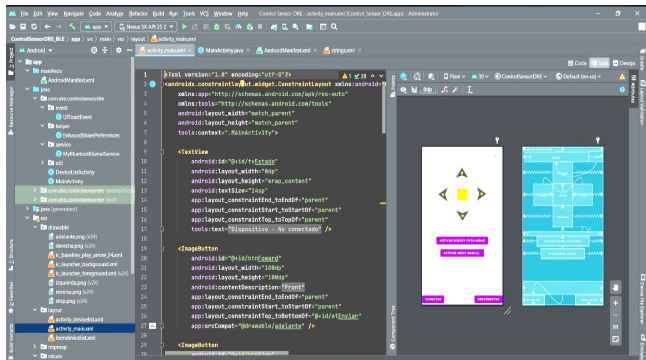


Figura 11. Desarrollo de la APP en Android Studio.  
Fuente: los autores.

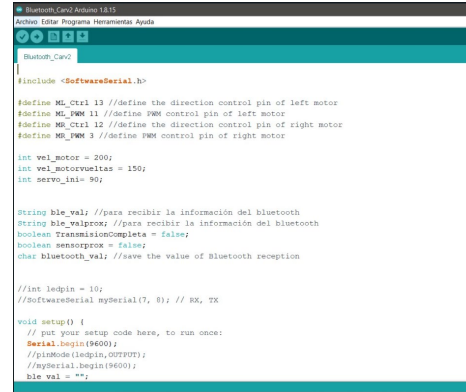


Figura 12. Programación para tarjeta Arduino Nro. 1.  
Fuente: los autores.

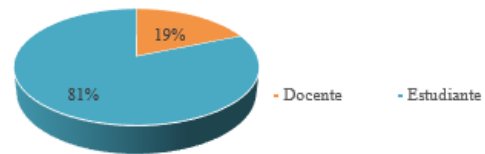


Figura 13. Rol en el proceso educativo.  
Fuente: los autores.

### 3.2.2 Comprobación

Para validar la disposición de los usuarios frente a la implementación del modelo, se diseñó una encuesta enfocada en determinar esta posición. Las preguntas se orientaron en los temas específicos de los requerimientos de la industria 4.0, su relación con la educación STEM y la opinión de los estudiantes y profesores frente al uso e integración de la robótica educativa. La población objetivo fue estudiantes y docentes de ingeniería de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, con el fin de validar la percepción de implementación del modelo propuesto para fortalecer la enseñanza de una asignatura STEM. La encuesta consta de 17 preguntas cerradas realizadas a 65 estudiantes y 15 profesores, con un total de 80 sujetos encuestados.

### 3.2.3 Análisis e interpretación de los resultados

A continuación, se presentan los resultados de las 17 preguntas realizadas a los estudiantes y profesores, con su respectiva interpretación.

Pregunta uno: *¿cuál es su rol en el proceso educativo?*

La encuesta fue respondida mayoritariamente por estudiantes, y es positivo porque fue el público central para el que desarrolló la investigación (Fig. 13).

Pregunta dos: *¿conoce los requerimientos para el talento humano de la Industria 4.0?*

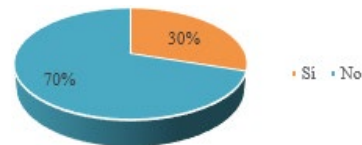


Figura 14. Conocimiento sobre los requerimientos para la Industria 4.0.  
Fuente: los autores.

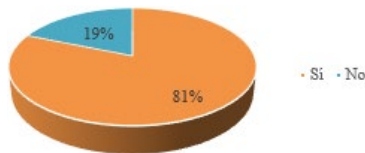


Figura 15. Inclusion de elementos en la educación para cubrir las necesidades de la Industria 4.0. Fuente: los autores.

La mayoría de los encuestados manifiesta que no tiene conocimiento sobre los requerimientos necesarios del talento humano para la Industria 4.0. Lo anterior evidencia la falta de contexto que tienen los estudiantes frente a las necesidades de la industria (Fig. 14).

