

## 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<sup>i</sup>

Social appropriation of science and technology through an initiative of intervention and educational inclusion of children and adolescents in mining vulnerable territories, by using robotics as an alternative to building peace

Por: Martín Darío Arango-Serna,<sup>1</sup> John Willian Branch-Bedoya<sup>2</sup> & Jovani Alberto Jiménez-Builes<sup>3</sup>

1. Ingeniero industrial, especialista en finanzas, formulación y evaluación de proyectos, especialista en pedagogía universitaria, magister en ingeniería de sistemas, doctor en integración de las tecnologías de la información. Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Senior de Colciencias. Director de Grupo de I+D+I Logística Industrial – Organizacional, GICO. Medellín, Colombia. Contacto: mdarango@unal.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8448-8231> Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=5X-j7GsAAAAJ&hl=es>
2. Ingeniero de minas y metalurgia, magister en ingeniería de sistemas, doctor en ingeniería - sistemas. Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Senior de Colciencias. Director de Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, GIDIA. Medellín, Colombia. Contacto: [jwbranch@unal.edu.co](mailto:jwbranch@unal.edu.co) Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0378-028X> Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=9RAx-cEAAAAJ&hl=es>
3. Licenciado en docencia de computadores, magister en ingeniería de sistemas, doctor en ingeniería – sistemas. Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia. Investigador Senior de Colciencias. Co-director del Grupo de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial, GIDIA. Medellín, Colombia. Contacto: [jajimen1@unal.edu.co](mailto:jajimen1@unal.edu.co) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7598-7696> Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=9rRS9fUAAAAJ&hl=es>

 OPEN ACCESS



**Copyright:** © 2020 El Ágora USB.

La Revista El Ágora USB proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la [licencia creative commons](#) Atribución–NoComercial–SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

**Tipo de artículo:** Investigación

**Recibido:** agosto de 2019

**Revisado:** octubre de 2019

**Aceptado:** diciembre de 2019

**Doi:** 10.21500/16578031.4255

**Citar así:** Arango-Serna, M., Branch-Bedoya, J. & Jiménez-Builes, J. (2020). 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*, 20(1). 190-209. DOI: 10.21500/16578031.4255

### Resumen

En este artículo se presenta una iniciativa de intervención e inclusión educativa de niños y adolescentes de territorios vulnerables de influencia de la minería. Para lograr lo anterior se diseñaron un conjunto de robots educativos y material didáctico complementario que fueron utilizados en las diferentes sesiones de la iniciativa. La población beneficiada fueron niños y adolescentes que trabajan día a día en tareas propias de la minería y no han tenido la oportunidad de ingresar a la escuela o han desertado de ella buscando recursos económicos para sostener sus familias. Dentro de la población beneficiada, también se cuenta con los maestros de las escuelas asentadas en los territorios mineros, con el propósito de enseñarles nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje para atender a la población desescolarizada. 2500 niños y adolescentes fueron beneficiados con la iniciativa, así como 250 maestros. **Palabras clave.** apropiación social; inclusión educativa; intervención de territorios vulnerables; robótica; inteligencia artificial.

### Abstract

This article presents an intervention initiative and an educational inclusion of children and adolescents from vulnerable territories of mining influence. In order to achieve this, a set of educational robots and complementary teaching materials was designed and used in the different sessions of the initiative. The beneficiaries were children and adolescents who work day by day in mining tasks and have not had the opportunity to enter the school system or to have defected from it, by seeking financial resources in order to support their families. Within the beneficiaries, there are also the teachers of the schools settled in the mining territories, in order to teach them new teaching and learning methodologies in order to serve the deschooled population. Two thousand five hundred children and adolescents benefited from the initiative and two hundred and fifty teachers did, too.

**Keyword.** Social Appropriation; Educational Inclusion; Intervention of Vulnerable Territories; Robotics; and Artificial Intelligence.

## Introducción

La extracción del material minero es una actividad económica del sector primario de la economía al convertirse en un escalón generador de riquezas. La minería en Colombia ha contribuido a la industrialización del país al convertirse en la materia prima básica para los sectores de la construcción, ornamentación y generación de energía, entre otros (Arbeláez, 2001). El departamento de Antioquia es el mayor productor minero de Colombia. Sin embargo, en algunos casos, las poblaciones asentadas en zonas de influencia de la minería, presentan una serie de problemáticas, convirtiéndose en población altamente vulnerable.

Algunas de las problemática identificadas en estas poblaciones son: pocas posibilidades de ingresar a la educación (analfabetismo), deserción estudiantil, baja calidad de los procesos educativos, pocas fuentes de empleo, deforestación, pobreza extrema, conflicto armado, narcotráfico, exposición a la contaminación, tragedias en los sitios de labores, problemas de orden público, violencia en todas sus variantes, sin cobertura de los servicios públicos, escases de viviendas, prostitución, drogadicción, exposición a artefactos explosivos improvisados, crecimiento descontrolado de migrantes y microtráfico, entre muchas otras (Jiménez, 2018) (Machado, Ospina, Henao, & Marín, 2010) (Olivero, J., 2014) (Cardona, 2017) (Taborda, Muñetón, & Horbarth, 2018). Es paradójico, pero al parecer, "la riqueza generada por la extracción y explotación de los minerales en los yacimientos ubicados en los territorios, no se ve reflejada en la población de las comunidades aledañas a estas zonas" (Jiménez, 2018). Este mismo autor expone que algunos niños y adolescentes prefieren

Ir al trabajo de funciones de la minería que ir a educarse en la escuela. Lo anterior ocurre principalmente, porque en la minería ganan dinero el cual es invertido en su sustento diario. Si bien es una ayuda a corto tiempo, en el panorama futuro continúan en las mismas labores dentro de la mina o han migrado a otros territorios a ejercer la misma función. Algunos de los niños y adolescentes han expresado que estudiar les aburre. Esta percepción la reciben porque se sienten embotellados en un salón de clase, donde el docente es una autoridad. Los únicos recursos disponibles son la tiza y el tablero, y al parecer, dentro de sus imaginarios indican que el conocimiento se transmite del maestro a los estudiantes, por medio de un tubo (p.27).

En indicadores educativos, el departamento de Antioquia ocupa el primer puesto en tener el mayor número de ciudadanos que no saben leer ni escribir. El porcentaje de población iletrada en 2014 fue de 5.7%; es decir, 251.085 personas. El problema se agrava al saber que este porcentaje no ha disminuido en los últimos diez años. Es de aclarar que ningún departamento de Colombia se salva de no tener personas iletradas, según informes del Departamento Nacional de Planeación (DANE) y del Ministerio de Educación Nacional (MEN); a pesar de que en Colombia, la educación es un derecho (Departamento Nacional de Planeación, 2014).

La inteligencia artificial cada día toma mayor fuerza al aplicarse principalmente en el ejercicio de tareas industriales usando la robótica, la cual trata de diseñar entidades o artefactos autónomos con competencias similares a los seres humanos. La robótica en la educación está generando un cambio positivo al desplazar el paradigma de la metodología tradicional, transmisionista o convencional de enseñanza, por ambiente enriquecidos de recursos y estrategias pedagógicas. Aunque es bueno aclarar que la robótica no es la solución a todos los problemas educativos contemporáneos (Jiménez, 2018). La robótica educativa permite la integración de la tecnología, pedagogía y didáctica. Algunos antecedentes teóricos permiten ilustrar que es una corriente educativa que en la actualidad

está implementada en los niveles básicos de países como Japón, Estados Unidos, España, China, India y Corea, entre otros; incluso, modificando el esquema académico de los pen-sum e incorporando actividades para el desarrollo del talento. En América Latina, Costa Rica, Colombia y Panamá lideran progresivamente los esfuerzos de integrar la robótica educativa en los currículos, especialmente motivados por los resultados de proyectos de investigación en la temática (Bustamante, J. & Cogollo, A., 2019). La iniciativa educativa presentada en este artículo se ha llevado a cabo en varias zonas de influencia de la minería en el departamento de Antioquia y consiste en implementar la robótica como estrategia de formación, inclusión educativa y concientización con los niños y adolescentes desescolarizados, a la par, como posibilidad de superación de la enseñanza tradicional en los currículos del sistema educativo colombiano (Jiménez, 2018).

