

Prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para niños en condición de discapacidad visual

Deiber Andrés Aldana Pulido¹, Pedro Alberto Arias Quintero¹, Fredy Angarita Reina¹

{deiber.aldana; pedro.ariasq; fredy.angarita} @campusucc.edu.co

¹ Universidad Cooperativa de Colombia, Bucaramanga, Santander, Colombia

DOI: 10.17013/risti.48.5-22

Resumen: La investigación tuvo como objetivo desarrollar el prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para la formación de Tecnologías emergentes para niños con discapacidad visual, con un enfoque en la algoritmia. En el proyecto participaron niños con limitaciones visuales y sus padres de familia, pertenecientes a la fundación Ojos del Alma de la ciudad de Neiva Colombia. Se obtuvo el desarrollo y aplicación del prototipo BlindTI para la enseñanza del braille y conceptos básicos de algoritmia aplicados en un tablero didáctico para la representación de algoritmos. Se evidencia que la falta de herramientas tecnológicas inclusivas potencia el crecimiento de brechas de acceso a educación a niños con limitaciones visuales, y que, con la aplicación de la propuesta presentada en este artículo, es posible contribuir al cierre de esta brecha e implementar metodologías de enseñanza y aprendizaje para niños con discapacidad visual con profundización en competencias del siglo XXI.

Palabras-clave: algoritmia; braille; discapacidad visual; educación inclusiva; tecnologías emergentes.

BlindTI, electronic prototype as a learning tool for visually impaired children

Abstract: The objective of the research was to develop the BlindTI electronic prototype as a learning tool for the training of emerging Technologies for children with visual disabilities, with a focus on algorithmics. Children with visual limitations and their parents who belong to the Ojos del Alma foundation in the city of Neiva Colombia, participated in the project. The BlindTI prototype was developed and applied to teach the braille system as well as basic algorithmic concepts in a didactic board for the representation of algorithms. It is evident that the lack of inclusive technological tools enhances the growth of gaps in access to education for children with visual limitations, and that, with the application of the proposal presented in this article, it is possible to contribute to closing this gap and implement teaching and learning methodologies for visually impaired children with a deepening of 21st century skills.

Keywords: algorithmics; braille; visual disability; inclusive education; emerging technologies.

1. Introducción

Según la Fundación Saldarriaga Concha sobre la educación inclusiva en Colombia, el 56,8% de las personas con discapacidad que se encuentran entre los 5 y los 20 años están vinculados a procesos de formación básica; sin embargo, solo el 5,4% de estas personas logran terminar el bachillerato (Hurtado Lozano & Agudelo Martínez, 2014) y de estos, muy pocos logran formarse en programas técnicos en vista de que las instituciones formativas en estas áreas no están preparadas para atender a estas personas con necesidades especiales, cifras que preocupan ya que estas personas con limitaciones como la visual, pierden independencia, tienen problemas para obtener un trabajo y conseguir su propio sustento, esto genera grandes costos a las familias, a la comunidad y a los servicios de salud, lo que conlleva a la pobreza, a la exclusión social y a la muerte prematura (Molina Béjar, 2008).

En Colombia, recientemente se ha incrementado la vinculación de personas con discapacidad al sistema educativo (Fernández Morales & Duarte, 2016) (Padilla Muñoz, 2011), especialmente en los niveles de educación preescolar, básica y media (Ossa Cornejo, 2013); sin embargo, pese a que se han hecho esfuerzos por incorporar a todas las personas desde la educación inclusiva (Romero Hernández & Urrego González, 2016), las brechas de acceso a educación de calidad para personas con discapacidad visual aún son muy grandes y prevalece la desigualdad para este sector poblacional, cabe resaltar que muchas de las personas con discapacidad visual son jóvenes y aunque tengan edad para laborar, su tasa de empleabilidad es considerablemente más baja que las personas con otro tipo de discapacidad o las que no tienen discapacidad (Cañón Cárdenas, 2011), esto debido a que es muy baja la oferta académica en programas técnicos y/o tecnológicos para su formación.

En el departamento del Huila, específicamente en la ciudad de Neiva, la mayoría de las instituciones educativas públicas y privadas no están en capacidad de brindar formación inclusiva a niños en condición de discapacidad visual, y las pocas fundaciones o instituciones que si se enfocan en la formación de este grupo poblacional no cuentan con dispositivos tecnológicos que faciliten esta labor y sus procesos educativos se centran en herramientas convencionales como regleta y punzón, así mismo, el alcance formativo no trasciende lo tradicional, es decir, no tienen una profundización en programas técnicos que mejoren la capacidad de inclusión social y laboral de las personas con discapacidad visual.

De acuerdo con el Registro para la Localización y Caracterización de personas con Discapacidad (RLCPD) y el Sistema Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO, 2020), a corte de marzo de 2020, en Neiva habían 4.215 personas con discapacidad visual, el porcentaje de analfabetismo de estas personas es del 27,8 % y solo el 10,46% asisten a un centro educativo; de este porcentaje, el 17% dicen que la educación recibida no responde a sus necesidades y el 27% que los docentes no están preparados para afrontar sus procesos de enseñanza de una manera óptima; de las personas que no reciben formación académica, alrededor del 53% aún están en edad de estudiar, pero

no lo hacen por su discapacidad y la falta de recursos económicos. Estas cifras revelan que sólo una pequeña parte de las personas que tienen discapacidad visual en la ciudad de Neiva logran acceder al sistema educativo, y de estas, una parte considerable sienten que las metodologías de enseñanza y que la preparación de los docentes no responde a sus necesidades.

