

Plataforma Hardware-Software para el desarrollo de habilidades STEM

A. Feijoo-Almonacid, C. H. Rodríguez-Garavito.

Abstract— Robotics not only play a significant role in medicine, manufacturing, or aerospace industry, but also in education. According to governmental studies carried out in the United States and Europe, careers related to STEM skills like engineering, are constantly increasing worldwide. Due to this, several countries have been implementing STEM education. But, in Colombia this initiative just recently started to take place.

Currently, it is possible to find several STEM educational robotic kits on the market such as boost from Lego, Cozmo from Anki, Mbot from Makeblocks and Dash from Make wonder. In this trend, the STEM robotic kit proposed in this document, pretends to be a hardware grounding to implement a whole STEAM program. It intends to encourage children to develop their science, tech, math, and artistic outcomes. Also, the kit offers a differential plus from others because it has two interactive components: an elephant-bot called Eli, a robot easy to assemble inspired in the protection of African elephants; and, an intuitive user interface, called "Experiencia Chamali" made up of three modules. The first one consists of assembly the robot, the second one is designed for developing of spatial perception throughout maze challenges, and the last one is made for test the robot's movements live.

Two groups of children between 6 and 11 years old tested the robotic platform. During the activity, the groups reinforced STEM skills such as teamwork, communication, and problem-solving as a conclusion of test results. The children divided the assembly of the elephant-bot into several tasks on their initiative to make an agile construction. Also, in the challenge of the labyrinth, they worked collaboratively on the spatial location. Finally, the members of each group worked as a team decorating the physical labyrinth freely and observing the movements of the "elephant-bot" in this environment.

Index Terms— STEM, educational robots, three-dimensional printing.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo se encuentra en un estado de cambio catalizado por la incursión de la tecnología en las actividades cotidianas e industriales de la humanidad, y concretamente en los últimos años esta tendencia se ha evidenciado a través de estudios realizados por instituciones gubernamentales. Según la OCE (Office of the Chief Economist) en su reporte de 2017 [1], en Estados Unidos desde el año 2005 al año 2015, se vio un aumento del 24.4% en los empleos relacionados con las

habilidades STEM (science, technology, engineering and math), mientras que los no relacionados con las habilidades STEM tuvieron un aumento de tan solo un 4%, en este mismo estudio se estableció una proyección de un aumento del 8.9% para los años 2014 al 2024 de las ocupaciones STEM, mientras que las no relacionadas con STEM tendrán un aumento del 6.4%. Pero esto no solo pasa en Estados Unidos, ya que según un estudio realizado en Europa (por el parlamento europeo) [2] se espera un incremento en la demanda de los profesionales relacionados con las habilidades STEM de un 8% entre el 2013 y el 2025, mientras que para las demás ocupaciones se espera un incremento del 3%. Es por esto, que la educación STEM ha tomado tanta fuerza y relevancia en los últimos años alrededor del mundo, ya que con esta educación se quiere que los estudiantes tengan una interacción física más cercana con los conceptos aprendidos en clase, a través de experimentos, uso de herramientas tecnológicas y kits de robótica, con el fin de fortalecer diferentes habilidades como el trabajo en equipo, la concentración, comunicación, resolución de problemas, entre otros. Así mismo, de acuerdo a las pruebas PISA realizadas en el 2018 [3] el 76% de los estudiantes de los países que pertenecen a la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) obtuvieron un nivel de 2 o más en matemáticas, mientras que el 16.5% de los estudiantes de Beijing, Shanghái, Jiangsu y Zhejiang (China) y el 13.8% de Singapur obtuvieron un nivel 6 (el más alto de las pruebas PISA) en matemáticas, y tan solo el 2.4% de los estudiantes de los países de la OECD alcanzaron este mismo nivel. En promedio el 78 % de los estudiantes de los países OECD obtuvo un nivel 2 o mayor en ciencias según las pruebas PISA 2018, mientras que más del 90% de los estudiantes de Beijing, Shanghái, Jiangsu, Zhejiang, Macao (China), Estonia y Singapur tuvieron nivel 2 o mayor. Según estos resultados se debe mejorar el conocimiento de los estudiantes, de países pertenecientes a la OECD, en ciencias y matemáticas, lo cual se puede lograr con una educación básica, primaria y secundaria, centrada en actividades STEM relacionadas con estas materias.

Por otro lado, en la actualidad, los robots han adquirido un papel importante en diferentes áreas de la actividad humana, no solo en las grandes industrias de producción masiva, donde por lo general, se usan brazos robóticos para realizar un trabajo

A. Feijoo-Almonacid pertenece a la Universidad de La Salle Bogotá, programa de Ingeniería en Automatización. Carrera 2 No 10 – 70 Bogotá, Colombia; e-mail: afeijoo00@unisalle.edu.co.

C. H. Rodríguez-Garavito es profesor en la Universidad de La Salle Bogotá, programa de Ingeniería en Automatización. Carrera 2 No 10 – 70 Bogotá, Colombia; e-mail: cerodriguez@unisalle.edu.co.