Los maestros también son involucrados mediante talleres, en donde se les enseñan otras alternativas de metodologías de enseñanza y generación de ambientes educativos. La iniciativa se cimienta en la estrategia del aprendizaje basado en problemas. Los robots fueron diseñados, construidos y evaluados por estudiantes de los programas académicos de ingeniería, específicamente: sistemas, control y mecánica; así como de posgrado. Luego se intervino a las comunidades de zonas de influencia de la minería mediante el acompañamiento de una serie de sesiones de aprendizaje. Este artículo está dividido de la siguiente manera: en el siguiente capítulo se presentan los materiales y métodos utilizados en la iniciativa. Luego, en el capítulo tres se explica la metodología empleada. Después en el capítulo cuatro se muestran los resultados y su respectiva discusión. Finalmente se exponen las conclusiones y la bibliografía.

## Minería

La minería es una actividad que se realiza desde el período de la prehistoria y en el departamento de Antioquia ésta práctica no ha sido ajena. Los hallazgos arqueológicos encontrados en el territorio, muestran vestigios de que las culturas de los habitantes precolombinos poseían gran habilidad en el manejo de una gran variedad de arcillas y metales preciosos, entre otros; además de su amplia experiencia en conocimientos de botánica, zoología y música (Saldarriaga, 2011). Algunos historiadores se aventuran a presentar la hipótesis de que antes del descubrimiento español, la comercialización del oro permitió interactuar a culturas que habitaban en América, con otras culturas de otros continentes. Luego Romero (2013) señala que

El oro de América, al remediar la escasez que de él se presentaba en Europa, contribuyó a bajar la presión sobre los precios, y se constituyó en el primer elemento de la globalización de los mercados de las nacientes sociedades poscolombinas. (p.1)

Melo & Ocampo (1983) citados por él, afirman que "durante más de dos siglos y medio, el oro constituyó el 100% de las exportaciones del Nuevo Reino de Granada (mediados del siglo XVI a finales del XVIII)", incluso que:

A finales del siglo XIX e inicios del XX, fue el poder económico del oro antioqueño el que permitió que los empresarios de esta región controlaran en gran parte la vida comercial del país, al lograr el control del río Magdalena como arteria comercial y al incidir en las importaciones de equipos, maquinaria y bienes del comercio internacional en Barranquilla, debido a la exportación de barras de oro al mercado mundial (Romero, 2013, p.1).



**Figura 1. Adolescentes trabajando en la extracción de carbón en un socavón (Domínguez, 2015).**

En la actualidad, los tipos de extracción minera registrados son: formal o legal, ilegal, ancestral, tradicional (ver figura 1), pequeños mineros, informal o de hecho y la mecanizada (Portilla, 2016). En el país, alrededor de 1.039.000 personas trabajan ilegalmente en funciones asociadas a la minería. Alrededor de 200.000 niños y adolescentes trabajan en labores de la minería, incluso hasta más de 10 horas diarias. El 60% de la producción minera es ilegal. De 2008 a 2011 fallecieron más de 216 personas en funciones de la minería y en 2014 fallecieron 120 personas (Celedón, 2015). Uno de los factores clave para hacer cambios significativo es la minería de los próximos años es la inclusión de los obreros en actividades educativas (Spearing & Hall, 2016) e innovar incluyendo la tecnología, en los currículos de los futuros ingenieros de minas (Mitra, Musingwini, Neingo, & Adam, 2018).

## Enseñanza y aprendizaje

La educación es entendida por varios autores como la fusión de dos procesos continuos mediante el cual una persona adquiere unos conocimientos y habilidades enseñados previamente y que los utiliza para enfrenar su cotidianidad. Para (Delors *et. al*, 1997) la educación: "tiene la misión de permitir a todos sin excepción, hacer fructificar todos sus talentos y todas sus capacidades de creación, lo que implica que cada uno pueda responsabilizarse de sí mismo y realizar su proyecto personal". Estos autores sostienen que

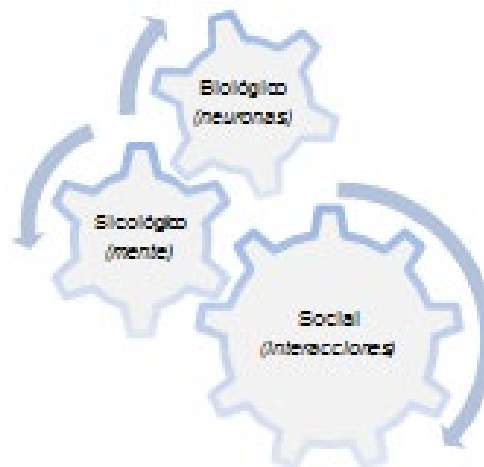
Es pertinente imponer el concepto de educación durante toda la vida con sus ventajas de flexibilidad, diversidad y accesibilidad en el tiempo y el espacio. Es la idea de educación permanente lo que ha de ser al mismo tiempo reconsiderado y ampliado, porque además de las necesarias adaptaciones relacionadas con las mutaciones de la vida profesional, debe ser una estructuración continua de la persona humana, de su conocimiento y sus aptitudes, pero también de su facultad de juicio y acción. (p.3)

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 1999) señala además que:

La enseñanza científica, en sentido amplio, sin discriminación y que abarque todos los niveles y modalidades, es un requisito previo fundamental de la democracia y el desarrollo sostenible. En los últimos años se han tomado medidas en todo el mundo para promover la enseñanza básica para todos. Es esencial que se reconozca el papel primordial desempeñado por las mujeres en la aplicación del progreso científico a la producción de alimentos y la atención sanitaria, y que se realicen esfuerzos para mejorar su comprensión de los adelantos científicos logrados en esos terrenos. La enseñanza, la transmisión y la divulgación de la ciencia deben construirse sobre esta base.

Los grupos marginados aún requieren una atención especial. Hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir conocimientos científicos básicos en todas las culturas y todos los sectores de la sociedad, así como las capacidades de razonamiento y las competencias prácticas y una apreciación de los valores éticos, a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a la aplicación de los nuevos conocimientos. (p.4)

Por otro lado se tiene que la naturaleza del aprendizaje humano ha sido motivo de estudio desde los principios de la historia. La importancia de este tópico es obvia, se debe fundamentalmente a la asombrosa capacidad de la mente humana para capturar información, mantenerla en la memoria en forma organizada y utilizarla para resolver problemas en su lucha por entender y transformar a la naturaleza. Todos los organismos tienen la capacidad de adquirir nueva información (aprendizaje) y almacenar esa información en su sistema nervioso (memoria) y con ello la habilidad de cambiar su comportamiento en respuesta a eventos que ocurren en sus ámbitos de vida. En otras palabras, la evolución biológica ha facilitado mecanismos que cambien el sistema nervioso de los organismos de tal manera que el comportamiento de éste ha de ser diferente como consecuencia de su experiencia. En síntesis, el aprendizaje puede ser visto como la fusión de tres fenómenos, a saber (ver figura 2): biológico por las transformaciones que hacen las neuronas al interior del cerebro; psicológico por las modificaciones que sufre la memoria, construcción de imágenes mentales y la operación de la emoción y motivación; y finalmente social, por las interacciones que las personas realizan entre sí, con base en lo aprendido o para transmitir información con o sin uso de tecnología (Méndez, 2002).



**Figura 2. El aprendizaje como fusión de fenómenos. Fuente: elaboración propia.**

En estos dos procesos, la pedagogía toma relevancia en el sentido de dinamizar los procesos educativos innovadores e incluyentes frente a los problemas de los métodos tradicionales. La robótica también permite modernizar los procesos comunicativos, generando incluso, comunidades de aprendizaje en donde un estudiante puede compartir inquietudes y retroalimentación de parte de un experto.

