

Un entrenador de Braille multifunción basado en sistemas embebidos, aplicaciones móviles, razonamiento basado en reglas y minería de datos para niños con discapacidad visual

Vladimir Robles-Bykbaev, Antonny Guzhñay-Lucero, Daniel Pulla-Sánchez, Fernando Pesántez-Avilés,
Paola Suquilanda-Cuesta, Estefanía Bernal-Merchán

GI-IATA, Cátedra UNESCO Tecnologías de apoyo para la Inclusión Educativa, Cuenca,
Ecuador

{dpulla, fpesantez, vrobles}@ups.edu.ec, aguzhnay@est.ups.edu.ec,
{pao.suquilanda94, estefaniabernal}@gmail.com

Resumen. Según las últimas estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la actualidad hay 285 millones de personas con discapacidad visual en todo el mundo: 39 millones son ciegas, 246 tienen baja visión y 19 millones son niños. Esta situación se vuelve más compleja en los países en desarrollo porque los gobiernos locales y las familias no tienen suficientes recursos y tecnologías de asistencia para mejorar los programas de alfabetización de las personas ciegas. Por estas razones, en este documento, presentamos una herramienta integral de bajo costo para respaldar el proceso de aprendizaje del código de Braille en escuelas u hogares. La novedad de nuestra propuesta es que se basa en una arquitectura multicapa que proporciona las siguientes funcionalidades: soporte para realizar ejercicios de lectura y escritura con un solo dispositivo, una interfaz interactiva para diseñar y monitorear actividades en el aula mediante un enfoque basado en la minería de datos y el razonamiento basado en reglas, y una aplicación móvil para interactuar fácilmente con el sistema. Nuestra propuesta ha sido evaluada en un experimento piloto por 20 personas: 7 maestros (ciegos) que trabajan con niños con discapacidad visual / ciegos, y 13 personas con visión normal. Los resultados obtenidos durante la evaluación de nuestra propuesta son alentadores: el 90 % de los participantes está de acuerdo con la utilidad del sistema y el alto potencial de incluir la herramienta en las aulas.

Palabras clave. Discapacidad visual, niños, razonamiento basado en reglas, análisis de conglomerados, Braille, entrenador electrónico

A Multifunction Braille Trainer based on Embedded Systems, Mobile Apps, Rule-based Reasoning and Data Mining for Children with Visual Impairment

Abstract. According to latest estimates of the World Health Organization (WHO), nowadays there are 285 million people visually impaired worldwide: 39 million are blind, 246 have low vision, and 19 million are children. This situation becomes more complex in developing countries because the local governments and families do not have enough resources and assistive technologies to improve the literacy programs of blind people. For these reasons, in this paper, we present an integral low-cost tool to support the learning process of Braille code at schools or homes. The novelty of our proposal is that it relies on a multi-layer architecture that provides the following functionalities: support to carry out reading and writing exercises using a single device, an interactive interface for designing and monitoring classroom activities through an approach based on data mining and rule-based reasoning, and a mobile application to interact with the system easily. Our proposal has been evaluated in a pilot experiment by 20 persons: 7 (blind) teachers that work with visual impaired/blind children, and 13 persons with normal vision. The results achieved during the evaluation of our proposal are encouraging: 90 % of participants agree with the usefulness of the system as well as the high potential of including the tool in classrooms.

Keywords. Visual impairment, children, rule-based reasoning, hierarchical agglomerative clustering, Braille, electronic trainer.

1. Introducción

Toda persona debería tener presente por lo menos dos preceptos importantes para entender la importancia de la educación inclusiva, primero que la educación es un derecho humano [27], y segundo que la educación inclusiva no es solo para favorecer a las personas con discapacidad, sino que constituye una alternativa para aquella condición latente que mereceríamos todas las personas a causa de pérdidas de facultades por el recurrir propio de nuestras vidas. Entonces, todos estamos en condición latente de discapacidad y aquellos que ya mantienen algún tipo deben ejercer su derecho a educarse en el marco de una pedagogía inclusiva.

Este tipo de pedagogía según [7] requiere cambios en el enfoque y pensamiento educativo, que permitan abandonar la lógica de trabajo por mayorías y se instaure un enfoque accesible a todos. Evidentemente, en la pedagogía inclusiva todo aquello que se hace para favorecer la accesibilidad, la adaptabilidad, la aceptabilidad o la asequibilidad se convierte a su vez en oportunidades educativas ricas que favorecen a todos y no únicamente a las personas con discapacidad [26].

En este sentido el sistema Braille no debería tratarse como una alternativa adaptativa y aplicable solo a personas con discapacidad visual, podría servir para la enseñanza general, en cuanto es a la vez didácticamente universal para el aprendizaje de la lectura, pero también un método didáctico como cualquier otro, específicamente es analítico-sintético. En [12] se explica que va de lo más simple (la letra) a lo más complejo (palabra y frase) y asimismo, desde una combinación de puntos permite identificar cada carácter. Utilizar un sistema Braille en personas consideradas regulares les beneficiaría tanto en su lógica como en su sentido de solidaridad.

Los postulados del tratado de Marrakech [17] indican que las personas con discapacidad visual no solo que mantienen dificultades evidentes

respecto del acceso al texto impreso, sino que están limitadas en su libertad de expresión, en razón que además existen restricciones en cuanto elección de sus propias formas y lógicas de comunicación, lo que sin lugar a dudas perjudica el goce del derecho a la educación.

Para [8] el don del lenguaje es natural, por ello las personas con discapacidad desarrollan la habilidad de generar su propio lenguaje supliendo así las lógicas convencionales del lenguaje por signos que conocemos la mayoría. En el caso de las personas ciegas, estas se sirven de un tipo de inteligencia como la espacial para generar su lenguaje, su percepción visual se da través de un canal indirecto como el táctil que es análogo a la modalidad visual para las personas con visión.

Por decir, para que una palabra especificada desde una regleta Braille se convierta en una percepción visual para una persona ciega, no basta en que estén correctamente configuradas las combinaciones individuales de cada carácter —letra, vocal, signo—, o que luego exista una correcta configuración entre los caracteres según la extensión de la palabra; es indispensable el recorrido de la mano sobre la regleta para configurar una longitud de tiempo de movimiento, lo que a su vez se traduce en la medida del objeto, en este caso de la palabra.

En virtud de lo expuesto, en este artículo presentamos una herramienta de bajo coste que permite brindar soporte en los procesos de aprendizaje del lenguaje Braille (español) tanto para la lectura como para la escritura. Además de esto, el sistema es capaz de comunicarse con un dispositivo móvil donde a través de una aplicación el educador puede planificar una sesión de trabajo con los niños. Esta aplicación móvil permitirá registrar el progreso del niño e ir sugiriendo nuevas actividades y ejercicios en función de su progreso y de sus Necesidades Educativas Especiales (NEE).

2. Aplicaciones y sistemas de soporte en la enseñanza del sistema de lectura Braille

Uno de los aspectos más importantes en el lenguaje Braille se centra en la etapa de su

aprendizaje. Por ello, en las últimas décadas han surgido varios enfoques para mejorar este proceso, considerando para esto las necesidades de cada entorno social y cultural.

