RELIGACIÓN
REVISTA

Mejora del desempeño fonético mediante una aplicación móvil con inteligencia artificial en educación especial

Improving Phonetic Performance Through an AI-Powered Mobile App in Special Education

Luis Eduardo Hernandez Vallarta, Yedid Erandini Niño Membrillo, Rosa María Rodríguez Aguilar, Magally Martínez Reyes

Resumen

Las dificultades motoras y comunicativas pueden limitar la participación de estudiantes con parálisis cerebral en actividades relacionadas con los fonemas y la pronunciación. El objetivo fue evaluar FONELU, una aplicación lúdica móvil con inteligencia artificial predictiva, como apoyo para el aprendizaje fonético en educación especial. Se empleó un enfoque mixto y un diseño preexperimental de un solo grupo, con evaluaciones PRE y POST. La implementación se desarrolló durante ocho semanas con 12 estudiantes de 3 a 11 años. Durante las actividades se registró un 86,15 % de respuestas correctas. En la Batería de Evaluación de la Lengua Española (BELE), el promedio grupal pasó de 57,28 % a 65,34 %, con un incremento de 8,06 puntos porcentuales. El modelo LightGBM generó orientaciones predictivas para complementar el seguimiento docente, y las tres maestras recomendaron continuar utilizando la aplicación. Los resultados muestran mejoras en el desempeño fonético evaluado e indican que FONELU constituye un recurso educativo viable para integrar práctica, evaluación y seguimiento. Sin embargo, el diseño del estudio no permite atribuir exclusivamente a la aplicación las mejoras observadas.

Palabras clave: Educación Especial; Aprendizaje Fonético; Inteligencia Artificial Predictiva; Parálisis Cerebral.

Luis Eduardo Hernandez Vallarta
Universidad Autónoma del Estado de México | Texcoco de Mora | México | lhernandezv088@alumno.uaemex.mx
https://orcid.org/0009-0006-1533-2747
Yedid Erandini Niño Membrillo
Universidad Autónoma del Estado de México | Texcoco de Mora | México | yeninom@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0003-4484-1162
Rosa María Rodríguez Aguilar
Universidad Autónoma del Estado de México | Nezahualcóyotl | México | rmrodrigueza@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0002-2124-4763
Magally Martínez Reyes
Universidad Autónoma del Estado de México | Valle de Chalco | México | mmartinezr@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0002-2643-6748

http://doi.org/10.46652/rgn.v11i52.1734
ISSN 2477-9083
Vol. 11 No. 52, octubre-diciembre, 2026, e2601734
Quito, Ecuador

Enviado: julio 15, 2026
Aceptado: septiembre 12, 2026
Publicado: noviembre 23, 2026
Publicación Continua

RELIGACIÓN CICSHAL
Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades desde América Latina

Abstract

Motor and communication difficulties may limit the participation of students with cerebral palsy in activities involving phonemes and pronunciation. This study aimed to evaluate FONELU, a playful mobile application with predictive artificial intelligence, as a support tool for phonetic learning in special education. A mixed-methods approach and a single-group pre-experimental design with PRE and POST assessments were used. The implementation lasted eight weeks and involved 12 students aged 3 to 11 years. During the activities, 86.15% of responses were correct. In the Spanish Language Assessment Battery (BELE), the group mean increased from 57.28% to 65.34%, representing a gain of 8.06 percentage points. The LightGBM model generated predictive recommendations to complement teacher monitoring, and all three teachers recommended continued use of the application. The results show improvements in assessed phonetic performance and indicate that FONELU is a viable educational resource for integrating practice, assessment, and monitoring. However, the study design does not allow the observed improvements to be attributed exclusively to the application.

Keywords: Special Education; Phonetic Learning; Predictive Artificial Intelligence; Cerebral Palsy.

Introducción

La educación especial requiere recursos capaces de atender la diversidad de necesidades motoras, sensoriales, cognitivas y comunicativas de los estudiantes. En este sentido, la tecnología constituye una herramienta valiosa que puede favorecer el acceso, la participación y el desarrollo de actividades educativas, siempre que su integración responda a objetivos pedagógicos claramente definidos, considerando las características, capacidades y requerimientos específicos de los usuarios. World Health Organization y United Nations Children's Fund (2022), destacan que las tecnologías de asistencia son fundamentales para fomentar la inclusión, la autonomía y la participación de las personas con discapacidad en entornos como la educación y la comunicación. Desde esta perspectiva, el valor de una herramienta tecnológica no depende únicamente de su disponibilidad, sino de su pertinencia para la población a la que se dirige y de la forma en que se incorpora a las actividades educativas.

Dentro de este contexto, la parálisis cerebral (PC) comprende un grupo heterogéneo de trastornos permanentes del movimiento y la postura que pueden acompañarse de alteraciones sensoriales, cognitivas, comunicativas o del lenguaje (Paul et al., 2022; Peláez-Cantero et al., 2021). Estas condiciones pueden influir en la producción e inteligibilidad del habla, con repercusiones en la participación comunicativa de las personas. Korkalainen et al. (2023), mencionan, a partir de una revisión sistemática sobre intervenciones motoras del habla en niños con PC, que la disartria es una alteración frecuente en esta población y que las intervenciones terapéuticas se orientan especialmente en la mejora de la inteligibilidad del habla. Por ello, el trabajo educativo relacionado con los sonidos del habla y la pronunciación constituye un ámbito pertinente para complementar la atención comunicativa de estos estudiantes.

En esta revisión sistemática, se identifica como el aprendizaje fonético se delimita al reconocimiento, la discriminación y la práctica de los sonidos del habla, así como a su pronunciación dentro de las palabras. Esta delimitación permite concentrar el trabajo en los fonemas y evitar extender el propósito hacia procesos de lectoescritura que no forman parte del alcance del

estudio. Su importancia radica en ofrecer oportunidades estructuradas para escuchar, identificar y producir sonidos mediante diferentes estímulos y formas de interacción. En entornos digitales, estas actividades pueden complementarse con imágenes, audios, repetición y retroalimentación, mientras que los elementos lúdicos pueden utilizarse para favorecer la participación cuando se relacionan directamente con el propósito educativo. Así, la tecnología funciona como un apoyo para la práctica y no como sustituto de la intervención profesional.

La incorporación de Inteligencia Artificial (IA) en este tipo de sistemas ha permitido analizar datos, identificar patrones y generar estimaciones que pueden complementar el seguimiento educativo. Zhang et al. (2026), mencionan en su revisión sistemática y de metaanálisis sobre intervenciones educativas basadas en IA dirigidas a estudiantes con discapacidad, reportan resultados favorables en conjunto, aunque con variaciones significativas entre los estudios analizados, poblaciones y formas de implementación. De manera complementaria, los trabajos de Lu et al. (2023, 2025), muestran que los datos generados durante la interacción en entornos educativos gamificados pueden aprovecharse para desarrollar y validar modelos predictivos asociados con el desempeño académico. En este sentido, la IA predictiva puede aportar información adicional para orientar el seguimiento, siempre que sus resultados se interpreten como apoyo y no como decisiones automáticas que sustituyan el criterio profesional.

