

Hemos leído

Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos¹

Evaluation of the effectiveness of a tablet computer application (app) in helping students with visual impairments solve mathematics problems

C. R. Beal,² L. P. Rosenblum³

Resumen

Introducción: las autoras han examinado una aplicación informática para tableta (aplicación para iPad) para conocer su eficacia a la hora de ayudar a alumnos que estudian introducción al álgebra a resolver problemas de matemáticas. *Métodos:* cuarenta y tres alumnos con deficiencia visual (es decir, ciegos o con baja visión) completaron ocho unidades matemáticas alternas presentadas a través de su soporte de aprendizaje tradicional o de una aplicación de iPad. El veinte por ciento de los problemas matemáticos incluía gráficos tales como mapas, gráficas de líneas y diagramas de barras. Durante cada sesión, los profesores de alumnos con deficiencia visual evaluaron cuánta ayuda ofrecieron a sus alumnos y la motivación de estos. *Resultados:* los alumnos contestaron a más problemas matemáticos correctamente al usar la aplicación de iPad y, por lo general, los profesores indicaron que sus alumnos estaban más motivados con la aplicación que con su soporte

1 Publicado en la revista *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Vol. 112, n.º 1, enero-febrero 2018, págs. 5-19 [formato PDF], © 2018 AFB. Todos los derechos reservados. Traducido por Julia C. Gómez Sáez con permiso de la American Foundation for the Blind en el marco del convenio suscrito por la ONCE con la AFB.

2 **Carole R. Beal**, Ph.D. Profesora. Facultad de Educación, Universidad de Florida. 140 Norman Hall, Gainesville, FL 32611 (Estados Unidos). Correo electrónico: crbeal@coe.ufl.edu.

3 **L. Penny Rosenblum**, Ph.D. Profesora de prácticas. Facultad de Educación, Universidad de Arizona. 1430 East Second Street, Tucson, AZ 85721 (Estados Unidos). Correo electrónico: rosenblu@email.arizona.edu.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

de aprendizaje tradicional. Los alumnos utilizaron con frecuencia las pistas que ofrecía la aplicación cuando no podían resolver un problema correctamente a la primera. *Discusión:* a los alumnos con deficiencia visual y a sus profesores les pareció que la aplicación y los gráficos eran motivadores y fáciles de usar. Casi todos los alumnos que eran usuarios de texto impreso utilizaron el bloc de notas integrado. *Implicaciones para los profesionales:* los resultados del estudio suponen una contribución al creciente corpus de conocimiento sobre el posible valor de los dispositivos de tipo tableta para su uso por parte de alumnos con deficiencia visual.

Palabras clave

Alumnos con discapacidad visual. Acceso a la Información. App. Tablet. Matemáticas.

Abstract

Introduction: The authors examined a tablet computer application (iPad app) for its effectiveness in helping students studying prealgebra to solve mathematical word problems. *Methods:* Forty-three visually impaired students (that is, those who are blind or have low vision) completed eight alternating mathematics units presented using their traditional literacy medium or an iPad app. Twenty percent of the mathematics problems included graphics such as maps, line graphs, and bar graphs. During each session, teachers of visually impaired students rated the amount of support they provided for students and the student motivation. *Results:* Students answered more mathematics problems correctly when using the iPad app and, overall, teachers reported that their students were more motivated with the app than with their traditional literacy medium. Students often used the hints provided in the app when they did not solve a problem correctly the first time. *Discussion:* Visually impaired students and their teachers found the app and graphics to be easy to use and motivating. The built-in Scratch pad was used by almost all students who were print users. *Implications for practitioners:* The study results contribute to the growing body of knowledge about the potential value of tablet-type devices for use by visually impaired students.

Key words

Students with visual impairment. Access to information. App. Tablets. Maths.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

La investigación descrita en el presente artículo ha sido financiada por una beca del Institute of Education Sciences del Departamento de Educación de EE. UU. (R324A120006). Las opiniones expresadas no son necesariamente las del organismo de financiación. Los autores quieren dar las gracias a la coinvestigadora principal, Jane Erin; al programador senior, Thomas Hicks, y a los demás miembros del equipo de investigación por sus contribuciones, además de a los profesores y a los alumnos que participaron en nuestro estudio nacional de 2014-2015.

Los resultados académicos y las perspectivas de empleo de los alumnos con deficiencia visual (es decir, ciegos o con baja visión) suelen ser inferiores que los de sus compañeros videntes (McDonnall, 2011; Wagner, Newman, Cameto y Levine, 2006). La disparidad de rendimiento es particularmente evidente en matemáticas (McDonnall, Geison y Cavanaugh, 2009; National Science Foundation [NSF], 2009). Los alumnos con deficiencia visual consiguen resultados notablemente inferiores en matemáticas a los de sus compañeros videntes. También tienen una menor participación en los campos de la ingeniería y las ciencias que exigen un alto nivel de matemáticas (NSF, 2009; Wolffe, Sacks, Corn, Erin, Huebner y Lewis, 2002). La vista ofrece un gran acceso a la información que ayuda al desarrollo de la comprensión conceptual en matemáticas. «Las descripciones de conceptos matemáticos que recurren a la visualización ofrecen inmediatez a los alumnos videntes, pero exigen un mayor procesamiento cognitivo de aquellos alumnos con deficiencia visual» (Dick y Kubiak, 1997; p. 344). Por ejemplo, comprender cómo rota una forma sobre un eje es difícil de entender sin ver o con baja visión.

El acceso a la información visual presentada en el aula permite que un alumno con deficiencia visual se centre en adquirir conocimientos académicos, en vez de tener que esforzarse por superar los problemas de accesibilidad (Lewis y Allman, 2014). Esos alumnos necesitan más ayuda para completar tareas y pueden parecer menos involucrados en el aula, tal vez porque se les dan relativamente menos oportunidades para orientar su propio aprendizaje (Agran, Hong y Blackenship, 2007; Bardin y Lewis, 2008; Robinson y Lieberman, 2004; Sacks, Wolffe y Tierney, 1998; Wagner et al., 2006). Los educadores e investigadores señalan la necesidad de promover la independencia y la autonomía de dichos alumnos (Algozzine, Browder, Karvonen, Test y Wood, 2001; Hatlen, 1996; Sacks y Silberman, 1998; Wolffe, Rosenblum y Cleveland, 2014). Dentro de las clases de Matemáticas y de Ciencias, ayudar a esos alumnos estableciendo cuándo necesitan usar estrategias y materiales alternativos para completar una tarea o para trabajar con un compañero es una manera de darles la oportunidad de que encuentren fórmulas eficaces para participar y acceder a la información.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Las tecnologías auxiliares ofrecen la posibilidad de dar instrucciones accesibles a los alumnos con deficiencia visual y hacerlo de tal modo que se promueva su independencia (Freeland, Emerson, Curtis y Fogarty, 2010; Kapperman, Sticken y Heinze, 2002; Kelly, 2009; Kelly y Smith, 2011; Zhou, Smith, Parker y Griffin-Shirley, 2011) y su motivación (Campana y Ouimet, 2015; Shah, 2011; Williams, 2012). En el área de la educación matemática, varios proyectos piloto han generado resultados iniciales prometedores, incluida la Talking Tactile Tablet, que ofrecía a los alumnos con deficiencia visual acceso a información gráfica acompañada de narración de audio (Hansen, Shute y Landau, 2010; Landau, Russell, Gourgey, Erin y Cowan, 2003). Ferrell (2006) describe otros proyectos tecnológicos en sus primeras fases.