específico, sino también en campos como la medicina, la agricultura, la exploración espacial, entre otros. Algunos ejemplos del uso de la robótica se encuentran en la medicina, particularmente en la rehabilitación de niños [4] y adultos [5], en la industria aeroespacial, con robots móviles como el Perseverance, desarrollado por la NASA para exploración en Marte [6], en la agroindustria con robots recolectores de frutos como manzanas [7] o café [8] y de manera generalizada en la industria automotriz para ensamble o soldadura [9]. Debido a que los robots se usan para diferentes tareas y campos, Ben-Ari y Mondad [10] mencionan que estos, se pueden clasificar de dos formas, la primera, de acuerdo a su ambiente de operación en: fijos y móviles, de estos últimos se derivan los acuáticos, aéreos y los terrestres, que pueden contar con ruedas o patas, y la segunda, según su campo de aplicación, en tareas como: industria, de la cual, se derivan los robots usados para logística y manufactura, y los de servicio, que se dividen en médicos, de uso doméstico, en defensa y en el sector educativo. Es en este punto, donde aparece la robótica educativa, y allí, se puede establecer una relación estrecha con la educación STEM, ya que se constituye en una herramienta para su desarrollo y aplicación. En la literatura se encuentran algunos ejemplos del uso de la robótica en STEM como [11], en donde se muestra cómo un módulo de educación robótica ayuda a que los estudiantes tengan una experimentación física más llamativa en clases como ciencias, y en [12], se describe un curso en donde se hace uso de Scratch [13] para aprendizaje STEM en niños como herramienta de iniciación en la robótica, permitiendo desarrollar habilidades como resolución de problemas, creatividad, habilidades de matemáticas y ciencias, entre otros.

En la robótica educativa se hace uso de dispositivos, los cuales por lo general incluyen una parte mecánica, electrónica y de computación, para que los estudiantes tengan una experimentación interactiva durante las clases (por lo general ciencias, matemática y tecnología), con el fin de que los alumnos comprendan algunos conceptos y encuentren un mayor interés en las materias relacionadas con las habilidades STEM. Hoy en día se pueden encontrar varios kits de robótica educativa para la enseñanza STEM, algunos comerciales como LEGO Mindstorm [14], Mbot de Makebloks [15], Cozmo de Anki [16], entre otros, pero por lo general estos tienen un costo elevado. Es por esto, que aparecen proyectos donde se plantea desarrollar kits de bajo costo como: [17] presenta un kit para que los estudiantes puedan hacer experimentos científicos, [18] propone un prototipo a escala de un robot humanoide, en [19] se presenta el prototipo de un kit de robótica, con su respectiva plataforma de programación, para ser usado por niños o personas sin conocimiento de programación o mecánica. En esta dirección, el presente trabajo muestra el diseño y la construcción de un kit robótico diferente a los que se encuentran actualmente en el mercado, ya que, aparte de ser de bajo costo, se inspira en el cuidado de los animales y el medio ambiente, y abarca aspectos que van desde la comprensión de contextos, la construcción mecánica, la programación intuitiva y el desarrollo de habilidades de ubicación espacial, así como de

trabajo en equipo y cambio de roles. Con este kit, niños entre 7 a 11 años, arman un elefante robótico (denominado Elefan-bot) como se indica en una plataforma de software que recrea una experiencia de aprendizaje ambientada en el valle africano, denominada "Experiencia Chamali", para estimular el desarrollo de habilidades STEM. Finalmente, un elemento diferenciador del hardware de la plataforma es su fabricación, dado que se crea a través de un proceso de impresión 3D en integración con una tarjeta controladora de bajo costo, esto permite llegar a una población vulnerable, niños de escasos recursos, insertados en la educación pública.

Adicionalmente, la interfaz de usuario de la plataforma guía al niño a través de una actividad STEM centrada en la resolución de laberintos, con módulos para armar el hardware y replicar las trayectorias solución del laberinto en la realidad, lo cual incentiva a los niños a construir el entorno del robot y verlo explorar en él.

La estructura de este artículo es: en la sección 2 se describe el diseño mecánico del Elefan-bot, en la sección 3 se presenta la interfaz de software para interacción con los niños, en la sección 4 se muestran los pasos que se deben seguir para realizar la actividad STEM, en la sección 5 se presenta una nueva actividad que se puede desarrollar con el mismo kit robótico y con niños de mayor edad, en la sección 6 se reporta las pruebas de usabilidad del Elefan-bot por parte de los niños y el análisis de resultados. Para finalizar, en la sección 7 con las conclusiones del trabajo y la experiencia de los niños según lo observado durante la experiencia "Chamali".

II. DESARROLLO DEL HARDWARE

Para diseñar correctamente los componentes del hardware (HW), se llevó a cabo una serie de pasos como se puede apreciar en la figura 1, allí se observa como paso inicial, la selección de la tarjeta electromecánica, para esto se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: la velocidad de procesamiento, lenguajes de programación que utiliza, disponibilidad en el mercado, disponibilidad de librerías que se pueden usar, facilidad de conexión para los niños, capacidad de adicionar módulos, conectividad Bluetooth y Wifi, dimensiones y el costo de la tarjeta. Estos criterios cuantificados permitieron seleccionar la tarjeta Mcore [20] del fabricante Makebloks dentro de otras opciones como: Raspberry, Arduino, BeagleBone, Thunderboard, entre otras.

A continuación, el segundo paso del proceso de diseño de HW es seleccionar un chasis de locomoción, el cual, es la base de partida para el diseño de las piezas, en este paso se consideraron kits de robótica del mercado como: boost de marca Lego, Cozmo de Anki, Mbot de Makebloks, Dash de Make wonder, entre otros. Para la selección se tuvo en cuenta criterios como el precio del kit, uso de Wifi o Bluetooth, lenguajes de programación, cantidad de motores, adaptación al diseño y tarjeta controladora. El kit seleccionado fue el Mbot de Makebloks.

El tercer paso presentado en el diagrama de la figura 1,

corresponde a la creación de bocetos 2D para 3 posibles formas de animales con la adaptación del chasis, la segmentación de la forma del animal en piezas individuales y su correspondiente dimensionamiento. La selección de los tres animales se realizó a partir de un sondeo al público objetivo, cuyas formas resultantes correspondieron a un branquiosaurio, un rinoceronte y un elefante africano, luego se analizaron cada uno de los bocetos en el cuarto paso, con el fin de seleccionar el más llamativo para niños de 7 a 11 años, y el que se adaptara mejor al chasis base, de estos 3 animales se escogió el elefante africano.