En conjunto, los antecedentes recientes muestran una tendencia en tres líneas de investigación vinculadas estrechamente: las aplicaciones móviles ludificadas para niños con discapacidad (Mahmoudi et al., 2024), la incorporación de inteligencia artificial en intervenciones educativas dirigidas a estudiantes con discapacidad (Zhang et al., 2026) y la utilización de modelos predictivos construidos a partir de datos generados durante la interacción en entornos educativos basados en juego (Lu et al., 2023, 2025). Sin embargo, estos componentes se han estudiado principalmente desde propósitos y contextos distintos, por lo que su integración en escenarios específicos de educación especial continúa requiriendo evaluación. Esta necesidad resulta especialmente relevante cuando la herramienta se dirige a estudiantes con PC y se concentra en el aprendizaje fonético, debido a la diversidad de condiciones motoras y comunicativas presentes en esta población. Por ello, resulta pertinente analizar una propuesta que articule práctica fonética, recursos lúdicos, registro del desempeño e información predictiva, manteniendo la interpretación y las decisiones educativas bajo responsabilidad profesional.

En este marco, FONELU se desarrolló como una propuesta propia e independiente para apoyar el aprendizaje fonético mediante una aplicación lúdica móvil que incorpora un modelo de IA predictiva. La aplicación integra actividades orientadas a la identificación y práctica de fonemas y pronunciación, recursos visuales y auditivos, evaluación y registro del desempeño. A partir de la información generada durante las actividades, el modelo de IA predictiva produce orientaciones de refuerzo, mantenimiento o avance, acompañadas de una estimación de probabilidad de éxito. Estas salidas se presentan como información complementaria para apoyar el seguimiento realizado por las maestras; por tanto, no sustituyen su valoración profesional ni determinan

automáticamente la continuidad de las actividades. Esta integración busca ampliar la utilidad de la aplicación más allá de la ejecución de ejercicios, incorporando el análisis del desempeño como apoyo al proceso educativo.

Para la evaluación del componente fonético de FONELU, se utilizó la Batería de Evaluación de la Lengua Española (BELE), elaborada para población infantil mexicana de 3 a 11 años (Rangel et al., 1988). Dentro de este instrumento, la evaluación de la articulación permite registrar el desempeño relacionado con la producción de fonemas y disponer de información comparable entre distintos momentos de evaluación. En este estudio, BELE se aplicó en dos momentos, PRE y POST, con el propósito de analizar las variaciones registradas durante el periodo de implementación de FONELU. Su aplicación y función específica dentro del estudio se describen con mayor detalle en el apartado de instrumentos y fuentes de información.

La implementación se realizó en una institución de asistencia privada especializada en la atención educativa y terapéutica de personas con parálisis cerebral, ubicada en la Ciudad de México. Para resguardar la confidencialidad del contexto de implementación y proteger la identidad de la institución y de los participantes, se omite su nombre y, en adelante, se utiliza la expresión "la institución". El objetivo del estudio fue evaluar el uso de FONELU, una aplicación lúdica móvil con inteligencia artificial predictiva, como apoyo para el aprendizaje fonético en educación especial, a partir del desempeño registrado durante su implementación, las mediciones PRE y POST y la información generada por el modelo predictivo.

Metodología

Enfoque, diseño y análisis de la investigación

El estudio adoptó un enfoque mixto, de carácter aplicado y alcance exploratorio-descriptivo. El enfoque mixto permitió integrar información cuantitativa sobre el desempeño registrado y la comparación entre las mediciones PRE y POST con información cualitativa procedente de la evaluación lingüística y de las respuestas abiertas de las maestras. Si bien un diseño cuasiexperimental con un grupo de control proporciona mayor robustez metodológica, el componente cuantitativo de esta investigación adoptó un diseño preexperimental de un solo grupo, en el que los mismos estudiantes participaron en ambos momentos de evaluación. Esta elección obedeció al tamaño reducido de la muestra y a la necesidad de preservar la dinámica institucional que impidieron la creación de un grupo de control. Así como al criterio ético de equidad, solicitada por la institución, para asegurar que toda la muestra se beneficiara con el uso de FONELU para observar los cambios y progreso individual de los estudiantes. El carácter aplicado respondió a la evaluación de una herramienta tecnológica desarrollada para un contexto educativo específico, mientras que el alcance exploratorio-descriptivo permitió examinar su funcionamiento y caracterizar los resultados obtenidos sin atribuir relaciones causales exclusivas entre las variaciones observadas y el uso de FONELU.

El análisis cuantitativo se realizó con la información correspondiente a 12 estudiantes. En los registros generados durante las actividades se calcularon frecuencias, aciertos, errores, porcentajes y medidas de tendencia central y dispersión. Para BELE se obtuvieron los porcentajes PRE y POST y la diferencia entre ambos momentos. La distribución de estas diferencias se examinó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y, posteriormente, se aplicó una prueba *t* de Student para muestras relacionadas con un nivel de significancia de $\alpha = 0{,}05$. También se calcularon el intervalo de confianza del 95% y el tamaño del efecto para complementar la interpretación de la comparación. Los resultados de la rúbrica y las salidas del modelo de IA predictiva se analizaron de manera descriptiva y se mantuvieron separados de la comparación PRE y POST, debido a que correspondieron a fuentes con finalidades diferentes.

El análisis cualitativo se efectuó a partir de las categorías previamente establecidas en la evaluación lingüística y de las respuestas abiertas del instrumento docente. En la evaluación lingüística se describieron cambios o permanencias relacionados con la articulación, la producción verbal, la estructuración de frases y el uso funcional del lenguaje. Las respuestas de las maestras se organizaron de acuerdo con los aspectos contemplados en el instrumento, entre ellos pertinencia pedagógica, usabilidad, accesibilidad, seguimiento y funcionamiento de la aplicación. No se construyeron categorías emergentes adicionales ni se transformaron estas observaciones en una puntuación global. La información cualitativa se utilizó para complementar la interpretación de los indicadores cuantitativos y aportar contexto sobre el desempeño y la experiencia de uso, manteniendo separadas las mediciones numéricas y las descripciones cualitativas de acuerdo con la naturaleza y el propósito de cada fuente.

Contexto, participantes y selección de la muestra

La investigación se desarrolló en el Área de Comunicación y Lenguaje (ACyL) de la institución. La muestra estuvo integrada por 12 estudiantes de 3 a 11 años con diferentes necesidades de apoyo relacionadas con la comunicación, la pronunciación y el acceso motor. La selección se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que la participación dependió del acceso a la población atendida en el área, del rango de edad establecido y de la disponibilidad institucional durante el periodo definido para el estudio. Este procedimiento permitió trabajar con un grupo accesible dentro de un contexto especializado, sin pretender representar estadísticamente a toda la población con parálisis cerebral; además, participaron tres maestras del ACyL, quienes acompañaron las actividades y colaboraron, según correspondió, en la aplicación, el registro o la valoración de los instrumentos de evaluación.