El objetivo del presente proyecto era desarrollar una ayuda tecnológica asistida para promover las competencias matemáticas en alumnos con deficiencia visual con un enfoque específico en la resolución de problemas. La resolución de problemas con enunciado se suele considerar un importante componente de las competencias matemáticas, especialmente debido al énfasis adicional que se pone en su aplicación en los Estándares Básicos Estatales Comunes para Matemáticas (Powell, Fuchs y Fuchs, 2013). Un objetivo clave en el diseño de la tecnología era garantizar que el alumno tuviera la oportunidad de trabajar de manera independiente todo lo posible. Diseñamos una aplicación informática para tableta (aplicación para iPad) para ayudar a estos alumnos a resolver problemas de matemáticas y seguimos un proceso de desarrollo iterativo que incluía las opiniones de dichos alumnos y sus profesores para garantizar la usabilidad (Beal y Rosenblum, 2015).

Descripción de la aplicación para iPad

Una descripción detallada de la aplicación para iPad y de los materiales adjuntos está disponible en Beal y Rosenblum (2015). La aplicación estaba compuesta por 24 unidades de matemáticas, y cada una de ellas representaba una especie en peligro de extinción (como un leopardo de las nieves o un oso polar). Cada unidad empezaba con cuatro páginas de introducción que contenían información sobre la especie representada y el tema de matemáticas abordado en la unidad. Tras la presentación de la unidad, figuraban seis problemas que seguían un orden fijo. Cuatro de los problemas incluían una imagen ilustrativa y dos contenían un gráfico matemático (por ejemplo, una gráfica de líneas o un mapa). Los alumnos tenían tres oportunidades para responder a cada problema. Si se introducía una

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

respuesta incorrecta, se mostraba la pista 1, tras la que aparecía la pista 2 si se introducía una segunda respuesta incorrecta. La primera pista orientaba al alumno para que seleccionara el tipo de cálculo necesario y la segunda pista le orientaba en el planteamiento del problema para el cálculo. Los alumnos tenían que decidir activamente si deseaban abrir la pista para ver el texto o para escuchar el audio. Tras tres respuestas incorrectas, se les daba acceso a una breve narración en vídeo que exponía la solución. También se podía acceder a la solución tras introducir una respuesta correcta. Los alumnos siempre tenían la opción de abandonar (saltarse) un problema y ver la solución. Si un alumno elegía esa opción, la respuesta se consideraba incorrecta. Al final de cada unidad, se presentaba una breve conclusión en forma de texto con una imagen.

Las unidades matemáticas abordaban una serie de temas relativos a aptitudes algebraicas, como aritmética, fracciones, porcentajes, expresiones con una variable, geometría (ángulos) y estadística (medias). El contenido del curso se adecuaba a los Estándares Básicos Estatales Comunes para la asignatura de Matemáticas de 6.º curso. Las unidades se agrupaban por niveles de dificultad y correspondían aproximadamente a temas de Matemáticas de 5.º-6.º curso (nivel 1), 6.º curso (nivel 2) y 6.º-7.º curso (nivel 3). Cuando un alumno, usuario de braille, completaba una unidad en la aplicación, tenía dos opciones para acceder a la información. La primera era acceder al contenido en la aplicación mediante VoiceOver, el lector de pantalla que está disponible en los dispositivos de Apple, o una línea braille. Al calcular la respuesta de los dos problemas con enunciado que contenían información en gráficos, los alumnos tenían que recurrir al manual en braille que se les había proporcionado. La segunda opción era utilizar el manual en braille que incluía todo el texto de las pantallas, incluidas las pistas y los dos gráficos necesarios para resolver dos de los seis problemas matemáticos. Cuando utilizaban el manual en braille durante una unidad de la aplicación, se les pedía que no leyeran ninguna pista hasta no haber introducido su respuesta. Cuando utilizaban la aplicación, a los alumnos con baja visión se les ofrecían copias en papel con texto en macrotipo de los dos gráficos necesarios para resolver dos de los seis problemas matemáticos, pero no se les facilitaba el texto que aparecía en la pantalla. Para las sesiones en las que los alumnos no tenían acceso a la aplicación, se utilizaban unidades en papel en el soporte de aprendizaje principal del alumno. Tanto en braille como en las copias de texto en macrotipo, se incluían las mismas páginas de presentación y la información del texto del problema. Los dos gráficos que eran necesarios para resolver dos de los seis problemas

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

se incluían en las unidades en papel, pero no las pistas. Mediante el presente estudio, buscamos respuesta a tres preguntas.

1. ¿Existe alguna diferencia en la resolución de problemas de los alumnos al utilizar la aplicación en comparación con el uso exclusivo de materiales en papel preparados en su soporte de aprendizaje principal? (La fuente de datos era el número de problemas matemáticos resueltos correctamente en las dos circunstancias).
2. ¿Tienen preferencia los alumnos por el material presentado mediante la aplicación o por el material exclusivamente en papel en su soporte de aprendizaje principal? (Las fuentes de datos incluían las impresiones de los profesores sobre la motivación de los alumnos en las dos circunstancias y los comentarios del profesor y del alumno durante las entrevistas posteriores al estudio).
3. ¿Son capaces los alumnos de trabajar de manera más autónoma al completar unidades matemáticas utilizando la aplicación en comparación con las unidades presentadas exclusivamente en papel en su soporte de aprendizaje principal? (Las fuentes de datos incluían el uso de las pistas por parte de los alumnos en el caso de la aplicación y los comentarios del profesor y del alumno durante las entrevistas posteriores al estudio).

Métodos

Selección

Se publicó información sobre el estudio en listas de correo electrónico, se compartió en congresos y se colgó en la página web del proyecto. Los alumnos que reunían los requisitos para el estudio tenían que recibir educación directamente como alumnos con deficiencia visual por parte de un profesor, estudiar Matemáticas relativas a aptitudes algebraicas y emplear un iPad. Se facilitó a los profesores interesados un paquete de autorización para que lo compartiesen con la familia del alumno y un paquete de autorización para sí mismos. Tanto el alumno como el profesor tenían que completar el proceso de autorización para poder participar. Los alumnos dieron su conformidad al principio del protocolo. El proyecto fue revisado y aceptado por el comité de revisión institucional de la universidad.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Participantes

Participaron cuarenta y tres alumnos: 21 chicas (49 %) y 22 chicos (51 %), de 17 estados de Estados Unidos. Dieciséis de ellos (37 %) utilizaban braille y 27 (63 %) empleaban texto impreso. Ocho (19 %) alumnos padecían retinopatía del prematuro, siete (16 %) albinismo, cuatro tenían cataratas (9 %), otros cuatro amaurosis congénita de Leber (9 %) y otros cuatro hipoplasia del nervio óptico (9 %), tres (7 %) padecían glaucoma, dos (5 %) distrofia de conos y bastones, y once (26 %) padecían otras deficiencias combinadas. Quince (35 %) alumnos asistían a escuelas especializadas o internados y veintiocho (65 %) asistían a escuelas públicas. Los alumnos se encontraban en los siguientes cursos: cuarto (n = 1, 2 %), quinto (n = 11, 26 %), sexto (n = 8, 19 %), séptimo (n = 13, 30 %), octavo (n = 6, 14 %), noveno (n = 3, 7 %), y décimo (n = 1, 2 %).

Participaron treinta profesores: veintiuno (70 %) tenían un alumno en el estudio, seis (20 %) tenían dos alumnos, dos (7 %) tenían tres alumnos y uno (3 %) tenía cuatro alumnos.