Las Tecnologías de la Información (TI) ayudan a minimizar barreras que limitan el aprendizaje (Booth & Ainscow, 2000), habilitan nuevas estrategias de enseñar y nuevos modos de aprender (Zappalá et al., 2011), además, el pensamiento computacional y la programación son una forma de ampliar las oportunidades para los jóvenes (Manrique-Losada et al., 2020), es por esta razón que el objetivo del proyecto es implementar un prototipo electrónico como herramienta de aprendizaje para la formación de Tecnologías emergentes en niños en condición de discapacidad visual.

Comercialmente se distribuyen dispositivos electrónicos que permiten a personas en situación de discapacidad visual realizar lectura de contenidos digitales traducidos al braille, como es el caso del BraiBook (2019), el cual es un dispositivo portable que tiene una celda braille de 8 puntos basada en el principio de materiales piezoeléctricos y un sistema de audio para mayor facilidad en la lectura de contenidos digitales, sin embargo, este es unipersonal y no permite la interacción entre docentes y estudiantes como herramienta de enseñanza en ambientes de formación, además no hay metodologías documentadas que usen este tipo de dispositivos para la formación de personas con discapacidad visual.

Las Tecnologías emergentes como la robótica y la programación se utilizan para incentivar a jóvenes en áreas tecnológicas (Marques et al., 2017), sin embargo, la mayoría de lenguajes de programación son muy gráficos y con poca accesibilidad, lo que hace que sean no aptos para personas con discapacidad visual (Riazy et al., 2020). Actualmente, las herramientas o recursos para la formación de niños con discapacidad visual en áreas de ciencia y tecnología son muy limitadas; por un lado, se encuentran las herramientas que han sido adaptadas para eliminar estas barreras, como el uso de tableros para trabajar la robótica educativa con alumnado con discapacidad visual, los cuales usan celdas bien delimitadas con marcas en relieve con la finalidad de introducir el pensamiento computacional y la robótica educativa en el alumnado con pérdida total de visión o baja visión (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado, 2021), así mismo, se conoce la experiencia del *“Taller de robótica para alumnos con discapacidad visual de Educación Infantil y Primaria”* desarrollado por López et al. (2018), el cual consistió en la adaptación de materiales didácticos comerciales para niños videntes como el robot abeja Bee-Bot y Codi-oruga. Los ajustes consistieron en la elaboración de tableros con adaptaciones táctiles para que los niños consiguieran comprender el desplazamiento del robot abeja y el troquelado en relieve en las piezas de Codi-oruga. Siguiendo una metodología didáctica, se consiguió que los niños con ceguera puedan participar de forma autónoma en el desarrollo de actividades relacionadas con la robótica, sin embargo, para lograr esto no se usaron dispositivos electrónicos especializados y se requiere conocimientos previos en lectura braille.

Por otro lado, se encuentran los prototipos de robots desarrollados para el aprendizaje de personas con discapacidad visual, los cuales deben utilizar interfaces de programación

de fácil acceso, como es el caso del uso de tarjetas RFID identificadas con instrucciones de programación básica en braille para la programación del robot Escornabot Villanueva (2019), el cual fue desarrollado en la plataforma Arduino y cuenta con un tablero donde varias tarjetas se ubican para crear un recorrido entre un punto inicial y un punto final y es el niño invidente quien debe reconocer este recorrido mediante el tacto y diseñar el algoritmo para que el robot realice los movimientos del recorrido diseñado, sin embargo, requiere conocimientos previos de lectura braille y habilidades visoespaciales; por otra parte, el robot Doonie se programa desde un entorno de desarrollo integrado (IDE) en un computador con interfaz de texto y lector de pantalla donde el estudiante invidente realiza la programación en un lenguaje basado en Logo que traduce los comandos al framework del robot, estos se envían vía Wifi al robot equipado con una Raspberry Pi 2 a la cual se conecta un parlante y una cámara para el reconocimiento del entorno, además de un Arduino Mega para el control de los motores de movimiento, motores de vibración, un zumbador y la lectura de sensores de final de carrera y de ultrasonido para la detección de obstáculos (Marques et al., 2017).

El presente proyecto hace una contribución al desarrollo y fomento de herramientas tecnológicas que facilitan la implementación de metodologías didácticas para la enseñanza del sistema de lectoescritura Braille, además de la formación en habilidades técnicas en la aplicación de tecnologías emergentes como la robótica y la algoritmia en niños con discapacidad visual.

2. Metodología

El proyecto se fundamenta en una metodología de desarrollo experimental que tiene como objetivo general implementar un prototipo electrónico como herramienta de aprendizaje para la formación de Tecnologías emergentes para niños en situación de discapacidad visual.

Para el caso del análisis sistemático de la literatura y la consulta de referentes conceptuales, se buscaron fuentes bibliográficas en inglés y español en la biblioteca digital de la Universidad Cooperativa de Colombia, la cual tiene una amplia gama de bases de datos, sin embargo, entre las que ofrecen material relacionado con el tema de la investigación se destacan Dialnet, e-libro, ProQuest, Science Direct, IEEE Computer Society, Scopus, entre otras. El método de búsqueda seleccionado fue filtrar resultados utilizando palabras claves como “discapacidad visual, dispositivo braille, educación inclusiva, tecnologías de asistencia, tecnologías emergentes, robótica educativa, entre otras”, publicados en los últimos 10 años. De igual manera se aplicaron estos criterios de búsqueda en el servicio en línea de información científica Web Of Science (WOS) y se consultaron páginas web de organizaciones públicas y privadas que trabajan en temas de educación e inclusión, estudios realizados de pregrado y postgrado en el tema de la investigación y en general cualquier tipo de información confiable que se encuentra en la web.