Instrumentos y fuentes de información

Las fuentes de evaluación incluyeron BELE y el formato de evaluación lingüística, ambos proporcionados por el ACyL, así como instrumentos elaborados específicamente para la investigación. BELE se utilizó en los momentos PRE y POST para obtener una medida comparable

del desempeño entre ambos periodos. Por su parte, la evaluación lingüística permitió registrar información descriptiva sobre aspectos vinculados con la comunicación, la articulación, la producción verbal y la estructuración del lenguaje. Debido a que este último instrumento contiene información de uso interno y datos sensibles asociados al seguimiento de los estudiantes, su contenido completo no se reproduce en el artículo y únicamente se describen las dimensiones necesarias para comprender su función metodológica.

De manera complementaria, se diseñó una rúbrica de valoración general del desempeño y un instrumento de evaluación docente para registrar la experiencia de las maestras durante el uso de FONELU. La rúbrica se estructuró para concentrar una valoración global de aspectos observados durante el proceso, mientras que el instrumento docente consideró pertinencia pedagógica, usabilidad, accesibilidad, seguimiento y funcionamiento de la aplicación mediante una escala tipo Likert de cinco puntos, donde 1 correspondió a Muy deficiente, 2 a Deficiente, 3 a Aceptable, 4 a Bueno y 5 a Excelente, además de preguntas abiertas. Cada instrumento cumplió una función diferenciada dentro del estudio. BELE permitió comparar los momentos PRE y POST; la evaluación lingüística aportó información descriptiva sobre el desempeño comunicativo; la rúbrica proporcionó una valoración general del estudiante; y el instrumento docente permitió recuperar la experiencia de las maestras durante la implementación. Esta diferenciación permitió analizar cada fuente de acuerdo con el tipo de información que proporcionó, sin integrar mediciones con propósitos distintos en una única puntuación.

Metodologías para el desarrollo de FONELU

El desarrollo de FONELU se organizó mediante dos metodologías complementarias con funciones diferenciadas. ASSURE se empleó para orientar el diseño instruccional y relacionar los objetivos educativos con las características generales de los estudiantes y los recursos utilizados en las actividades. MOBILE-D, por su parte, estructuró el proceso tecnológico necesario para construir e integrar los componentes de la aplicación móvil. El uso complementario de ambas metodologías permitió articular la dimensión educativa con la tecnológica sin confundir sus funciones. Los instrumentos identificados previamente, junto con las características de la población y los propósitos definidos para el aprendizaje fonético, proporcionaron referentes para organizar los contenidos, recursos y funciones incorporados en FONELU. Así, ASSURE orientó la estructuración pedagógica de las actividades, mientras MOBILE-D organizó su implementación tecnológica.

Diseño instruccional de FONELU mediante ASSURE

ASSURE se utilizó como guía para organizar el diseño instruccional de FONELU. El modelo contempla el análisis de los estudiantes, la definición de objetivos, la selección y utilización de métodos y materiales, la participación y la evaluación de los recursos (Eliana et al., 2024). En este estudio, su aplicación permitió relacionar las características generales de comunicación y

acceso de los estudiantes con los objetivos establecidos para el aprendizaje fonético. A partir de esta organización se estructuraron actividades orientadas a la identificación, discriminación y práctica de fonemas, acompañadas por imágenes, audios y elementos interactivos. Los recursos se seleccionaron de acuerdo con la función educativa que debían cumplir dentro de cada actividad y con la posibilidad de facilitar distintas formas de presentación del contenido. De esta manera, ASSURE permitió conservar una correspondencia entre los objetivos educativos, las actividades propuestas y los recursos incorporados posteriormente en la aplicación.

Desarrollo tecnológico de FONELU mediante MOBILE-D

MOBILE-D se empleó para organizar el desarrollo tecnológico de FONELU mediante las fases generales de exploración, inicialización, producción, estabilización y pruebas (Abrahamsson et al., 2004). La metodología permitió avanzar desde la definición de la arquitectura y las funciones de la aplicación hasta la programación, integración y verificación de una versión funcional para dispositivos Android. Durante las fases de producción y estabilización se desarrollaron los componentes relacionados con las actividades educativas, los instrumentos de evaluación, el registro y almacenamiento de información, la exportación de datos y el módulo de IA predictiva. En este módulo se implementaron los mecanismos necesarios para comunicar los registros de desempeño con el procesamiento predictivo y devolver sus salidas a las funciones de consulta de la aplicación. Posteriormente, en la fase de pruebas, se verificó el funcionamiento conjunto de los componentes, la transferencia de información entre ellos y la recuperación de los resultados antes de la implementación con los estudiantes. De esta manera, MOBILE-D permitió organizar la construcción técnica de FONELU de forma progresiva, desde la definición de sus funciones hasta la integración y comprobación del sistema completo.

Estructura funcional de FONELU

La estructura funcional de FONELU se organizó mediante dos perfiles principales. El perfil de la maestra permitió gestionar estudiantes, seleccionar actividades, aplicar instrumentos de evaluación, consultar información y recuperar los registros generados. El perfil del estudiante concentró las actividades fonéticas asignadas y permitió interactuar con recursos visuales, auditivos y táctiles. Las actividades se organizaron de acuerdo con el fonema trabajado y su posición dentro de la palabra, con el propósito de mantener una estructura común para la práctica. Asimismo, la aplicación almacenó la información derivada de la interacción y permitió recuperarla posteriormente para su análisis. Los instrumentos descritos previamente se incorporaron dentro del mismo entorno para facilitar el registro y seguimiento de la información, sin modificar la función específica de cada fuente de evaluación. Con esta organización, FONELU integró práctica fonética, evaluación, registro y consulta de información dentro de una misma aplicación móvil.

Dentro de esta estructura, el componente predictivo se implementó mediante Light Gradient Boosting Machine (LightGBM), un algoritmo de aprendizaje automático basado en árboles de

decisión y *gradient boosting* (Ke et al., 2017). El modelo procesó variables registradas durante las actividades, entre ellas aciertos, errores, intentos, tiempo, fonema, posición y nivel, para generar una de tres orientaciones: Reforzar, Mantener o Avanzar. Cada orientación se acompañó de una estimación de probabilidad de éxito y se almacenó como información adicional para el seguimiento. La salida del modelo no modificó automáticamente el contenido ni la secuencia de las actividades, sino que quedó disponible para su consulta por parte de las maestras. De esta manera, la IA predictiva funcionó como un componente de apoyo dentro de FONELU al transformar los registros de desempeño en una referencia interpretable, mientras que la valoración de esa información y las decisiones sobre la continuidad del trabajo permanecieron bajo responsabilidad profesional.

Procedimiento de implementación

El procedimiento comenzó con la aplicación de las evaluaciones correspondientes al momento PRE, integradas por BELE y la evaluación lingüística, con el propósito de establecer un registro inicial del desempeño de los estudiantes incluidos en el estudio. Una vez concluidas estas evaluaciones, se registraron en FONELU los perfiles de los estudiantes y se organizaron las actividades fonéticas previstas de acuerdo con los fonemas y posiciones definidos previamente para la práctica. Posteriormente, la aplicación se incorporó al ACyL como un recurso complementario para el trabajo educativo realizado con los estudiantes dentro de las sesiones programadas en el área durante la implementación.