Procedimiento

Profesores con alumnos con deficiencia visual

De manera individual, los profesores completaron un protocolo de formación en línea de entre 1,5 y 2 horas que incluía cuatro módulos que ofrecían contexto sobre el proyecto, las funciones de la aplicación, las funciones de accesibilidad al entorno iOS y los procedimientos del estudio. Después, se le envió un paquete de materiales de estudio a cada profesor de alumnos con deficiencia visual compuesto por: (a) una guía de usuario; (b) instrucciones para descargar e instalar la aplicación y crear la cuenta del alumno; (c) un cartel recordatorio de los procedimientos del estudio para publicar en el lugar en el que el alumno completaría las actividades del estudio; (d) cuatro unidades de matemáticas en papel (que solo contenían las páginas de presentación, los problemas y dos gráficos en el soporte de aprendizaje principal del alumno); (e) para los usuarios de braille, cuatro unidades de matemáticas que se correspondían con las presentadas en la aplicación (con todo el contenido de la aplicación, incluidas las páginas de presentación, los problemas, los gráficos, las pistas y los términos del glosario); (f) para los usuarios de texto impreso, un manual de los gráficos incluidos en las cuatro unidades presentadas en la aplicación, y (g) para los profesores, los formu-

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

larios para el registro de datos que debía utilizarse durante cada una de las sesiones. Esos formularios de registro de datos también estaban disponibles en una aplicación para iPhone que el profesor podía instalarse si lo deseaba. En los formularios de datos, se le pedía al profesor que especificase los materiales utilizados por el alumno (por ejemplo, un BrailleWriter o un ábaco) y la ayuda prestada durante cada sesión. Las instrucciones del estudio incluían una explicación del orden en que el alumno tenía que completar las unidades, y ese mismo orden se presentaba en la aplicación cuando el alumno iniciaba la sesión en su cuenta. Junto a los nombres de las unidades que se completaban en formato en papel aparecía una «P».

Alumnos con deficiencia visual

Se encargó a los alumnos que completasen ocho unidades en uno de los tres niveles de matemáticas en función de las recomendaciones de su profesor (teniendo en cuenta el asesoramiento del profesor de Matemáticas de educación general del alumno al elegir el nivel de matemáticas). Se facilitó un problema de muestra para cada unidad con el fin de orientar a los profesores a la hora de decidir cuál de los tres niveles era el adecuado para el alumno. Seis usuarios de braille y once usuarios de texto impreso completaron las unidades del nivel 1, tres usuarios de braille y once usuarios de texto impreso completaron las unidades del nivel 2 y siete usuarios de braille y cinco usuarios de texto impreso completaron las unidades del nivel 3. Se encargó a los alumnos que completasen cuatro unidades utilizando la aplicación y otras cuatro mediante las unidades en papel. Se alternaron las unidades en la aplicación y en papel en las sesiones para cada alumno. La mitad de los alumnos empezó con una unidad de la aplicación y la otra mitad empezó con una unidad en papel. La presentación de las unidades, tanto en la aplicación como en papel, nos permitió determinar si la ayuda proporcionada en la aplicación aumentaba el rendimiento de la resolución de problemas de los alumnos y saber si ofrecía la posibilidad, tanto al alumno como al profesor, de comparar la presentación del material en un formato tradicional con un formato tecnológico.

En la primera sesión, todos los alumnos completaron una unidad de formación diseñada para presentarles la aplicación, incluida la navegación básica, la opción de ajustar la configuración (por ejemplo, el color de la fuente y el contraste, y la velocidad del audio), cómo acceder al glosario (definiciones de los términos clave que aparecían en la página), descripciones de la imagen, pistas sobre el problema matemático, el bloc de notas (un espacio para hacer cálculos) y cómo usar el teclado para introducir la

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

respuesta (teclas diseñadas para que los alumnos pudiesen introducir las respuestas, incluidos números, una barra para indicar una línea de fracción y una tecla para que apareciera el bloc de notas). La unidad de formación estaba compuesta por tres problemas de práctica. Esta unidad no formaba parte de una de las ocho unidades utilizadas para la recogida de datos.

Después de completar la unidad de formación, los alumnos, por lo general, trabajaron en las ocho unidades asignadas durante un periodo comprendido entre varias semanas y varios meses conforme a la dirección del profesor. El profesor envió por correo electrónico al equipo de investigación las unidades completadas en papel. Los datos de las unidades llevadas a cabo en la aplicación (por ejemplo, las respuestas introducidas o el número de intentos por problema) se transmitían automáticamente al servidor del proyecto cuando el iPad detectaba una conexión a Internet.

Durante cada sesión, el profesor utilizó el formulario de registro de datos (en papel o a través de un iPhone) para registrar cuánta ayuda se había facilitado en cada problema. Las puntuaciones empleaban una escala de tipo Likert de 5 puntos: 0 = ninguna ayuda, 1 = un poco de ayuda, 2 = algo de ayuda, 3 = ayuda moderada y 4 = mucha ayuda. La puntuación se asignó a discreción del profesor. Durante la sesión de formación en línea, se facilitó un vídeo de muestra de un profesor que utilizaba la aplicación de iPhone para puntuar el trabajo de un alumno en un problema. Se introdujeron puntuaciones independientes como ayuda para la aplicación para las cuatro unidades (por ejemplo, ajustar la configuración, la navegación de páginas o utilizar el teclado para introducir la respuesta), ayuda para entender el problema (por ejemplo, identificar la operación matemática correcta), ayuda con el cálculo matemático y ayuda para entender los gráficos matemáticos (únicamente para los dos problemas que incluían gráficos de cada unidad). Al final de cada unidad, se ofreció a los profesores la siguiente afirmación: «Creo que el nivel de motivación del alumno para resolver el problema ha sido:», a la que tuvieron que asignarle una puntuación de 1 = muy bajo, 2 = bajo, 3 = medio, 4 = alto o 5 = muy alto. Las puntuaciones que se introdujeron por iPhone se transmitieron automáticamente al servidor del proyecto. Los formularios de registro de datos en papel se enviaron por correo electrónico al equipo de investigación.

Cuando se completaron las unidades matemáticas, la segunda autora concertó entrevistas telefónicas individuales con los alumnos y sus profesores. Se entrevistó a cuarenta (93 %) alumnos y a veintisiete (87 %) profesores. Se les preguntó a los

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

alumnos si tenían alguna preferencia por las unidades en la aplicación o en papel, se les pidió que explicasen su preferencia y que dieran su opinión sobre las funciones de la aplicación. A los profesores, se les pidió que comentasen cualquier diferencia que observasen en la resolución de problemas de los alumnos con las unidades de la aplicación respecto a las unidades en papel y que sugiriesen funciones o sistemas adicionales que pudieran mejorar la aplicación.

Resultados

Se llevó a cabo un MANOVA de mínimos cuadrados con el nivel de matemáticas (1, 2, 3) y el soporte de aprendizaje (braille, texto impreso) como factores interindividuales y el tipo de unidad (aplicación o papel) como factor intraindividual, cambiando la variable dependiente en función de qué se estaba analizando (como, por ejemplo, el número de problemas resueltos correctamente o el número de problemas en el que el profesor no tuvo que ayudar en ningún momento).

Resolución de problemas matemáticos por parte de los alumnos

Comparación de las unidades en la aplicación y en papel

Se sumó el número total de problemas resueltos correctamente para cada alumno en las unidades de la aplicación (24 posibles) y en las unidades en papel (24 posibles). Las puntuaciones medias se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Número medio de problemas con enunciado resueltos correctamente por nivel de matemáticas para usuarios de braille y de texto impreso

Soporte de aprendizaje	Nivel 1 Aplicación	Nivel 1 Papel	Nivel 2 Aplicación	Nivel 2 Papel	Nivel 3 Aplicación	Nivel 3 Papel
Braille	22,33 (1,86)	16,5 (3,73)	23,33 (1,54)	17,00 (5,19)	20,14 (3,43)	14,28 (4,42)
Texto impreso	22,18 (3,33)	17,90 (5,92)	20,63 (2,57)	17,72 (5,06)	20,60 (2,57)	15,20 (4,32)
Todos los usuarios	22,23 (2,86)	17,42 (5,17)	21,21 (2,57)	17,57 (4,89)	20,33 (2,70)	14,66 (4,20)

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación y 24 problemas en papel.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Descripción: Hay 7 encabezamientos de columnas principales: Soporte de aprendizaje; Nivel 1 aplicación; Nivel 1 papel; Nivel 2 aplicación; Nivel 2 papel; Nivel 3 aplicación; Nivel 3 papel.