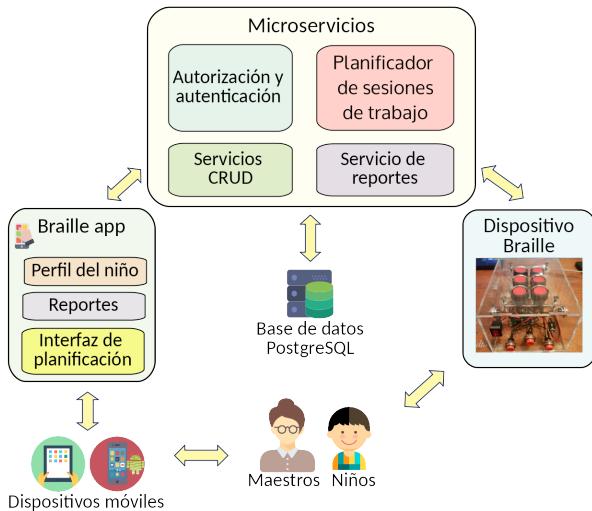


Fig. 1. Diagrama de bloques de la arquitectura general del entrenador Braille

En principio, algunas soluciones se sustentan en traductores o interpretadores, por ejemplo, en [3] se presenta un traductor de código Braille como herramienta de educación básica para niños con discapacidad visual para el idioma árabe, mientras que en [21], se propone una metodología novedosa para convertir caracteres Braille e interpretarlos en el lenguaje Kannada (lenguaje popular al sur de la India) mediante técnicas de conversión de texto a voz.

Por otra parte, en [10] se implementa una solución de informática y electrónica para la enseñanza del reconocimiento de letras Braille para niños invidentes. Para ello, se realiza la manipulación de bloques con relieve que tienen etiquetas NFC (comunicación de campo cercano) embebidas que identifican el carácter que tiene dicho bloque y que a la vez interactúan a través de una interfaz de voz para permitir realizar diversas actividades. Otro enfoque interesante que es presentado en [18] busca desarrollar un sistema de entrenamiento de Braille electrónico para enseñar al usuario el alfabeto Braille en Inglés para primer año escolar, donde básicamente el

dispositivo dicta una letra y el usuario deberá ingresar correctamente esta sobre el teclado Braille. En la misma línea de investigación, en [5] se describe un dispositivo mecatrónico que busca brindar soporte en el aprendizaje del sistema de lectoescritura Braille a niños de 4 a 8 años. El dispositivo se comunica de forma inalámbrica con un computador y una herramienta informática que sirve a los maestros para realizar actividades de monitoreo.

También en [19] se incorporan innovaciones a un prototipo electrónico de asistencia para niños con discapacidad visual que permite enseñar la escritura Braille empleando retroalimentación por voz. Para esto, los autores añaden elementos de personalización acorde a diferentes culturas y juegos para incentivar la motivación por el aprendizaje. De igual forma, en [4] se describe el trabajo y las pruebas de campo realizadas en las regiones de la India, Zambia y Qatar con un tutor automatizado de escritura Braille que implementa ejercicios plurilingües y juegos educativos para niños.

Soluciones con tecnologías basadas en sistemas operativos para dispositivos móviles como Android o sistemas embebidos como las tarjetas Arduino y Raspberry han sido implementadas con limitadas opciones de personalización y acompañamiento en la planificación de sesiones educativas. Sin embargo, se puede destacar el trabajo presentado en [15], donde se desarrolla un sistema de enseñanza de Braille que permite la cooperación entre personas sordo-ciegas y personas sin discapacidad que no son expertas en el manejo de dicho lenguaje. En la misma línea, en [20] se describe un enfoque novedoso que implementa tres métodos para presentar caracteres braille sobre dispositivos móviles con pantalla táctil.

Finalmente, en [22] los autores proponen un sistema que se basa en el concepto de una celda de Braille que se ubica sobre un dispositivo electrónico con tecnología Arduino, y mediante la interacción con una aplicación informática, el usuario debe tipear correctamente los caracteres indicados de manera aleatoria.

3. Entrenador Braille: arquitectura y principales componentes

Como se puede apreciar en la Figura 1, el entrenador Braille está constituido por tres componentes fundamentales: (i) una aplicación móvil Braille que permite planificar las sesiones de trabajo con los niños y registrar su progreso, (ii) un módulo de microservicios que se encarga gestionar los datos y (iii) el dispositivo electrónico Braille que usan los niños y maestros.

El módulo de microservicios provee los servicios que serán empleados por el Dispositivo Braille y por la aplicación móvil Braille App, además de permitir la interacción entre los mismos. De igual forma, este módulo se conecta con la base de datos donde se almacenará la información generada. Las principales funciones que cumplen son: (i) autenticación de usuarios a través de la aplicación móvil, (ii) manejo de la lógica para realizar CRUD de datos (operaciones de creación, modificación, eliminación y consulta), (iii) generación de reportes (con distintos niveles de detalle) y (iii) registro de sesiones de trabajo por realizar y/o completadas. Para la implementación de este componente se empleó la tecnología KumuluzEE [11], que es una extensión de Java Enterprise Edition (JEE) para el desarrollo de microservicios.

Por otra parte, la aplicación móvil Braille app fue desarrollada para la plataforma Android y entre las funcionalidades que brinda podemos destacar las que se mencionan a continuación:

- Visualización de reportes: esta funcionalidad permite que los maestros puedan analizar con distintos grados de granularidad el progreso del niño. Con ello, pueden generar reportes mensuales o diarios de las actividades realizadas con el sistema.
- Interfaz de acceso al planificador de sesiones de trabajo: con esta función los maestros pueden planificar de forma automática una sesión de trabajo con el dispositivo Braille, considerando un niño o un grupo de ellos (más detalles en las siguientes subsecciones).

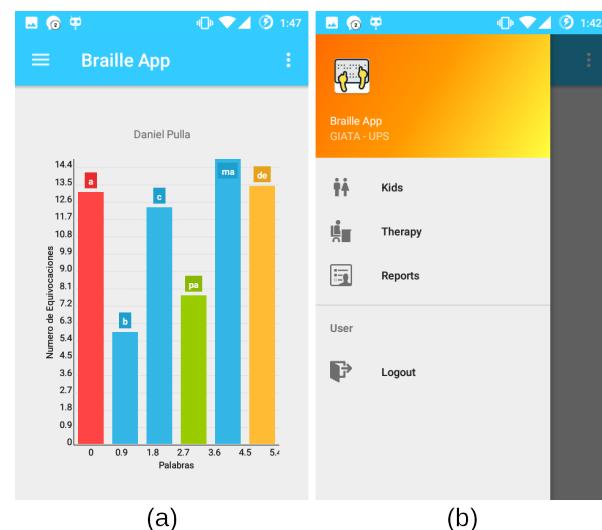


Fig. 2. Capturas de pantalla de la aplicación Braille app. La imagen de la izquierda (a) presenta un reporte de una sesión de trabajo con un niño (aciertos y fallos), mientras que la imagen de la derecha (b) ilustra el menú principal

- Recepción de notificaciones de sesiones completas: este servicio permite que tanto los maestros como los familiares de los niños puedan recibir mensajes con los detalles de las sesiones, progresos, etc.
- Registro de información personal de los niños: esta función permite gestionar los datos de los niños (incluidas las fichas médica y escolar).