Pregunta tres: *¿considera importante la inclusión de elementos en el entorno educativo para cubrir las necesidades de la Industria 4.0?*

El 81% de los encuestados, respondió sí a esta pregunta. Es decir, los estudiantes y profesores consideran necesario incluir en el entorno educativo elementos que permitan formar personas con habilidades y capacidades que puedan cubrir los requerimientos de la Industria 4.0, a pesar de que no tienen claro en sí, el concepto (Fig. 15).

Pregunta cuatro: *¿usted cómo considera que los estudiantes aprenden mejor?*

En esta pregunta, en la que: A) se hace referencia a la educación por medio de una metodología magistral tradicional con un rol pasivo del estudiante y B) a metodologías didácticas en las que el estudiante tiene un rol activo, la gran mayoría está de acuerdo con que los estudiantes aprenden mejor cuando se utilizan métodos didácticos que les permitan ser más activos en su proceso formativo y les permitan utilizar su pensamiento crítico para la resolución de problemas (Fig. 16).

Pregunta cinco: *¿le motiva utilizar su celular en parte del proceso educativo?*

El 69% de los encuestados concuerda en que el celular puede implementarse como herramienta para el fortalecimiento de sus procesos de enseñanza y de aprendizaje (Fig. 17).

Pregunta seis: *¿ha considerado utilizar algún sensor de su celular para implementarlo en un proyecto personal?*

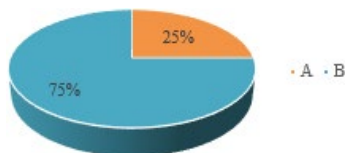


Figura 16. Metodología en que mejor aprenden los estudiantes (A: magistral tradicional y B: didácticas activas). Fuente: los autores.

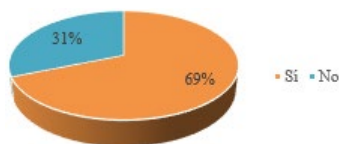


Figura 17. Uso del celular como herramienta dentro del proceso educativo. Fuente: los autores.

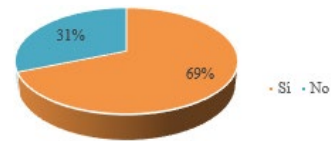


Figura 18. Uso de los sensores del celular en proyectos personales. Fuente: los autores.

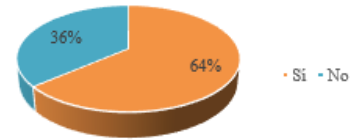


Figura 19. Inclusion de prácticas didácticas con los celulares. Fuente: los autores.

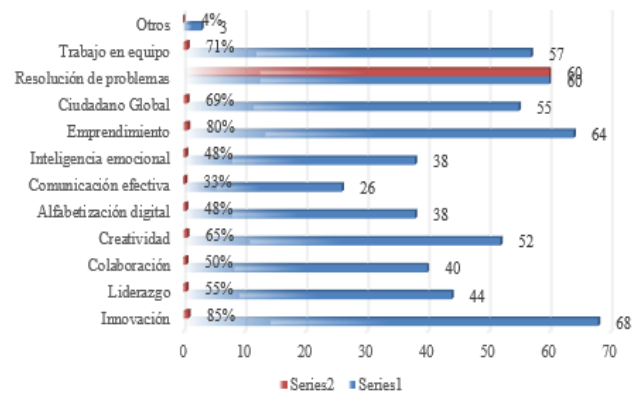


Figura 20. Elementos necesarios para afrontar las exigencias de la Industria 4.0. Fuente: los autores.

Los encuestados, en su mayoría han tenido el deseo de sacar provecho de los sensores del celular en sus proyectos personales. Lo anterior demuestra un interés por ampliar sus conocimientos y aplicación de los mismos (Fig. 18).