FONELU estuvo disponible durante ocho semanas, cinco días por semana y las sesiones tuvieron una duración aproximada de 45 a 50 minutos, de acuerdo con la organización del área. En este periodo se realizaron seis visitas de seguimiento para observar la incorporación de la aplicación, atender dudas generales y verificar su funcionamiento dentro de las actividades. Las maestras mantuvieron la mediación educativa durante el uso y pudieron repetir instrucciones, modelar sonidos, orientar respuestas o proporcionar apoyos adicionales cuando las características motrices o comunicativas de los estudiantes lo requirieron. La aplicación, por tanto, no operó como un recurso autónomo ni sustituyó la intervención profesional, sino que se incorporó al trabajo del área como una herramienta de apoyo. Paralelamente, FONELU almacenó los registros generados por las actividades y las salidas producidas por el modelo de IA predictiva.

Al finalizar el periodo de implementación se aplicaron las mediciones correspondientes al momento POST y el instrumento de valoración docente. Con ello se completaron las fuentes previstas para comparar los dos momentos de evaluación y describir la experiencia de uso de las maestras. La información procedente de los instrumentos, los registros de actividades y las salidas del modelo predictivo se conservó de acuerdo con su origen y finalidad. Posteriormente, los datos almacenados se recuperaron mediante la función de exportación de FONELU y se organizaron para los análisis cuantitativos y cualitativos definidos para el estudio. De esta manera, el cierre del procedimiento mantuvo la continuidad entre la medición final y la información generada

durante la implementación, al tiempo que permitió analizar cada fuente conforme a su naturaleza sin integrarlas en una única puntuación.

Consideraciones éticas

La implementación se realizó con autorización institucional general para efectuar las pruebas y el seguimiento académico de FONELU dentro del ACyL. Esta autorización se formalizó mediante una carta de inicio emitida antes del periodo de aplicación y una carta de cierre al finalizarlo, documentos que respaldaron institucionalmente el desarrollo de las actividades previstas. Además, con base en las normas operativas de la institución el consentimiento informado de los padres o tutores se gestionó por la responsable del ACyL quien fue la mediadora para notificar el uso de una nueva aplicación educativa que registraría el avance de cada uno de los estudiantes y que serviría de apoyo como parte de las actividades regulares de la institución. Aunado a que, el uso de la aplicación y mediación para con los estudiantes se realizaría exclusivamente por las maestras del ACyL garantizando que personas externas a la institución tuvieran interacción con los menores para salvaguardar su seguridad y bienestar, sin recibir objeciones al respecto. Asimismo, se implementó un protocolo de anonimato de datos, para proteger la confidencialidad el nombre de la institución se omite en el artículo y los estudiantes se presentan mediante identificadores no nominales. No se incluyen nombres, datos de contacto, fotografías ni información que permita relacionar directamente los resultados con una persona específica. Los registros empleados para el análisis se utilizaron únicamente con fines académicos dentro del alcance autorizado y se presentaron de forma agrupada o mediante identificadores generales. Estas medidas se mantuvieron durante la obtención, organización, análisis y comunicación de la información generada durante la implementación.

Resultados

Organización de los datos analizados

El conjunto de datos estuvo formado por 2379 registros correspondientes a los 12 estudiantes, de los cuales 1512 correspondieron a BELE, 332 a las actividades realizadas en FONELU, 263 a la evaluación lingüística, 260 al modelo de IA predictiva y 12 a la rúbrica, conservándose cada fuente por separado de acuerdo con su propósito analítico. Los 332 registros de actividades correspondieron a ejecuciones de actividades en las que se almacenaron los conteos de aciertos y errores; al sumar estos conteos se obtuvieron las 3718 respuestas emitidas por los estudiantes. La información obtenida mediante el instrumento docente se analizó por separado, ya que correspondió a las respuestas de las tres maestras participantes y no a registros generados por los estudiantes. Esta organización permitió distinguir entre el desempeño durante el uso, las evaluaciones PRE y POST, la información lingüística, las salidas predictivas, la valoración general del desempeño y la experiencia docente.

Comparación pre y post de BELE

Los 12 estudiantes obtuvieron un porcentaje POST superior al registrado en la medición PRE de BELE. El promedio grupal pasó de 57,28% a 65,34%, lo que representó un incremento medio de 8,07 puntos porcentuales. Aunque el cambio fue positivo en todos los casos, la magnitud de la diferencia varió entre estudiantes, con incrementos individuales comprendidos entre 1,59 y 20,63 puntos porcentuales. Esta variación muestra que el comportamiento entre ambos momentos no fue uniforme y que el promedio grupal debe leerse junto con los resultados individuales. La Tabla 1 presenta las puntuaciones PRE y POST de cada estudiante y la diferencia correspondiente, con el propósito de conservar el detalle de los 12 casos sin trasladar todos los valores al texto. La comparación inferencial de estas diferencias se presenta en el apartado siguiente.

Tabla 1. Comparación de los resultados PRE y POST de BELE

Estudiante	PRE	POST	Diferencia en puntos porcentuales
Estudiante 1	47,62 %	60,32 %	+12,70
Estudiante 2	73,02 %	84,13 %	+11,11
Estudiante 3	74,60 %	79,37 %	+4,76
Estudiante 4	9,52 %	17,46 %	+7,94
Estudiante 5	42,86 %	63,49 %	+20,63
Estudiante 6	93,65 %	96,83 %	+3,17
Estudiante 7	96,83 %	98,41 %	+1,59
Estudiante 8	46,03 %	50,79 %	+4,76
Estudiante 9	58,73 %	69,84 %	+11,11
Estudiante 10	38,10 %	44,44 %	+6,35
Estudiante 11	71,43 %	79,37 %	+7,94
Estudiante 12	34,92 %	39,68 %	+4,76
Promedio	57,28 %	65,34 %	+8.06

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de BELE.

Contrastación estadística de BELE

Antes de realizar la comparación inferencial de BELE se examinó la distribución de las diferencias entre las mediciones PRE y POST mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El resultado fue $W = 0{,}901$ y $p = 0{,}165$, por lo que no se identificó evidencia estadística para rechazar el supuesto de normalidad de las diferencias. Posteriormente, la prueba t de Student para muestras relacionadas produjo $t(11) = 5{,}36$ y $p < 0{,}001$. La diferencia promedio fue de 8.06 puntos porcentuales, con una desviación estándar de 5,22 y un intervalo de confianza del 95 % entre 4,75 y 11,38 puntos. El tamaño del efecto dentro del grupo fue $d_z = 1{,}55$. Estos resultados corresponden exclusivamente a la comparación PRE y POST de BELE; el porcentaje de respuestas correctas obtenido durante las actividades de FONELU no formó parte de esta prueba estadística.