Para la recolección de información primaria se utilizaron dos instrumentos de levantamiento de datos; el primero de estos fue un cuestionario dirigido a los padres de familia y el segundo una entrevista semiestructurada a los niños con discapacidad visual. La aplicación de estos instrumentos permitió conocer la perspectiva de los involucrados

frente al sistema educativo y los limitantes y requerimientos de acceso de esta población a la educación.

Para alcanzar los objetivos del proyecto se establecieron cuatro fases, como se muestra en la figura 1.

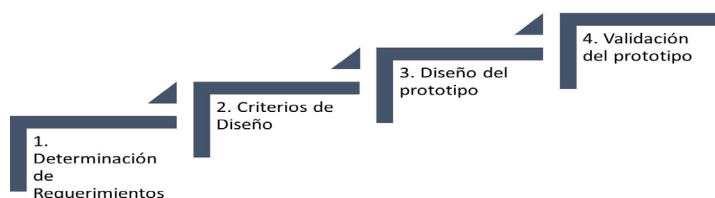


Figura 1 – Fases del proyecto. Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

3.1. Determinación de requerimientos

Para determinar los requerimientos se trabajó en colaboración con la fundación Ojos del Alma de la ciudad de Neiva, donde se consiguió la participación voluntaria de un grupo de 12 niños con limitaciones visuales y sus padres de familia, a quienes se les aplicó una entrevista semiestructurada y un cuestionario respectivamente, con el objetivo de obtener la visión de los involucrados sobre el desarrollo educativo de los niños en condición de discapacidad visual para determinar las condiciones sociales, económicas y tecnológicas que impiden que los estudiantes con discapacidad visual accedan a procesos formativos en tecnologías emergentes; vale la pena resaltar que se contó con el consentimiento informado de la participación voluntaria de los padres de familia y la autorización para la participación y el uso de imagen de los menores de edad con fines investigativos.

Entre los hallazgos más representativos se logró determinar que la percepción de los padres de familia sobre las Instituciones Educativas involucradas en la formación de sus hijos tiene una aceptación del 58% en inclusión, sin embargo, no tienen acceso a herramientas tecnológicas fuera de las aulas; el 67% refieren que no hay apoyo económico suficiente por parte del gobierno para la formación de sus hijos y que los docentes no están capacitados para orientar procesos formativos con sistemas inclusivos como el braille, este mismo porcentaje considera que es muy importante que el niño tenga herramientas de apoyo para facilitar la interacción entre el docente y el alumno, sin embargo, las instituciones educativas no brindan este tipo de material para trabajo fuera de las aulas; el 100% de los padres de familia no saben leer ni comunicarse en braille, algunas de las causas son la falta de tiempo, recursos económicos y herramientas de aprendizaje para su capacitación.

En cuanto a las entrevistas aplicadas a los niños con limitaciones visuales, se encontró que el 100% de los participantes tienen discapacidad visual parcial progresiva. No saben leer ni escribir en braille porque no han recibido formación en este sistema de lectoescritura, tampoco han utilizado dispositivos electrónicos para aprenderlo debido a que las instituciones educativas no cuentan con estas herramientas porque son de costos elevados, sin embargo, todos manifiestan interés en aprender a leer en Braille ya que lo consideran muy útil para la comunicación de una persona invidente.

Según la información recolectada mediante los cuestionarios y entrevistas, se establecieron los requerimientos para el desarrollo del sistema que brinde una solución al problema identificado, para esto se hizo una adaptación de la Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830 (IEEE, 1999), donde se agruparon los requerimientos en las siguientes categorías: funcionales, no funcionales, de hardware y de software, como se muestra en la tabla 1.

Funcionales	No funcionales	De hardware	De Software
RF-01: Envío de texto a braille	RNF-01: Sistema Operativo	RH-01: Tamaño reducido	RS-01: Formación por módulos
RF-02: Envío de algoritmos a braille	RNF-02: Entorno de desarrollo y explotación	RH-02: Forma Ergonómica	RS-02: Comunicación con celda braille
RF-03: Representación de algoritmos	RNF-03: Comunicación del sistema	RH-03: Interfaz táctil	RS-03: Metodología de enseñanza
	RNF-04: Interfaz de usuario	RH-04: Tarjetas programables	
		RH-05: Sistema de Visualización	

Tabla 1 – Requerimientos del sistema

3.2. Criterios de diseño

Teniendo en cuenta el análisis de la información recolectada y los requerimientos funcionales, no funcionales, de hardware y de software ilustrados en la tabla 1, se establecieron los criterios de diseño a tener en cuenta para el desarrollo del prototipo electrónico como herramienta de aprendizaje, esta información se muestra en la tabla 2.

Tipo	Criterio	Descripción
<i>Funcionales</i>	Envío de texto a braille	Debe permitir el envío de información representada en texto a una celda braille táctil.
	Envío de algoritmos a braille	Debe permitir el envío de algoritmos a una celda braille táctil.
	Representación de algoritmos	Se implementará el módulo de algoritmia a través de un tablero didáctico para la representación de instrucciones que permiten generar movimientos.