Pregunta siete: *¿considera útil la inclusión de prácticas didácticas utilizando los celulares?*

Los encuestados están muy de acuerdo con la implementación de los celulares con las prácticas didácticas (Fig. 19).

Pregunta ocho: *¿cuáles de los siguientes elementos considera más importantes en el proceso formativo de los estudiantes para afrontar la industria 4.0?* (selección múltiple)

La mayoría está de acuerdo en que la innovación, resolución de problemas, emprendimiento, trabajo en equipo, creatividad y ser un ciudadano global son los principales elementos que se deben tener en cuenta para poder afrontar las exigencias que trae consigo la Industria 4.0. Por lo anterior, aparece la necesidad de que las instituciones de educación superior tengan profesores que formen a los estudiantes con enfoques en estas habilidades específicas (Fig. 20).

Pregunta nueve: *¿considera importante incluir la robótica en el proceso educativo?*



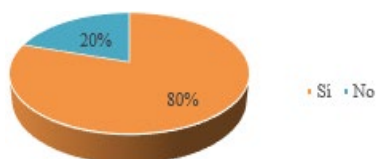


Figura 21. La robótica dentro del proceso educativo.  
Fuente: los autores.

El 80% de encuestados, es decir, 64 de los 80 está de acuerdo en que se implementen talleres y clases de robótica dentro de sus procesos educativos, en los que se puede trabajar en equipo y se hace uso de la tecnología mediante una metodología de didácticas activas (Fig. 21).

Pregunta diez: *¿cree usted que la construcción y programación de robots dentro del aula contribuiría a su desarrollo cognitivo?*

Los encuestados creen que la construcción y programación de robots en el aula les ayudará a desarrollar nuevas destrezas y habilidades. Éste método de aprendizaje impulsa su imaginación y creatividad y puede ayudarles a mejorar en otras asignaturas al hacer uso del razonamiento lógico (Fig. 22).

Pregunta once: *¿piensa usted que la construcción y programación de robots tiene un costo muy alto?*

El 60% de encuestados considera que la implementación de la robótica generaría altos costos para las instituciones de educación superior. Por lo que sería una gran ayuda hacer uso de herramientas que están al alcance de los estudiantes, como lo es el uso de celulares para la interacción con robots y así disminuir los gastos (Fig. 23).

Pregunta doce: *¿ha pensado en utilizar los sensores de su dispositivo móvil para las prácticas didácticas y así disminuir los costos de implementación?*

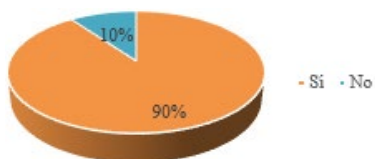


Figura 22. Influencia de la construcción y programación de robots en el desarrollo cognitivo de los estudiantes.  
Fuente: los autores.

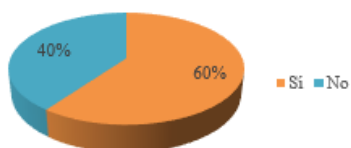


Figura 23. Costos de la construcción y programación de robots.  
Fuente: los autores.

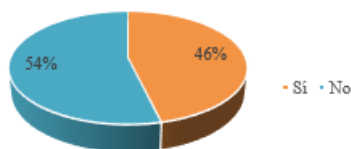


Figura 24. Uso de los sensores de los dispositivos móviles para la disminución de costos.  
Fuente: los autores.

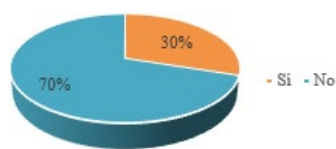


Figura 25. Conocimiento sobre las aplicaciones que permiten interactuar con un robot desde un celular.  
Fuente: los autores.

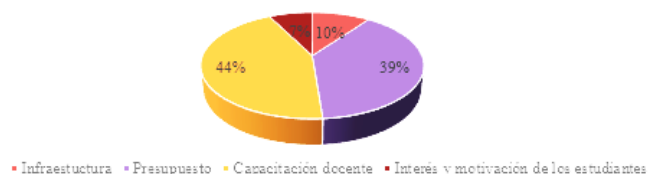


Figura 26. Percepción sobre las dificultades que se presentan para incluir la robótica en el proceso educativo.  
Fuente: los autores.