Evaluación lingüística

La evaluación lingüística generó 263 registros correspondientes a los 12 estudiantes e incluyó información sobre características del lenguaje, funciones comunicativas, intención comunicativa, actos conversacionales, etapa lingüística, proceso de adquisición, observaciones y nivel de habla. El análisis descriptivo mostró patrones diferentes entre los estudiantes: en algunos casos se mantuvieron las estructuras previamente observadas, mientras que en otros se registraron cambios relacionados con la extensión de las expresiones, la articulación de determinados fonemas o el uso funcional del lenguaje. También se identificaron situaciones en las que continuó siendo necesario proporcionar apoyo verbal, visual o gestual. Debido a que estas categorías no constituyen una escala numérica común, no se calculó un promedio global. La Tabla 2 presenta cuatro casos seleccionados para ilustrar distintos patrones de mantenimiento y cambio observados entre los registros PRE y POST.

Tabla 2. Ejemplos de cambios registrados mediante la evaluación lingüística

Estudiante	Registro PRE	Registro POST	Mantenimiento o cambio descrito
Estudiante 2	Construía frases simples de dos palabras e iniciaba conversaciones espontáneas.	Construía frases de entre tres y ocho palabras, aunque en ocasiones requería apoyo.	Aumento de la extensión de las frases.
Estudiante 3	Estructuraba frases de entre ocho y diez palabras y presentaba dificultades en /r/ y /rr/.	Mantuvo frases de entre ocho y diez palabras y comenzó a corregir algunas palabras con /r/.	Mantenimiento de la estructuración y cambio articulatorio en algunas palabras.
Estudiante 4	Utilizaba frases simples y requería apoyo para ampliar sus respuestas.	Mantuvo frases simples, pero respondió preguntas y solicitó o proporcionó información.	Mantenimiento de la estructura con presencia de recursos comunicativos funcionales.
Estudiante 6	Producía expresiones breves y requería modelamiento en determinadas situaciones.	Produjo frases de hasta seis palabras y narró acontecimientos significativos.	Mayor extensión de frases y uso funcional del lenguaje.

Fuente: elaboración propia a partir de los registros de la evaluación lingüística.

Desempeño general durante las actividades

A partir de los 332 registros de actividades se contabilizaron 3718 respuestas emitidas por los 12 estudiantes, de las cuales 3203 fueron correctas y 515 incorrectas. El porcentaje global de respuestas correctas fue de 86,15 %, mientras que la media por actividad alcanzó 86,36 % y la mediana 91,00 %. Al considerar el desempeño por estudiante, la media fue de 86,06 %, con valores comprendidos entre 67,40 % y 98,52 %, lo que evidenció diferencias individuales en la ejecución. La participación también fue variable, con entre 11 y 57 registros por estudiante. El tiempo total acumulado fue de 10,17 horas, con una media de 110,27 segundos y una mediana de 67,50 segundos por actividad; la diferencia entre ambas medidas estuvo influida por un valor

máximo de 8479 segundos, identificado como un registro atípico respecto del tiempo habitual de interacción.

Resultados según la posición del fonema

El análisis según la posición del fonema mostró porcentajes similares entre las categorías inicial, intermedia y final. La posición intermedia concentró la mayor cantidad de registros, con 150, seguida de la inicial con 111 y la final con 71. Los porcentajes de respuestas correctas fueron de 85,59 % en posición intermedia, 85,81 % en posición inicial y 87,88 % en posición final. La diferencia entre el valor más bajo y el más alto fue de 2,29 puntos porcentuales, por lo que no se observó una separación amplia entre las tres posiciones a partir del desempeño acumulado. En conjunto, estos datos muestran que la posición final obtuvo el porcentaje más alto, aunque con una cantidad menor de registros, mientras que la posición intermedia concentró la mayor participación.

Resultados del modelo de IA predictiva con LightGBM

Durante la implementación, el modelo de IA predictiva generó 260 registros correspondientes a los 12 estudiantes. De este total, 253 fueron clasificados como Avanzar y siete como Reforzar, mientras que no se registraron casos en la categoría Mantener. La marcada concentración en la orientación Avanzar muestra que las salidas producidas durante el periodo de uso no se distribuyeron de forma equilibrada entre las tres categorías previstas. Estos registros se conservaron de manera independiente de BELE, la evaluación lingüística y la rúbrica, debido a que correspondieron a estimaciones generadas por el modelo a partir de la información de desempeño y no a puntuaciones obtenidas mediante los instrumentos de evaluación.

Las probabilidades asociadas con las salidas del modelo mostraron una diferencia clara entre las dos orientaciones registradas durante el uso real. Los registros clasificados como Avanzar presentaron una probabilidad promedio de éxito de 96,87%, mientras que los clasificados como Reforzar alcanzaron 35,58%. No se calculó una probabilidad promedio para Mantener debido a que esta categoría no apareció en los 260 registros analizados. Estos valores corresponden a estimaciones generadas por LightGBM y no deben confundirse con el porcentaje de respuestas correctas obtenido en las actividades ni con una medida de exactitud del algoritmo. Por tanto, se interpretaron como información predictiva complementaria sobre el desempeño registrado y no como una medida independiente de aprendizaje.

Resultados de la rúbrica

La rúbrica se aplicó a los 12 estudiantes como una valoración general del desempeño observado durante el periodo de implementación. El promedio grupal fue de 66,93%, con resultados individuales comprendidos entre 44% y 94%, lo que mostró variabilidad en la valoración

del desempeño. Los porcentajes se obtuvieron a partir del puntaje alcanzado respecto del máximo posible de 32 puntos establecido en el instrumento. Debido a que la rúbrica no se diseñó como una medición PRE y POST, sus resultados no se incorporaron a la prueba *t* ni se interpretaron como una medida directa de cambio entre dos momentos. Su función fue complementar la información obtenida mediante BELE, la evaluación lingüística y los registros de las actividades, proporcionando una valoración estructurada del desempeño observado por las maestras durante el proceso.

Valoración docente

Las tres maestras participantes respondieron el instrumento de evaluación docente al finalizar el periodo de implementación. En los cuatro ítems relacionados específicamente con usabilidad e interfaz se obtuvieron 12 respuestas, de las cuales 11 se ubicaron en la categoría Excelente y una en Bueno. Las tres maestras asignaron además una valoración global de 5 sobre 5, recomendaron continuar utilizando FONELU y consideraron que las actividades favorecían la motivación de los estudiantes. En las respuestas abiertas señalaron que los botones, íconos, imágenes, textos y controles resultaban comprensibles después de la orientación inicial, y valoraron favorablemente la posibilidad de concentrar actividades, evaluaciones y registros dentro de una misma herramienta. En conjunto, las respuestas docentes mostraron una valoración positiva de la pertinencia pedagógica, la usabilidad, la accesibilidad, el seguimiento y el funcionamiento general de FONELU.