El aprendizaje basado en problemas (ABP o PBL por sus siglas en inglés) es una estrategia pedagógica que día a día está cobrando relevancia. Lo anterior se debe a que se es utilizada como una estrategia contraria a la metodología de la educación tradicional, en donde el docente es el centro del proceso educativo. En el ABP se indican uno o varios problemas en la primera sesión de clase. Luego los estudiantes buscan las diferentes alternativas de

solución a los problemas planteados. A medida que diseñan la solución, van adquiriendo unos contenidos de manera autodidacta. Al final socializan las soluciones y se hacen las respectivas recomendaciones, aclarando las dudas en el conocimiento adquirido (David & Marshall, 2019). La educación tradicional es entendida como la práctica pedagógica convencional o transmisioncita, en donde la función del docente es exponer y explicar de manera secuencial los contenidos de las asignaturas. Regularmente la única ayuda didáctica con que cuenta son el tablero y la tiza. La población beneficiada con la iniciativa son niños y adolescentes en edad escolar que se encuentran desescolarizados. Este tipo de población tiene pocas posibilidades de poseer elementos que mejoren su calidad de vida. Por los antecedentes familiares, estas personas pasaran toda su vida ejerciendo funciones propias de las labores de la minería.

## Robótica educativa

La robótica es un área propia de la inteligencia artificial según Russell & Norvig (2009) trata de

Configurar mecanismos capaces de hacer tareas rutinarias y riesgosas que los seres humanos realizamos, generalmente en las industrias. Otras definiciones contemplan a la robótica como el estudio que trata de diseñar y construir mecanismos que simulan el comportamiento de los seres humanos. (p.1023)

Este término usado para referirse al uso de dispositivos robóticos dentro de las aulas de clase o sesiones de aprendizaje (Bravo, F., 2019) (Jung & Won, 2018). El uso de la robótica en la educación se lleva a cabo en dos líneas: (1) para la enseñanza de los mismos principios que rige la robótica y (2) para enseñar o recrear a través de la robótica, otros conceptos, como por ejemplo, contenidos de los currículos de educación básica y media (Berry, Remy, & Rogers, 2016). En el primer enfoque la mayoría de las actividades involucran tareas tales como el diseño, construcción o programación de robots. En este sentido, el robot asume el papel de una herramienta de aprendizaje (Bravo, F., 2019). En el segundo enfoque, la robótica es utilizada como un medio o didáctica de enseñanza que ha permitido el fortalecimiento de las habilidades creativas, de aprendizaje y de diseño orientadas a problemas reales de una sociedad (Jiménez, J.; Ramírez, J.; González, J., 2011). Además de los anteriores enfoques, la robótica educativa también ha sido utilizada para acompañar a algunos niños que presentan deficiencias como por ejemplo el autismo, e incluso, en la gestión emocional (Barbecho, 2019) (Jiménez, 2018).

La robótica educativa ha sido usada desde los niveles iniciales hasta los niveles universitarios (Damaševičius, Narbutaitė, Plauska, & Blažauskas, 2017). El uso de robots como objetos de aprendizaje tiene cuatro objetivos principales: facilitar el desarrollo del tema de la clase, fomentar el desarrollo de habilidades, atraer y motivar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje y enriquecer la misma experiencia (Bravo, F.; González, A.; González, E., 2017). Los talleres de robótica educativa generan nuevos espacios propicios para la enseñanza y el aprendizaje. Lo anterior es porque "evitan los esquemas propios de la metodología tradicional o convencional que no garantiza la excelencia en la formación" (Jiménez, 2018) y que: "describe al profesor como sistema transmisor activo, y al alumno como sistema receptor pasivo" (Papert, 1990). Adicional, según Ausubel (1963) asume que los contenidos educativos son como: "un fluido que se puede transmitir por medio de tuberías desde su origen hasta su destino". Lo anterior es contrario a la realidad, ya que: "el conocimiento no se transmite, sino que se construye, este se debe crear activamente en la mente del aprendiz" (Ausubel, 1963). Luego se debe de diseñar algo tangible con algún significado para él (Papert, S., 1980) (Jiménez, 2018).

La robótica educativa es "una didáctica que se encuentra inherente a los currículos de algunos países avanzados y también aparecen como cursos independientes, en varios países de economías emergentes" (García, 2019). De igual manera, varias empresas han diseñado prototipos como Fischertechnik®, Mindstorms-LEGO® y Handy Board®, entre otros; con propósitos educativos y "utilizando como fundamento pedagógico los principios del constructivismo" (Jiménez, 2018). En Colombia, existen diversas propuestas que incluyen la robótica educativa en los currículos de los diferentes niveles de formación, pero no para población desescolarizada. Algunas de ellas son: GIRA de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) la cual gira en torno a actividades lúdicas con robots educativos como pilar de la educación en tecnología. La iniciativa busca motivar a los estudiantes y docentes, para que formulen y apliquen estrategias educativas innovadoras, utilizando como instrumento didáctico las plataformas robóticas y dispositivos tecnológicos que hayan terminado su vida útil (Mesa & Lombana, 2013). Robótica educativa de la Pontificia Universidad Javeriana, que usa la robótica educativa como una herramienta tecnológica de mediación logra para desarrollar procesos cognitivos creativos en la fase generativa (Modelo Cognitivo Geneplore). Se evidencia buenos resultados durante la mediación en momentos de socialización de conceptos, planeación, construcción de sus propuestas y productos finales (Higuera, 2015). Propuesta pedagógica mediada por las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para el fortalecimiento de la calidad educativa en la Isla de Providencia. Buscó medir variables como el progreso, desempeño, eficiencia y ambiente escolar de la institución donde se desarrolló la iniciativa (Saams, 2019).

## Metodología

La metodología que se siguió en el desarrollo de la iniciativa de apropiación social tuvo dos etapas, a saber: (1) diseño y construcción de los prototipos, y (2) intervención en los territorios.

## Construcción de los prototipos

La primera etapa de la metodología está conformada por tres fases, cada una a manera de un diseño, a saber: mecánico, electrónico y algorítmico. Cada uno de los diseños, tiene un nivel de importancia y algunas de las actividades y subactividades se traslaparon con el propósito de construir de manera exitosa y funcional a los robots. Estas fases fueron utilizadas en los diferentes prototipos de robots construidos.

En la fase del diseño mecánico (ver figura 3-a) se fundamentó en la propuesta de (Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007), sin embargo se la adicionaron nuevos componentes cíclicos, como lo son la identificación de principios y conceptos complementarios, la traducción o migración en nuevos requerimientos de diseño y nuevas especificaciones. Los anteriores componentes hacen parte de la actividad denominada Diseño conceptual (Álvarez, Jiménez, & Ramírez, 2011).

