

Hemos leído

**RED Visual**  
Revista Especializada en Discapacidad Visual



## La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial<sup>1</sup>

*The comprehension of STEM graphics via a multisensory tablet electronic device by students with visual impairments*

M. E. Hahn, C. M. Mueller, J. L. Gorlewicz

### Resumen

*Introducción:* este trabajo examina la efectividad de los dispositivos electrónicos de tableta multimodales con pantalla táctil para transmitir gráficos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM) a través de vibraciones y sonidos a personas con discapacidad visual (es decir, con ceguera o con baja visión), y establece una comparación con gráficos en relieve similares presentados en un formato impreso. *Método:* se obtuvo la participación en el estudio de una muestra de 22 voluntarios con discapacidad visual seleccionados en un campamento de verano y en escuelas locales para estudiantes ciegos. En primer lugar, se enseñó a los participantes, en un breve periodo (~30 minutos), a explorar gráficos mediante una tableta con pantalla táctil multimodal. A continuación, los participantes examinaron seis tipos de gráficos en relieve (línea numérica, tabla, gráfico circular, gráfico de barras, gráfico de coordenadas y plano) presentados en una tableta y en papel impreso. Tras la exploración, los participantes respondieron a tres preguntas por cada tipo de gráfico relativas a su contenido. *Resultados:* la precisión de los participantes solo se mostró un 6% más alta al responder a preguntas

1 Artículo de Michael E. Hahn, Corrine M. Mueller y Jenna L. Gorlewicz publicado con el título *The comprehension of STEM graphics via a multisensory tablet electronic device with students with visual impairments* en la revista *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 113(5) p. 404-418. [DOI: <https://doi.org/10.1177/0145482X19876463>]. Copyright © 2019 de la American Foundation for the Blind. Traducción de José Luis de Aragón Mari, publicada con permiso de SAGE Publications, Inc. ([journals.sagepub.com/home/jvb](https://journals.sagepub.com/home/jvb)), no siendo de aplicación para este artículo los términos de la licencia Creative Commons a los que se acoge *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*.

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

relativas a un gráfico impreso en relieve frente al mismo gráfico mostrado en una tableta. Una prueba t para muestras emparejadas mostró que esta diferencia no era significativa:  $t(14) = 1,91$ ,  $p = 0,07$ . Los análisis de seguimiento no revelaron interacciones entre el medio de presentación y el tipo de gráfico:  $F(5, 50) = 0,43$ ,  $p = 0,83$ , o la capacidad visual,  $F(1, 13) = 0,00$ ,  $p = 0,96$ . *Análisis*: los resultados demuestran que las tabletas táctiles multimodales son comparables a los gráficos impresos en relieve a la hora de transmitir contenidos iconográficos de carácter científico y matemático a personas con discapacidades visuales, independientemente de la gravedad de las mismas. La relativa equivalencia en la precisión de la respuesta utilizando los distintos medios (tableta o papel) resultó inesperada, ya que la mayoría de los alumnos participantes eran lectores de braille y tenían experiencia en el manejo de gráficos en relieve, mientras que entraron en contacto con la tableta por primera vez en el mismo día en el que se efectuó la prueba. *Implicaciones para los profesionales*: el presente trabajo muestra que las tabletas multimodales con pantalla táctil pueden ser una opción eficaz de la que pueden hacer uso en el curso de su actividad docente los profesores de educación general o aquellos profesores que tengan alumnos con discapacidad visual. En la actualidad, la creación de gráficos accesibles exige mucho tiempo y una preparación notable, pero estas tabletas aportan soluciones que permiten ofrecer visualizaciones de gráficos en tiempo real para su presentación en clase.

## Palabras clave

Gráficos accesibles. Retroalimentación multimodal. Retroalimentación táctil. Vibraciones. Pantallas táctiles. Educación en CTIM.