Discusión

Ferreira et al. (2021), adaptaron un programa de enseñanza de conciencia fonológica para niños con parálisis cerebral mediante un proceso que incluyó el análisis de 63 actividades, la valoración de dos jueces especialistas y un estudio piloto con tres participantes. En la aplicación piloto se utilizaron 33 actividades, de las cuales los niños lograron comprender y ejecutar 26; además, los tres participantes mostraron incrementos entre las mediciones PRE y POST de conciencia fonológica, aunque con magnitudes diferentes. Estos resultados muestran la importancia de ajustar las instrucciones, los materiales y las formas de respuesta a las posibilidades motrices y comunicativas de la población. En el caso de FONELU, el trabajo se orientó a una finalidad diferente, centrada en la práctica fonética mediante un entorno móvil que incorpora recursos visuales y auditivos, instrumentos de evaluación y registro individual del desempeño. El contraste entre ambos trabajos permite observar dos formas de abordar necesidades educativas de estudiantes con parálisis cerebral: Ferreira et al. se concentraron en la adaptación de actividades de conciencia fonológica, mientras que FONELU reunió práctica fonética y seguimiento de la información dentro de una misma aplicación educativa.

Desde una perspectiva terapéutica, Ibarra-L Villalobos et al. (2016), realizaron un estudio longitudinal, comparativo y cuasiexperimental con 41 pacientes con parálisis cerebral espástica.

Los participantes recibieron un primer bloque de terapia de lenguaje oral y un segundo en el que se incorporó comunicación aumentativa y alternativa. La articulación se evaluó mediante BELE antes del tratamiento y al finalizar cada bloque. El promedio de fonemas alterados pasó de 30 de 63 a 24 de 63 después de la terapia oral, sin diferencia estadísticamente significativa (p = 0,16), y disminuyó a 17 de 63 tras incorporar comunicación aumentativa y alternativa, cambio que sí resultó significativo (p = 0,04). En FONELU también se utilizó BELE, aunque con un criterio de análisis diferente: el promedio grupal pasó de 57,28% en PRE a 65,34% en POST, con una diferencia de 8,06 puntos porcentuales (p < 0,001). Estos resultados no deben compararse directamente por las diferencias de diseño, procedimiento y análisis. En FONELU, el abordaje se situó en el ámbito educativo mediante una aplicación móvil que relacionó práctica fonética, evaluación, registros de interacción e información predictiva para apoyar el seguimiento de las maestras, sin asumir una función terapéutica.

La distinción entre intervención terapéutica y apoyo educativo también permite contextualizar los hallazgos de Korkalainen et al. (2023), quienes revisaron 21 estudios sobre ocho intervenciones motoras del habla que reunieron 131 participantes con parálisis cerebral de entre 3 y 18 años. Las intervenciones analizadas se dirigieron principalmente a mejorar la inteligibilidad o la articulación y reportaron avances en sonidos, palabras o frases; sin embargo, solo un estudio informó mejoras relacionadas con la participación comunicativa. Además, la fuerza de la evidencia se situó entre muy baja y moderada, y la aplicación de principios de aprendizaje motor fue inconsistente entre los estudios incluidos. Estos resultados muestran la diversidad de procedimientos y niveles de evidencia existentes en intervenciones dirigidas específicamente al habla. FONELU se sitúa en otro ámbito de aplicación, ya que no constituye una intervención clínica, sino un recurso educativo orientado a la práctica de fonemas y pronunciación. Durante su uso, la aplicación conservó información de la interacción de los estudiantes y la relacionó con instrumentos de evaluación y salidas predictivas, por lo que su análisis corresponde al seguimiento educativo y no a la eficacia terapéutica examinada en la revisión.

En relación con las aplicaciones móviles, Mahmoudi et al. (2024), analizaron 38 estudios correspondientes a 32 aplicaciones ludificadas dirigidas a niños con discapacidad. Más de la mitad de las aplicaciones identificadas se orientaban específicamente a niños con trastorno del espectro autista, mientras que otras condiciones presentaron una representación menor. Entre los elementos de ludificación descritos con mayor frecuencia se encontraron el carácter lúdico de las actividades, la retroalimentación sobre el desempeño y el refuerzo. A pesar de estas características, la revisión encontró resultados heterogéneos respecto de los beneficios obtenidos y señaló la necesidad de continuar estudiando estas herramientas en distintas poblaciones y contextos. Dentro de este panorama, FONELU corresponde a una aplicación implementada con estudiantes con parálisis cerebral y delimitada a la práctica de fonemas y pronunciación. Su configuración combinó actividades lúdicas con instrumentos de evaluación, almacenamiento de registros individuales y un modelo predictivo consultable por las maestras. Estas características permiten precisar la forma en que FONELU fue utilizada dentro del contexto estudiado, sin establecer equivalencias directas

con las aplicaciones revisadas por Mahmoudi et al., debido a las diferencias entre poblaciones, objetivos y procedimientos de evaluación.

La dimensión analítica de FONELU puede relacionarse con los trabajos de Lu et al. (2023, 2025). En 2023, los autores diseñaron y probaron un sistema de analítica para Mission HydroSci, un juego serio de ciencias dirigido a estudiantes de nivel medio, y recopilaron alrededor de 60 características de interacción en 373 estudiantes. El análisis permitió identificar variables relacionadas con diferencias de desempeño y establecer una base para la construcción de modelos predictivos. En 2025, los mismos autores desarrollaron un proceso de evaluación integrado en un entorno de aprendizaje basado en juego que incluyó generación de características, preprocesamiento, selección de modelos, evaluación e inferencia, y permitió distinguir patrones entre estudiantes con diferente desempeño. En FONELU, los datos de interacción se utilizaron con una finalidad distinta, centrada en el seguimiento del desempeño fonético. Los registros de las actividades fueron procesados mediante LightGBM para generar orientaciones de Reforzar, Mantener o Avanzar y una probabilidad estimada de éxito. Durante la implementación se produjeron 260 registros predictivos: 253 correspondieron a Avanzar y siete a Reforzar, como información complementaria para el seguimiento dentro de la aplicación.

El uso de IA en FONELU también puede contextualizarse con Zhang et al. (2026), quienes sintetizaron 29 estudios experimentales y cuasiexperimentales sobre intervenciones basadas en IA dirigidas a estudiantes con discapacidad. El metaanálisis encontró un efecto global de magnitud media sobre los resultados de aprendizaje, con Hedges $g = 0{,}588$, aunque no identificó moderadores estadísticamente significativos relacionados con participantes, tipo o función de la IA, intervención o metodología. La revisión también mostró una concentración de investigaciones en intervenciones asistidas por robots dirigidas a estudiantes con trastorno del espectro autista y señaló ámbitos menos explorados en el uso de IA con otros actores educativos. En ese marco, la implementación de FONELU se centró en el aprendizaje fonético de estudiantes con parálisis cerebral y en el uso de información predictiva para el seguimiento educativo. LightGBM generó estimaciones a partir del desempeño registrado y sus salidas permanecieron como información complementaria para las maestras, sin determinar automáticamente la continuidad de las actividades. Debido a las diferencias de diseño, población y propósito, los resultados de FONELU no pueden equipararse directamente con el efecto conjunto identificado por Zhang et al. (2026).