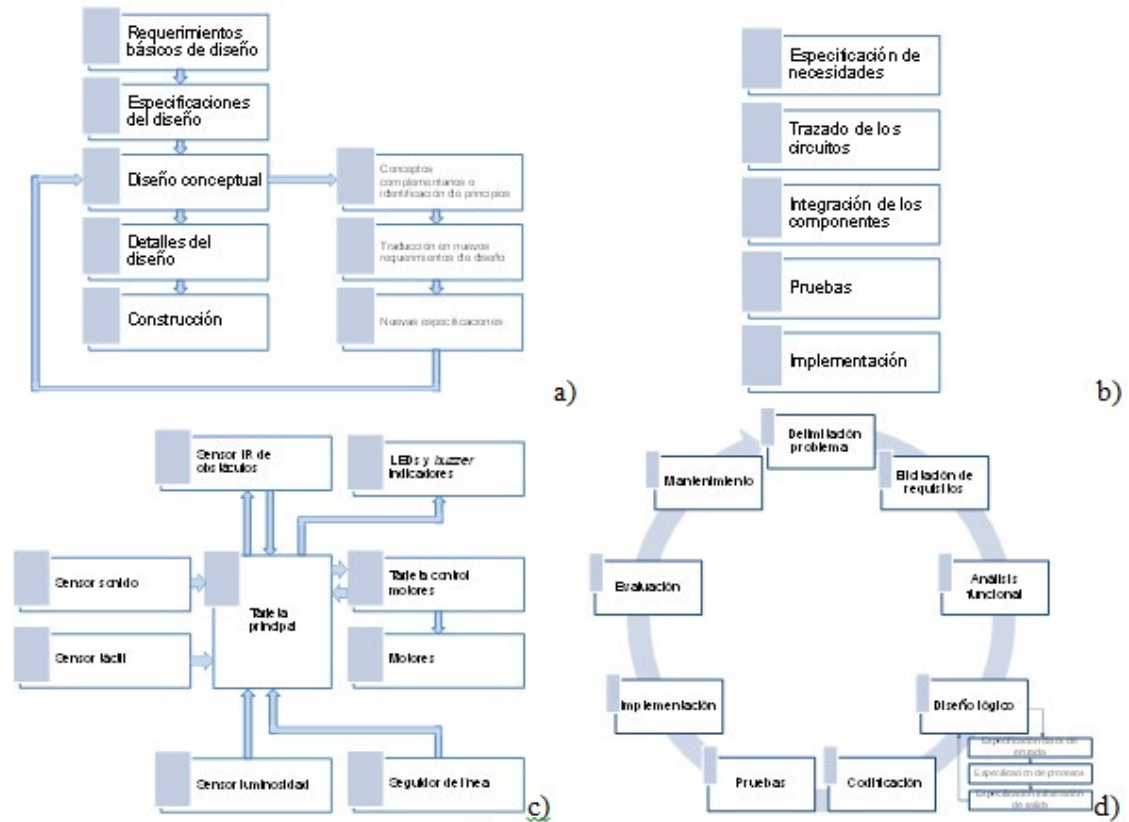


Figura 3. (a) Diseño mecánico (Álvarez, Jiménez, & Ramírez, 2011), (b) diseño electrónico, (c) esquema de la distribución de los circuitos y sensores (Jiménez, J.; Ramírez, J.; González, J., 2011), y (d) diseño algorítmico de la programación de los robots. Fuente: elaboración propia.

## Resultados

En la primera actividad del diseño mecánico se conoce el problema a solucionar y los requerimientos básicos. Luego, se elicitán las especificaciones de la solución. En la siguiente actividad se enmarca el ciclo con las nuevas subactividades y se relacionada elementalmente, con requerimientos no tenidos en cuenta en la primera actividad y que van surgiendo a medida que avanza el desarrollo. La siguiente actividad tiene en cuenta detalles del diseño antes de comenzar a realizar la construcción física de los robots. Después de tener finalizado el diseño mecánico de los robots se procedió a comenzar el diseño electrónico (ver figura 3-b). Inicialmente se analizaron las especificaciones básicas del propósito de los robots, que para este caso es educativo, específicamente la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos del currículo. Luego del análisis se procedió a la identificación y el trazado de cada uno de los circuitos en las tarjetas. Después se integraron todos los componentes en la tarjeta principal, para luego realizar un banco de pruebas (ver figuras 3-c y 4-a). Finalmente se distribuyeron e instalaron los sensores en el robot construido.



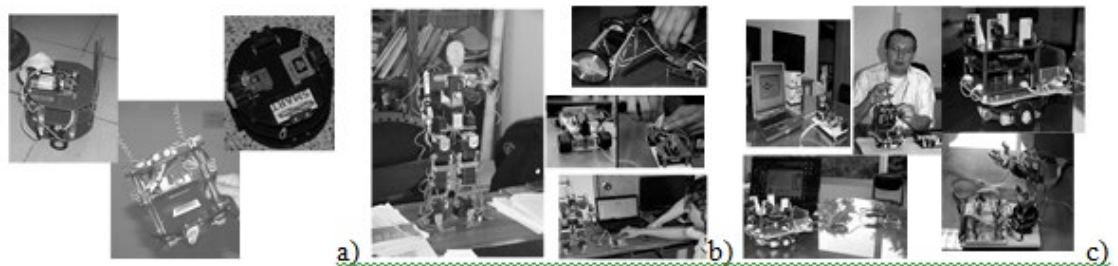


**Figura 4.** (a) Ejemplo del montaje de una tarjeta con sus componentes y (b) banco de pruebas realizadas al interior de una mina de carbón. Fuente: elaboración propia.

La última fase del diseño comprende la inteligencia u orquestación de las anteriores fases con el propósito de que el robot exhiba algún tipo de comportamiento. El diseño algorítmico es la fase más compleja porque consiste en delinear de manera lógica, una serie de comportamientos. El diseño algorítmico inicia con la identificación y delimitación del problema, luego se elicitan los requisitos necesarios para dar una alternativa de solución. Después se hace un bosquejo del análisis funcional de la solución para pasar a las subactividades del diseño lógico a manera de especificaciones, a saber: datos de entrada (variables), procesos (cálculos, operaciones, entre otras) e información de salida (resultados). Posteriormente se codifican en un lenguaje de programación, que para este caso fue lenguaje de máquina y se realiza un banco de pruebas con diferentes valores para las variables. De seguido, se implementó en la unidad de almacenamiento de los robots y se realizó una evaluación de su desempeño. Finalmente se proyectaron tres tipos de mantenimiento, a saber: correctivo, perfectivo y mejorativo (ver figuras 3-d y 4-b).

## Prototipos desarrollados

Se construyeron diferentes prototipos de robots, teniendo en cuenta el propósito, las necesidades y características de las comunidades y siguiendo la metodología descrita previamente. Sí bien se construyeron varios prototipos, no todos fueron utilizados en la intervención. Dentro de los prototipos cabe mencionar:



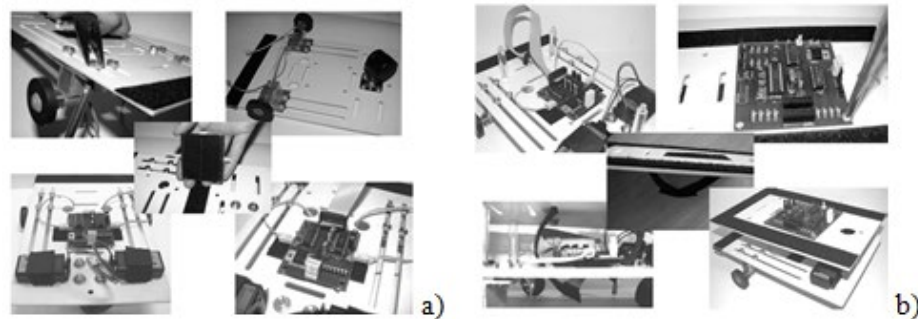
**Figura 5.** (a) SMART, primer prototipo desarrollado para la iniciativa, (b) humanoide, *swagway* y *land rover*; y (c) segundo conjunto de prototipos desarrollados para la iniciativa. Fuente: elaboración propia.

*Smart*. Fue el primer prototipo construido y se conformó por un enjambre de tres robots, los cuales navegaban de manera colaborativa en un escenario previamente conocido. El funcionamiento era similar al comportamiento de un enjambre de abejas en donde había un robot tipo reina y los demás eran obreros o balizas (ver figura 5-a). Este primer prototipo permitió hacer experimentación en el componente de comunicaciones y coordinación entre las balizas.

Humanoide, *swagway* y *land rover*. Los estudiantes de pregrado en ingeniería de sistemas, control, mecánica y geológica, diseñaron y construyeron una serie de prototipos siguiendo la metodología preestablecida (ver figura 5-b). Dentro de los prototipos diseñados, cabe mencionar un robot humanoide o bípedo el cual tiene integrado 23 motores DC. Un *swagway* que permite enviar y recibir información de manera remota. En su construcción fueron utilizados materiales de reciclaje. Se resalta que el prototipo puede permanecer sin caerse, a pesar de que solo posee dos ruedas. También se construyó un carrito o *land rover* el cual también podía enviar datos y recibir información de manera inalámbrica.