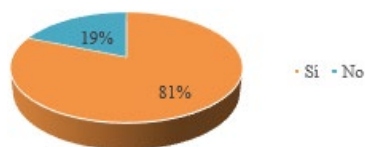


Figura 27. Áreas STEM y la tecnología en el proceso educativo.  
Fuente: los autores.

Un porcentaje considerable de los encuestados considera que implementar los celulares en sus prácticas puede representar una disminución de costos en el componente de los kits para prácticas didácticas (Fig. 24).

Pregunta trece: *¿conoce las diferentes aplicaciones que permiten interactuar con un robot desde un dispositivo móvil?*

La mayoría de encuestados, el 70% ignora la existencia de aplicaciones que les permiten interactuar con robots por medio de los sensores de sus teléfonos inteligentes y que a la vez, se convierten en una guía didáctica para aprender a construir los robots y programarlos. Esto hace notoria la falta de ilustración con relación a la educación tecnológica y la falta de promoción de estas herramientas en las aulas de las instituciones de educación superior (Fig. 25).

Pregunta catorce: *¿cuál considera que es la razón por la que no se incluye la robótica dentro del proceso educativo?*

Los encuestados consideran que la principal razón por la que no se incluye la robótica dentro de los pensum es por la poca formación que tienen los profesores en este tema. También por el presupuesto que requieren invertir las instituciones de educación superior, para lograr lo anterior. Aunque notoriamente se ve que los estudiantes están motivados por aprender a construir y programar robots, es necesario la formación de los docentes en robótica educativa y el interés tanto de las instituciones como de los profesores en educar a los estudiantes en las habilidades, destrezas, competencias y capacidades que necesitarán al enfrentarse a la Industria 4.0 (Fig. 26).

Pregunta quince: *¿considera necesario vincular las STEM y la tecnología en el proceso educativo?*

Los estudiantes consideran que la integración de la tecnología con la metodología STEM puede incrementar su aprendizaje y les permite estar mejor formados, obteniendo las habilidades, destrezas y competencias necesarias enfocadas a las necesidades actuales y los problemas reales

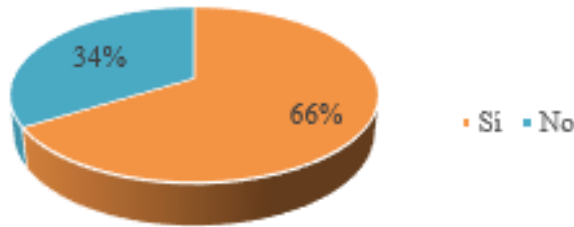


Figura 28. Necesidad de personas capacitadas en áreas en el mercado laboral. Fuente: los autores.

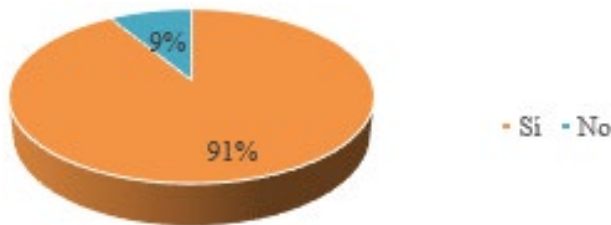


Figura 29. Robótica educativa para las enseñanzas de las áreas STEM en las instituciones de educación superior. Fuente: los autores.

de la sociedad. La enseñanza utilizando esta metodología didáctica los impulsa a pensar y crear por sí mismos (Fig. 27).

Pregunta dieciséis: ¿cree que en el futuro el mercado laboral requerirá de personal capacitado en las áreas STEM?

El 66% de los encuestados consideran que es importante la formación impartida con base en áreas STEM para fortalecer el perfil profesional que les permite afrontar los requisitos del mercado laboral (Fig. 28).