Una vez definida la forma animal del juguete para la estructura, se efectúa el quinto paso, en el cual, se crean las piezas del elefante en versión CAD, para obtener sólidos tridimensionales encajables. Las partes que componen la electrónica y el sistema de transmisión, también se desarrollaron en versión CAD, con el fin de comprobar el correcto acople de las piezas y los mecanismos. En la figura 2 se puede apreciar una vista isométrica del ensamblaje final con transparencia, donde se observa el chasis base acoplado a la tarjeta electrónica, los acoples de movimiento en las patas del elefante, y todo ello integrado en el interior de las piezas del elefan-bot.

desarrollaron en versión CAD, con el fin de comprobar el correcto acople de las piezas y los mecanismos. En la figura 2 se puede apreciar una vista isométrica del ensamblaje final con transparencia, donde se observa el chasis base acoplado a la tarjeta electrónica, los acoples de movimiento en las patas del elefante, y todo ello integrado en el interior de las piezas del elefan-bot.

Luego de verificar que cada uno de los elementos están correctamente ubicado y diseñado, se procedió a realizar el sexto paso, en el cual se imprimieron las partes que componen la estructura corporal del elefante y algunos elementos adicionales como las ruedas traseras, los piñones, las tapas de las patas traseras y un acoplamiento para la salida de los motores. Finalmente, se realizó el ensamblaje y sus respectivas pruebas funcionales, correspondientes al octavo y noveno paso del proceso de diseño y de creación de HW.

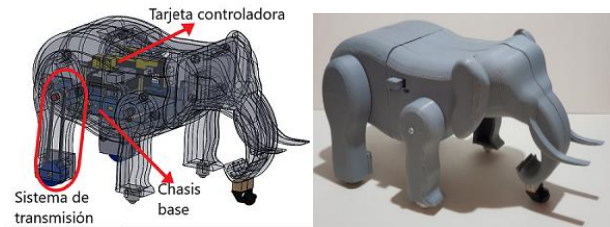


Fig. 2. CAD del elefan-bot con elefan-bot en físico



Fig. 1. Diagrama de flujo del desarrollo del hardware.

Una vez definida la forma animal del juguete para la estructura, se efectúa el quinto paso, en el cual, se crean las piezas del elefante en versión CAD, para obtener sólidos tridimensionales encajables. Las partes que componen la electrónica y el sistema de transmisión, también se

III. DISEÑO DE SOFTWARE

En esta sección se realiza la descripción del diseño y funcionamiento de la plataforma “Experiencia Chamali”, en la figura 5 se puede observar las fases del desarrollo de Software (SW) y sus componentes. Inicialmente, en la primera fase se escoge como temática orientadora para la plataforma, el desarrollo de la habilidad relacionada con la orientación espacial de los niños en un ambiente definido, haciendo uso de la rosa de los vientos, y como temática de la actividad STEM a desarrollar.

En un segundo momento, se definen las competencias que se implementarían en la actividad STEM [21]. Las habilidades elegidas fueron: trabajo en equipo, racionamiento, comunicación, concentración y resolución de problemas.

A continuación, como parte de la metodología de trabajo, se procede a desarrollar la actividad STEM a través de 3 diferentes interfaces interactivas (ver figura 3). La primera interfaz es el armado del elefan-bot, donde se dan las instrucciones de su ensamblaje a través de una serie de videos cortos como se aprecia en la figura 4, y se desarrollan otras habilidades adicionales como lógica mecánica y seguimiento de instrucciones. La segunda interfaz, es el reto del laberinto, en esta, se implementa un laberinto con el objetivo de desarrollar la temática seleccionada de ubicación en el espacio con ayuda de la rosa de los vientos, en esta interfaz, se implementan habilidades adicionales como la ubicación espacial y la lógica de programación. A este respecto, vale la pena considerar que los elementos básicos de un lenguaje de programación son: ciclos, sentencias condicionales, sentencias de asignación y funciones

primitivas. En el caso del reto laberinto, los ciclos se forman a través de la repetición de funciones primitivas diseñadas para mover el elefan-bot por el laberinto; las sentencias condicionales, en este contexto, se implementan en la realimentación que la interfaz hace sobre el usuario, impidiendo que se ejecuten directivas de movimiento que violen el espacio libre del elefan-bot en su desplazamiento por el laberinto. Es decir, la definición de trayectorias que le permiten a los niños llevar al elefan-bot hasta la salida del laberinto, forman en sí mismas, la codificación de un algoritmo en un lenguaje de programación básico tal como el lenguaje LOGO [22].

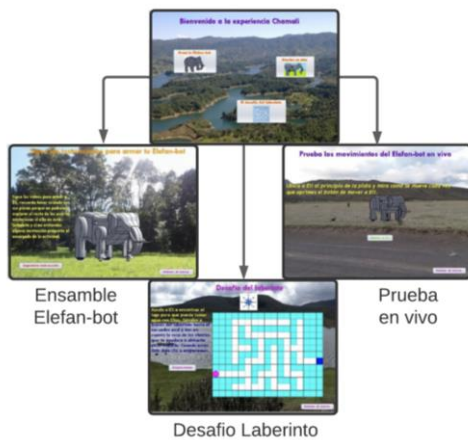


Fig. 3. Interfaces de la actividad.

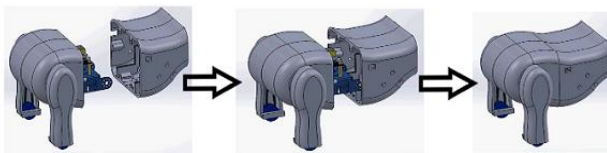


Fig. 4. CAD del elefan-bot con sus diferentes piezas.