3.1. Dispositivo electrónico Braille

Por otra parte, el dispositivo electrónico tiene como objetivo brindar soporte en el aprendizaje de la lectura y la escritura del sistema Braille en Español (Figura 2). Para ello, el dispositivo implementa un sistema central (Raspberry PI 2) que interactúa con el usuario mediante un sintetizador de voz que le pregunta cómo debe codificar cierto patrón tanto para lectura como para escritura. El usuario deberá ingresar la respuesta y si es correcta, el dispositivo le informará que ha acertado y se procede a la siguiente letra del abecedario, sin embargo, si la respuesta es incorrecta tendrá que intentarlo nuevamente (las

veces que requiera). Las distintas funciones que posee el dispositivo se describirán a continuación:

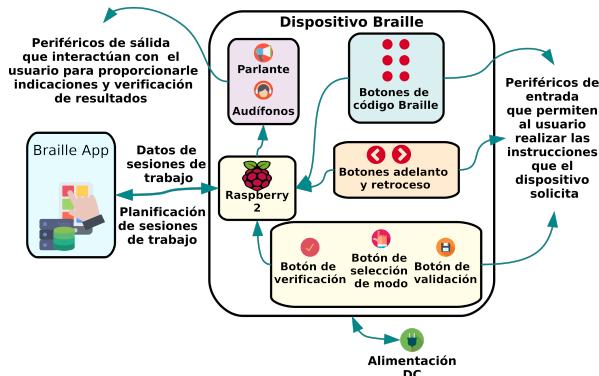


Fig. 3. Arquitectura general del dispositivo electrónico de entrenamiento Braille

- Modo lectura Braille: está enfocado en desarrollar actividades y ejercicios que permitan al usuario aprender a leer el patrón con el cual se codifican las letras del abecedario en Braille. Al presionar el pulsante de selección de modo, el equipo le indicará que se accedió al mismo a través de un estímulo auditivo modo lectura en Braille. A partir de ello, se irán presentando a través de estímulos auditivos cada una de las letras del abecedario y el usuario deberá digitar el código correspondiente a las mismas. Una vez que ha digitado el código, podrá verificar si es correcto o no (presionando el pulsante de verificación y recibiendo un estímulo auditivo que indica si se acertó o falló). Este proceso se podrá repetir las veces que se requiera.
- Modo escritura Braille: presenta al usuario actividades y ejercicios a fin de que éste aprenda a escribir el patrón con el cual se codifican las letras del abecedario en Braille. Al presionar el pulsante de selección de modo, el equipo le indicará que se accedió al mismo a través de un estímulo auditivo modo escritura en Braille. A partir de ello, se irá solicitando al usuario escribir cada una de las letras del abecedario y el mismo deberá digitar el código correspondiente a las mismas. De igual forma que en el modo de lectura, el

usuario puede verificar si escribió bien o no la letra solicitada.

- Modo de escritura de palabras: en este modo el usuario deberá escribir una palabra (ingresándola letra por letra) y luego de ello podrá solicitar que el dispositivo lea dicha palabra. El dispositivo es capaz de leer cualquier palabra, ya que incorpora un sintetizador de voz.

El dispositivo Braille se diseñó y construyó tomando en cuenta diversas recomendaciones de profesores que trabajan con niños con diversos grados de pérdida visual en la Unidad Educativa Especial “Claudio Neira Garzón”, ubicada en Cuenca, Ecuador. Para ello, se estableció la distribución de botones y pulsantes controladores que se pueden observar en la Figura 4.

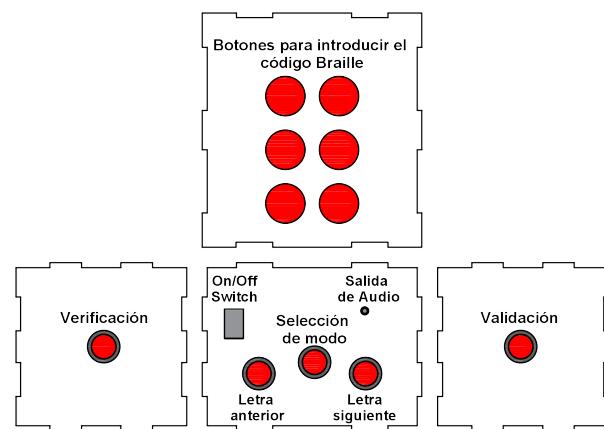


Fig. 4. Distribución de los botones de control del dispositivo Braille. Se pueden observar las 4 caras que conforman parte de la estructura del dispositivo

- En la cara superior se ubican los 6 pulsantes donde se leerán y escribirán los códigos del sistema Braille. Estos pulsantes son de dos estados, por lo que el usuario puede emplearlos tanto para la lectura (cuando no están accionados) como para la escritura (cuando se los presiona).
- En la cara izquierda se tiene el pulsante de verificación, que permite que el usuario compruebe si se ingresó de forma correcta

el código Braille de la letra con la que se trabaja. En el modo de escritura de palabras el pulsante es usado para escuchar la palabra que se haya ingresado.

- En la cara central se ubica un interruptor que permite encender y apagar el dispositivo, el conector de salida de audio y los siguientes pulsantes: cambio de modo de operación (para establecer uno de los modos de funcionamiento indicados anteriormente), pulsante para volver a la letra anterior y pulsante para ir a la siguiente letra.
- En la cara inferior derecha se tiene el pulsante de validación que se usa exclusivamente cuando se realizan ejercicios de escritura de palabras en Braille. Este pulsante permite ir almacenando cada letra que se ingresa al presionarlo.

3.2. Modelo de intervención pedagógica: una breve descripción

La expresión corporal y contacto visual son muy importantes para la interacción social, el desarrollo evolutivo y aprendizaje escolar. Sin embargo, en los niños con discapacidad visual esto se presenta con mucha dificultad pues la expresión corporal se muestra limitada, ya que no pueden aprender o imitar movimientos corporales y su contacto visual desaparece. Por ello, es necesario trabajar en estos aspectos, además es importante mencionar que se encuentran afectadas sus áreas de desarrollo, en la parte motriz los niños invidentes o con baja visión presentan retrasos o no aparecen habilidades como el arrastre o el gateo, pues existe poco dominio y coordinación de sus manos. De igual forma ocurre con la sedestación y bipedestación, pueden aparecer tardíamente por la falta de estimulación visual, auditiva y táctil del medio, tienen dificultad en el desplazamiento y movilidad pues se muestran inseguros por falta del conocimiento del medio, problemas en la marcha y se presentan estereotipias. Con lo que respecta al desarrollo cognitivo, éste tiene mucha relación con el desarrollo motor del niño, pues toda la información que recoge del medio lo hace a través de la exploración del mismo. Este aspecto también

se encontrará disminuido, ya que el niño no puede movilizarse y ello lo limitará en su totalidad y existirán grandes retrasos.

En cuanto al desarrollo perceptivo, el niño captará de forma más lenta los estímulos externos por la falta de movilidad y el uso de sus manos. En el desarrollo del lenguaje se le dificulta la comprensión de algunos términos y palabras, como son los sustantivos abstractos, adverbios de lugar y tiempo. Esto suele presentarse en edades iniciales y máximo hasta los 10 o 12 años, algunos niños presentan ecolalias pues es su forma de comunicarse y algunos de ellos no tienen lenguaje no verbal, es decir, no existe gestualidad para sus actos comunicativos.

El desarrollo afectivo y social está netamente ligado con el medio que lo rodea, es decir, su familia y pares, pues depende de la actitud y el interés de los mismos, en especial de los padres para desarrollar un ser afectivo, los padres son los que generan seguridad y confianza en el niño para así crear un ser independiente. No siempre la discapacidad visual estará acompañada de otro trastorno como la discapacidad intelectual, por lo cual se presentarán algunos retrasos o dificultades a nivel escolar que deben ser atendidos por los maestros con el fin de que se trabaje en las necesidades del niño.