Tipo	Criterio	Descripción
<i>No Funcionales</i>	Sistema Operativo	El software debe ser compatible con el Sistema Operativo Raspberry Pi OS basado en Linux.
	Entorno de desarrollo y explotación	El sistema deberá desarrollarse en el IDE Qt Creator con el lenguaje de programación C++ y deberá funcionar en un entorno con 1 procesador Broadcom BCM2837Bo, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz, 1GB LPDDR2 SDRAM
	Comunicación del sistema	El sistema debe permitir la comunicación entre la tarjeta Raspberry Pi y las celdas braille por los pines GPIO.
	Interfaz de usuario	La interfaz de usuario debe ser de fácil acceso mediante una pantalla LCD táctil.
<i>Hardware</i>	Estética y forma	El prototipo debe ser de tamaño reducido y fácil de transportar. La superficie debe ser agradable al tacto y asemejarse a un miniordenador.
	Componentes	Debe tener una pantalla táctil, una celda Braille táctil, una tarjeta programable y demás tarjetas para el control de la celda braille.
	Visualización	Se realizará a través de la pantalla táctil y además debe incorporar una celda Braille visual para que el docente haga un seguimiento de lo que siente el niño.
<i>Software</i>	Formación modular	El software debe permitir la formación por niveles o modular para la enseñanza de lectura en Braille y Algoritmia.
	Control y comunicación	Desde el software se debe controlar la celda braille y el envío de información a esta. Debe permitir el control de la velocidad
	Metodología	Debe estar basado en una metodología apropiada de enseñanza para niños con discapacidad visual.

Tabla 2 – Criterios de diseño del prototipo

3.3. Diseño del prototipo

3.3.1. Diseño de hardware

En la fase de diseño se determinó usar la tarjeta programable Raspberry Pi 3 B+, la cual funciona como un miniordenador y permite tanto el diseño y control del software, como el control de periféricos por medio de pines GPIO (General Purpose Input/Output). En la figura 2 se muestra esta tarjeta, que cuenta con 1 procesador Broadcom BCM2837Bo, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz, 1GB LPDDR2 SDRAM, 40 Pines GPIO, salida para pantalla HDMI, 4 puertos USB, 1 puerto micro SD para cargar el sistema operativo y 1 puerto de alimentación a 5V/2.5A (Raspberry Pi, 2021), especificaciones suficientes para el desarrollo del proyecto.

La solución propuesta integra componentes de hardware y software. En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques del prototipo BlindTI, conformado por la fuente de alimentación de 5V - 2,5A, la Raspberry Pi 3 B+, el software incorporado en esta tarjeta, la etapa de control de potencia, convertidor DC/DC de 5V a 200V y periféricos de entrada y/o salida como una pantalla LCD táctil de 7 pulgadas, teclado, ratón y las celdas Braille de 8 puntos en su versión táctil y visual. El tablero didáctico de aplicación del módulo

de algoritmia es independiente y no tiene comunicación con el prototipo electrónico, tampoco requiere una alimentación para su funcionamiento, ya que su principio de accionamiento es mecánico.



Figura 2 – Raspberry Pi B+. Fuente: (Raspberry Pi, 2021)

La celda braille táctil usada es la referencia P16 del fabricante Metec AG (2021), mostrada en la figura 4, la cual tiene 8 puntos, su principio de funcionamiento es el uso de materiales piezoeléctricos que al estar en reposo tienen forma horizontal, mientras que al ser sometidos a altas tensiones sufren una deformación hacia arriba que hace que el material empuje el punto y se genere relieve para conformar caracteres braille, en este caso se usó un convertidor DC/DC de 5V a 200V para alimentar la etapa de potencia, encargada de conmutar el accionamiento de cada punto de la celda; en la figura 5 se muestra la tipología de conmutación usada.

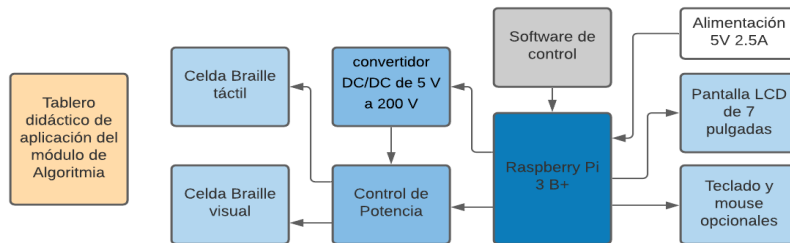


Figura 3 – Diagrama de bloques del prototipo. Fuente: elaboración propia

Mediante esta celda se logró la generación de caracteres braille en relieve de tamaño estandarizado, controlado por software desde la Raspberry Pi 3 B+. La celda braille visual se diseñó con leds para que el docente pudiese realizar un seguimiento de la información enviada desde el software a la interfaz táctil.



Figura 4 – Celda braille táctil de 8 puntos. Fuente: (Metec AG, 2021)

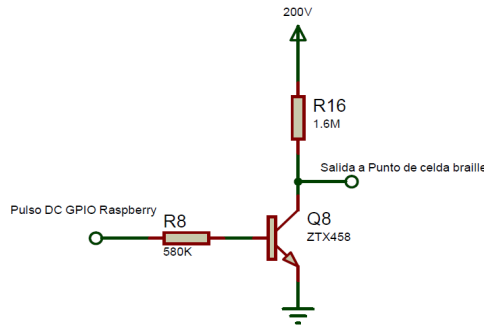


Figura 5 – Esquemático de conmutación. Fuente: elaboración propia

3.3.2. Diseño de software

Para el desarrollo del software se usó el sistema operativo Raspberry Pi OS instalado en la tarjeta Raspberry Pi 3 B+, el cual es una distribución de GNU/Linux basado en Debian y el IDE Qt Creator programado en C++ con interfaces gráficas. El software se encarga de comunicar el panel de control operado desde la pantalla LCD por el docente, y las celdas braille táctil y visual con las que interactúa el alumno con limitaciones visuales, éste incorpora los módulos descritos en la tabla 3 y cuyas interfaces gráficas se muestran en la figura 7.