Por último, la tercera interfaz implementa la denominada prueba en vivo, en la cual los niños pueden ver al elefan-bot en físico realizando los movimientos que se almacenaron en la actividad del laberinto, en esta interfaz adicionalmente, se estimula el desarrollo del diseño artístico, ya que los niños reconstruyen el laberinto uniendo una serie de puntos e implementando un diseño artístico libre. Todas estas habilidades implementadas se relacionan estrechamente con el trabajo en equipo, ya que toda la actividad STEM se desarrolla como una actividad grupal. En un siguiente paso, en la interfaz prueba en vivo, el elefan-bot efectúa los movimientos realizados en el laberinto, estableciendo una conexión entre la plataforma y la tarjeta controladora Mcore, lo cual se logra, por medio del uso de la librería PanamaHitek [23].

Finalmente, en el último paso se implementa un canal de comunicación de datos a través de las interfaces desarrolladas. De la interfaz reto laberinto se envía una lista de movimientos correspondiente a la trayectoria que los niños encontraron para resolver el reto, hacia la interfaz prueba en vivo, para posteriormente, enviar estos datos a la tarjeta controladora y

recrear dicha trayectoria en el robot real.

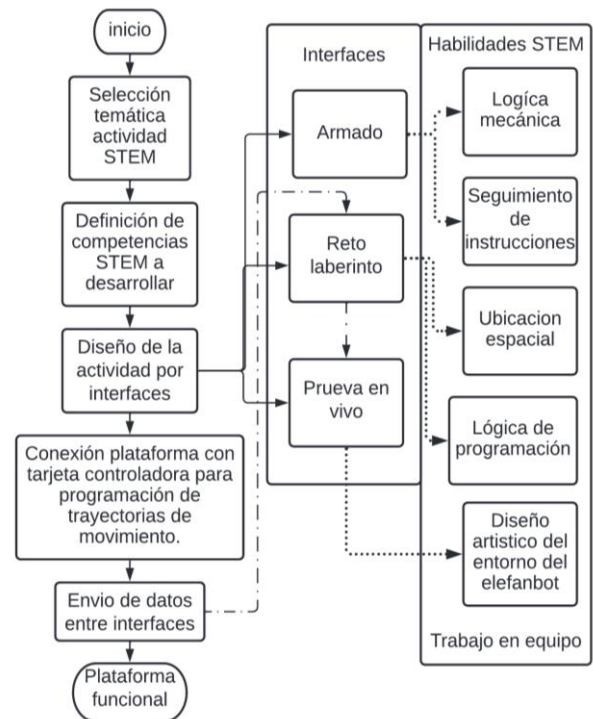


Fig. 5. Diagrama de flujo del desarrollo del software, sus interfaces y las habilidades STEM y trabajadas

IV. ACTIVIDAD STEM

Una actividad STEM se puede definir como un evento en el cual los niños interactúan con diferentes elementos tecnológicos, con el fin de resolver alguna problemática propuesta mientras se divierten [24]. Estas actividades por lo general se desarrollan en grupos con el fin de trabajar en los niños habilidades como el trabajo en equipo, la comunicación, el seguimiento de instrucciones, entre otras. Con estas actividades se pueden tratar diferentes temáticas que dependen del desarrollador de la actividad, para esta propuesta se seleccionó la ubicación espacial con ayuda de la rosa de los vientos. Para desarrollar esta temática se escogió la actividad de un laberinto con instrucciones de movimiento como: “Avanzar hacia el norte”, “Avanzar hacia el sur”, “Giro hacia el este”, entre otras, con el fin de que los niños desplazaran el elefan-bot por el laberinto teniendo en cuenta la posición del objeto móvil y la rosa de los vientos.

En una actividad STEM es importante tener una guía para que los niños sigan la actividad en el orden correcto, independientemente del tema tratado en la actividad hay ciertos parámetros que se debe incluir en una guía STEM, según el libro “la gran guía STEM” [25], estos son: trabajo en equipo, incorporar el aprendizaje práctico, hacerlo relevante, convertir las fallas en algo positivo, tejiendo matemáticas y ciencias, y ser creativo. En la guía de la actividad STEM se incluyeron todos estos parámetros de la siguiente forma:

1. El trabajo en equipo: se les indica a los niños que tienen que hacer grupos de 3 integrantes para poder

completar la actividad, ya que cada uno tendrá un rol que cumplir y actividades asignadas.

2. Incorporar el aprendizaje práctico: este punto se incorpora en 2 momentos, primero en el armado del elefan-bot, pues el encargado de la actividad les ayuda a los niños a identificar las piezas, pero son ellos quienes tienen que deducir la forma correcta de unir las según la instrucción, y en un segundo momento, durante la solución del laberinto, ya que allí, se les da una explicación del uso de la rosa de los vientos, pero los niños tienen que inferir los movimientos para salir del laberinto.
3. Hacerlo relevante: para cumplir este parámetro se incorporó el tema del cuidado de los animales, sus hábitats y el medio ambiente, aprovechando que el juguete tiene la forma de un animal en peligro de extinción, en la guía se les pide a los niños que hagan un compromiso para proteger a los animales y la naturaleza.
4. Convertir las fallas en algo positivo: se les recalca a los niños que si se equivocan pueden volver a empezar la actividad y que pueden repetir toda la actividad cambiando de rol si lo desean.
5. Tejiendo matemáticas y ciencias: esto se trabaja en la temática de ubicación espacial, en la observación y la comparación de las piezas a la hora del armado.
6. Ser creativo: la creatividad se implementa cuando los niños tienen que hacer el laberinto en físico, ya que tienen libertad de decorarlo y usar diferentes herramientas para hacerlo.