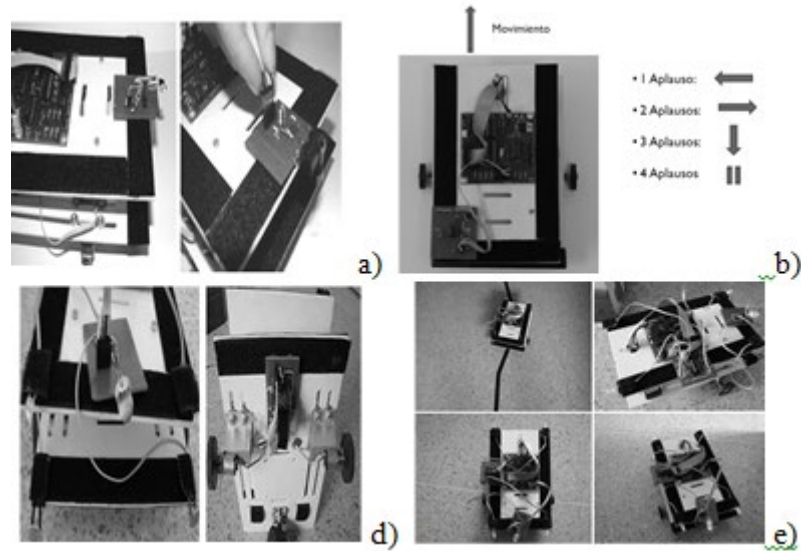
Brazo y generador de mapas. Continuando con la construcción de prototipos para la iniciativa, se elaboró un brazo robótico utilizando piezas de una unidad lectora de discos compactos y adicional se desarrolló una aplicación informática para validar los ejercicios de algoritmos de programación enseñados (ver figura 5-c). Un estudiante de posgrado diseñó y construyó para su tesis de maestría, un robot capaz de hacer mapas de navegación sin el uso de cámaras de video. El robot autónomo permite enviar la información recogida del ambiente a una aplicación de computador de manera inalámbrica, la cual se encarga de hacer el levantamiento topográfico de la superficie (Acosta, 2008). Este esquema evolucionó hasta llegar a un modelo de localización y mapeo simultaneo, también conocido como SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) (Acosta, G., 2019).

RoboED. Su bajo costo de construcción permitió a este prototipo, ser el más usado en la iniciativa. El costo de sus materiales oscilo entre 10 y 12 dólares. Los materiales son los que comúnmente se consiguen en el mercado local sin necesidad de tener algún tipo de especialización o importación. En su construcción también se siguió la metodología preestablecida (ver figuras 6-a y 6-b).



**Figura 6. Proceso de ensamble: (a) parte inferior, y (b) acople entre placas. Fuente: elaboración propia.**

RoboEd consta de dos placas de acrílico, unidas mediante barras de este mismo material. En la placa inferior se colocan los mecanismos de locomoción los cuales se pueden configurar de diferentes maneras para enseñar por ejemplo, principios de estabilidad (ver figura 10). En la mitad de ambas placas, van las tarjetas, conectores y baterías. En la placa superior se colocan los sensores utilizando velcro® (ver figura 7-a). Allí también se encuentran una serie de conectores que permiten a los robots exhibir un comportamiento, de acuerdo a lo que los niños y adolescentes buscan realizar. En la figura 7 (a, b, c y d) se aprecia la conexión de los sensores. Los niños y adolescentes pueden colocar un solo sensor o varios; todo dependiendo de su propósito.



**Figura 7.** Proceso de ensamble. Conexión de sensores: (a) infrarrojo y táctil, (b) sonoro, (c y d) luz y seguidor de línea. Fuente: elaboración propia.

## Intervención en los territorios

La metodología utilizada en la intervención de las comunidades asentadas en territorios de influencia de la minería se conformó de seis fases (ver figura 8).



**Figura 8.** Fases de la metodología de la intervención de los territorios (Jiménez, 2018).

Después de tener los robots construidos, el libro editado y las guías elaboradas (ver figura 9-a), se procedió a

Calibrar la iniciativa mediante un conjunto de pruebas realizadas con estudiantes de posgrado (ver figura 9-b). De allí se tomó información valiosa, antes de contactar a los líderes de las comunidades, que casi por lo general fueron los alcaldes de los municipios a intervenir o líderes comunitarios como presidentes de juntas de acción comunal. Luego de la tener una reunión con cada uno de ellos, se procedió a organizar la logística asociada a un espacio para adelantar la iniciativa y a convocar a los interesados, es decir a la población beneficiada (o actores), representada en niños, adolescentes y docentes. Se recomendó que el espacio de trabajo no fuera un salón típico de clases,

sino un espacio abierto, preferiblemente una cancha de deportes o un patio. El siguiente paso fue establecer una agenda de trabajo, en donde se citaron a los actores a recibir las capacitaciones. (Jiménez, 2018, p.29).

En la siguiente fase se procedió a

brindarles los talleres a los niños y adolescentes. Se inició con una etapa de socialización y reconocimiento de todos los asistentes, donde contaban su situación actual y las expectativas, luego se realizaron una serie de juegos. La anterior etapa permitió que los niños y adolescentes tomaran confianza en los talleres. Después se les presentaron los prototipos de robots para que ellos interactuaran. Ellos comenzaron a preguntar acerca de cada uno de los componentes que se encontraban en los robots y cuál era su funcionalidad. El siguiente paso comenzaron a encender los robots y a hacer conjeturas acerca de su comportamiento; así mismo, a desbaratar los robots para mirar sus componentes y establecer reglas de tipo: ¿qué pasa si este componente se modifica? Durante estas etapas los estudiantes se equivocaban en algunas oportunidades; pero esas equivocaciones les permitieron a ellos volver a intentar hacer las acciones que tenían proyectadas en sus mentes. En esta etapa se notó mucha curiosidad por parte de la población. Ellos hicieron varios experimentos teniendo en cuenta diferentes variables y problemas que ellos mismos se trazaron. Al finalizar este momento, sacaban conclusiones, miraban la utilidad del ensayo y socializaban con los demás compañeros (Jiménez, 2018, p.30).



**Figura 9. (a) Robots construidos, (b) calibración de la iniciativa con estudiantes de posgrado en ingeniería de sistemas y monitores becarios, antes de contactar a las comunidades y (c) adolescente en una sesión de enseñanza y aprendizaje. Fuente: elaboración propia.**

Después de la experimentación, se les brindaron las guías de aprendizaje de acuerdo a la edad y el nivel educativo de cada uno de ellos acompañados de un monitor en cada uno de los procesos y etapas, principalmente solucionando las inquietudes que se presentaban (Jiménez, 2018) (ver figura 9-c). Las guías que siguieron los niños y adolescentes les enseñaron los principios de funcionamiento de robots "como, por ejemplo: sensores, tarjeta principal, conexiones, entre otros" (Jiménez, 2018). Luego de que la población entendió el funcionamiento de los componentes, se procedió a integrarlos a los temas propios de los currículos; haciendo similitudes con fenómenos o comportamientos de la naturaleza (ver figura 8; Tabla 2). Los monitores que acompañaban las sesiones, siempre estuvieron dispuestos a aclararles dudas con relación al funcionamiento de los componentes de los robots, así como de temas de los currículos. Se apreció curiosidad y creatividad por parte de los participantes. Fueron en total diez sesiones por grupo o municipio. La siguiente fase se orientó a los docentes, donde se permitió que con autonomía pudiesen interactuar con su funcionamiento, posteriormente se realizaron algunas sesiones con esta misma metodología con los niños y adolescentes, "después se les indicó la estrategia de enseñanza y aprendizaje denominada Aprendizaje basado en problemas (ABP). El siguiente paso

fue reflexionar sobre las diferencias de la enseñanza tradicional y las estrategias activas" (Jiménez, 2018) (ABP, ver Tabla 1.); y la manera de como incorporarlas a su quehacer diario en la escuela o colegios.

**Tabla 1.**

*Comparativo de la enseñanza tradicional y la estrategia del ABP usada en la iniciativa. Fuente: (Jiménez, 2018).*

Ítems	Ambiente de enseñanza y aprendizaje tradicional	Ambiente de enseñanza y aprendizaje utilizado en la iniciativa
Espacio de trabajo	Un salón enmarcado en cuatro paredes, a donde los estudiantes asisten de lunes a viernes. En ocasiones con poca ventilación y luz.	Al aire libre donde pueden expresar sus opiniones sin interrumpir las actividades de los otros espacios.
Protagonistas	Docente	Estudiantes
Autoridad	Docente y administrativos	Ninguno
Interacción entre los actores	Comunicación poca o nula	Pueden interactuar directamente para aclarar alguna duda o a través de algún dispositivo tecnológico
Contenido abarcado	Por unidades	Integración de varios conceptos de varias unidades pertenecientes a varias asignaturas.
Evaluación	Test prediseñados por los docentes	Coevaluación y autoevaluación de acuerdo al nivel de aprendizaje
Didácticas	Generalmente guías, tablero y tiza y libros	Robots, guías, tableros móviles, se hace énfasis en buscar información a través de un dispositivo tecnológico
Experimentación	Generalmente no existe. La mayoría de clases son teoría	Se pueden equivocar y nuevamente hacer la experimentación
Indagación	Son clases rutinarias que no permiten salirse del libreto	Despierta la curiosidad

A las comunidades visitadas se les obsequió un kit que contenía varios robots, guías y libros impresos. El propósito era replicar la experiencia a nuevos niños y adolescentes, incluso de otras regiones. Esta actividad hace parte de la cuarta fase de la metodología. Las guías son documentos impresos que contienen los talleres que a su vez, contemplan un conjunto de actividades a realizar en cualquier momento de la sesión y de una manera no secuencial. Para la ejecución de la iniciativa se editó un libro titulado: "Robótica educativa: estrategias activas en ingeniería" (Jiménez, J.; Ramírez, J. & Novale, D., 2010) en el cual se muestra inicialmente los materiales de los robots, cada uno de los dispositivos electrónicos de los cuales se conforman los robots (incluyendo su funcionamiento) y como abordar el material educativo para la enseñanza (Jiménez, 2018).