En conjunto, los estudios revisados permiten ubicar a FONELU dentro de un panorama que reúne intervenciones fonológicas y articulatorias, aplicaciones móviles ludificadas y utilización educativa de datos e inteligencia artificial. Ferreira et al. (2021), examinaron la adaptación de actividades de conciencia fonológica; Ibarra-L Villalobos et al. (2016), analizaron una intervención terapéutica sobre la articulación; Korkalainen et al. (2023), sintetizaron la evidencia disponible sobre intervenciones motoras del habla; Mahmoudi et al. (2024), estudiaron aplicaciones móviles ludificadas para niños con discapacidad; y Lu et al. (2023, 2025) y Zhang et al. (2026), abordaron distintos usos de analítica e inteligencia artificial en contextos educativos. En el contexto estudiado, FONELU reunió práctica fonética, recursos multimedia, instrumentos de evaluación, registros de

desempeño y apoyo predictivo dentro de un mismo entorno móvil. La comparación con estos antecedentes permite precisar su finalidad y funcionamiento dentro de educación especial, sin asumir equivalencia entre trabajos que responden a objetivos, poblaciones y diseños metodológicos diferentes.

Limitaciones

El estudio presenta limitaciones relacionadas con el alcance del diseño y la selección de participantes. El muestreo no probabilístico por conveniencia y el tamaño reducido de la muestra restringen la posibilidad de generalizar los hallazgos a otras poblaciones o contextos de educación especial. Sin embargo, la organización de FONELU por fonema, posición y nivel, junto con el uso de recursos visuales, auditivos e interactivos, permite considerar su aplicación en otros estudiantes que presenten necesidades semejantes de apoyo fonético y comunicativo, siempre que se realicen los ajustes y evaluaciones correspondientes al nuevo contexto. Asimismo, el diseño de un solo grupo con mediciones PRE y POST permitió describir las variaciones observadas durante el periodo de implementación, pero no establecer una relación causal exclusiva entre dichas variaciones y el uso de FONELU. Por esta razón, los resultados deben interpretarse como evidencia obtenida dentro del contexto específico en el que se desarrolló el estudio y no como una estimación general de eficacia para todos los estudiantes con parálisis cerebral. Estudios posteriores con muestras más amplias y procedimientos de evaluación replicados en otros contextos permitirían examinar con mayor precisión la estabilidad y transferibilidad de los hallazgos.

La participación y el volumen de registros generados durante el uso de FONELU tampoco fueron completamente uniformes entre los estudiantes, debido a diferencias en la asistencia, el estado de salud y la disponibilidad de los participantes durante el periodo de implementación, lo que produjo diferencias en la cantidad de información disponible para caracterizar el desempeño individual. Además, el registro automático del tiempo incluyó al menos un valor extremo que pudo incorporar periodos de pausa o inactividad, por lo que esta variable no siempre representa de forma directa el tiempo efectivo de interacción. La evaluación lingüística, la rúbrica y la valoración docente tuvieron un propósito principalmente descriptivo y complementario; por ello, sus resultados no deben interpretarse como medidas estandarizadas de cambio equivalentes a la comparación PRE y POST. En futuras implementaciones sería conveniente establecer criterios más homogéneos de exposición, incorporar mecanismos para detectar periodos prolongados de inactividad y mantener procedimientos de registro que faciliten la comparación entre estudiantes sin perder la flexibilidad requerida por sus necesidades de apoyo, con el propósito de distinguir con mayor precisión las diferencias de desempeño de aquellas asociadas con una exposición desigual a la aplicación.

El modelo de IA predictiva presentó una concentración marcada de sus salidas en la orientación de avance, mientras que las orientaciones de refuerzo fueron poco frecuentes y no se generaron registros de mantenimiento. Esta distribución limitó la posibilidad de observar el comportamiento del modelo con una representación suficiente de las tres categorías durante

la implementación real. Además, las probabilidades generadas por LightGBM corresponden a estimaciones predictivas y no constituyen por sí mismas una medida de exactitud del algoritmo ni una evidencia directa de aprendizaje. En consecuencia, su interpretación debe mantenerse como información complementaria para el seguimiento profesional. La obtención de nuevos registros reales, con una distribución más diversa de las posibles orientaciones, permitiría evaluar con mayor solidez el desempeño del modelo, examinar la consistencia de sus probabilidades y determinar su utilidad en escenarios con patrones de desempeño más variados.

Conclusión

Los resultados cuantitativos mostraron, en primer lugar, un predominio de respuestas correctas durante las actividades de FONELU. Los 12 estudiantes acumularon 3718 respuestas, de las cuales el 86,15% fueron correctas, aunque el porcentaje individual varió entre 67,40% y 98,52%, lo que muestra diferencias en el desempeño individual. Este porcentaje describe el desempeño observado durante el uso de la aplicación y señala que predominaron las respuestas correctas. En BELE, el promedio grupal aumentó de 57,28 % en PRE a 65,34% en POST, con una diferencia media de 8,06 puntos porcentuales; además, los 12 estudiantes obtuvieron una puntuación POST superior a la PRE. Este incremento representa una variación favorable entre ambos momentos de evaluación. La prueba t para muestras relacionadas mostró una diferencia estadísticamente significativa, $t(11) = 5{,}36$, $p < 0{,}001$, con un tamaño del efecto de 1,55 (d_z), lo que aporta evidencia estadística de una diferencia entre PRE y POST y muestra una magnitud amplia del cambio dentro del grupo. Estos resultados deben distinguirse entre sí: el 86,15% describe el desempeño acumulado durante las actividades, mientras que la diferencia de BELE corresponde específicamente a la comparación entre dos momentos de evaluación.

Las fuentes descriptivas complementaron los resultados cuantitativos y mostraron que el proceso no puede resumirse únicamente mediante aciertos o puntuaciones PRE y POST. La evaluación lingüística permitió identificar patrones de mantenimiento y cambio relacionados con la articulación, la producción verbal y el uso funcional del lenguaje, con diferencias entre estudiantes. La rúbrica presentó un promedio grupal de 66,93%, con valores entre 44% y 94%, lo que nuevamente evidenció diversidad en el desempeño observado.

La IA predictiva constituyó otro componente relevante de la implementación. El algoritmo LightGBM generó 260 registros a partir de la información de desempeño almacenada durante las actividades: 253 correspondieron a la orientación Avanzar, siete a Reforzar y ninguno a Mantener. La probabilidad promedio de éxito asociada con Avanzar fue de 96,87%, mientras que en Reforzar fue de 35,58%. Estos valores no representan la exactitud de LightGBM ni una medida directa de aprendizaje, sino estimaciones producidas por el modelo para complementar el seguimiento. La concentración de registros en la categoría Avanzar indica que la implementación aportó más información sobre esa salida que sobre Reforzar o Mantener. En consecuencia, la relevancia del componente predictivo radica en que pudo integrarse al funcionamiento de FONELU y generar

información consultable sin modificar automáticamente la secuencia de actividades ni sustituir el criterio profesional.