A fin de llevar a cabo un proceso de intervención pedagógica adecuada, es necesario establecer las áreas sobre las que se trabajará (no únicamente buscar que se aprendan los códigos Braille). Para ello, se inicia determinando la edad de desarrollo del niño. Dicha edad debe estar a la par con la edad cronológica o en su defecto, debe haber como máximo 1 año de retraso entre las dos. Sobre esta base, es fundamental realizar una observación con la ayuda de una guía que permita conocer la edad de desarrollo en las siguientes áreas, ya que ello permitirá establecer qué aspectos deben ser trabajados con los niños [13]:

- *Independencia:* consiste en desarrollar autonomía en las diferentes actividades de la vida diaria, como por ejemplo: lavarse la cara, cepillarse los dientes, ir al baño, comer solo, etc.

- *Motricidad fina*: permite desarrollar discriminación táctil, pinza digital, pinza trípode, ensartado.
- *Lenguaje*: adquisición del lenguaje acorde a su edad en los diferentes niveles: fonológico (Sonidos onomatopéyicos, discriminación auditiva, fonemas, sífonas, diptongos), léxico- semántico (vocabulario por categorías), morfosintáctico (estructuración de frases), pragmático (la utilización del lenguaje: mediante la narración, descripción, denominación).
- *Social*: potenciar habilidades para relacionarse y convivir de manera armónica con sus pares y los adultos de su alrededor. Algunos ejemplos de estas habilidades son: participar en actividades grupales, conversaciones, opinar, conocer normas de convivencia, etc.
- *Cognitiva*: habilidad para procesar la información, resolver problemas y capacidad para comprender el mundo.

A continuación, se presentan algunas variables que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje de prelectura y preescritura para niños con discapacidad visual, de acuerdo a su edad: Se iniciará a los 48 meses con conocimiento de vocales (prelectura), a los 51 meses vocales (preescritura), a los 54 meses aprendizaje para preescritura y prelectura de fonemas y abecedario, a los 60 meses prelectura de sílabas, a los 66 meses preescritura de sílabas y se finaliza a los 72 meses con prelectura y preescritura de palabras de dos sílabas.

A más de las directrices pedagógicas explicadas anteriormente, Bosch [1] plantea el desarrollo fonológico infantil desde los 2 hasta los 6 años de edad, realizando la siguiente clasificación en grupos: sonidos vocálicos, diptongos, sonidos consonánticos y grupos consonánticos. Todos estos conceptos deben ir en secuencia y acorde a la edad para la correcta adquisición de los mismos.

A la edad de dos años se debe adquirir los sonidos vocálicos /A/, /E/, /I/, /O/, /U/, una vez superado este ítem, los niños normalmente adquieren a los 3 años los siguientes conceptos:

diptongos (/ia/, /ie/, /io/, /uo/, /ua/, /ue/) y fonemas (/m/, /n/, /ñ/, /p/, /b/, /k/, /g/, /t/, /l/, /f/, /j/, /s/, /ch/) en sílabas directas. A la edad de 4 años se deben aprender los sonidos consonánticos (/r/, /l/, /d/, /y/) al igual que los grupos consonánticos (/fl/, /pl/, /bl/, /cl/, /gl/). El fonema /s/ en posición media y el fonema /r/ en posición final se debe adquirir a la edad de 5 años con los siguientes grupos consonánticos: /br/, /fr/, /pr/, /cr/, /gr/, /tr/, /dr/ y los diptongos /eu/, /ei/, /au/, /oi/, /au/, /iu/, /ui/. Para finalizar el proceso de adquisición fonética, a los 6 años se deben aprender los fonemas /r/ y /rr/ en posición media.

Con la adquisición fonética se pueden presenciar logros que beneficiarán a la prelectura y preescritura, pues si se adquieren de forma secuencial y correcta, este proceso se desarrollará de manera más sencilla y sin complicaciones. La prelectura es la etapa más importante, pues se adquieren las bases para la futura lectura, además de generar curiosidad y conocimientos previos en dicha área. La preescritura depende de dos partes, una de ellas es la planeación del escrito en donde es necesaria la concepción correcta de los fonemas y vocales, y luego la organización de lo que se desea escribir, en lo cual se debe conocer la grafía correcta de cada uno de los fonemas y vocales.

3.3. Planificador de sesiones de trabajo

En base al modelo de intervención pedagógica descrito en la sección 3.2, se ha desarrollado un módulo prototípico basado en reglas que se enfoca en el soporte a la toma de decisiones por parte de los maestros que trabajan con niños con diversos grados de pérdida visual. El módulo tiene como objetivo generar planes para sesiones de clase con los niños y modelar sus características como estudiantes (en términos de habilidades y desarrollo). Para ello, se consideran los siguientes aspectos:

- *Perfil del niño*: para ello se modelan aspectos clave como la edad de desarrollo, la edad cronológica, el grado de pérdida visual, etc., a través de *hechos*.

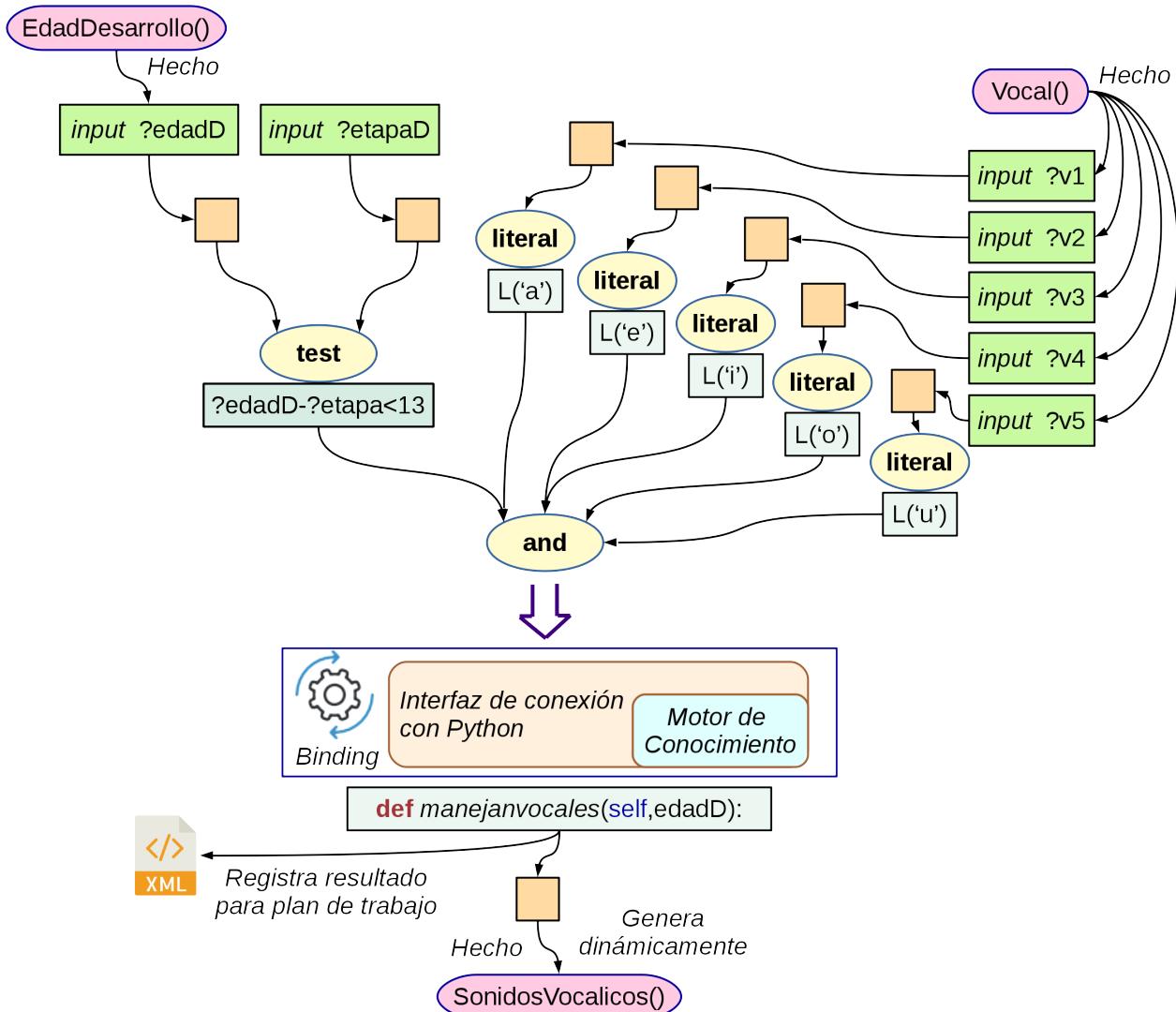


Fig. 5. Ejemplo general de la estructuración de la regla que permite determinar si el niño conoce las vocales