Todos estos parámetros se incorporaron en una guía interactiva escrita en forma de cuento, en donde el personaje principal es el elefante que lleva a los niños por un recorrido de su hábitat, en esta aventura los niños hacen un compromiso de cuidado con los animales y la naturaleza, antes de empezar con el armado del elefan-bot, luego de armar el juguete, los niños ayudan al elefante a resolver el laberinto para encontrar el lago donde puede beber agua, este recorrido hasta el lago es el mismo que realiza el elefan-bot en físico, al final se realiza una actividad de control, donde después de ser presentado un laberinto resuelto, se cuestiona a los niños, para que usando las instrucciones de movimiento trabajadas durante el reto laberinto, describan el camino solución y se pueda comprobar la comprensión del tema.

V. IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS ACTIVIDADES EN EL AULA

Es esta sección se propone un curso para el desarrollo de habilidades STEAM continuado, basado en la arquitectura Hardware-Software denominada Experiencia Chamali para niños de edades comprendidas entre 11 y 13 años. El proyecto consiste en la selección, el diseño y la construcción de una nueva identidad para Eli, el elefant-bot diseñado en secciones anteriores, creando una nueva forma para su cabeza, y de esta manera configurando un nuevo personaje por cada participante

del proyecto STEAM.

Para ello se propone un conjunto de actividades modulares a desarrollarse en actividades independientes, que se explican a continuación:

1. Búsqueda de una nueva identidad para Eli.

Investigación sobre un animal salvaje que despierte el interés de cada estudiante (ejemplo: león, rinoceronte, etc.) atendiendo las siguientes preguntas motivadoras: ¿Dónde habita, países, tipo de ecosistema? ¿De qué se alimenta? ¿Está en peligro de extinción? ¿Es maltratado o explotado por el hombre? ¿Cómo se encuentra su hábitat? ¿El cambio climático le afecta?. Después de responder estas preguntas se les propone a los participantes escribir una reflexión sobre lo que se puede hacer para cuidar estos animales y su hábitat. (hacer un póster o presentación multimedia).

2. Creación de la nueva forma de Eli usando las Matemáticas.

En esta actividad se propone diseñar la cabeza del personaje escogido, dibujando un boceto en papel con ayuda de figuras geométricas, que actuarán como cortes transversales o caras de prismas y pirámides, y teniendo en cuenta un volumen límite para el diseño, ya que la cabeza de Eli debe ser proporcional al cuerpo del kit robótico desarrollado. El diseño debe tener las medidas de cada figura geométrica y podrá realizarse con el uso de herramientas como: compás, regla, escuadra y transportador, tal y como se observa en la figura 6.

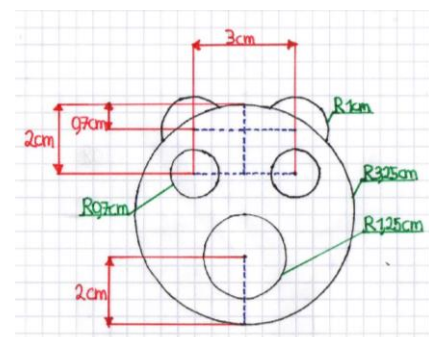


Fig. 6. Boceto hecho a mano por los participantes del curso STEAM

3. Virtualización de la nueva forma de Eli.

Ahora se requiere pasar el diseño de la cabeza a un Software CAD (Computer Aided Design), en el mercado se encuentran muchas alternativas tanto libres como de pago, es este caso se utilizará la herramienta SolidWorks. Allí, con la ayuda del orientador STEAM, se debe replicar el boceto creado por los participantes con las mismas medidas del dibujo realizado en la actividad 2 del programa de diseño robótico, para esto se realizarán los siguientes pasos.

A. Primero, el guía del curso digitaliza el diseño realizado por el niño y lo prepara para su representación 3D, a través de distintos bocetos en planos paralelos, y un listado de operaciones a realizar, ver figura 7.

B. Posteriormente, los niños deberán abrir los croquis en el orden indicado según la lista de operaciones e insertarán líneas, círculos o semicírculos que se adapten a las líneas de construcción del boceto digitalizado, asegurándose que estos elementos queden unidos.

C. Luego, los participantes del curso STEAM se dirigen al menú de operaciones, y para el modelo del oso, escogen la herramienta asociada con la operación a realizar, seleccionan la línea de construcción y la figura correspondiente en el boceto base, junto con los demás parámetros solicitados por la herramienta 3D, que se encontrarán detallados en la lista de operaciones facilitada para la práctica de construcción CAD.

D. Los pasos b y c se repiten hasta tener el modelo 3D correspondiente a media cabeza de la nueva Eli, como se puede apreciar en la figura 7b.

E. Después se construye la base de soporte y ensamble de la cabeza al cuerpo del kit robótico.

F. Para finalizar la nueva cabeza de Eli, es necesario realizar una última operación de simetría, para lograr el resultado mostrado en el objeto final de la figura 7, donde se ha dado color y textura a la cabeza completa.

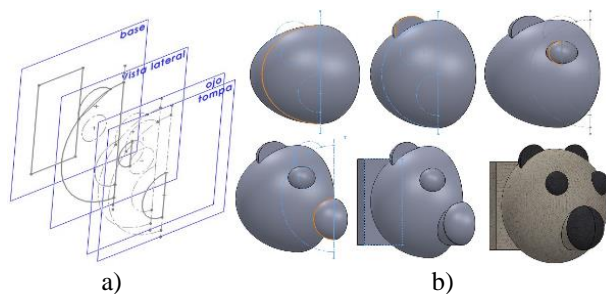


Fig. 7. Virtualización del modelo de cabeza de Eli. a) bocetos de construcción en planos paralelos de formas base. b) Resultados parciales de las operaciones de construcción 3D de la cabeza de Eli.

4. Construcción del nuevo personaje.

Para terminar el curso STEAM de diseño robótico, se propone realizar la impresión 3D de la cabeza diseñada, con la ayuda de una impresora 3D y programas como Ulmaker Cura, AstroPrint o MatterControl entre muchos otros.