Modulo	Descripción
<i>Ventana principal</i>	Permite el acceso a los diferentes módulos de aprendizaje, el envío de texto a la celda braille y el control de la velocidad con que cambia la celda braille de un carácter a otro. Esta interfaz se muestra en la figura 7 a).
<i>Lectura</i>	Diseñado con adaptaciones de la metodología propuesta en la cartilla “Puntos Luminosos” del INCI (1994) para la enseñanza del braille por niveles. Para la conformación de caracteres en Braille de 8 puntos se tuvo en cuenta el documento técnico V1 (Comisión Braille Española & Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE), 2014) de la comisión Braille Española el cual contiene la Tabla ANSI española para braille computarizado. En la figura 7 b) se muestra la ventana correspondiente al nivel 1, la cual incorpora las letras a, b, c, d, g y l, así como la creación de sílabas y palabras conformadas con dichas letras.
<i>Caracteres</i>	Permite visualizar y enviar a la celda braille el alfabeto en minúsculas, mayúsculas, números y caracteres especiales. En la figura 7 c) se muestra la interfaz que permite el envío del alfabeto en minúscula.

Modulo	Descripción
Algoritmia	Diseñado para el aprendizaje de conceptos básicos de algoritmia, específicamente instrucciones para la creación de algoritmos que permiten generar movimientos en un espacio determinado. Para la representación de estas instrucciones en la celda braille se usaron combinaciones de puntos no utilizadas para la lectura, mostradas en la figura 6, las cuales representan acciones para avanzar, retroceder, girar a la derecha y girar a la izquierda. En la figura 7 d), e) y f) se muestran las ventanas que permiten enviar las cuatro instrucciones básicas de la figura 6, el envío de algoritmos prediseñados y la creación de algoritmos inéditos respectivamente.

Tabla 3 – Módulos del software

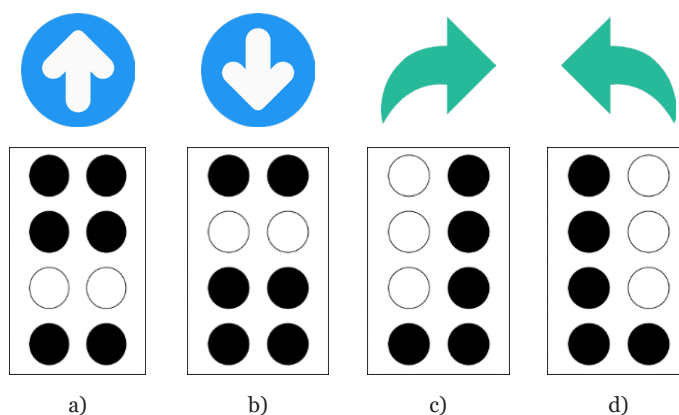
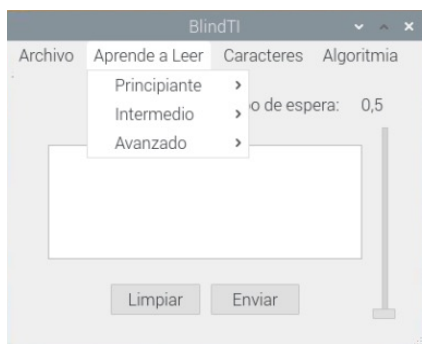


Figura 6 – Combinaciones de puntos para las instrucciones de algoritmia. a) avanzar 1 paso. b) retroceder 1 paso. c) girar a la derecha. d) girar a la izquierda. Fuente: elaboración propia.



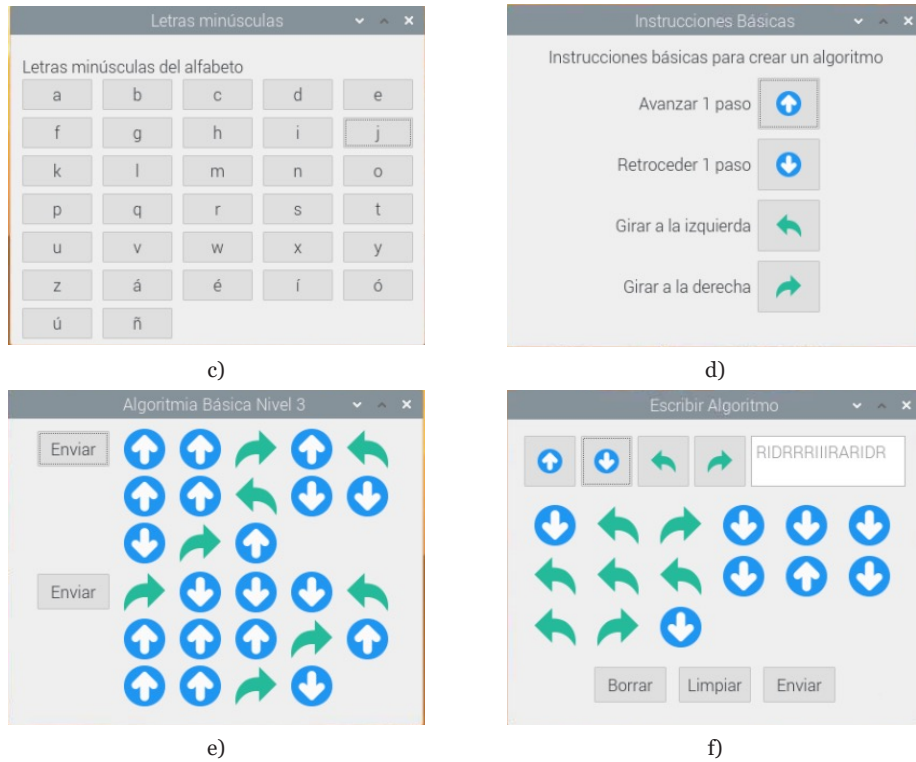


Figura 7 – Ventanas del software. a) ventana principal. b) nivel 1 módulo de lectura. c) alfabeto en minúscula d) instrucciones básicas de algoritmia. e) nivel 3 de algoritmia. f) Escritura de algoritmos. Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Modelado 3D y prototipado