- **Habilidad motriz:** se definieron reglas para establecer si se procede o no con una sesión de trabajo en base a la habilidad que presenta el niño.
- **Ejercicios de aprendizaje Braille:** se definieron reglas que permitirán generar hechos que representan qué ejercicios para aprendizaje del lenguaje Braille se llevarán a cabo tanto en preescritura como en prelectura (trabajar vocales, formar sílabas, etc.).

- **Áreas a trabajar:** en función del desfase entre las edades cognitiva y de desarrollo se crean automáticamente hechos que especifican qué áreas deben trabajarse con los niños (independencia, lenguaje, etc.).

En la Figura 5 se describe la estructura base sobre la que se desarrollan cada una de las reglas que permiten al sistema generar planes de trabajo. En el lado izquierdo de la figura se puede apreciar que la regla verifica en primer lugar que esté definido

el hecho *EdadDesarrollo*. Con el valor de la edad (*edadD*) y la etapa de desarrollo (*etapaD*) la regla verificará que el valor máximo de desfase entre las dos sea de 12 meses. En el lado derecho de la figura podemos observar que la regla verificará que existan 5 hechos que representan las vocales. Si se cumplen estos dos criterios, se invocará al método *manejanvocales* definido en Python a través de una interfaz de conexión entre las reglas y el lenguaje de programación. Este método permite registrar de forma dinámica el hecho *SonidosVocalicos* que es el requerimiento para que el niño pueda iniciar las actividades y ejercicios enfocados a desarrollar diptongos en el primer nivel. Del mismo modo, cuando se invoca al método, el sistema es capaz de generar la información textual que conformará el plan de trabajo que se presentará al usuario. Inicialmente estos datos se guardan en archivos XML que luego son convertidos en ficheros PDF (para los usuarios finales).

Por otra parte, a continuación (Reglas 1 y 2) podemos apreciar en forma de instrucciones cómo el módulo planificador emplea reglas y hechos que permiten modelar los aspectos relacionados con la destreza motriz (medida en una escala de 1 a 10, donde 10 indica el máximo nivel de destreza), las áreas que deberá trabajar de acuerdo a su desfase (mencionadas anteriormente) y las temáticas que abordará de acuerdo a los rangos de edad especificados inicialmente para niños de 24 a 72 meses (este aspecto puede ser extendido sin problema para abordar nuevas edades).

La Regla 1 permite validar el nivel de destreza o desarrollo motriz que tiene el niño. Dicho nivel está organizado en 3 grupos: *bajo*, *medio* y *alto*. Cuando esta regla es verdadera, se crea de forma automática el hecho *EntrenamientoPrevio()*, que indica que deben hacerse actividades de soporte al desarrollo de la motricidad fina del niño (discriminación de texturas, distinción de formas y tamaños, etc.).

Regla 1.

```
@Rule (DestrezaMotriz(evaluacion=P(lambda
evaluacion: evaluacion>=1) & P(lambda
evaluacion: evaluacion<5) ))
```

↓

```
EntrenamientoPrevio(descripcion="La
destreza motriz del niño es Baja, por ello
debe realizar actividades de entrenamiento
previas.})
```

La Regla 2 permite validar que la edad de desarrollo (*edadD*) posea cualquier valor y que esté en el rango [72, 78) meses. De igual forma, también verifica que que no exista el hecho *EntrenamientoPrevio()*, ya que ello indicaría que el niño no ha desarrollado su habilidad motriz para poder usar el entrenador Braille. Cuando esta regla es verdadera, se crea de forma automática el hecho *Trabajo()*, que indica las actividades educativas que debe desarrollar el niño de acuerdo a su edad.

Regla 2.

```
@Rule(EdadDesarrollo('edadD'<<W()),
AND(TEST(lambda edadD:edadD>=72),
TEST(lambda edadD:edadD<78)),
NOT(EntrenamientoPrevio()))
↓
```

```
Trabajo(edad=edadD, area="Formación
de Palabras (2 silabas)",
ambito="Prelectura//Preescritura")
```

A continuación se proveen detalles del número de reglas, hechos y objetos de mapeo que implementa el módulo recomendador:

- De forma general, se emplea un total de 30 reglas que permiten establecer las áreas de trabajo y los hitos que alcanza el niño. Muchas de estas reglas permiten disparar métodos para gestión de datos externos.
- Se emplean 13 clases de mapeo intermedio que representan hechos como las edades (cronológica y de desarrollo), nivel de destreza motriz, áreas de trabajo (social, independencia, etc.), etc.
- El esquema de razonamiento implementado se basa en CLIPS, que ha demostrado que es una herramienta vigente que se puede emplear en diversos campos de la ciencia y con gran énfasis en el de la salud y la rehabilitación [2, 16]. La interfaz de mapeo intermedio que se emplea es PyKnow [14].

3.4. Módulo de soporte a la conformación de grupos de intervención pedagógica

A más del módulo de recomendación de planes de trabajo, el sistema propuesto incorpora un módulo que es capaz de generar grupos de niños que posean un perfil similar. Esto se hace con el objetivo de que los maestros puedan llevar a cabo las planificaciones de intervención pedagógica. Por ejemplo, si se tienen niños con edades de desarrollo semejantes y grados de pérdida visual similares (aspectos que determinan su grado de independencia), es factible preparar sesiones de clase conjuntas. Por lo expuesto, este módulo permite que los maestros puedan establecer qué tipo de grupos desean conformar, dando para ello mayor importancia a ciertas variables. Como primer aspecto, se ha definido el descriptor que se utilizará para representar el perfil de los niños (Ecuación 1):

$$\vec{P} = \{edadC, edadD, destrezaM, genero, perdidaV\}, \quad (1)$$

dónde:

- \vec{P} representa el vector que caracteriza el perfil de cada niño.
- $edadC$ y $edadD$ indican las edades cronológica y de desarrollo de un niño, respectivamente.
- $destrezaM$ es la destreza motriz que posee el niño para manejar dispositivos Braille. Se mide en una escala de 1 a 10.
- $genero$ especifica el género del niño (1 para masculino y 0 para femenino).
- $perdidaV$ indica el grado de pérdida visual que presenta el niño. Este valor se establece de acuerdo a la escala de Wecker que es empleada por la Organización Mundial de la Salud (OMS): visión normal (menor de 6/18 o 0,3), discapacidad visual moderada (6/18 y 6/60), discapacidad visual grave (inferior a 3/60 o igual o superior a 1/60) y ceguera (inferior a 3/60 o igual o superior a 1/60) [28].