Pregunta diecisiete: ¿le parece que todas las instituciones de educación deberían implementar la robótica educativa para la enseñanza de las áreas STEM en el proceso académico?

Los encuestados son conscientes de la necesidad que existe de que todas las instituciones de educación superior brinden una educación STEM a los estudiantes, ya que son las áreas más importantes de las que se obtienen las habilidades, destrezas, competencias y conocimientos exigidos en la Industria 4.0 para la resolución de problemas (Fig. 29).

### 3.2.4 Interpretación de los resultados de la encuesta

Los resultados de la encuesta reflejan que la implementación de la robótica educativa dentro del *pensum* de las asignaturas de los programas de ingeniería es bien recibida por parte de los actores del sistema educativo (estudiantes y profesores). Además, muestra la importancia que estos le dan a poder adquirir conocimientos de las áreas STEM, por lo que es necesario crear módulos que permitan brindar a los estudiantes, conocimientos, habilidades, destrezas y competencias en robótica educativa. Además, se evidencia el interés y motivación de hacer mayor el uso de herramientas tecnológicas como el celular en los procesos de enseñanza y de aprendizaje dentro de las aulas de clase, ya que impulsa la creatividad, imaginación, trabajo en equipo e innovación de los estudiantes mediante el aprendizaje más activo y didáctico (Tabla 4).

Tabla 4. Síntesis de algunos resultados de la encuesta (muestra 80 personas).

Preg.	Propósito a evaluar	Pregunta	Si	No
2	Contexto	¿Conoce los requerimientos para el talento humano de la Industria 4,0?	30%	70%
3		¿Considera importante la inclusión de elementos en el entorno educativo para cubrir las necesidades de la Industria 4,0?	81%	19%
5		¿Le motiva utilizar su celular como una herramienta en el proceso educativo?	69%	31%
6	Dispositivo móvil	¿Ha considerado utilizar algún sensor de su celular para implementarlo en un proyecto personal?	69%	31%
7		¿Considera útil la inclusión de prácticas didácticas utilizando los celulares?	64%	36%
9	Robótica educativa	¿Considera importante incluir la robótica en el proceso educativo?	80%	20%
10		¿Cree usted que la construcción y programación de robots dentro del aula contribuiría a su desarrollo cognitivo?	90%	10%
11		¿Piensa usted que la construcción y programación de robots tiene un costo muy alto?	60%	40%
12		¿Ha pensado en utilizar los sensores de su dispositivo móvil para las prácticas didácticas y así disminuir los costos de implementación?	46%	54%
13	Robot y dispositivos móviles	¿Conoce las diferentes aplicaciones que permiten interactuar con un robot desde un dispositivo móvil?	30%	70%
15		¿Considera necesario vincular la educación STEM y la tecnología en el proceso educativo?	81%	19%
16	STEM	¿Cree que en el futuro, el mercado laboral requerirá de personal más capacitado en las áreas STEM?	66%	34%
17		¿Le parece que todas las Instituciones de educación deberían implementar la robótica educativa para la enseñanza de las áreas STEM en el proceso educativo?	91%	9%

Fuente: los autores.

## 4. Conclusiones

La tecnología ha tomado tanta fuerza en la actualidad que en el contexto de la Educación 4.0 es necesario implementar metodologías diferentes a las que se han venido utilizando en la formación de los estudiantes, especialmente en programas de ingeniería. La Industria 4.0 requiere de personas formadas y con competencias en las áreas que se enfocan a la tecnología e innovación, por lo que las instituciones de educación superior están en la obligación de crear modelos educativos que se ajusten a estas exigencias. Un ejemplo es

la integración de la robótica educativa para fortalecer la educación STEM, la cual está enfocada en permitir que los estudiantes tengan un papel más activo en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Estas metodologías activas potencian las habilidades investigativas y el pensamiento crítico, además, permiten el desarrollo de habilidades tales como el trabajo en equipo, liderazgo, creatividad, innovación y el planteamiento de soluciones a problemas existentes.