## Abstract

*Introduction*: The current work probes the effectiveness of multimodal touch screen tablet electronic devices in conveying science, technology, engineering, and mathematics graphics via vibrations and sounds to individuals who are visually impaired (i.e., blind or low vision) and compares it with similar graphics presented in an embossed format. *Method*: A volunteer sample of 22 participants who are visually impaired, selected from a summer camp and local schools for blind students, were recruited for the current study. Participants were first briefly (~30 min) trained on how to explore graphics via a multimodal touch screen tablet. They then explored six graphic types (number line, table, pie chart, bar chart, line graph, and map) displayed via embossed paper and tablet. Participants answered three content questions per graphic type following exploration. *Results*: Participants were only 6% more accurate when answering questions regarding an embossed graphic as opposed to a tablet graphic. A

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

paired-samples *t* test indicated that this difference was not significant,  $t(14) = 1.91$ ,  $p = .07$ . Follow-up analyses indicated that presentation medium did not interact with graphic type,  $F(5, 50) = 0.43$ ,  $p = .83$ , nor visual ability,  $F(1, 13) = 0.00$ ,  $p = .96$ . *Discussion*: The findings demonstrate that multimodal touch screen tablets may be comparable to embossed graphics in conveying iconographic science and mathematics content to individuals with visual impairments, regardless of the severity of impairment. The relative equivalence in response accuracy between mediums was unexpected, given that most students who participated were braille readers and had experience reading embossed graphics, whereas they were introduced to the tablet the day of testing. *Implications for practitioners*: This work illustrates that multimodal touch screen tablets may be an effective option for general education teachers or teachers of students with visual impairments to use in their educational practices. Currently, preparation of accessible graphics is time consuming and requires significant preparation, but such tablets provide solutions for offering «real-time» displays of these graphics for presentation in class.

### Key words

Accessible graphics. Multimodal feedback. Tactile feedback. Vibrations. Touchscreens. STEM education.

---

Si bien la situación está mejorando, la creación de contenidos docentes accesibles a estudiantes con discapacidades visuales (es decir, aquellos que son ciegos o tienen baja visión; Zhou, Parker, Smith y Griffin-Shirley, 2011) supone un reto constante para los docentes que trabajan en las aulas. Aunque la tecnología de apoyo, como los magnificadores de pantalla, las impresoras braille y los dispositivos portátiles para tomar notas ayudan a hacer los contenidos accesibles, diversos estudios han mostrado que muchos estudiantes con discapacidad visual de los Estados Unidos no utilizan los productos de apoyo en las aulas, a pesar de las claras ventajas que ofrecen para el aprendizaje. Pese a todo, su presencia va en aumento (Nelly, 2009). Por desgracia, la utilización de tecnología de apoyo en las aulas exige, a menudo, una amplia formación del profesorado, puede ser difícil de enseñar a los alumnos y puede resultar costosa, particularmente en el caso de colegios situados en naciones no industrializadas (Pal, Pradhan, Shah y Babu, 2011; Zhou *et al.*, 2011). De este modo, barreras exteriores a la inteligencia, a la voluntad de aprender y al compromiso con el trabajo escolar pueden impedir la maximización del potencial académico del niño.

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Tecnología comúnmente utilizada, como los dispositivos electrónicos multimodales con pantalla táctil, proporciona una nueva plataforma prometedora, con potencial para utilizarse como una tecnología de consumo que haga posible mejorar el acceso a los gráficos de aquellos estudiantes que tienen discapacidad visual. Las plataformas con pantalla táctil, incluyendo Android e iOS, ofrecen retroalimentación visual, táctil (vibratoria) y auditiva, permitiendo el despliegue conjunto de información visual a través de señales de retroalimentación no visuales. Puesto que el mismo tipo de información, transmitida a través de estímulos sensoriales múltiples, puede producir un incremento en los detalles de la percepción (Macaluso y Maravita, 2010), tales plataformas están preparadas para servir como medios de transmisión de información visual mediante modalidades de retroalimentación no visuales.

El estudio de la utilización de los dispositivos multimodales de pantalla táctil como herramientas educativas está aún en sus primeros balbuceos. Entre las ventajas de esta tecnología se incluye su (1) carácter portátil y capacidad de realizar múltiples tareas al mismo tiempo, (2) capacidad de proporcionar retroalimentación visual, auditiva y táctil de forma simultánea, (3) adopción en entornos educativos, (4) bajo coste, (5) utilización omnipresente y (6) amplia adopción, si se compara con los dispositivos dedicados a una tarea específica, lo que quiere decir que, aparentemente, no existe ningún estigma asociado a su uso. Diversos estudios han puesto de relieve el potencial de esta tecnología para transmitir conceptos gráficos sencillos a alumnos con discapacidad visual a través de percepciones multisensoriales (por ejemplo, Giudice, Palani, Brenner y Kramer, 2012; Goncu y Marriott, 2011; Gorlewicz, Burgner, Withrow y Webster, 2014; Tennison y Gorlewicz, 2016).