En base al descriptor establecido, se procedió a definir una métrica para determinar la distancia que existe entre dos o más perfiles de niños (Ecuación 2):

$$d(P_i, P_j) = w_1 \cdot \frac{|edadC_i - edadC_j|}{\max(\vec{edadC})} + \\ w_2 \cdot \frac{|edadD_i - edadD_j|}{\max(\vec{edadD})} + \\ w_3 \cdot \frac{|destrezaM_i - destrezaM_j|}{K} + \\ w_4 \cdot |genero_i - genero_j| + \\ w_5 \cdot \frac{|perdidaV_i - perdidaV_j|}{N}, \quad (2)$$

dónde:

- $d(P_i, P_j)$ representa la distancia que existe entre los perfiles de los niños P_i y P_j .
- w_1, \dots, w_5 es un conjunto de pesos que permiten ponderar la importancia de los atributos, de acuerdo a los criterios de los expertos que trabajan con los niños. Se debe cumplir que $\sum_{i=1}^4 w_i = 1$
- $\max(\vec{edadC})$ y $\max(\vec{edadD})$ representan factores de normalización que toman los valores máximos de las edades cronológica y de desarrollo existentes en el grupo de niños, respectivamente. Con ello, se obtiene diferencias de edad en el rango [0, 1].
- K representa una constante que se establece en función de la puntuación máxima que puede alcanzar un niño la evaluación de la destreza motriz.
- N es una constante que se establece en función de la escala de pérdida visual mencionada anteriormente.

En base a la métrica definida en la Ecuación 2, el módulo genera diversos tipos de dendrogramas [29] que son empleados por los especialistas para aplicar las estrategias que se establecen a través del módulo recomendador de planes de trabajo. En la sección 4.2 se pueden observar los resultados preliminares obtenidos con este módulo.

4. Plan piloto de validación y resultados preliminares

En esta sección se presentan 3 resultados principales: (i) la percepción que tiene un grupo de 27 voluntarios acerca del dispositivo (ii) las pruebas con los módulos para generación de planes de trabajo y conformación de grupos y (iii) la cantidad de recursos que consume el sistema al estar en funcionamiento y tiempos de respuesta.

4.1. Validación del sistema con maestros y estudiantes voluntarios de ingeniería

A fin de validar nuestra propuesta, se trabajó con dos equipos: uno conformado por 20 estudiantes del ámbito de la ingeniería y los sistemas computacionales, y un segundo grupo constituido por 7 maestros de la Unidad Educativa Especial “Claudio Neira Garzón” (los maestros tienen diversos grados de pérdida visual y algunos son invidentes). Esta unidad educativa especializada que se fundó en 1971 atiende a niños y jóvenes con discapacidad sensorial (sordos e invidentes) y ofrece educación/rehabilitación en los siguientes niveles: primero a décimo año de educación básica para discapacidad auditiva y primero a séptimo año de educación básica para discapacidad visual.

En la misma línea, esta institución lleva adelante programas de estimulación temprana, terapia del lenguaje, terapia ocupacional, terapia física, orientación y movilidad, y estimulación visual. La mayor parte de los niños y jóvenes que son acogidos por la unidad educativa pertenecen a hogares de recursos económicos limitados [9].

A fin de determinar las percepciones de los voluntarios (tanto estudiantes de ingeniería como maestros de la unidad educativa), se diseñó un plan de experimentación que consistió en desarrollar diversas actividades educativas con el entrenador Braille. Luego de que cada participante usó el dispositivo, se les aplicó una encuesta. En la Tabla 1 podemos observar la puntuación con la que evaluaron los participantes al dispositivo luego de usarlo (en el caso de los estudiantes fueron vendados a fin de simular de mejor manera la interacción con el sistema).

Tabla 1. Resultados de evaluación de las variables de la distribución de botones, indicaciones, la pertinencia de un plan de ejercicios y el tiempo de respuesta del sistema. Si cumple el criterio se puntuá con 1, caso contrario con 0

	Criterio	Puntuación promedio (%)
Maestros	Distribución de los botones	100
	Indicaciones que provee el dispositivo	100
	Contar con un generador de planes de trabajo	100
	Tiempo de respuesta del dispositivo	100
Estudiantes	Distribución de los botones	100
	Indicaciones que provee el dispositivo	92,3
	Contar con un generador de planes de trabajo	100
	Tiempo de respuesta del dispositivo	100

Como se puede apreciar, todos los maestros (algunos con más de 15 años de experiencia) consideran 100% apropiadas las siguientes características del dispositivo: distribución de los botones, las indicaciones que se proveen a través de estímulos auditivos para desarrollar las actividades educativas, la posibilidad de que el sistema genere de forma automática planes de trabajo y el tiempo en el que el dispositivo responde a una orden solicitada (a través de los botones de control). De igual forma puntuaron los estudiantes los criterios especificados anteriormente, con excepción del que se refiere a las indicaciones que provee el sistema. Esto se debe a que quizás el oído de las personas con pérdida visual está mejor desarrollado para entender mensajes generados a través de sintetizadores de voz, sin embargo, la puntuación se considera alta (92,3 %).

De igual manera, también se evaluaron los siguientes aspectos (empleando la escala de Likert [6]): peso del dispositivo (1 - muy liviano, 2 - liviano, 3 - normal, 4 - pesado y 5 - muy pesado),

facilidad de uso del dispositivo (1 - muy fácil, 2 - fácil, 3 - normal, 4 - difícil y 5 - muy difícil), tamaño (1 - muy pequeño, 2 - pequeño, 3 - adecuado, 4 - grande y 5 - muy grande) y utilidad de los servicios que brinda el sistema para la enseñanza (1 - totalmente en desacuerdo, 2 - en desacuerdo, 3 - ni en acuerdo ni en desacuerdo, 4 - de acuerdo y 5 - totalmente de acuerdo).

En la Figura 6 se ilustra que los resultados en las variables antes mencionadas son muy positivos. Podemos observar que ambos grupos (tanto de maestros como de estudiantes) consideran que es adecuado: 3.85 y 3.69, respectivamente. En cuanto a la facilidad de uso, se aprecia que para los maestros es más sencillo utilizar el dispositivo (4.14), mientras que los estudiantes consideran que no es complejo usarlo (3.69). En cuanto al tamaño, ambos grupos lo valoran de forma positiva (2.85 y 2.38), ya que el valor ideal para nosotros es 3 (adecuado). En el último aspecto (utilidad para la enseñanza), las puntuaciones son altas (4.85 y 4.38).

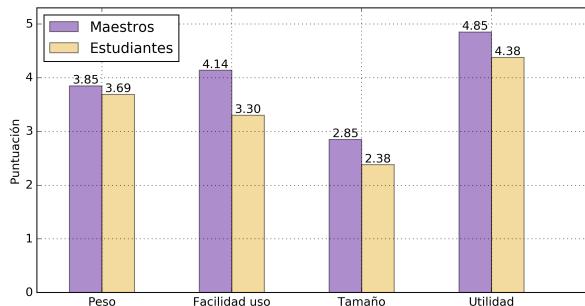


Fig. 6. Resultados de la evaluación de los criterios de peso, facilidad de uso, tamaño y utilidad del dispositivo

4.2. Pruebas preliminares con los módulos de generación de planes y grupos de trabajo

Una vez que se implementaron las diferentes reglas, construyó un corpus artificial con 37 perfiles de niños. Cada perfil está definido en base a las variables indicadas en la Ecuación 1 (más una del identificador).