Figura 8 – Prototipo electrónico BlindTI. Fuente: elaboración propia.

Para el diseño, modelado CAD, y prototipado de la carcasa y el tablero didáctico se contó con el apoyo de la Red Tecnoparque del SENA de la ciudad de Neiva. Una vez ensamblados todos los componentes, se obtuvo los prototipos de desarrollo tecnológicos TRL6 según la clasificación del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia (2020) del prototipo mostrado en la figura 8 y el tablero didáctico de la figura 9, con los cuales se realizaron pruebas de validación a los participantes del proyecto.



Figura 9 – Tablero didáctico de aplicación del módulo de algoritmia.
Fuente: elaboración propia.

3.4. Validación del prototipo

En la fase de validación se contó con la asesoría de la tiflóloga Karen Lorena Lesmes, docente de la fundación Ojos del Alma de la ciudad de Neiva, quien realizó pruebas del funcionamiento del prototipo y manifestó un tacto agradable y una buena metodología de enseñanza del braille y el módulo de algoritmia, así mismo resaltó el potencial que tiene la herramienta para usarse en los procesos formativos con sus estudiantes. Posteriormente se realizó el proceso de capacitación en lectura braille y algoritmia a un total de 5 niños con limitaciones visuales, de los cuales 3 padecen baja visión y 2 son invidentes; aunque la muestra de validación fue pequeña, tiene una semejanza al comportamiento de distribución normal, siendo evidente la homogeneidad en los resultados obtenidos. Finalmente se aplicó un instrumento de validación y reconocimiento de aprendizajes conformado por dos sesiones; la primera sesión tuvo como objetivo evaluar la capacidad de lectura en braille en un total de 10 niveles, mientras que la segunda sesión consistió en el reconocimiento de aprendizajes de algoritmia por medio de 6 niveles; vale la pena destacar que para el diseño del instrumento se tuvo en cuenta la metodología propuesta por el INCI (1994) en la cartilla “puntos luminosos” para la enseñanza del braille y la formación por niveles para el módulo de algoritmia, incrementando la dificultad en cada nivel.

Los resultados de la prueba de validación se muestran en la figura 10, donde se observa que todos los 5 aprendices que participaron en el proceso superaron satisfactoriamente las dos sesiones.

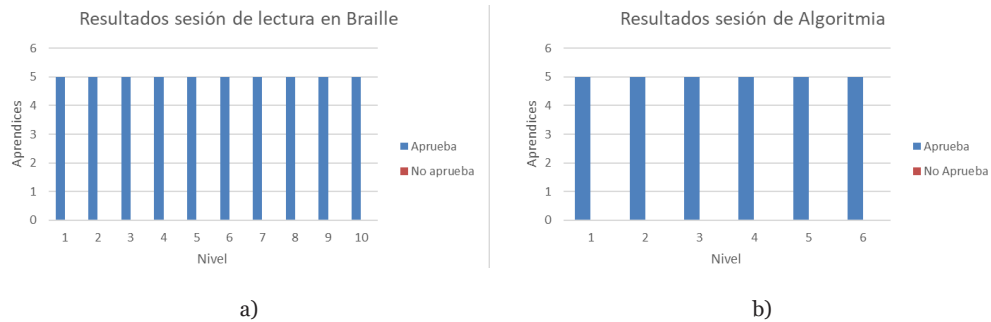


Figura 10 – Resultados de prueba de validación. a) sesión de lectura en braille. b) sesión de algoritmia. Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se ilustra el proceso de aplicación del prototipo BlindTI y el tablero didáctico por parte de un niño invidente. Este proceso consiste en el envío de algoritmos como el mostrado en la figura 12 a), el cual representa las siguientes instrucciones: avanzar 3 pasos, girar a la izquierda, avanzar 2 pasos, girar a la derecha y retroceder 3 pasos; esta información se envía desde el software del prototipo BlindTI y es interpretada por el aprendiz con limitaciones visuales a través de la celda braille táctil. Finalmente, la información del algoritmo es representada en el tablero didáctico de aplicación, donde el aprendiz oprime las teclas para accionar el sistema mecánico que permite representar en relieve la trayectoria conformada por las instrucciones del algoritmo, iniciando en la celda de color magenta, identificada con la letra “i” en braille y terminando al final de las flechas amarillas, tal como se muestra en la figura 12 b).



Figura 11 – Aplicación del BlindTI con joven invidente. Fuente: elaboración propia.