En relación con el objetivo planteado, la implementación permitió examinar el uso de FONELU como recurso móvil complementario para apoyar el aprendizaje fonético en el contexto educativo estudiado. Su aportación central consistió en reunir, dentro de un mismo entorno, actividades centradas en fonemas y pronunciación, recursos visuales y auditivos, instrumentos de evaluación, registros de interacción y un modelo de IA predictiva. Esta integración no implicó combinar todas las fuentes en una única medida, sino disponer de información distinta y complementaria para examinar el proceso desde varias perspectivas. De esta manera, las actividades permitieron registrar el desempeño durante el uso, mientras que BELE, la evaluación lingüística, la rúbrica y la valoración docente aportaron información adicional para interpretar los cambios y la experiencia de implementación. La toma de decisiones educativas permaneció bajo responsabilidad de las maestras y no fue automatizada por la aplicación.

Por su parte, las tres maestras asignaron a FONELU una valoración global de 5 sobre 5, recomendaron continuar utilizándolo y emitieron apreciaciones favorables sobre su usabilidad, accesibilidad y capacidad para concentrar actividades, evaluaciones y registros. Esta valoración respalda la aceptación de la herramienta dentro del contexto en el que fue utilizada, pero debe interpretarse como percepción profesional sobre la experiencia de uso y no como una medida independiente de eficacia educativa.

En conjunto, los hallazgos respaldan la pertinencia de continuar estudiando FONELU como una herramienta complementaria para la práctica fonética, la evaluación y el seguimiento dentro de educación especial. La evidencia obtenida permite sostener que la aplicación funcionó como un entorno capaz de registrar el desempeño, concentrar distintas fuentes de información para su análisis complementario y generar apoyo predictivo durante la implementación; sin embargo, el alcance del diseño no permite atribuir de manera exclusiva a FONELU los cambios observados ni generalizarlos a otras poblaciones. Las mejoras futuras deberían concentrarse en ampliar el banco de fonemas, palabras, imágenes y audios, fortalecer los reportes individuales, incorporar alternativas de acceso para distintas necesidades motrices y reunir una mayor diversidad de registros para evaluar las tres posibles salidas del modelo predictivo. Estudios posteriores con muestras más amplias y nuevos contextos permitirían determinar con mayor precisión la estabilidad de los resultados y el alcance educativo de la propuesta.

Referencias

Abrahamsson, P., Hanhineva, A., Hulkko, H., Ihme, T., Jäälinoja, J., Korkala, M., Koskela, J., Kyllönen, P., & Salo, O. (2004). Mobile-D: An agile approach for mobile application development. En J. Vlissides, (ed.). *OOPSLA '04: Companion to the 19th annual ACM SIGPLAN conference on object-oriented programming systems, languages, and applications* (pp. 174–175). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/1028664.1028736

Eliana, N., Wati, U. A., & Rahmadona, S. (2024). Leveraging the ASSURE model for optimized information technology-based learning media. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan, 16*(3), 3614–3626. https://doi.org/10.35445/alishlah.v16i3.5639

Ferreira, L. M. S., Bandini, C. S. M., & Bandini, H. H. M. (2021). Adaptação de um programa de ensino de consciência fonológica para crianças com paralisia cerebral. *Revista Brasileira de Educação Especial,* 27, 35–52. https://doi.org/10.1590/1980-54702021v27e0115

Ibarra-L Villalobos, J., Ruiz-Allec, L. D., Arrieta-Díaz, H., & Leos-Ostoa, Y. (2016). Terapia de lenguaje oral y comunicación aumentativa y alternativa en pacientes con parálisis cerebral espástica. *Revista Mexicana de Comunicación, Audiología, Otoneurología y Foniatría, 5*(2), 47–52.

Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T.-Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems,* 30, 3146–3154.

Korkalainen, J., McCabe, P., Smidt, A., & Morgan, C. (2023). Motor speech interventions for children with cerebral palsy: A systematic review. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 66*(1), 110–125. https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-22-00375

Lu, W., Griffin, J., Sadler, T. D., Laffey, J., & Goggins, S. P. (2023). Serious game analytics by design: Feature generation and selection using game telemetry and game metrics: Toward predictive model construction. *Journal of Learning Analytics, 10*(1), 168–188. https://doi.org/10.18608/jla.2023.7681

Lu, W., Griffin, J., Sadler, T. D., Laffey, J., & Goggins, S. P. (2025). Game-based learning prediction model construction: Towards validated stealth assessment implementation. *Journal of Learning Analytics, 12*(1), 293–321. https://doi.org/10.18608/jla.2025.8105

Mahmoudi, E., Yoo, P. Y., Chandra, A., Cardoso, R., Denner Dos Santos, C., Majnemer, A., & Shikako, K. (2024). Gamification in mobile apps for children with disabilities: Scoping review. *JMIR Serious Games,* 12. https://doi.org/10.2196/49029

Paul, S., Nahar, A., Bhagawati, M., & Kunwar, A. J. (2022). A review on recent advances of cerebral palsy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity,* 2022. https://doi.org/10.1155/2022/2622310

Peláez-Cantero, M. J., Gallego-Gutiérrez, S., Moreno-Medinilla, E. E., Cordón-Martínez, A., Madrid-Rodríguez, A., Núñez-Cuadros, E., & Ramos-Fernández, J. M. (2021). Parálisis cerebral en pediatría: Problemas asociados. *Revista Ecuatoriana de Neurología, 30*(1), 115–124. https://doi.org/10.46997/revecuatneurol30100115

Rangel Hinojosa, E., Romero Contreras, S., & Gómez Palacio Muñoz, M. (1988). *Batería de evaluación de la lengua española para niños mexicanos de 3 a 11 años: Manual de aplicación, calificación e interpretación*. Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Educación Especial.

World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2022). *Global report on assistive technology*.

Zhang, L., Carter, R. A., Jr., Liu, Y., & Peng, P. (2026). Let's CHAT about artificial intelligence for students with disabilities: A systematic literature review and meta-analysis. *Review of Educational Research, 96*(1), 215–257. https://doi.org/10.3102/00346543241293424

Autores

Luis Eduardo Hernandez Vallarta. Licenciado en Informática Administrativa. Estudiante de la Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco.

Yedid Erandini Niño Membrillo. Doctora en Ingeniería de Software. Profesora de tiempo completo, investigadora con perfil PRODEP, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) nivel candidato. Es responsable de la Coordinación de Investigación y Estudios Avanzados en el Centro Universitario UAEM Texcoco.

Rosa María Rodríguez Aguilar. Dra. en Diseño Especialidad en Nuevas Tecnologías. Profesora Investigadora de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. México.

Magally Martínez Reyes. Dra. en Ciencias, especialidad en Matemática Educativa, Profesora de tiempo completo del Centro Universitario Valle de Chalco de la Universidad Autónoma del Estado de México, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel II, México.

Declaración

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes externas a este artículo.

Agradecimientos

Se agradece a la institución participante, a las maestras del Área de Comunicación y Lenguaje y a los estudiantes que participaron en la implementación de FONELU, así como las facilidades otorgadas para el desarrollo y seguimiento del estudio.

Nota

Este artículo deriva del trabajo de tesis desarrollado en la Maestría en Ciencias de la Computación del Centro Universitario UAEM Texcoco, Universidad Autónoma del Estado de México. El manuscrito presenta resultados específicos relacionados con la implementación y evaluación de FONELU en el aprendizaje fonético.