Con base en este corpus, se procedió a generar automáticamente 37 planes de intervención y

del mismo modo, empleando la métrica definida en la Ecuación 2 se realizó un análisis de conglomerados con todos los perfiles artificiales. En la Figura 6 se muestra un fragmento de un plan de trabajo para un niño que tiene una edad cronológica de 63 meses y una edad de desarrollo de 48 meses. Dado que el niño presenta un desfase de más de 1 año entre dichas edades, el sistema sugiere que trabaje en las áreas de independencia, motricidad fina, lenguaje, social y cognitiva.

```

<!-- Datos del perfil del niño --
<informe-perfil-niño>
<edadC descripción="Edad Cronológica" unidad="meses">63</edadC>
<edadD descripción="Edad de Desarrollo" unidad="meses">48</edadD>
<nivel-destreza-motriz evaluación="9">
  alta
  <descripción-destreza-motriz>
    {La destreza motriz del niño es Alta, por ello debe no es
    necesario realizar actividades de entrenamiento previas.}
  </descripción-destreza-motriz>
</nivel-destreza-motriz>
</informe-perfil-niño>
<!-- Plan de trabajo con el sistema Braille --
<plan-trabajo>
  <areas-trabajar>
    <area-1>
      El niño debe realizar actividades relacionadas con el
      desarrollo de la Independencia
    </area-1>
    <area-2>
      El niño debe realizar actividades relacionadas con el
      desarrollo de la Motricidad Fina
    </area-2>
  <area-3>

```

Fig. 7. Fragmento de un plan de trabajo generado para un niño invidente

Por otra parte, en la Figura 8 se aprecia el dendrograma que genera el sistema. Este servicio es de gran utilidad, ya que los especialistas o maestros pueden identificar de forma ágil grupos de niños a los que se les puede aplicar un proceso de intervención educativa similar. El dendrograma ha sido generado con las siguientes ponderaciones: $w_1 = 0.2, w_2 = 0.27, w_3 = 0.27, w_4 = 0.01, w_5 = 0.25$. Con ello, se hace énfasis en las edades cronológica y de desarrollo, en la destreza motriz y la pérdida visual. Esto permitirá que los niños puedan ir al mismo ritmo de trabajo.

4.3. Análisis de recursos que consume el sistema

Otro aspecto que reviste gran interés, es el de la evaluación del rendimiento del sistema en términos de uso de recursos y tiempos de

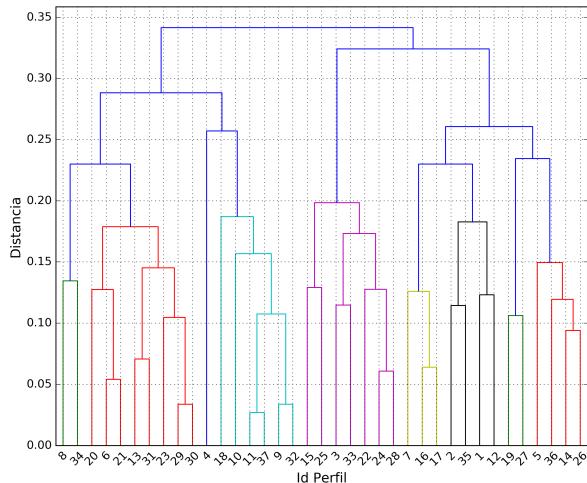


Fig. 8. Fragmento de un plan de trabajo generado para un niño invidente

resposta. Esto es crucial ya que durante una clase con un niño con necesidades educativas especiales cada minuto de su atención es vital para que se puedan captar conceptos y desarrollar distintos tipos de habilidades. Si un equipo que se emplea en el ámbito de la educación especial no trabaja de forma óptima, puede generar frustraciones tanto en los niños como en sus maestros. Por lo tanto, a más de medir la percepción que tienen los usuarios finales acerca del tiempo de respuesta del sistema (sección 4.1), se llevó a cabo un conjunto de pruebas de laboratorio para medir el consumo de procesador, memoria RAM y el tiempo de respuesta de las diferentes funciones del sistema. Los resultados son bastante positivos, ya que no se necesita más del 4.4% de 1 Gigabyte de memoria que tiene el sistema electrónico embebido (Raspberry PI 2). Los requerimientos son similares para los diferentes modos de funcionamiento, esto es, lectura, escritura y escritura de palabras.

En cuanto al porcentaje de uso de la memoria RAM, hemos registrado los valores que se requieren para iniciar el sintetizador de voz y el programa base que contiene todas las instrucciones y algoritmos para la intervención pedagógica. Los valores obtenidos indican que se emplea un 1.8 % y un 2.6 % de memoria RAM tanto

para el programa base como para el sintetizador de voz durante la ejecución de las siguientes operaciones: arranque del sistema, modo lectura, modo escritura y modo escribir palabras.

En la Figura 9 se ilustran los tiempos requeridos para llevar a cabo los procesos de encendido, apagado y ejecución de los 3 modos de funcionamiento del dispositivo. Se necesita aproximadamente 23 segundos para que el sistema esté listo, considerando que debe cargar el sistema operativo (Raspbian [25]) en modo texto y el programa principal. Un tiempo similar (17s) se necesita para cerrar el programa y apagar el sistema operativo. Por otra parte, los tiempos requeridos para trabajar en los modos de funcionamiento se consideran muy buenos, ya que son inferiores a 2 segundos. Por ello, los usuarios consideran que el sistema tiene una rápida respuesta.

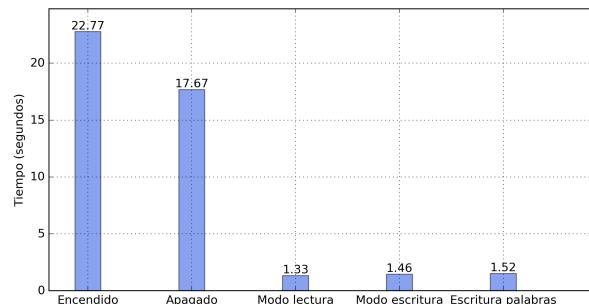


Fig. 9. Tiempos de respuesta del dispositivo para el encendido, apagado y modos de funcionamiento

Al igual que en el caso anterior, los tiempos requeridos para realizar las siguientes tareas son inferiores a 2 segundos (Figura ??): navegación por las letras (anterior y siguiente), validar si el símbolo introducido es correcto o no y almacenar la letra para formar palabras. Cabe mencionar que estos tiempos consideran no solo la respuesta del sistema, sino la conversión de texto a habla a través del sintetizador de voz empleado.

5. Conclusiones

El dispositivo electrónico se constituye en una herramienta pedagógica de gran aplicabilidad para

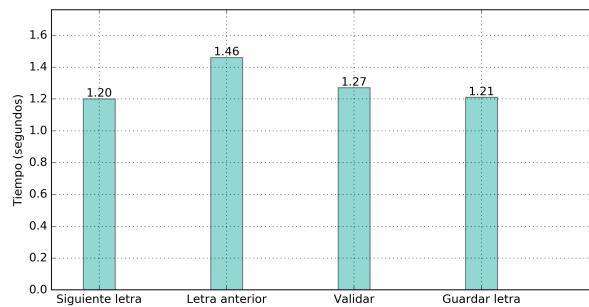


Fig. 10. Tiempos de respuesta del dispositivo respecto a la navegación, validación y concatenación de letras

el aprendizaje del lenguaje Braille, ya que funciona con una aplicación móvil que permite ingresar datos, planificar sesiones de trabajo, generar reportes de las actividades realizadas y llevar a cabo el monitoreo del desarrollo del niño. Estas funcionalidades revisten de gran interés, pues el aprendizaje del sistema Braille depende de una serie de conocimientos en donde el niño debe ir superando cada etapa que se plantea. Por ello, la capacidad de planificar sesiones de trabajo en base a las necesidades de los niños, posibilita que los maestros puedan brindar un servicio educativo más efectivo, dadas las condiciones que se deben afrontar en países en desarrollo.