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación y 24 problemas en papel.

Soporte de aprendizaje: Braille; Nivel 1 aplicación: 22,33 (1,86); Nivel 1 papel: 16,5 (3,73); Nivel 2 aplicación: 23,33 (1,54); Nivel 2 papel: 17,00 (5,19); Nivel 3 aplicación: 20,14 (3,43); Nivel 3 papel: 14,28 (4,42).

Soporte de aprendizaje: Texto impreso; Nivel 1 aplicación: 22,18 (3,33); Nivel 1 papel: 17,90 (5,92); Nivel 2 aplicación: 20,63 (2,57); Nivel 2 papel: 17,72 (5,06); Nivel 3 aplicación: 20,60 (2,57); Nivel 3 papel: 15,20 (4,32).

Soporte de aprendizaje: Todos los usuarios; Nivel 1 aplicación: 22,23 (2,86); Nivel 1 papel: 17,42 (5,17); Nivel 2 aplicación: 21,21 (2,57); Nivel 2 papel: 17,57 (4,89); Nivel 3 aplicación: 20,33 (2,70); Nivel 3 papel: 14,66 (4,20).

El único efecto significativo se obtuvo por tipo de unidad $F(1, 37) = 53,805$, $d = 1,03$, $p < 0,001$. Los alumnos resolvieron más problemas correctamente al trabajar con la aplicación ($M = 21,4$) que cuando los problemas se presentaban en papel ($M = 16,7$). En términos absolutos, treinta y ocho (88 %) alumnos obtuvieron mejores resultados con las unidades en la aplicación, tres (7 %) cosecharon los mismos resultados en las unidades en la aplicación y en papel, y dos (5 %) obtuvieron mejores resultados con las unidades en papel.

Cuando los alumnos trabajaban en las unidades de la aplicación, el número de intentos para resolver un problema se registraba automáticamente (tres intentos posibles para cada problema). La media de los resultados de resolución de problemas por intento se muestra en la Tabla 2. No existe información comparable sobre los intentos para las unidades en papel. El número de problemas resueltos correctamente en la aplicación al primer intento se comparó con las soluciones correctas en las unidades en papel. Los alumnos resolvieron correctamente 14,2 (59 %) problemas de la aplicación al primer intento, en comparación con 16,7 (69 %) problemas de la unidad en papel, $F(1,37) = 7,016$, $p < 0,01$.

Cuando los alumnos no contestaban correctamente a un problema de la aplicación al primer intento, podían acceder a las pistas. Los usuarios de braille activaron una media de 1,02 pistas por problema no contestado correctamente en el primer intento. El uso de pistas por parte de los usuarios de braille es posible que fuera superior porque las pistas se reproducían en las copias de braille que se entregaban con las unidades de la aplicación, pero no hay manera de registrar si un alumno utilizó las

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

pistas en braille (en lugar de activarlas en la aplicación). Los usuarios de texto impreso activaron una media de 1,29 pistas por problema no contestado correctamente al primer intento. El número de problemas de la aplicación no contestados correctamente al primer intento supuso un indicador significativo de las pistas totales activadas, $F(1,41) = 60,031$, $d = 0,59$, $p < 0,001$.

Tabla 2. Número medio de problemas en la aplicación por resultado

Soporte de aprendizaje	1.º intento correcto	2.º intento correcto	3.º intento correcto	Fallo (incorrecto)	Abandono (incorrecto)
Braille	14,35 (5,21)	4,5 (2,22)	2,62 (2,09)	2,06 (2,64)	0,50 (1,09)
Texto impreso	14,04 (4,00)	5,0 (1,90)	2,29 (1,81)	2,03 (2,04)	0,63 (1,41)
Todos los usuarios	14,16 (4,43)	4,81 (2,01)	2,41 (1,90)	2,04 (2,25)	0,58 (1,29)

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación.

Descripción: Hay 6 encabezamientos de columnas principales: Soporte de aprendizaje; 1[superíndice er] intento correcto; 2[superíndice o] intento correcto; 3[superíndice er] intento correcto; Fallo (incorrecto); Abandono (incorrecto).

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación.

Soporte de aprendizaje: Braille; 1[superíndice er] intento correcto: 14,35 (5,21); 2[superíndice o] intento correcto: 4,5 (2,22); 3[superíndice er] intento correcto: 2,62 (2,09); Fallo (incorrecto): 2,06 (2,64); Abandono (incorrecto): 0,50 (1,09).

Soporte de aprendizaje: Texto impreso; 1[superíndice er] intento correcto: 14,04 (4,00); 2[superíndice o] intento correcto: 5,0 (1,90); 3[superíndice er] intento correcto: 2,29 (1,81); Fallo (incorrecto): 2,03 (2,04); Abandono (incorrecto): 0,63 (1,41).

Soporte de aprendizaje: Todos los usuarios; 1[superíndice er] intento correcto: 14,16 (4,43); 2[superíndice o] intento correcto: 4,81 (2,01); 3[superíndice er] intento correcto: 2,41 (1,90); Fallo (incorrecto): 2,04 (2,25); Abandono (incorrecto): 0,58 (1,29).

Uso de las funciones de la aplicación

La función del glosario se utilizó en contadas ocasiones: trece (81 %) usuarios de braille y veinticuatro (89 %) usuarios de texto impreso no llegaron a usarla. El uso de los vídeos con una narración de la solución también fue poco frecuente: ocho (50 %) usuarios de braille nunca accedieron a los vídeos, tres (19 %) accedieron a un único vídeo, uno (6 %) accedió a dos vídeos, dos (13 %) accedieron a tres vídeos y dos (13 %) accedieron a cinco vídeos de los 24 disponibles en las unidades de la aplicación. Diecisiete usuarios de texto impreso (63 %) nunca accedieron a los vídeos,

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

tres (11 %) accedieron a un único vídeo, dos (8 %) accedieron a dos vídeos y cinco (19 %) accedieron a tres vídeos de los 24 disponibles en las unidades de la aplicación. El bloc de notas fue utilizado por veintisiete (100 %) usuarios de texto impreso. No es de extrañar que el uso del bloc de notas de los usuarios de braille fuera muy bajo: doce (75 %) no llegaron a abrirlo y cuatro (25 %) lo abrieron una o dos veces, pero no lo usaron para hacer cálculos.

Ayuda facilitada por el profesor

Los profesores registraron la ayuda que prestaron a los alumnos con la navegación de la aplicación, la interpretación de problemas, el cálculo de problemas y la comprensión de los gráficos. Para cada uno de los ámbitos de ayuda, las puntuaciones variaban entre el 0 (ninguna ayuda) y el 4 (mucho ayuda).

Navegación de la aplicación

Las puntuaciones registradas en la Tabla 3 hacen referencia a 41 alumnos (15 usuarios de braille y 26 usuarios de texto impreso). Los datos registrados aluden a la media y la desviación estándar de la ayuda prestada al alumno por parte del profesor. Los alumnos no necesitaron demasiada ayuda con el uso de la aplicación: de media, completaron 21 (87 %) de los 24 problemas de la aplicación sin ninguna ayuda por parte del profesor con problemas relativos a la navegación, como el acceso a las pistas, la introducción de respuestas o pasar de un problema a otro.