La siguiente fase es responsabilidad de los docentes, la cual consiste en

Replicar la experiencia a otras cohortes o poblaciones, incluyendo a nuevos docentes. Estas nuevas cohortes se pueden dirigir a estudiantes matriculados en los diferentes niveles de formación del sistema educativo colombiano, o nuevamente a niños y adolescentes desescolarizados. En cada una de las sesiones se realizó la respectiva evaluación, obteniendo de esta manera retroalimentación para mejorar la iniciativa; aunque cabe aclarar que ésta fue calibrada previamente antes de contactar a las comunidades (Jiménez, 2018, p.32).

La última fase corresponde al seguimiento de la iniciativa. Aunque es bueno aclarar que por escases de recursos no se ha tenido el acompañamiento deseado. Sin embargo, las comunidades beneficiadas han solicitado colaboración para brindarles mantenimiento a los robots entregados.

## Material educativo para la enseñanza

En la Tabla 2. se muestran algunos ejemplos de títulos de los contenidos que se enseñan utilizando la iniciativa, pero también de manera tradicional. Aunque se pueden enseñar una gran cantidad de contenidos, como por ejemplo de biología, geografía, artística, entre otros; los niños y adolescente adoptan más los temas que tienen que ver con tecnología; incluso, temas avanzados de la misma.

**Tabla 2.**

*Algunos principios enseñados. Fuente: (Jiménez et al., 2011).*

Principios de física	Enseñanza tradicional	Enseñanza con los robots
Electrónica	Ley de Ohm Serie de las resistencias Divisor de voltaje Motor eléctrico DC	Ley de Ohm Serie de las resistencias Divisor de voltaje Motor eléctrico DC
Sensores	Sensores pasivos: luces emitidas por el diodo (LED) Sensores activos: ultrasonido, infrarrojo	Sensores pasivos: luces emitidas por el diodo (LED), luces dependientes de la resistencia (LDR), switches eléctricos, micrófono. Sensores activos: ultrasonido, infrarrojo, fototransistor, sensor reflector de objetos
Física mecánica		Equilibrio de cuerpos rígidos Fricción Centro de gravedad
Algoritmos		Estructuras: secuencial, cíclica y de decisión lógica
Otros aspectos		Ensamble de los robots Estética de los robots Comunicaciones

Por ejemplo, un tema académico de los abordados fue el equilibrio. Dentro del desarrollo del contenido se les indicó que para el análisis de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo, es importante, además de establecer bien las fuerzas utilizando la primera y tercera leyes de Newton, aplicar la segunda ley de una manera práctica (Hibbeler, 2004). Para lo anterior, los estudiantes debieron de consultar previamente las Leyes de Newton, antes de asistir a los talleres. Luego, ellos experimentaron que todos los cuerpos sufren deformaciones reales cuando se les aplica fuerzas (ver figura 10). Se les propuso:

Tomar el robot como si fuera rígido perfectamente es un muy buen punto de partida para el análisis de equilibrio de fuerzas. Sin embargo, pueden existir muchos casos en los cuales el robot no permanezca en reposo. Estos casos se presentarán cuando el robot se vuelque repentinamente o bajo la acción de una condición nueva, que se incorpora al sistema. Es importante evaluar en esos momentos cuáles son las fuerzas que contribuyeron al desequilibrio. Se debe pensar siempre en una fuerza que, debido a su punto de aplicación, generó un momento que no pudieron contrarrestar los apoyos del robot y sus puntos de aplicación. Cabe señalar que todo cuerpo en el mundo, y especialmente el robot, se verá sometido a la misma fuerza de la gravedad constantemente, pero la intervención de esta fuerza en el equilibrio del robot se verá afectada cuando la dirección de la misma no se encuentre en puntos intermedios del robot. Esto puede ocurrir en planos inclinados respecto a la horizontal. Los apoyos del robot son, en general, los mecanismos motrices y la rueda libre. Su ubicación por los canales genera diferentes puntos de aplicación para las fuerzas asociadas (Jiménez, J.; Ramírez, J. & Novale, D., 2010, p.69).

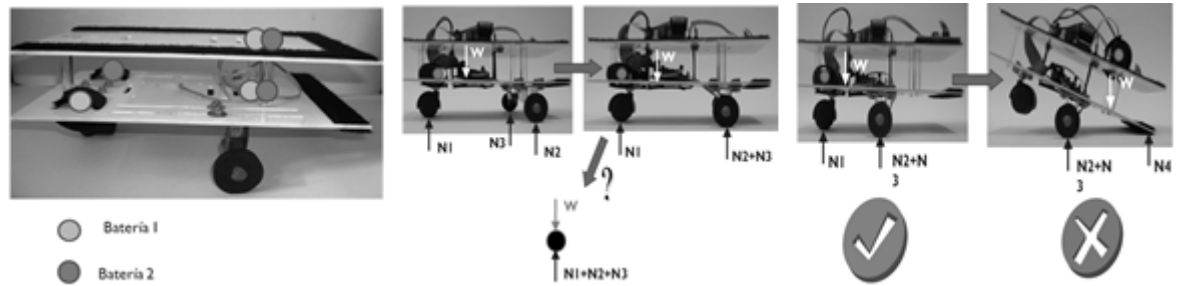


Figura 10. Enseñanza del concepto de equilibrio usando los robots. Fuente: elaboración propia.

## Modelo de diseño curricular usando ABP

Uno de los logros que vale la pena mencionar, fue la adaptación de la metodología del ABP al contexto de los territorios. La población beneficiada, además de apropiarse de la metodología, disfrutaron la experiencia de aprendizaje dado que ellos eran los propios protagonistas de sus procesos educativos, es decir, aprendían a su propio ritmo de aprendizaje; tanto docentes como estudiantes.



Figura 11. Modelo del diseño curricular (Jiménez, J.; Ramírez, J. & Novale, D., 2010).

A nivel macro el modelo de diseño curricular (ver figura 11) sirve para su inclusión en diferentes metodologías. Allí se plantean cuatro preguntas esenciales, a saber:

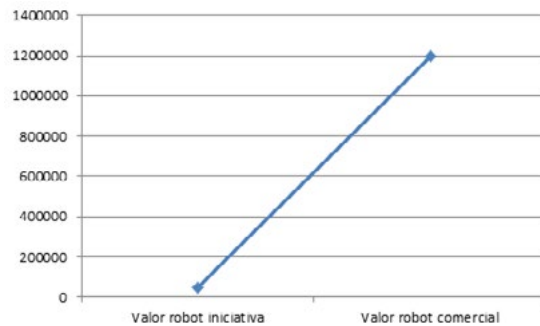
¿qué enseñar?, ¿cómo enseñar?, ¿cuándo enseñar? y ¿qué, cómo y cuándo evaluar? Teniendo como base los anteriores interrogantes se plantea el curso específico para la formulación de sus objetivos y la construcción de sus contenidos que pueden ser físicos o virtuales. Luego, se selecciona el material a enseñar que puede ser mediante unidades. Después, se le da un orden recomendado a las unidades y se programan las diferentes actividades de enseñanza y aprendizaje. El siguiente paso es seleccionar una metodología para la respectiva ilustración. Es de aclarar que en la metodología seleccionada en la iniciativa, el modelo tuvo implícito o con alguna variable, algunos de los componentes como por ejemplo los contenidos. La idea dentro de la iniciativa era no amarrar a los estudiantes en un cajón o secuencia de etapas, sino que ellos experimentaran, ensayara, se equivocara, construyeran su propio conocimiento, lo adhirieran a sus conocimientos o

estructuras previas y de allí, enriquecer las alternativas de solución a los problemas reales cotidianos. Nuevamente, es bueno contar que en la etapa de experimentación de la iniciativa desde una perspectiva pedagógica se contó con la validación que realizaron estudiantes de posgrado, algunos de ellos con conocimientos en el área de ciencias de la educación (Jiménez, 2018, p.44).