VI. EXPERIMENTOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas elaboradas a la plataforma “Experiencia Chamali” se realizaron con dos grupos de niños entre 6 y 11 años, pruebas restringidas en número de grupos y número de niños por grupo, dada la situación anormal en los centros educativos derivada de la pandemia generada por enfermedad por coronavirus (COVID-19). Cada grupo estuvo bajo la supervisión de un facilitador experto en el manejo de la plataforma Hardware-Software, quien estaría atento a solucionar problemas que no pudiesen resolver los niños. El primer grupo lo componía un niño y una niña, ambos de 7 años y el segundo grupo, 2 niños de 6 y 11 años y una niña de 8 años. Al principio de la actividad, los niños de los dos grupos

seleccionaron el rol que iban a tener, anotaron su compromiso de cuidado a los animales y el medio ambiente, que se solicitaba en la guía interactiva. Luego se pasó a realizar el armado del elefan-bot, en los dos grupos se observó que el encargado del armado inicio solo, pero unos minutos después, uno de sus compañeros se interesó en la actividad y decidió ayudarlo, los niños por iniciativa propia se repartieron el trabajo del armado, en este punto se evidenció el trabajo de las habilidades de comunicación, trabajo en equipo y racionamiento.

Después, el facilitador de la experiencia STEM procedió a dar la explicación del uso de la rosa de los vientos, para poder pasar a la actividad del reto laberinto, en los dos grupos, todos los integrantes se involucraron en la solución del laberinto, también se vio una dificultad al principio para entender las instrucciones de movimiento, pero luego de un par de interacciones con la plataforma, los dos grupos pudieron resolver el laberinto sin problemas. Durante esta actividad se pusieron en práctica las habilidades de trabajo en equipo, racionamiento, resolución de problemas, concentración y comunicación.

Finalmente, se suministró a los niños la superficie del laberinto para el elefan-bot con una serie de materiales extra para la decoración libre de esta superficie, al finalizar la decoración se pasó a ubicar el elefan-bot en el inicio del laberinto y a abrir la interfaz “prueba en vivo”, en la cual uno de los integrantes del grupo daba clic al botón “mover al elefan-bot”, para que el elefan-bot realizara un movimiento de los implementados en el módulo “reto laberinto”, en esta tarea se observó el interés de los niños al ver los diferentes movimientos que realizaba el elefan-bot. En estas últimas actividades se trabajó la creatividad y el seguimiento de instrucciones.

TABLA I
TIEMPOS DE DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD STEM

	GRUPO 1	GRUPO 2
ARMADO ELEFAN-BOT	35 MIN.	28 MIN.
DESAFÍO LABERINTO	3 MIN.	2,30 MIN.
DECORACIÓN LABERINTO	8 MIN.	7 MIN.
PRUEBA EN VIVO	3 MIN.	3 MIN.

NOTA: NO SE INCLUYE EL TIEMPO DE LECTURA DE LA GUÍA.

Como se puede observar en la tabla I, en estas dos pruebas se evidenció una diferencia en los tiempos de cada grupo durante el desarrollo de las diferentes fases de la actividad, la mayor diferencia de tiempo se encuentra en la primera fase, donde el segundo grupo tardó 7 minutos menos que el primero en completar el armado del elefan-bot, esto se debió a que el grupo 2 realizó esta actividad en equipo con una comprensión mayor de cada uno de los pasos del ensamblado, mientras que el grupo 1 presentó dificultad para entender algunos pasos del proceso

de armado, si bien se contaba con videos didácticos en 3D, se trataba de un robot de complejidad media, donde era fácil perder información de los videos y recibir distracciones externas. En fase 2, el segundo grupo volvió a ser más ágil que el primero, como consecuencia de poseer conocimiento previo del manejo de la rosa de los vientos, mientras que los integrantes del grupo 1 tardaron más tiempo en comprender cómo desarrollar el laberinto con ayuda de esta guía de navegación. En la fase tres, donde se ambienta el laberinto con diseños artísticos libres por cuenta de los niños, el grupo 2 fue más rápido, gracias a que al captar su atención en esta actividad y al trabajar todos sus integrantes simultáneamente, por ser un grupo más numeroso, lógicamente la actividad se culminó más rápido. Por último, en la fase “prueba en vivo”, los 2 grupos tardaron el mismo tiempo, ya que solo tenían que oprimir el botón de “mover al elefan-bot” cada vez que se quería observar en el ambiente que ellos mismos crearon, la trayectoria de movimiento que el elefan-bot desarrolla para salir de su laberinto.

TABLA II
PREGUNTAS DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LOS NIÑOS.

PREGUNTA	
PREGUNTA 1	DE 1 A 5 CUANTO LES GUSTO ELI
PREGUNTA 2	CREES QUE LOS AMIGOS DE ELI ESTÁN EN PELIGRO
PREGUNTA 3	¿TE GUSTO EL TAMAÑO DE ELI?
PREGUNTA 4	¿TE GUSTO LA FORMA QUE TIENE?
PREGUNTA 5	¿CREES QUE ELI PUEDE SER TU AMIGA?
PREGUNTA 6	¿CUÁNTAS ESTRELLAS CREES QUE MERECE ESTA ACTIVIDAD?

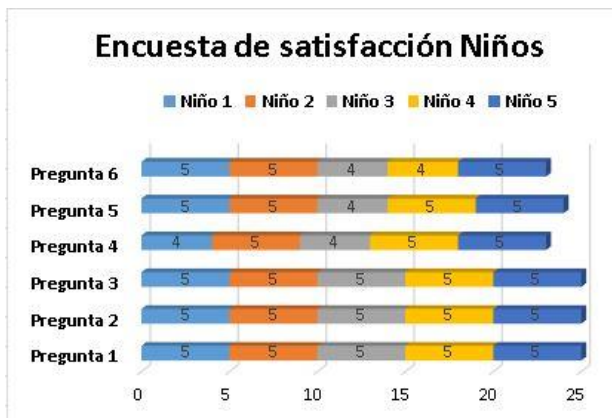


Fig. 8. Resultados de la encuesta realizada a los niños.