Tabla 3. Medias y desviaciones estándar para la ayuda proporcionada a los alumnos por parte de sus profesores

Soporte de aprendizaje	Sin ayuda	Un poco de ayuda	Algo de ayuda	Ayuda moderada	Mucha ayuda
Ayuda con la navegación					
Braille	20,4 (5,42)	2,0 (2,75)	0,73 (1,33)	0,33 (1,03)	0,53 (1,06)
Texto impreso	22,0 (2,68)	1,85 (2,72)	0,09 (0,30)	0,0 (0,0)	0,05 (0,21)
Ayuda para entender el problema					
Braille					
Unidades de la aplicación	14,8 (4,72)	4,67 (3,15)	2,20 (2,36)	0,67 (0,97)	0,86 (1,68)

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Soporte de aprendizaje	Sin ayuda	Un poco de ayuda	Algo de ayuda	Ayuda moderada	Mucha ayuda
Unidades en papel	17,46 (4,44)	2,13 (2,16)	1,33 (1,87)	1,33 (1,47)	0,8 (1,32)
Texto impreso					
Unidades de la aplicación	18,38 (6,15)	3,0 (4,14)	1,33 (2,0)	0,33 (0,85)	0,38 (0,66)
Unidades en papel	19,00 (6,26)	3,43 (4,51)	0,66 (1,11)	0,47 (0,81)	0,14 (0,35)
Ayuda con el cálculo matemático					
Braille					
Unidades de la aplicación	15,26 (5,89)	3,0 (2,56)	2,33 (2,76)	1,13 (1,30)	1,46 (1,88)
Unidades en papel	16,66 (7,16)	2,6 (2,55)	1,53 (1,80)	0,66 (1,17)	1,73 (2,12)
Texto impreso					
Unidades de la aplicación	18,23 (6,15)	2,47 (2,90)	1,14 (1,98)	1,0 (1,54)	0,47 (1,77)
Unidades en papel	18,04 (7,57)	2,95 (3,26)	1,85 (3,27)	0,47 (1,07)	0,4 (0,82)
Ayuda con los gráficos					
Braille					
Unidades de la aplicación	4,46 (3,41)	1,9 (1,67)	0,27 (0,45)	0,40 (0,91)	0,53 (0,83)
Unidades en papel	5,26 (2,37)	0,73 (0,96)	0,73 (0,96)	0,53 (0,83)	0,33 (0,72)
Texto impreso					
Unidades de la aplicación	7,00 (1,70)	0,62 (1,24)	0,95 (0,43)	0,09 (0,30)	0,00 (0)
Unidades en papel	6,50 (2,52)	1,19 (1,99)	0,43 (1,03)	0,09 (0,30)	0,00 (0)

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación. Había 8 problemas en la aplicación y 8 problemas en papel que incluían gráficos matemáticos. Las puntuaciones variaban entre 0 para «sin ayuda» y 4 para «mucho ayuda».

Descripción: Hay 4 encabezamientos de columnas principales: Soporte de aprendizaje; Sin ayuda; Un poco de ayuda; Algo de ayuda; Ayuda moderada; Mucha ayuda.

Las desviaciones estándar se muestran entre paréntesis. Había 24 problemas en la aplicación. Había 8 problemas en la aplicación y 8 problemas en papel que incluían gráficos matemáticos. Las puntuaciones variaban entre 0 para «sin ayuda» y 4 para «mucho ayuda».

Soporte de aprendizaje: Ayuda con la navegación; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [espacio]Braille; Sin ayuda: 20,4 (5,42); Un poco de ayuda: 2,0 (2,75); Algo de ayuda: 0,73 (1,33); Ayuda moderada: 0,33 (1,03); Mucha ayuda: 0,53 (1,06).

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Soporte de aprendizaje: [espacio]Texto impreso; Sin ayuda: 22,0 (2,68); Un poco de ayuda: 1,85 (2,72); Algo de ayuda: 0,09 (0,30); Ayuda moderada: 0,0 (0,0); Mucha ayuda: 0,05 (0,21).

Soporte de aprendizaje: Ayuda para entender el problema; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [espacio]Braille; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 14,8 (4,72); Un poco de ayuda: 4,67 (3,15); Algo de ayuda: 2,20 (2,36); Ayuda moderada: 0,67 (0,97); Mucha ayuda: 0,86 (1,68).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 17,46 (4,44); Un poco de ayuda: 2,13 (2,16); Algo de ayuda: 1,33 (1,87); Ayuda moderada: 1,33 (1,47); Mucha ayuda: 0,8 (1,32).

Soporte de aprendizaje: [espacio]Texto impreso; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 18,38 (6,15); Un poco de ayuda: 3,0 (4,14); Algo de ayuda: 1,33 (2,0); Ayuda moderada: 0,33 (0,85); Mucha ayuda: 0,38 (0,66).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 19,00 (6,26); Un poco de ayuda: 3,43 (4,51); Algo de ayuda: 0,66 (1,11); Ayuda moderada: 0,47 (0,81); Mucha ayuda: 0,14 (0,35).

Soporte de aprendizaje: Ayuda con el cálculo matemático; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [espacio]Braille; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 15,26 (5,89); Un poco de ayuda: 3,0 (2,56); Algo de ayuda: 2,33 (2,76); Ayuda moderada: 1,13 (1,30); Mucha ayuda: 1,46 (1,88).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 16,66 (7,16); Un poco de ayuda: 2,6 (2,55); Algo de ayuda: 1,53 (1,80); Ayuda moderada: 0,66 (1,17); Mucha ayuda: 1,73 (2,12).

Soporte de aprendizaje: [espacio]Texto impreso; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 18,23 (6,15); Un poco de ayuda: 2,47 (2,90); Algo de ayuda: 1,14 (1,98); Ayuda moderada: 1,0 (1,54); Mucha ayuda: 0,47 (1,77).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 18,04 (7,57); Un poco de ayuda: 2,95 (3,26); Algo de ayuda: 1,85 (3,27); Ayuda moderada: 0,47 (1,07); Mucha ayuda: 0,4 (0,82).

Soporte de aprendizaje: Ayuda con los gráficos; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Soporte de aprendizaje: [espacio]Braille; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 4,46 (3,41); Un poco de ayuda: 1,9 (1,67); Algo de ayuda: 0,27 (0,45); Ayuda moderada: 0,40 (0,91); Mucha ayuda: 0,53 (0,83).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 5,26 (2,37); Un poco de ayuda: 0,73 (0,96); Algo de ayuda: 0,73 (0,96); Ayuda moderada: 0,53 (0,83); Mucha ayuda: 0,33 (0,72).

Soporte de aprendizaje: [espacio]Texto impreso; Sin ayuda: [vacío]; Un poco de ayuda: [vacío]; Algo de ayuda: [vacío]; Ayuda moderada: [vacío]; Mucha ayuda: [vacío].

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades de la aplicación; Sin ayuda: 7,00 (1,70); Un poco de ayuda: 0,62 (1,24); Algo de ayuda: 0,95 (0,43); Ayuda moderada: 0,09 (0,30); Mucha ayuda: 0,00 (0).

Soporte de aprendizaje: [doble espacio]Unidades en papel; Sin ayuda: 6,50 (2,52); Un poco de ayuda: 1,19 (1,99); Algo de ayuda: 0,43 (1,03); Ayuda moderada: 0,09 (0,30); Mucha ayuda: 0,00 (0).