## Discusión

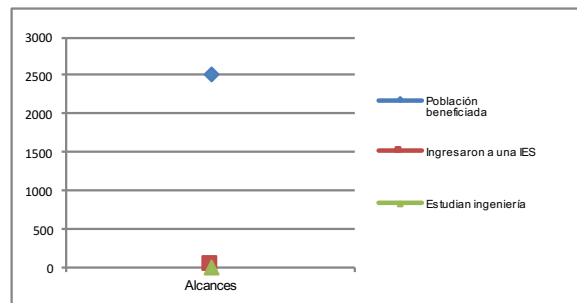
La iniciativa ha tenido diferentes logros vistos desde un amplio número de variables, como por ejemplo la construcción del conocimiento, impacto social positivo en las zonas afectadas, apropiación social de la triada ciencia –tecnología– innovación, inclusión de niños y adolescentes desescolarizados, y generación de una alternativa de educación diferente que trata de superar las dificultades de la educación tradicional; entre otros.

Dentro de la construcción de conocimiento cabe resaltar que los robots fueron diseñados, desarrollados y evaluados por estudiantes de pregrado en ingeniería. A lo anterior, se destaca que el conocimiento que se generó en este logro fue nativo y se quedó dentro del país. También es bueno resaltar que los costos de la construcción de los robots en comparación con el mercado, es muy inferior. Se estima que son alrededor de un 95% más económico (ver figura 12).



**Figura 12.** Comparativos entre los costos de los robots de la iniciativa y los comerciales. Fuente: elaboración propia.

Esta iniciativa les permitió a los estudiantes que participaron en la ejecución de la iniciativa, abrir las puertas de algunas empresas y ONGs nacionales y extranjeras, en donde en la actualidad laboran aportando soluciones desde la ingeniería, a sus problemas propios. Se tiene conocimiento de un estudiante de una universidad de la región que a raíz de esta iniciativa y sumada a otras iniciativas nacionales e internacionales, creó su propia empresa de emprendimiento en el campo de la robótica.



**Figura 13.** Comparativos de los resultados alcanzados con la iniciativa. Fuente: elaboración propia.

El logro más significativo tiene que ver con la población beneficiada. Los niños y adolescentes que participaron de la iniciativa se enriquecieron, al experimentar otros caminos



diferentes al de la educación tradicional o transmisionista; adicional al experimentar el uso de tecnología propia de la inteligencia artificial. Si bien, se buscaba incluir a ésta población en el sistema educativo colombiano, la iniciativa no contempló la fase de seguimiento a la población beneficiada. Sin embargo, se tiene conocimiento de que alrededor de siete estudiantes ingresaron a la universidad. Dentro de los siete, cinco estudian programas académicos de ingeniería en universidades públicas (ver figura 13). Si bien es muy poco el número de estudiantes que ingresaron a la universidad después de pasar por la iniciativa, es bueno contar que las comunidades donde se asientan estas poblaciones tienen unas graves problemáticas de orden social e institucional, asociadas a las problemáticas propias de la corrupción y el acceso a la educación en todos sus niveles. Se desconocen datos de número de niños y adolescentes que ingresaron a la educación primaria, secundaria y media. La iniciativa ha benefició alrededor de 2.500 niños y adolescentes y 250 maestros.

Otro impacto concreto aconteció en las zonas afectadas o beneficiadas por la iniciativa. Inicialmente se innovaron en las estrategias educativas propias de las instituciones formativas que permitieron realizar la iniciativa. Este logro permitió a los docentes, actualizar sus prácticas para que las ejerzan al interior de sus aulas de clase; aunque nuevamente se aclara que la iniciativa fue dirigida a niños y adolescentes en edad escolar pero que no asisten a las instituciones educativas porque prefieren o necesitan generar un ingreso económico derivado de las funciones laborales en la minería. Otro impacto marcado, se derivó de la sinergia de las alcaldías con la universidad ejecutora durante la realización del proyecto de investigación. Las alcaldías contaron una serie de problemáticas, con el propósito de buscar soluciones a través de los grupos de investigación de la universidad. Dos de las problemáticas enunciadas tenía que ver con el aumento en el número de muertos a causa de las atmosferas explosivas en la minería de carbón. A raíz de esta situación, se estudió el caso y se diseñó un prototipo con cuatro sensores y comunicación inalámbrica utilizando varios puntos para replicar la señal. El prototipo fue ensayado analizando varias variables dentro del diseño del experimento (ver figura 4). Los resultados fueron óptimos y se permite su implementación, por el tamaño y peso del prototipo, arriba de los cascos que utilizan los mineros. A pesar de que el prototipo puede salvar muchas vidas, la investigación solo llegó hasta la etapa del diseño. A lo anterior falta masificar y poner en uso el prototipo. La otra problemática tenía que ver con los dispositivos explosivos improvisados sembrados cerca de las minas ilegales para no permitir el ingreso de la fuerza pública o de simplemente animales o personas tales como niños y campesinos, entre otros. Este caso también se estudió de manera detallada, incluso realizando una pasantía de investigación doctoral en la Universidad de Osaka (Japón). También se construyó un prototipo para la identificación del explosivo del cual se obtuvieron resultados alentadores, dentro de la realización de una tesis de doctorado (Cardona, 2017). Se está a la espera de apoyo estatal para masificar este desarrollo.

## Conclusiones

Uno de los ejes estructurantes, y quizás el más importante, en el desarrollo de un país es la educación, y es precisamente ella uno de los escenarios fundamentales en la solución del conflicto planteado por la necesidad de operar la triada ciencia - tecnología – innovación y la necesidad de conocerla para el mejoramiento de la calidad de vida de los individuos de la sociedad (Jiménez, J.; Ramírez, J. & Novale, D., 2010), (Jiménez, 2018).

La robótica es una didáctica dentro del modelo curricular que no solo llama la atención a los niños y adolescentes, sino que despierta la curiosidad y creatividad que permiten migrar a otros escenarios los temas aprendidos. En este orden de ideas, puede que resulte a futuro, la construcción de robots que permitan la automatización en las zonas que fueron intervenidas. Lo anterior, por la capacidad que tiene la población beneficiada.

El propósito de la iniciativa fue que, a través de la robótica educativa, enseñar a los niños y adolescentes desescolarizados que viven en territorios de influencia de la minería, a construir un robot con múltiples mecanismos para censar un ambiente de trabajo. Acompañado de la construcción, se abordan varios principios de la física mecánica, ondulatoria, electrónica y algoritmia. También, la iniciativa trató de experimentar diversas teorías de aprendizaje, retando a los actores del proceso educativo a un cambio de paradigma pasivo a proactivo. En síntesis, se trata de incluir a la población beneficiada en el sistema educativo colombiano, mostrándoles que existen otras maneras diferentes de aprender.

Esta iniciativa permitió la transformación y construcción de los territorios, al mejorar a través de la educación, la calidad de vida de sus pobladores. Si bien es un gran esfuerzo, esta iniciativa cobra suma importancia en este momento del posconflicto colombiano, dado que ya se están superando la etapa de la confianza y credibilidad en una verdadera paz. De igual manera, los pobladores están comenzando a regresar a sus parcelas. La educación es un camino para que las víctimas y victimarios del conflicto encuentren nuevos caminos diferentes a la violencia, para solucionar los problemas de sus territorios.

La minería es una actividad que se adelanta en el departamento de Antioquia, desde antes del registro de la llegada de los españoles, por parte de los europeos, asiáticos y africanos; pero, los nativos americanos llevan muchos más siglos en sus funciones propias. El territorio es extremadamente rico en recursos minerales, especialmente en oro.