Al finalizar la actividad, se llevó a cabo una encuesta a los niños, cuyas preguntas se pueden encontrar en la tabla II, y cuyos resultados se pueden apreciar en la figura 8, donde se les pregunta acerca de su experiencia con la plataforma, el mensaje de cuidado al medio ambiente que transmitía, y la aceptación del personaje protagonista, “Eli”.

Así mismo, se llevó a cabo una encuesta a los respectivos padres, ver tabla III, con los resultados que se puede apreciar en

la figura 9, donde se les pregunta sobre la facilidad de interacción que observaron, de parte de sus hijos con la plataforma, su percepción acerca del interés que despertó la actividad STEM y el impacto que esta generó en ellos.

Finalmente, indagando con los padres cuáles habilidades STEM consideraban que sus hijos reforzaron durante la actividad, los padres comentaron que se trabajaron todas las habilidades (trabajo en equipo, racionamiento, resolución de problemas, concentración y comunicación), pero determinaron que las más destacadas durante todo el proceso fueron: trabajo en equipo, comunicación y resolución de problemas.

TABLA III
PREGUNTAS DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DE LOS PADRES.

PREGUNTA	
PREGUNTA 1	¿CONSIDERA QUE LA ACTIVIDAD FUE ENTRETENIDA PARA LOS NIÑOS?
PREGUNTA 2	DE 1 A 5 CUANTO LES GUSTO EL DISEÑO DEL JUGUETE.
PREGUNTA 3	DE 1 A 5 QUE TAN FÁCIL CREE QUE FUE LA ACTIVIDAD DE ARMAR EL JUGUETE
PREGUNTA 4	DE 1 A 5 QUE TAN FÁCIL FUE EL MANEJO DE LA PLATAFORMA
PREGUNTA 5	CALIFIQUE DE 1 A 5 LA COMPRESIÓN DE LA GUÍA
PREGUNTA 6	CONSIDERA QUE ACTIVIDADES STEM COMO ESTA SON IMPORTANTES EN LA EDUCACIÓN ACTUAL.



Fig. 9. Resultados de la encuesta realizada a los padres.

VII. CONCLUSIONES

Como resultado del presente trabajo, se desarrolló un kit robótico de bajo costo inspirado en la sabana africana consistente en un robot tipo juguete interactivo denominado elefan-bot, junto con una plataforma de software que permite programar los movimientos del elefan-bot en un lenguaje de programación básico, y así poder ambientar una actividad STEM, donde niños entre 7 y 11 años, interactúan con hardware y software en el contexto del cuidado de la naturaleza para aprender sobre navegación en el espacio con ayuda de la rosa de los vientos.

El hardware diseñado fue basado en la estructura corporal de un elefante africano con una serie de restricciones dimensionales, debido al chasis base seleccionado y a la fácil manipulación de cada una de las piezas por parte de infantes de edades entre 7 y 11 años, como se comprobó a través de las actividades realizadas con los dos grupos de niños, donde se completó el ensamble funcional del elefan-bot, chasis base, elementos de transmisión de movimiento y tarjeta controladora, a través de videos, en tiempos razonables inferiores a 35 minutos.

El otro componente del kit desarrollado consiste en la plataforma "Experiencia Chamali", compuesta por 3 interfaces interactivas: el armado del elefan-bot; la programación de trayectorias de Eli para su liberación de un laberinto con ayuda de la rosa de los vientos; y el envío de datos hacia la tarjeta controladora, para finalmente apreciar los movimientos del elefan-bot. Se puede concluir que el software tiene un diseño intuitivo, de fácil entendimiento y manipulación para los niños, debido a que no se presentaron inconvenientes durante la interacción de los grupos con la plataforma.

Así mismo, es de resaltar que la etapa que más generó expectativa en los participantes de la actividad STEM

"Experiencia Chamali", fue la "prueba en vivo", donde los niños pudieron observar el movimiento real del robot Eli desplazándose sobre un ambiente creado de forma artística por ellos mismos.

Para el desarrollo de la actividad STEM se realizó una guía interactiva que llevó paso a paso a los niños en el orden correcto en su interacción con el hardware y el software que componen el kit de robótica desarrollado. Se observó que para un mejor desempeño de los niños en la actividad STEM, se requiere de dos sesiones de trabajo, para que los ellos no pierdan el interés y la concentración. Durante el desarrollo de la actividad STEM se evidenció el trabajo de diferentes habilidades, pero las más destacadas fueron el trabajo en equipo, la resolución de problemas y la comunicación.

Finalmente, se proyecta como continuación de la actividad STEAM, el desarrollo de un curso de diseño robótico. El objetivo de este proyecto conformado por un conjunto de actividades modulares, es la creación de una nueva personalidad para el elefan-bot, escogiendo un nuevo personaje que materializarán con la ayuda de una estrategia de modelado y diseño 3D, que culmina con una nueva forma de cabeza para el cuerpo del robot. Este proceso pedagógico se inspira en el trabajo y la transferencia del aprendizaje desarrollado por los autores del artículo mientras diseñaban y construían la plataforma experiencia Chamali.

Como extensión del trabajo presentado en este artículo, se propone a futuro, desarrollar un programa para el aprendizaje de la robótica y el diseño CAD, basado en el kit robótico denominado elefan-bot. El objetivo es afianzar de manera profunda las habilidades STEAM, bajo la premisa "aprender haciendo", y abordando una tarea de diseño desde su origen hasta su materialización, dado que en la actividad de ensamble e interacción con la plataforma robótica hardware-software,

solo es posible despertar interés de los niños hacia la robótica y poner en práctica algunas habilidades STEM.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible realizarlo gracias a los recursos logísticos del programa de Ingeniería en Automatización de la universidad de La Salle en Bogotá Colombia. Un especial agradecimiento a la VRIT (Vicerrectoría de Investigación y Transferencia) por proporcionar los recursos necesarios para esta publicación.