Este sistema permite gestionar diversos datos del perfil de los niños con el fin de conocer la edad cronológica y ubicarse en una etapa de desarrollo para que se produzca dicho aprendizaje, es importante mantener un monitoreo del desarrollo del niño para así ir recopilando información de las actividades trabajadas para determinar la evolución de cada caso o simplemente plantear actividades de retroalimentación que favorezcan al aprendizaje. Los diferentes niveles de granularidad de los reportes (diarios, semanales, mensuales o de períodos de tiempo que sean necesarios establecer) ayudan en la realización de diversos tipos de análisis desde el ámbito pedagógico, considerando de forma particular como ha sido el proceso de aprendizaje del sistema.

Asimismo, es importante mencionar que en esta propuesta se combinan dos técnicas que podrían mejorar sustancialmente el proceso de enseñanza

del lenguaje Braille: el razonamiento basado en reglas y el análisis de conglomerados.

Como líneas de trabajo futuro se proponen las siguientes:

- Desarrollar un módulo que permita generar planes personalizados de intervención pedagógica empleando razonamiento basado en casos.
- Desarrollar una base de conocimiento basada en ontologías a fin de combinar actividades de diagnóstico e intervención pedagógica para los niños.
- Desarrollar un módulo que permita analizar similitud de patrones de aprendizaje de escritura Braille en grupos de niños a través de la similitud de coseno suave y n-gramas [23, 24].

Agradecimientos

Este trabajo ha sido auspiciado por el proyecto de investigación “Sistemas Inteligentes de Soporte a la Educación Especial (v5)”, el Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de Asistencia (GI-IATA) y la Cátedra UNESCO Tecnologías de Apoyo para la Inclusión Educativa de la Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador.

Referencias

1. **Bosch, L. (1983).** Identificación de procesos fonológicos de simplificación en el habla infantil. *Revista de Logopedia, Foniatria y Audiología*, Vol. 3, No. 2, pp. 96–102.
2. **Critien, L. V., Khuman, A. S., Carter, J., & Ahmadi, S. (2014).** A rule based system for diagnosing and treating chronic heart failure. *Computational Intelligence (UKCI), 2014 14th UK Workshop on*, IEEE, pp. 1–6.
3. **Damit, D. S. A., Ani, A. I. C., Muhamad, A. I., Abbas, M. H., & Ali, F. Z. (2014).** Dual braille code translator: basic education tool for visually impaired children. *Computer, Communications, and Control Technology (I4CT), 2014 International Conference on*, IEEE, pp. 399–402.

4. Dias, M. B., Dias, M. F., Belousov, S., Rahman, M. K., Sanghvi, S., Fanaswala, I., Ghazzawi, W., Abdulsalam, A., El-Moughny, N., & Menon, S. R. (2009). An automated braille writing tutor with multilingual exercises and educational games. *Information and Communication Technologies and Development (ICTD), 2009 International Conference on*, IEEE, pp. 478–478.
5. Duarte-Barón, K., Pabón, J. X., Claros, R., & Gil, J. J. (2016). Diseño y construcción de un dispositivo para facilitar el aprendizaje del sistema de lectoescritura braille. *Ingeniería y Competitividad*, Vol. 18, No. 1, pp. 77–90.
6. Echauri, A. M. F., Minami, H., & Sandoval, M. J. I. (2014). La escala de likert en la evaluación docente: acercamiento a sus características y principios metodológicos. *Perspectivas Docentes*, , No. 50.
7. Florian, L. (2017). La educación especial en la era de la inclusión: ¿ el fin de la educación especial o un nuevo comienzo?
8. Gardner, H. (1995). Inteligencias múltiples. la teoría en la práctica. *Editorial Vergara*.
9. Gutiérrez Pacheco, L. (2014). *Mejoramiento de la integración sensorial en niñas y niños con discapacidad auditiva y visual de la Unidad Educativa Especial "Claudio Neira Garzón"* Cuenca 2013. Master's thesis.
10. Jafri, R. (2014). Electronic braille blocks: a tangible interface-based application for teaching braille letter recognition to very young blind children. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, Springer, pp. 551–558.
11. Juric, M. B. & Faganel, T. (2016). Kumuluzee: Building microservices with java ee.
12. Lafuente de Frutos, Á. (2011). *Educación inclusiva: personas con discapacidad visual*. ITE.
13. Martínez-Liébana, I. & Chacón, D. P. (2004). *Guía didáctica para la lectoescritura Braille*. Organización Nacional de Ciegos Españoles.
14. Martínez Pérez, R. (2017). Pure python knowledge-based inference engine. <https://github.com/buguroo/pyknow>.
15. Matsuda, Y. (2016). Teaching interface of finger braille teaching system using smartphone. *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2016 8th International Conference on*, volume 2, IEEE, pp. 115–118.
16. Naser, S. S. A. & Mahdi, A. O. (2016). A proposed expert system for foot diseases diagnosis. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, Vol. 2, No. 4, pp. 155–168.
17. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (2013). *Reseña del Tratado de Marrakech para facilitar el acceso a las obras publicadas a las personas ciegas, con discapacidad visual o con otras dificultades para acceder al texto impreso*. OMPI.
18. Osuch, P. J. & Sinha, S. (2013). An electronic solution to automate the process of grade-1 braille training. *Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), 2013 IEEE*, IEEE, pp. 47–52.
19. Rahman, M. K., Sanghvi, S., & El-Moughny, N. (2009). Enhancing an automated braille writing tutor. *Intelligent Robots and Systems, 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on*, IEEE, pp. 2327–2333.
20. Rantala, J., Raisamo, R., Lylykangas, J., Surakka, V., Raisamo, J., Salminen, K., Pakkanen, T., & Hippula, A. (2009). Methods for presenting braille characters on a mobile device with a touchscreen and tactile feedback. *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 2, No. 1, pp. 28–39.
21. Rupanagudi, S. R., Huddar, S., Bhat, V. G., Patil, S. S., & Bhaskar, M. (2014). Novel methodology for kannada braille to speech translation using image processing on fpga. *Advances in Electrical Engineering (ICAEE), 2014 International Conference on*, IEEE, pp. 1–6.
22. Schmidt, M. B., Gustavo, L., & Ramirez, A. R. G. (2014). Single braille cell. *Biosignals and Biorobotics Conference (2014): Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC), 5th ISSNIP-IEEE*, IEEE, pp. 1–5.
23. Sidorov, G. (2013). Construcción no lineal de n-gramas en la lingüística computacional. *Mexico DF: Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial*.
24. Sidorov, G., Gelbukh, A., Gómez-Adorno, H., & Pinto, D. (2014). Soft similarity and soft cosine measure: Similarity of features in vector space model. *Computación y Sistemas*, Vol. 18, No. 3, pp. 491–504.
25. Thompson, M., Green, P., et al. (2016). Raspbian.
26. Tomaševski, K. (2006). *Human rights obligations in education: the 4-A scheme*. Wolf Legal Publishers (WLP).

27. **UNESCO (2003).** Declaración universal de los derechos humanos. *Universidad de Navarra, Centro de Documentación Bioética.*
28. **World Health Organization (2016).** International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision.
29. **Zepeda-Mendoza, M. L. & Resendis-Antonio,**
- O. (2013).** Hierarchical agglomerative clustering. In *Encyclopedia of Systems Biology*. Springer, pp. 886–887.

*Article received on 03/09/2017; accepted on 10/05/2018.
Corresponding author is Vladimir Robles-Bykbaev.*