Cálculo de los problemas matemáticos

Los resultados para las unidades en la aplicación y en papel se muestran en la Tabla 3. Los datos registrados son para la media y la desviación estándar de la ayuda prestada al alumno por parte del profesor. Los resultados del MANOVA para el número de problemas en los que los profesores no prestaron ninguna ayuda con el cálculo de los problemas no mostraron efectos significativos. Los usuarios de braille necesitaron cierta ayuda con el cálculo en aproximadamente 8 (33 %) de los 24 problemas de la unidad de la aplicación y en aproximadamente 5,5 (23 %) de los 24 problemas de la unidad en papel. Los usuarios de texto impreso necesitaron ayuda con el cálculo en aproximadamente 5 (21 %) de los 24 problemas de la unidad de la aplicación y en 5,7 (24 %) de los 24 problemas de la unidad en papel.

Comprensión de los gráficos

Las puntuaciones medias para la ayuda prestada a los alumnos en la comprensión de los gráficos se muestran en la Tabla 3. Los datos registrados son para la media y la desviación estándar de la ayuda prestada al alumno por parte del profesor. La interacción entre el soporte de aprendizaje y el tipo de unidad fue significativa $F(1,33) = 4,342, p < 0,05$. Los usuarios de braille necesitaron cierta ayuda con los gráficos matemáticos en aproximadamente 2,5 (31 %) de los 8 problemas de la aplicación

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

que incluían gráficos y en alrededor de 3 (37,5 %) de los 8 problemas de la unidad en papel que incluían gráficos. Los usuarios de texto impreso necesitaron cierta ayuda con los gráficos matemáticos en aproximadamente 1 (12,5 %) de los 8 problemas de la aplicación que incluían gráficos y en aproximadamente 1,5 (18,75 %) de los 8 problemas de la unidad en papel que incluían gráficos.

Motivación de los alumnos

Los profesores ofrecieron una valoración general de la motivación aparente de los alumnos durante cada sesión, con puntuaciones entre 1 (muy poca) y 5 (mucho). Los resultados del MANOVA para la motivación mostraron que existía un efecto significativo según el tipo de unidad, $F(1,39) = 32,667$, $d = 0,55$, $p < 0,001$. Los alumnos parecían estar más motivados al trabajar en las unidades en la aplicación ($M = 4,29$, $SD = 0,69$) que en las unidades presentadas en papel ($M = 3,88$, $SD = 0,88$).

Entrevistas

Alumnos

Cuando se les preguntó por sus preferencias, treinta y un (78 %) alumnos afirmaron que preferían trabajar con la aplicación y dos alumnos (5 %) afirmaron que les gustaba tanto la aplicación como su soporte de aprendizaje principal. Seis alumnos (15 %, tres usuarios de braille y tres usuarios de texto impreso) afirmaron que preferían trabajar con su soporte de aprendizaje principal y un alumno (2 %) afirmó que no estaba seguro.

De entre aquellos que preferían la aplicación, dieciséis (52 %) mencionaron las pistas y cinco (16 %) hablaron sobre la respuesta sonora como razón para preferir la aplicación en lugar del papel. De los dieciséis (52 %) alumnos que afirmaron que les gustaba la aplicación debido a las pistas, seis (19 %) también mencionaron la señal de la respuesta sonora que indicaba si su respuesta era correcta o incorrecta. Un usuario de texto impreso comentó: «Me gustaba saber si había dado con la respuesta correcta en la aplicación. [...] En el papel, mi profesora tuvo que ayudarme de vez en cuando. Cuando utilicé la aplicación, mi profesora no tuvo que ayudarme tanto. Con la aplicación, no tuve que pedirle ninguna ayuda».

Tres (10 %) alumnos afirmaron que les gustaba la aplicación porque tenían la opción de escuchar en vez de leer, tres (10 %) afirmaron que el iPad es mucho más fácil de

usar que el papel, dos (6 %) mencionaron el bloc de notas y dos (6 %) no proporcionaron ninguna razón. Los seis alumnos que prefirieron su soporte de aprendizaje principal mencionaron que era más fácil trabajar con materiales que les resultaban familiares que con el iPad, con el que estaban menos familiarizados. Curiosamente, cuatro de esos alumnos, todos usuarios de texto impreso, no se dieron cuenta de que la aplicación de iPad incluía una opción de audio.

Dieciséis (40 %) alumnos comentaron que les gustaba la temática de ciencias ambientales en los problemas con enunciado, tanto en las unidades en papel como en la aplicación. «Era más interesante que mi clase de Matemáticas normal», afirmó un alumno. Otro comentó: «Me gustó que las ciencias y las matemáticas fueran de la mano». Ocho (20 %) alumnos mencionaron específicamente que les gustaba el audio con sonidos de animales incluido en la aplicación: «Era interesante por el sonido y las imágenes. ¡Me hubiese gustado seguir utilizándola!», comentó un alumno.

Profesores

Veintiún (78 %) profesores afirmaron durante la entrevista que sus alumnos parecían más implicados con la aplicación y seis (22 %) afirmaron que no percibieron ninguna diferencia. Ninguno afirmó haber visto a sus alumnos más implicados al trabajar con las unidades en papel. Ocho (30 %) profesores mencionaron que sus alumnos trabajaban de manera más autónoma con la aplicación. Un profesor comentó sobre una usuaria de texto impreso: «Cometió más errores en papel y necesitó más ayuda de mi parte. Cuando podía hacer cosas en la aplicación, su velocidad mejoraba y su confianza también. Si mi alumna contara con algo así en la clase de Matemáticas, obtendría mejores resultados». Otro profesor comentó: «Me gustaron mucho las pistas y cómo animaban (a mis alumnos) a intentar resolver el problema por su cuenta». Otro explicó sobre un usuario de braille: «Al ser un lector lento, el papel le resultaba difícil. Me pedía que se lo leyese. Con la aplicación, se comportó de manera independiente y obtuvo buenos resultados». Otro profesor comentó sobre una usuaria de texto impreso:

Le gustaron las pistas y pudo resolver el problema por su cuenta, lo que la hizo pensar. Con papel y lápiz, suele esperar a que alguien le dé la respuesta y no intenta recapacitar. Sin embargo, sí resolvió los problemas [de la aplicación] e intentó entender los conceptos, lo que contribuyó a subirle la autoestima. He hablado con su madre y parece que ahora está participando más en sus clases de Matemáticas [después de haber participado en el estudio].

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

Discusión

El objetivo del estudio presentado aquí era comparar la resolución de problemas matemáticos con enunciado por parte de alumnos con deficiencia visual cuando se presentan en su principal soporte de aprendizaje o mediante una aplicación de iPad con gráficos adjuntos. La aplicación se ha desarrollado específicamente para satisfacer las necesidades de los alumnos con deficiencia visual y ha sido sometida a un exhaustivo análisis de usabilidad previo (Beal y Rosenblum, 2015).

Con respecto a la resolución de problemas, los alumnos resolvieron correctamente más problemas presentados en la aplicación que aquellos presentados en su principal soporte de aprendizaje. Se observó un mejor rendimiento tanto en usuarios de braille como de texto impreso, y en distintos niveles matemáticos. La aplicación proporcionaba una respuesta inmediata acerca de si la solución era o no correcta y pistas para orientar en la resolución de problemas. Estas características parece que animaban a los alumnos a seguir insistiendo cuando trabajaban con la aplicación. Cuando no lograban resolver el problema correctamente al primer intento, lo intentaban de nuevo y, finalmente, consiguieron resolver el 90 % de los problemas. En pocos casos abandonaron un problema, incluso cuando esa opción estaba disponible fácilmente. La mayoría de los alumnos afirmaron que preferían trabajar con la aplicación, y mencionaron la respuesta y las pistas como razón.

En las entrevistas, un 30 % de los profesores mencionaron que sus alumnos trabajaban de manera más autónoma con la aplicación. Uno de ellos afirmó: «Era como tener al profesor allí mismo». Por supuesto, una diferencia clave entre la aplicación y un profesor es que la aplicación proporcionaba recursos, pero era decisión del alumno si los utilizaba o no. Por ejemplo, el uso de pistas se vinculó al número de problemas resueltos correctamente en la aplicación, pero los alumnos no siempre optaron por utilizar las pistas. Los alumnos apenas emplearon los recursos que no estaban relacionados directamente con la resolución de problemas, como el glosario o la narración en vídeo que explicaba cómo resolver el problema cuando ya lo habían completado, incluso aunque no hubieran sabido resolverlo correctamente.