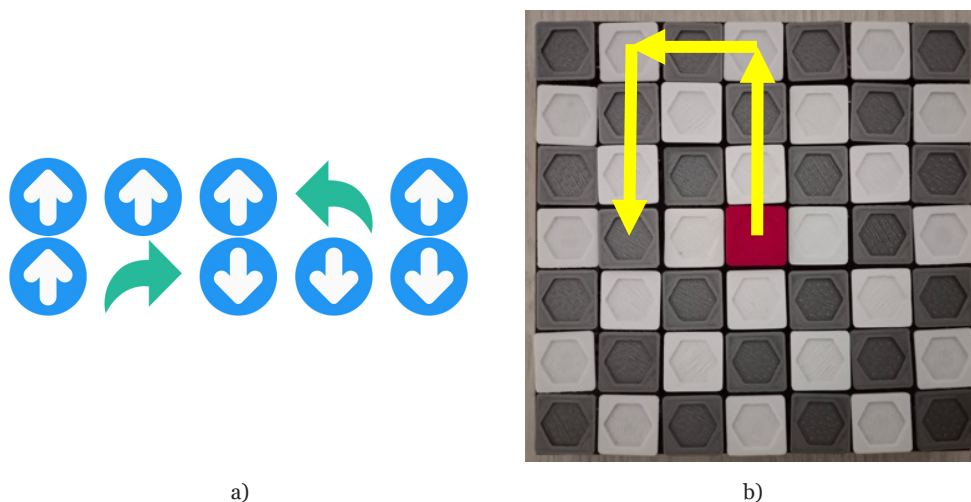


Figura 12 – Aplicación del módulo de algoritmia. a) instrucciones del algoritmo. b) representación del algoritmo en el tablero didáctico.

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

La falta de docentes capacitados en formación y metodologías de enseñanza para población con discapacidad visual, herramientas tecnológicas con un enfoque educativo de inclusión, apoyo por parte del gobierno e infraestructura física adecuada en las Instituciones Educativas, son factores que potencian el crecimiento de brechas para el acceso a una educación de calidad a niños y jóvenes con discapacidad visual, contribuyendo a la exclusión social, pobreza y falta de oportunidades laborales, además de una percepción alterada del nivel de complejidad que pudiese llegar a tener el aprendizaje del Braille y la algoritmia.

La aplicación de Tecnologías emergentes se hace necesaria para hacer frente a los retos impuestos por la cuarta revolución industrial y los grandes cambios tecnológicos que son muy frecuentes, sin embargo, según la información consultada, no hay programas de formación de este tipo para niños con discapacidad visual, lo que hace que sean excluidos del mundo laboral futuro (UNESCO, 2016), por esta razón la aplicación de una solución como la que se propone en este proyecto, ayudaría a cerrar esta brecha y mejoraría las posibilidades para esta población.

Se identificó que no todos los aprendices tienen el mismo ritmo de aprendizaje y desarrollan inteligencias múltiples diferentes (Gardner, 1993), por lo que se recomienda que para la aplicación de esta herramienta, previamente se implemente un test de estilos de aprendizaje y de acuerdo con los resultados obtenidos se planteen estrategias de formación que permitan orientar al aprendiz o grupo de aprendices en sus estrategias de aprendizaje (Zambon et al., 2021).

El común denominador en los estudiantes que presentan baja visión es que, aunque tienen conocimientos básicos en lectura y escritura con braille, no han recibido una formación intensiva en este sistema, por lo que les es difícil identificar de manera ágil los caracteres formados en la celda braille táctil. Se determinó que la celda braille visual es una herramienta que facilita el entrenamiento y desarrollo del tacto para este sector poblacional ya que por medio de las luces se puede percibir e identificar los diferentes caracteres generados y transmitidos desde el software a las celdas braille táctil y visual.

El prototipo BlindTI, además de ser una herramienta para la enseñanza del braille y la algoritmia, estimula la memoria del estudiante, ya que para la interpretación de la información, debe recordar todos los caracteres enviados a través de la celda braille táctil, además permite el desarrollo de canales de comunicación asertivos entre el docente y el aprendiz fomentando de manera didáctica el aprendizaje del braille y la formación en tecnologías emergentes como la robótica por medio de la interpretación de algoritmos para crear trayectorias en un espacio determinado. Mediante el uso de este tipo de prototipos es posible implementar metodologías de enseñanza y aprendizaje para niños con discapacidad visual con un enfoque en la formación de competencias del siglo XXI (Romero, 2012).

5. Recomendaciones

Analizando la interacción de los usuarios con el BlindTI y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se recomienda realizar las mejoras futuras, enunciadas a continuación:

- Con la finalidad de que el prototipo sea más portable y no dependa de una fuente de alimentación alterna, se puede incorporar un sistema compuesto de baterías recargables de larga duración que brinde la potencia necesaria para dar suministro de energía al sistema por lo menos por 8 horas de uso continuo.
- En cuanto a la lectura, es importante que el niño pueda tener control sobre el texto percibido en la celda braille táctil, para esto se propone agregar botones de navegación para adelantar, atrasar, pausar, reanudar y cambiar la velocidad la lectura.
- Para hacer más eficientes los procesos de enseñanza del Braille y de Tecnologías emergentes a través de este sistema, es importante que el prototipo permita obtener una retroalimentación del niño a través de la escritura en braille, para que esto se dé, es posible incorporar un sistema de escritura similar a la máquina Perkins para que el niño pueda escribir textos y/o algoritmos para posteriormente realizar la lectura del texto o ejecución del algoritmo.
- Respecto al software, se pretende incorporar nuevos módulos en enseñanza de Tecnologías emergentes enfocados en la robótica y la programación, que idealmente se adapten al tablero didáctico ya elaborado. Ejemplo de esto podría ser la resolución de sistemas de laberintos y la integración con estructuras de control y decisión de un nivel superior.