Otro de los propósitos de la iniciativa fue que los niños y adolescentes fueran conscientes de los riesgos que pueden padecer al utilizar una serie de químicos, así como los cuidados que deben de tener al laborar en funciones propias de la minería.

Es preciso mencionar la resistencia de algunos docentes frente al desafío de introducir y experimentar nuevas maneras de formación basadas en aprendizaje activo, para implementar las investigaciones y los desarrollos en las áreas de la pedagogía y la ingeniería, en las aulas de clase. Es imperiosamente necesario innovar los métodos tradicionales de enseñanza y de aprendizaje, pero antes debe de hacerse una labor de concienciación y formación pedagógica entre los docentes.

## Referencias bibliográficas

- Acosta, G. (2008). *Ambiente multi-agente robótico para la navegación colaborativa en escenarios estructurados*. Medellín: Tesis de maestría en ingeniería de sistemas. Universidad Nacional de Colombia.
- Acosta, G. (2019). *SLAM monocular en tiempo real*. Medellín: Tesis de doctorado en ingeniería de sistemas e informática. Universidad Nacional de Colombia.
- Álvarez, J., Jiménez, J., & Ramírez, J. (2011). Design cycle of a robot for learning and the development of creativity in engineering. *Dyna* 78(170), 51-58.
- Arbeláez, A. (2001). La minería antioqueña y su importancia en la acumulación primaria de capital. *Revista Semestre Económico*, 4(8).
- Ausubel, D. (1963). *The Psychology of Meaningful Verbal Learning: An Introduction to School Learning*. New York: Grune & Stratton Inc.
- Barbecho, I. (2019). *LearnBot 2.0: A tool for programming teaching and emotion management through robotics*. Mérida: Master's thesis. Universidad de Extremadura.
- Berry, C., Remy, S., & Rogers, T. (2016). Robotics for All Ages: A Standard Robotics Curriculum for K-16. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 23(2), 40-46.
- Bravo, F. (2019). *DramaBot, A Cognitive Multiagent Architecture for Implementing Educational Drama Tehniques using Robot Actors*. Bogotá: Doctoral Thesis. Pontificia Universidad Javeriana.
- Bravo, F.; González, A.; González, E. (2017). Interactive Drama with Robots for Teaching NonTechnical Subjects. *Journal Human Robot Interaction*, 6, 48-69.

- Bustamante, J. & Cogollo, A. (2019). Robótica educativa como propuesta de innovación pedagógica. *Gestión, Competitividad e Innovación*, 6(2).
- Cardona, L. (2017). *Nuclear quadrupole resonance system for landmine detection in Antioquia*. Medellín: PhD thesis in systems engineering and computer science. Universidad Nacional de Colombia.
- Celedón, N. (07 de 2015). Colombia es un país de alta accidentalidad minera. *Portafolio*. Bogotá, D. C., Colombia.
- Damaševičius, R., Narbutaitė, L., Plauska, I., & Blažauskas, T. (2017). Advances in the Use of Educational Robots in Project-Based Teaching. *Environment*, 11(12), 13-17.
- David, B., & Marshall, J. (2019). Epistemological tension in project-based learning: fabricated and propagated knowledge through practical and formal lenses. *The International journal of engineering education* 35(1), 345-359.
- Delors, J., Amagi, I., Carneiro, R., Chung, F., Geremek, B., & Gorham, W. &. (1997). *La educación encierra un tesoro: Informe para la UNESCO de la Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo Veintiuno*. Paris: UNESCO.
- Departamento Nacional de Planeación. (17 de 09 de 2014). Misión Social: Unidad de Desarrollo Social - DANE. *El Tiempo*. Bogotá, D.C., Colombia: Casa Editorial El Tiempo.
- Domínguez, E. (2015). *Propiedad pública: apropiación social del conocimiento*. Recuperado el 07 de junio de 2019, de Máquinas e inteligencia para la educación: <http://www.propiedadpublica.com.co/robotica/>
- García, F. (2019). *CREAME: CReation of Educative Affordable Multi-surface Environments*. Valencia: Doctoral dissertation. Universitat Politècnica de València.
- Hibbeler, R. (2004). *Mecánica vectorial para ingenieros: estática*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Higuera, A. (2015). *Desarrollo de procesos cognitivos creativos a través de una mediación educativa con robótica en estudiantes del grado séptimo de una institución educativa oficial de Bogotá DC*. Bogotá: Master's thesis, Facultad de Educación, Pontificia Universidad Javeriana.
- Jiménez, J. (2018). *Innovación social en los procesos de enseñanza y aprendizaje a través de la robótica como una alternativa de intervención e inclusión educativa para niños y adolescentes en territorios de influencia de la minería*. Medellín: Sello editorial Comfenalco.
- Jiménez, J.; Ramírez, J. & Novale, D. (2010). *Robótica educativa: estrategias activas en ingeniería*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jiménez, J.; Ramírez, J.; González, J. (2011). Sistema modular de robótica colaborativa aplicado en educación. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* Vol.58.
- Jung, S., & Won, E. (2018). Systematic Review of Research Trends in Robotics Education for Young Children. *Sustainability*, 10(4), 905.
- Machado, L., Ospina, J., Henao, N., & Marín, F. (2010). *Problemática ambiental ocasionada por el mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de Providencia, Antioquia*. Medellín: Tesis de Especialización. Universidad de Antioquia.
- Melo, J., & Ocampo, J. (1983). *Aspectos polémicos de la historia del siglo XIX en Colombia*. Bogotá: Fondo Cultural Cafetero.
- Méndez, H. (2002). *Teorías de Aprendizaje*. Monterrey: TEC Monterrey.
- Mesa, L., & Lombana, N. (2013). La robótica educativa como instrumento didáctico alternativo en educación básica. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(22).

- Mitra, R., Musingwini, C., Neingo, P., & Adam, Z. (2018). Curriculum Review Process at the School of Mining Engineering at the University of the Witwatersrand. *International Journal of Georesources and Environment-IJGE (formerly Int'l J of Geohazards and Environment)*, 4(3), 54-58.
- Olivero, J. (14 de 06 de 2014). En Antioquia promueven iniciativas para formalizar a mineros artesanales. *El Espectador*. Bogotá, D. C., Colombia: El Espectador.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. (2007). *Engineering design. A systematic approach*. New York: Springer.
- Papert, S. (1980). *The Gears of my Childhood. Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Papert, S. (1990). A Critique of Technocentrism in Thinking about the School of the Future. M. I. T. *Media Lab Epistemology and Learning Memo. Vol. 2*, 27-28.
- Portilla, A. (2016). Minería en América Latina: auge y problemática. *IV Congreso Internacional de Ciencias del Trabajo, Medio Ambiente, Derecho y Salud*. Sao Paulo: Asociación de abogados laboristas de trabajadores.
- Romero, A. (2013). La minería y la industrialización del país: una mirada desde Antioquia. *Foro Presencia de Antioquia en la construcción de país*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Russell, S., & Norvig, P. (2009). *Inteligencia artificial: un enfoque moderno*. New York: Pearson Education S. A.
- Saams, L. (2019). *Mediación TIC usando tabletas para fortalecer la calidad educativa en las instituciones de Providencia Isla*. Barranquilla: Doctoral dissertation, Universidad de la Costa.
- Saldarriaga, R. (2011). *El paisa y sus orígenes: lo que no se ha dicho del descubrimiento*. Medellín: Nuevomundo.
- Spearing, S., & Hall, S. (2016). Future mining issues and mining education. *AusIMM Bulletin*, 26.
- Taborda, M., Muñetón, G., & Horbarth, J. (2018). Conflicto armado y pobreza en Antioquia Colombia. *Apuntes del CENES* 37(65), 213-246.
- UNESCO. (1999). Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico. *Conferencia mundial sobre la ciencia*. Budapest: Science for the Twenty-Firts Century.

### Nota.

<sup>i</sup> El trabajo descrito en este artículo es auspiciado por el proyecto de investigación "Robótica educativa: máquinas inteligentes en educación" auspiciado por la Vicerrectoría de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, con código Hermes: 8258.