El artículo muestra la influencia positiva que tiene la robótica educativa en el proceso de formación de los estudiantes de ingeniería para posteriormente enfrentarse al mercado laboral que les exigirá enfrentar y resolver problemas reales de la sociedad. Los *kits* de robótica educativa, además se pueden integrar con los dispositivos móviles, mediante los cuales es posible interactuar con los robots y complementar las funcionalidades y/o tareas, y su vez servir como guía para facilitar tanto a los profesores como a los estudiantes, el proceso de construcción y programación de los robots. Adicionalmente, con la implementación de los dispositivos móviles como parte o complemento de un *kit* de robótica se disminuyen los costos de implementación debido a los sensores y funcionalidades del dispositivo móvil que pueden configurarse.

La robótica educativa brinda a los estudiantes la oportunidad de imaginar y crear diversidad de robots con un tareas específicas, y mientras lo hacen pueden aprender a trabajar en equipo al ayudarse mutuamente, buscar solución a problemas que se les presenten en el camino, sentir la satisfacción de solucionarlos, entre muchas otras experiencias que ayudan a su desarrollo cognitivo y que les permite estar lo suficientemente capacitados para afrontar las problemáticas de la Industria 4.0.

Con el modelo presentado se puede responder afirmativamente a las necesidades educativas de la formación de futuros ingenieros, donde se ha demostrado que se puede implementar la tecnología de los dispositivos móviles celulares para el funcionamiento del robot, constituyéndose en un modelo de fácil adaptación para implementar en las aulas y permitir a los estudiantes desarrollar habilidades específicas en las áreas STEM de cara a la Educación 4.0, y los nuevos retos de la educación basada en competencias, cualificaciones y resultados de aprendizaje