6. Agradecimientos

A la fundación Ojos del Alma, a la docente Karen Lorena Lesmes, a los padres de familia y a los niños con limitaciones visuales que participaron de manera voluntaria en el desarrollo de la investigación. También a la Red Tecnoparque del SENA de la ciudad de Neiva y a la ingeniera Lisseth Ramírez quienes hicieron posible el diseño y fabricación del prototipo.

Referencias

- Booth, T., & Ainscow, M. (2000). Índice de Inclusión. Desarrollando el aprendizaje y la participación en las escuelas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). <http://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/INDICE.pdf>
- BraiBook. (2019). BraiBook. <https://braibook.com/braibook/>
- Cañón Cárdenas, Y. (2011). La baja visión en Colombia y en el mundo. *Ciencia y Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 9(1), 117–123. <https://doi.org/10.19052/sv.224>
- Comisión Braille Española, & Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). (2014). Tabla ANSI Española para Braille Computerizado.
- Fernández Morales, F. H., & Duarte, J. E. (2016). Retos de la Inclusión Académica de Personas con Discapacidad en una Universidad Pública Colombiana. *Formacion Universitaria*, 9(4), 95–104. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062016000400011>
- Gardner, H. (1993). *Inteligencias múltiples* (1st ed.). Paidós.
- Hurtado Lozano, L. T., & Agudelo Martínez, M. A. (2014). Educational inclusion for the disabled in Colombia. *CES Movimiento y Salud*, 2(1).
- IEEE. (1999). Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830.
- INCI. (1994). Puntos luminosos.
- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (2021). Adaptación de tableros para trabajar la robótica educativa con alumnado con discapacidad visual. https://code.intef.es/prop_didacticas/adaptacion-de-tableros-para-trabajar-la-robotica-educativa-con-alumnado-con-discapacidad-visual/
- López, F., Molina, A. G., & Mallo, C. (2018). Taller de robótica para alumnos con discapacidad visual de Educación Infantil y Primaria. *Integración: Revista Digital Sobre Discapacidad Visual*, 73, 90–117. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual/revista-integracion/integracion-73/2018-12-integracion73.pdf#page=90>

- Manrique-Losada, B., Gómez-Álvarez, M. C., & González-Palacio, L. (2020). Estrategia de transformación para la formación en informática: hacia el desarrollo de competencias en educación básica y media para la Industria 4.0 en Medellín - Colombia. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (39), 1–17. <https://doi.org/10.17013/RISTI.39.1-17>
- Marques, G. H. M., Einloft, D. C., Bergamin, A. C. P., Marek, J. A., Maidana, R. G., Campos, M. B., Manssour, I. H., & Amory, A. M. (2017). Donnie robot: Towards an accessible and educational robot for visually impaired people. *Proceedings - 2017 LARS 14th Latin American Robotics Symposium and 2017, 5th SBR Brazilian Symposium on Robotics, LARS-SBR 2017 - Part of the Robotics Conference 2017, 2017-December*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215273>
- Metec AG. (2021). Braille Module. <https://www.metec-ag.de/produkte-braille-module.php?p=p16>
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia. (2020). Documento de tipologías de proyectos de carácter científico, tecnológico o de innovación v6.
- Molina Béjar, R. (2008). Salud visual: una mirada al futuro : un recorrido por más de 25 años de ejercicio profesional. Fundación Universitaria del Área Andina. <https://books.google.com.co/books?id=lqQSkGEACAAJ>
- Ossa Cornejo, C. (2013). Actitudes de estudiantes sobre personas con discapacidad en la universidad del Bío-Bío. *Psicogente*, 16(29), 32–42.
- Padilla Muñoz, A. (2011). Inclusión educativa de personas con discapacidad : La mayor dificultad que puede tener una persona con discapacidad es el bajo nivel educativo. *Rev. Colomb. Psiquiat*, 40(4), 1–30.
- Raspberry Pi. (2021). Raspberry Pi 3 Model B+. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Riazy, S., Weller, S. I., & Simbeck, K. (2020). Evaluation of low-threshold programming learning environments for the blind and partially sighted. *CSEDU 2020 - Proceedings of the 12th International Conference on Computer Supported Education*, 2, 366–373. <https://doi.org/10.5220/0009448603660373>
- Romero Hernández, M. F., & Urrego González, S. (2016). Inclusión de personas con discapacidad sensorial (ciegos y sordos) en los programas de formación musical universitaria en la ciudad de Bogotá, D.C 1. Universidad Piloto de Colombia.
- Romero, M. (2012). Serious Games para el desarrollo de las competencias del siglo XXI. *RED Revista de Educacion a Distancia*, (34), 1–22.
- SISPRO. (2020). Sistema Integrado de Información de la Protección Social. <https://www.sispro.gov.co/Pages/Home.aspx>
- UNESCO. (2016). Cambiar las mentalidades acerca de los ciegos y el uso de la tecnología en Kenia.

- Villanueva, A. (2019). Escornabot: Proyecto para niños con discapacidad visual o ceguera. <http://www.mecatronicallab.es/escornabot-proyecto-para-ninos-con-discapacidad-visual-o-ceguera/>
- Zambon, A. C., Fujimoto, E. J., Gomes, H. A., Zambon, A. C., Fujimoto, E. J., & Gomes, H. A. (2021). Estilos de Aprendizagem: proposta de questionário semiautomático de apoio à aprendizagem autorregulada. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 42, 136–151. <https://doi.org/10.17013/RISTI.42.136-151>
- Zappalá, D., Köppel, A., & Miriam, S. (2011). Inclusión de TIC en escuelas para alumnos con discapacidad visual.