REFERENCES

- [1] R. Noonan, "STEM Jobs: 2017 Update," *Off. Chief Econ. Econ. Stat. Adm. U.S. Dep. Commer.*, vol. #02, no. 17, 2017.
- [2] M. Caprile, R. Palmén, P. Sanz, and G. Dente, "Encouraging STEM Studies. labour market situation and comparison of practices targeted at young people in different member states," *Eur. Parliam.*, vol. 53, no. 9, 2015.
- [3] OECD, *PISA 2018 Results (Volume I): What Students Know and Can Do*, vol. III. 2019.
- [4] A. Rodríguez Fernández, "Uso de la robótica y la tecnología en la rehabilitación de la marcha en niños con parálisis cerebral infantil," 2019, Accessed: Apr. 27, 2021. [Online]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38781>.
- [5] Ú. Costa and S. Díez, "Robótica para la rehabilitación," pp. 16–20, 2018.
- [6] BBC News Mundo, "Perseverance en Marte: cómo es el nuevo robot explorador de la NASA en el planeta rojo," *BBC News Mundo*, 2021. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56102529>.
- [7] Influencers, "Diseñan un robot capaz de recolectar manzanas con la eficacia de decenas de humanos.," 2017. <https://www.clubinfluencers.com/disenan-robot-capaz-recolectar-manzanas-la-eficacia-decenas-humanos/>.
- [8] A. Perez and J. P. Villegas, "Sistema Robótico de Navegación Autónoma, Para la Recolección y Clasificación de Granos De Café Utilizando Visión Artificial (ITMRobotCoffee)," no. November, 2011.
- [9] A. Steedwebzell, "El momento de los robots de soldadura," *automotivemanufacturingsolutions*, 2017. <https://www.automotivemanufacturingsolutions.com/el-momento-de-los-robots-de-soldadura/35883.article>.
- [10] M. Ben-Ari and F. Mondada, "Elements of Robotics," *Elem. Robot.*, pp. 1–308, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-62533-1.
- [11] F. Tuluri, "Using robotics educational module as an interactive STEM learning platform," 2015, doi: 10.1109/ISECon.2015.7119916.
- [12] P. Plaza *et al.*, "Scratch as Driver to Foster Interests for STEM and Educational Robotics," *Rev. Iberoam. Tecnol. del Aprendiz.*, vol. 14, no. 4, 2019, doi: 10.1109/RITA.2019.2950130.
- [13] Lifelong Kindergarten Group, "Scratch," 2012. <https://scratch.mit.edu/projects/editor/?tutorial=getStarted>.
- [14] Lego, "Lego." <https://www.lego.com/en-gb/product/lego-mindstorms-ev3-31313>.
- [15] MakeBlocks, "MakeBlocks." <https://www.makeblock.com/mbot-developer.anki>, "Anki." <https://developer.anki.com/>.
- [16] R. Rogosic *et al.*, "Modular Science Kit as a support platform for STEM learning in primary and secondary school," *J. Chem. Educ.*, vol. 98, no. 2, 2021, doi: 10.1021/acs.jchemed.0c01115.
- [17] P. Plaza, "From 4 Wheeled Remote Robot to Serious Collaborative Remote Laboratory," *Int. Robot. Autom. J.*, vol. 3, no. 4, 2017, doi: 10.15406/iratj.2017.03.00065.
- [18] H. Senaratne, P. Gunatilaka, U. Gunaratna, Y. Vithana, C. De Silva, and P. Fernando, "SiFEB-A Simple, Interactive and Extensible Robot Playmate for Kids," 2015, doi: 10.1109/ICAET.2014.32.

- [20] MakeBlocks, "mCore Main Control Boards," 2016. <https://www.makeblock.com/project/mcore>.
- [21] J. L. Martín, P. Martínez, G. M. Fernández, and C. Bravo, "Analizando el desarrollo de las habilidades STEM a través de un proyecto ABP con arduino y su relación con el rendimiento académico," *Semin. Model. innovadores en las aulas aprender en la Soc. del Conoc. Esc. y Tecnol.*, 2016.
- [22] J. L. González F, "La efectividad de un programa LOGO interactivo para desarrollar habilidades de programación en los niños," *La Ef. un programa LOGO Interact. para Desarro. habilidades Program. en los niños*, vol. 15, no. 1, 2016, doi: 10.15517/revedu.v15i1.25728.
- [23] A. García González, "PanamaHitek," 2017. http://panamahitek.com/libreria-panamahitek_arduino/.
- [24] I. Leite *et al.*, "Emotional Storytelling in the Classroom: Individual versus Group Interaction between Children and Robots," in *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2015, vol. 2015-March, pp. 75–82, doi: 10.1145/2696454.2696481.
- [25] K. Nerstheimer, K. Bielefeld, D. Scribner, and T. Rink, *La gran Guía de STEM*. Boxlight, 2017.



Feijoo Almonacid Adriana es Ingeniera en Automatización de la Universidad de La Salle - Bogotá (2021). Desarrolladora independiente de kits robóticos y plataformas interactivas enfocados a la educación STEAM de niños y adolescentes, adicionalmente programadora de aplicativos personalizados con bases de datos.



Cesar Hernan Rodriguez Garavito es profesor asociado de la Universidad La Salle - Bogotá. Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital F.J.C. (2003), Magíster en Ingeniería - Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia (2007), y Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid (2017). Ha impartido cursos de sistemas digitales,

sistemas de control, inteligencia artificial, aprendizaje automático y visión artificial. Sus actividades de investigación incluyen robótica autónoma, visión artificial y planificación de rutas para robots industriales.