Curiosamente, aunque los profesores afirmaron en las entrevistas que los alumnos se comportaban de manera más independiente con la aplicación, sus puntuaciones sobre el nivel y el tipo de ayuda proporcionada por cada problema muestran algo ligeramente diferente. En realidad, era más probable que los profesores tuvieran que ayudar a los

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

alumnos a interpretar el problema de matemáticas en las unidades de la aplicación que en las unidades en papel, y ofrecieron más asistencia a los usuarios de braille a ubicar la información en los gráficos matemáticos de las unidades de la aplicación. Dado que los lectores de braille emplearon los gráficos en papel tanto para las unidades en la aplicación como en papel, esto puede que se deba sencillamente al hecho de que los alumnos podían intentar resolver hasta tres veces un problema en la aplicación, lo que posiblemente proporcionaba más oportunidades al profesor de aclarar los malentendidos del alumno. Nótese que cuando los profesores ofrecían su ayuda en un problema, en la mayoría de los casos, lo describían como «un poquito de ayuda».

Al utilizar la aplicación, según los profesores, los alumnos parecían más motivados que al hacer las unidades en papel. Esta impresión se ve reforzada por el hecho de que la mayor parte de los alumnos afirmara que preferían trabajar con la aplicación. Es posible que una mayor motivación de los alumnos se debiera al efecto novedoso de trabajar con tecnología. No obstante, el estudio estaba compuesto por ocho sesiones alternas (cuatro en papel y cuatro con la aplicación) durante un periodo entre varias semanas y varios meses, lo que puede ser suficiente experiencia para que se atemperara cualquier ventaja transitoria asociada a la novedad. Además, aunque una serie de alumnos describieron la aplicación como «divertida», les exigía resolver problemas matemáticos con enunciados a veces complejos, y el mayor nivel de motivación al utilizar la aplicación se asoció con comportamientos con un esfuerzo observable, como insistir en la resolución de un problema y utilizar las pistas.

En conjunto, los resultados de la evaluación parecen apoyar, en general, el uso de una ayuda tecnológica en forma de aplicación para iPad para asistir a los alumnos en la resolución de problemas matemáticos. Los alumnos obtuvieron un mejor rendimiento, parecían depender menos de su profesor y estar más motivados que cuando trabajaban con texto impreso o braille. No obstante, los resultados del estudio también sacaron a la luz un problema que no se había previsto, pero que merece una atención adicional: en concreto, el papel del audio como método de acceder a la información. La opción de acceder al texto del problema y a descripciones de las imágenes mediante audio era atractiva, especialmente para los alumnos que no leían braille con soltura. De hecho, es posible que para algunos usuarios, su preferencia por la aplicación puede que reflejara un deseo de evitar utilizar el braille. Un lector de braille comentó: «Tenía que leer menos en la aplicación», y otro dijo: «Me gustaron más las unidades de la aplicación... [porque] no hay que leer en braille». Otro alumno mencionó que le resultaba más fácil utilizar el iPad que el libro en braille.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

El audio también supuso una opción atractiva para varios usuarios de texto escrito. Una de ellos mencionó que le gustaba poder leer en la aplicación porque «me permitió descansar la vista», y otra mencionó que recurría al audio «cuando se me cansaba la vista». Curiosamente, cuatro de los seis alumnos que preferían trabajar en papel no sabían que la aplicación contaba con una opción de audio (porque su profesor no se lo indicó). Queda claro que no a todos los alumnos con deficiencia visual les gusta el audio como método de acceder a la información. No obstante, dada la importancia para estos alumnos de contar con un soporte de aprendizaje eficiente que les permita ser competitivos, es fundamental plantearse minuciosamente qué efectos podría tener su acceso al audio en su capacidad de leer texto impreso o braille. Probablemente, este asunto será cada vez más urgente, dado que la disponibilidad inmediata de *software* que convierte el texto en audio supone que, actualmente, es bastante fácil, rápido y barato crear presentaciones de texto en audio con una calidad razonable.

Limitaciones

El presente estudio adolecía de una serie de limitaciones. En primer lugar, se solicitó a los profesores que seleccionaran el nivel de matemáticas del alumno, pero ni se llevó a cabo una verificación de las capacidades matemáticas reales de los alumnos ni se proporcionaron los contenidos que se estaban aprendiendo en la clase de Matemáticas. Por lo tanto, a algunos alumnos puede que les resultara muy fácil el contenido y consideraran que los problemas eran fáciles, mientras que otros puede que no hubieran aprendido todavía los conocimientos relativos al contenido y les resultaran los problemas más difíciles. En segundo lugar, ni en la aplicación ni en las sesiones en papel se ofreció a los alumnos una revisión de los conceptos matemáticos antes de que se les pidiera resolver los problemas con enunciado en el que tenían que emplear dichos conceptos. Hubiera sido útil una breve introducción en la que se repasara el concepto matemático en cuestión. En tercer lugar, se solicitó a los profesores que puntuaran a los alumnos en múltiples ámbitos (por ejemplo, motivación y ayuda con los gráficos). Una persona podría definir «un poquito de ayuda» de una manera y otra persona podría definir la misma ayuda como «muchísima ayuda». Aunque se proporcionaron ejemplos en la formación en línea para los profesores, todavía podía existir variación, y las puntuaciones pueden haberse visto influidas por las opiniones de los profesores acerca del valor de los productos de apoyo. En cuarto lugar, para los lectores de texto impreso, se prepararon los materiales con un tipo de letra Verdana tamaño 18. Algunos usuarios de texto impreso puede que leyeran con mayor soltura con un tamaño de letra más reducido, mientras que a otros puede que les resultara

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

más adecuado uno más grande. Los recursos del proyecto no permitieron preparar materiales en el tamaño y tipo de letra específico que el alumno utilizaba normalmente.

Como se ha comentado antes acerca del uso de los alumnos de la capacidad del iPad para reproducir texto del material introductorio, los problemas, las pistas, etc., no sabemos si algunos alumnos optaron por no emplear el audio porque ignoraban que existía dicha opción, porque les parecía molesto o porque leían con suficiente soltura por sus propios medios el texto impreso o en braille. Tampoco sabemos cuántos estudiantes combinaban el audio con la lectura en su soporte de aprendizaje principal.

Por último, la principal limitación del estudio es que no sabemos si las pistas ayudaron a los alumnos cuando trabajaron en las unidades en papel. Nuestra principal pregunta de investigación giraba en torno a las posibilidades de la tecnología interactiva para ayudar a los alumnos a resolver problemas de manera independiente en relación con la práctica actual, en la que, normalmente, no tendrían por qué recibir pistas. Además, si las pistas se hubieran incluido en las unidades en papel, no habría sido posible controlar cuándo se permitía acceder a alguna (es decir, después de, como mínimo, un intento incorrecto) o registrar si el alumno había accedido a ella o no. Por lo tanto, los resultados sugieren que las pistas fueron útiles cuando los alumnos trabajaban con la aplicación, pero es difícil hacer una comparación directa con su rendimiento en las unidades de papel, porque la tecnología permitía una forma de interacción diferente.