## Referencias

- [1] Larcher, A., Turri, F., Collins, J., Derweesh, I., Volpe, A., Kaouk, J. & Koon, R. Definition of a structured training curriculum for robot-assisted partial nephrectomy: A Delphi-consensus study from the ERUS Educational Board. *Eur. Urol. Suppl.*, vol. 17(2), pp. e678-e682, 2018. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1569-9056\(18\)31310-1](https://doi.org/10.1016/S1569-9056(18)31310-1).
- [2] Ruíz, C., Montoya, D. & Jiménez, J. Ambiente visual integrado de desarrollo para el aprendizaje de programación en robótica. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 9(1), pp. 7-13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.9.1.3957>.
- [3] Rozo, F. Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19(2), pp. 177-192, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019>
- [4] Heeger, D., Partridge, M., Trullinger, V. & Wesolowski, D. Lithium battery health and capacity estimation techniques using embedded electronics. Sandia Report No. SAND2017-10722, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, United States, 2017.
- [5] World Economic Forum. Diversity, equity, and inclusion 4.0. A toolkit for leaders to accelerate social progress in the future of work. Technical report. Cologny, Suiza, 2020.
- [6] Jeschke, S., Engineering education for Industry 4.0. Challenges, chances, opportunities. *World Engineering Education Forum*. RWTH Aachen University, Germany, 2016.
- [7] Melgarejo, V., La educación superior ante la industria 4.0. El reto de la innovación en las universidades. Encuentro latinoamericano de innovación en educación superior. Universidad del Rosario, Colombia, 2019.
- [8] Hariharasudan, A. and Kot, S., A scoping review on Digital English and Education 4.0 for Industry 4.0. *Social Sciences*, 7(11), art. 227, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci7110227>.
- [9] Restrepo, D., Modelo de integración de robótica educativa y dispositivos móviles para la enseñanza de las áreas STEM, dentro del contexto de la Educación 4.0. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2021.
- [10] Martínez, E., Escamilla, D. and Campos, A., Industry 4.0 and the digital transformation. A new challenge for higher education. *ECORFAN Journal-Republic of Paraguay*, 5(9), pp. 13-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.35429/EJROP.2019.9.5.13.19>.
- [11] Puncreobutr, V., Education 4.0: New challenge of learning. *St. Theresa Journal of Humanities and Social Sciences*, 2(2), art.661, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3109/0142159X.2016.1173661>.
- [12] Sampedro, J., Redrobán, M. and Álvarez, C., Robótica educativa aplicada a la comprensión de la lógica proposicional. *Polo del Conocimiento: Revista Científico-Profesional*, 5(2), pp. 200-225, 2020. DOI: <https://doi.org/10.23857/pc.v5i2.1261>.
- [13] Grodotzki, J., Ortelt, T. and Tekkaya, E., Remote and virtual labs for engineering education 4.0. *Procedia Manufacturing*, 26(2018), pp. 1349-1360, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.126>.
- [14] Skowronek, M., Gilberti, R., Petro, M., Sancomb, C., Maddern, S. and Jankovic, J., Inclusive STEAM education in diverse disciplines of sustainable energy and AI. *Energy and AI*, 7(2022), 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100124>.
- [15] Arango, M., Branch, J. & Jiménez, J. Apropiación social de la ciencia y la tecnología a través de una iniciativa de intervención e inclusión educativa de niños y adolescentes de territorios vulnerables de la minería usando la robótica, como una alternativa para la construcción de la paz. *El Ágora USB*, vol. 20(1), pp. 190-209, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21500/16578031.4255>.
- [16] Bravo, F. & Forero, A. La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, vol. 13(2), pp. 120-136, 2012. DOI: <https://doi.org/10.14201/eks.9002>.
- [17] Jiménez, J., Ramírez, J. and González, J., Sistema modular de robótica colaborativa aplicado en educación. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (58), pp. 163-172, 2011.
- [18] Escobar, I., Meabe, I., Sarmiento, M., Celis, J., Danies, G. and Canu, M., Educación STEM en educación básica: estudio de caso en dos países, Colombia y República Dominicana. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*, 2015.
- [19] Morillo, J., Introducción a los dispositivos móviles. Ed. Universitat Oberta de Catalunya, España, 2007.
- [20] Denis, D., Flores, D., Ferrer, Y. and Tamé, F., Potencialidades de los celulares inteligentes para investigaciones biológicas. Parte 1: Sensores integrados. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 42, pp. 77-91, 2021.
- [21] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. and Farhadi, A. You only look once: Unified, real-time object detection. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 779-788, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>.



**D. Restrepo-Echeverri**, tiene un pregrado en Ing. Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia. En 2015 recibió su título de Esp. en Gerencia de Proyectos de la Universidad Minuto de Dios y en 2022 recibió el título de MSc. en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. Desde 2017 ingresó como investigador al GIDIA (Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial). Sus principales líneas de investigación son: robótica educativa, STEM y desarrollo de aplicaciones móviles.  
ORCID: 0000-0003-0237-4025.



**J.A. Jiménez-Builes**, tiene un pregrado en Docencia de Computadores de la Universidad de Medellín (Colombia). En 2001 recibió su grado de MSc. en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. En 2006 recibió su título de Dr. en Ingeniería-Sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. Ha sido becado por instituciones de investigación para realizar todos sus estudios y pasantías. Es profesor titular de la Universidad Nacional de Colombia. Sus líneas de investigación son la inteligencia artificial en la educación, robótica educativa y *e-learning*.  
ORCID: 0000-0001-7598-7696.



**J.W. Branch-Bedoya**, recibió sus títulos como Ing. de Minas y Metalurgia, Msc. en Ingeniería de Sistemas y Dr. en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia en 1995, 1997 y 2007, respectivamente. En la actualidad, es profesor titular en el Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión en la Universidad Nacional de Colombia y director del Grupo de investigación y desarrollo en inteligencia artificial GIDIA. Sus principales líneas de investigación son visión por computador, reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes y sus aplicaciones en el campo industrial.  
ORCID: 0000-0002-0378-028X.