Implicaciones futuras

Los resultados del estudio son prometedores en el uso de productos de apoyo para facilitar instrucciones y refuerzo a los alumnos que están adquiriendo aptitudes matemáticas de introducción al álgebra. Sería útil llevar a cabo trabajos en el futuro que proporcionen contenidos adicionales. Tanto durante las entrevistas con los alumnos como con los profesores, se hicieron sugerencias, entre las que se incluían otros contenidos relacionados con la ciencia, lo que permitiría a los profesores introducir su propio material, contar con una interfaz más parecida a un juego y añadir instrucciones y ejemplos a las unidades. Además, en el estudio se hizo patente que muchos alumnos con deficiencia visual no son todo lo eficientes que podrían serlo a la hora de extraer información de un gráfico, ya sea en texto escrito o en braille (Zebehazy y Wilton, 2014a, 2024b). Actualmente, no existe un programa para enseñar a los alumnos con deficiencia visual estrategias para recopilar la información de manera eficiente. En el futuro, habría que abordar esta necesidad. Es necesario un estudio

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

futuro que se plantee el modo en el que se utiliza el audio, bien como método principal para acceder a la información o bien conjuntamente con el soporte de aprendizaje principal del alumno.

Vivimos en una época en la que la tecnología tiene la posibilidad de proporcionar a las personas con deficiencia visual y a aquellos con otras discapacidades el acceso a un programa con el que puedan aprender junto a sus compañeros no discapacitados. Los educadores y desarrolladores deben comprometerse a hacer que la tecnología sea accesible, motivadora e instructiva. A lo largo de este proyecto, hemos demostrado que los alumnos con deficiencia visual pueden desarrollar sus aptitudes de introducción al álgebra y, finalmente, llegar a obtener mejores resultados en las clases de Matemáticas mediante el uso de dicha tecnología.

Referencias bibliográficas

AGRAN, M., HONG, S., y BLANKENSHIP, K. (2007). Promoting the self-determination of students with visual impairments: reducing the gap between knowledge and practice. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 101(8), 453-464.

ALGOZZINE, B., BROWDER, D., KARVONEN, M., TEST, D. W., y WOOD, W. M. (2001). The effects of self-determination interventions on students with disabilities. *Review of Educational Research*, 71, 219-277.

BARDIN, J. A., y LEWIS, S. (2008). A survey of the academic engagement of students with visual impairments in general education classes. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 102(8), 472-483.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2015). Use of an accessible iPad app and supplemental graphics to build math skills: feasibility study results. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 109, 383-394.

CAMPANA, L. V., y OUIMET, D. A. (2015). iStimulation: Apple iPad use with children who are visually impaired. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 109, 67-72.

DICK, T., y KUBIAK, E. (1997). Issues and aids for teaching mathematics to the blind. *Mathematics Teacher*, 90, 344-349.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

FERRELL, K. A. A. (2006). Evidence-based practices for students with visual disabilities. *Communication Disorders Quarterly*, 28(1), 42-48.

FREELAND, A. L., EMERSON, R. W., CURTIS, A. B., y FOGARTY, K. (2010). Exploring the relationship between access to technology and standardized test scores for youths with visual impairment. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 104, 170-182.

HANSEN, E. G., SHUTE, V. J., y LANDAU, S. (2010). An assessment-for-learning system in mathematics for individuals with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 104(5), 275-286.

HATLEN, P. (1996). The expanded core curriculum for students with visual impairments, including those with additional disabilities. *RE:view*, 28(1), 25-32.

KAPPERMAN, G., STICKEN, J., y HEINZE, T. (2002). Survey of the use of assistive technology by Illinois students who are visually impaired. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 96, 106-108.

KELLY, S. M. (2009). Use of assistive technology by students with visual impairments: findings from a national survey. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 109, 470-480.

KELLY, S. M., y SMITH, D. W. (2011). The impact of assistive technology on the educational performance of students with visual impairments: a synthesis of the research. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(2), 72-83.

LANDAU, S., RUSSELL, M., GOURGEY, K., ERIN, J. N., y COWAN, J. (2003). Use of the Talking Tactile Tablet in mathematics testing. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 97(2), 85-96.

LEWIS, S., y ALLMAN, C. B. (2014). Learning, development, and children with visual impairments: the evolution of skills. En: C. ALLMAN y S. LEWIS (eds.), *ECC essentials: teaching the expanded core curriculum to students with visual impairments* (pp. 3-30). Nueva York, NY: AFB Press.

McDONNALL, M. C. (2011). Predictors of employment for youths with visual impairments: findings from the Second National Longitudinal Transition Study. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(8), 453-466.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

MCDONNALL, M., GEISEN, J. M., y CAVERNAUGH, B. (2009). *School climate, support and mathematics achievement for students with visual impairments*. Póster presentado en la conferencia anual *Institute of Education Sciences Research Conference*, Washington, D. C.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (NSF), DIVISION OF SCIENCE RESOURCES STATISTICS (2009). *Women, minorities, and persons with disabilities in science and engineering: 2009* [formato PDF], NSF 09-305. Arlington, VA: National Science Foundation.

POWELL, S. R., FUCHS, L. S., y FUCHS, D. (2013). *Reaching the mountaintop: Addressing the Common Core Standards in Mathematics for students with mathematics difficulties* [formato PDF]. *Learning Disabilities Research & Practice*, 28(1), 38-48.

ROBINSON, B. L., y LIEBERMAN, L. J. (2004). Effect of visual impairment, gender, and age on self-determination. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 98, 351-366.

SACKS, S., y SILBERMAN, R. (1998). *Educating students who have visual impairments with other disabilities*. Baltimore, MD: Paul H. Brookes.

SACKS, S., WOLFFE, K., y TIERNEY, D. (1998). Lifestyles of students with visual impairments: Preliminary studies of social networks. *Exceptional Children*, 64, 463-478.

SHAH, N. (2011, March 16-17). *Special education pupils find learning tool in iPad applications* [página web]. *Education Week*, 30(22), 16-19.

WAGNER, M., NEWMAN, L., CAMETO, R., y LEVINE, P. (2006). *The academic achievement and functional performance of youth with disabilities: a report from the National Longitudinal Transition Study-2 (NLTS2)* [formato PDF]. Menlo Park, CA: SRI International.

WILLIAMS, M. (2012, 18 de abril). *iPads especially helpful for special-needs students* [página web]. *The Washington Post*.

WOLFFE, K. E., ROSENBLUM, L. P., y CLEVELAND, J. (2014). Self-determination. En: C. ALLMAN y S. LEWIS (eds.), *ECC essentials: Teaching the expanded core curriculum to students with visual impairments* (pp. 470-509). Nueva York, NY: AFB Press.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.

WOLFFE, K. E., SACKS, S. Z., CORN, A. L., ERIN, J. N., HUEBNER, K. M., y LEWIS, S. (2002). Teachers of students with visual impairments: what are they teaching? *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 96, 293-304.

ZEBHAZY, K. T., y WILTON, A. P. (2014a). Charting success: the experience of teachers of students with visual impairments in promoting graphic use by students. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 108, 263-274.

ZEBHAZY, K. T., y WILTON, A. P. (2014b). Straight from the source: perceptions of students with visual impairments about graphics use. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 108, 275-286.

ZHOU, L., SMITH, D. W., PARKER, A. T., y GRIFFIN-SHIRLEY, N. (2011). Assistive technology competencies of teachers of students with visual impairments: a comparison of perceptions. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(9), 533-547.

ZIMMERMAN, G. J., ZEBHAZY, K. T., y MOON, M. L. (2010). Optics and low vision devices. En: A. L. CORN y J. N. ERIN (eds.), *Foundations of low vision: clinical and functional perspective* (2.ª ed., p. 192-237). Nueva York, NY: AFB Press.

BEAL, C. R., y ROSENBLUM, L. P. (2018). Evaluación de la eficacia de una aplicación informática para tableta con el fin de ayudar a alumnos con deficiencia visual a resolver problemas matemáticos. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 73, 118-143.