Sin embargo, tal y como indican O'Modhrain, Giudice, Gardner y Legge (2015), todavía hay retos por superar en relación con el desarrollo de dispositivos de pantalla táctil destinados a facilitar el acceso a gráficos a las personas con discapacidades visuales. En primer lugar, las limitaciones de la percepción táctil constituyen una barrera importante a la creación de contenidos educativos accesibles (Loomis, Klatzky y Giudice, 2012). Concretamente, la exploración táctil es de carácter focal y limitada en cuanto a resolución espacial y ancho de banda. La conversión de gráficos visuales a táctiles no siempre es sencilla, teniendo en cuenta las diferencias en los subsistemas perceptivos. En segundo lugar, la mayoría de las pantallas táctiles requieren un contacto único durante la actividad de exploración (por ejemplo, una única yema del dedo). Este diseño es problemático, ya que algunos lectores de braille expertos tienden a utilizar ambas manos y varios dedos para

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

concebir la orientación espacial (Craig, 1985; Mousty, 1986; Ulusoy, 2015; Wong, Gnanakumaran y Goldreich, 2011).

En tercer lugar, O'Modhrain y sus colaboradores (2015) arguyen que las personas con discapacidad visual pueden tener dificultades a la hora de trazar líneas, porque la superficie de la pantalla táctil es plana y carece de texturas. Sin embargo, en recientes estudios inéditos, nuestro grupo ha descubierto que niños con discapacidad visual eran capaces de trazar con exactitud orientaciones de línea uniformes y no uniformes (~8,9 mm de ancho) en una tableta. Los límites de las líneas se indicaron mediante señales táctiles (vibratorias) o auditivas diferenciadas. Los resultados indicaron que las desviaciones promedio de las líneas trazadas por los participantes oscilaron entre 13,11 y 16,51 mm, lo que es inferior al ancho medio de la yema del dedo de un adulto.

Nos damos cuenta de las limitaciones de los dispositivos de pantalla táctil multisensorial a la hora de presentar información visual. Sin embargo, además de las numerosas ventajas ya mencionadas que ofrecen estos dispositivos, su capacidad y sofisticación van en aumento, a la vez que se muestran flexibles y se adaptan a las necesidades del usuario. Además, estamos de acuerdo con el argumento de O'Modhrain y sus colaboradores (2015) en el sentido de que, pese a estas limitaciones, los dispositivos con pantalla táctil multisensorial ofrecen grandes posibilidades para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual y, por lo tanto, deben seguir desarrollándose como una plataforma de diseño universal.

Si bien las tabletas multimodales con pantalla táctil superan la prueba de la validez aparente como un recurso educativo eficaz, se carece de ensayos que las comparen con la tecnología de apoyo tradicional. Giudice, Palani, Brenner y Kramer (2012) pidieron a participantes videntes (aunque con los ojos vendados) y a participantes con discapacidad visual que examinaran y respondieran a preguntas relativas a gráficos (letras, formas y diagramas de barras) presentados en una tableta multimodal con pantalla táctil. Se compararon los resultados de esta condición experimental con los resultados de una condición experimental en la que se utilizaron gráficos impresos en relieve. Tres experimentos consecutivos indicaron que las respuestas de todos los participantes eran igual de precisas examinando los gráficos presentados en una pantalla táctil multimodal o impresos en relieve. Otros estudios han dejado constancia de resultados similares relativos a la utilidad educativa de los dispositivos multimodales con pantalla táctil (véase Brock, Truillet, Oriola, Picard y Jouffrais, 2015; Raja, 2011). Tras un examen de estos estudios, sin embargo, se aprecia que el alcance y metodo-

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

logía de los mismos, así como el tamaño y las características de la muestra utilizada (a saber, su dependencia de participantes con los ojos vendados) son limitados, lo que apunta a una clara necesidad de investigaciones adicionales.

Si bien la exploración de gráficos sencillos a través de un dispositivo multisensorial con pantalla táctil ha sido objeto de anteriores estudios, sigue sin estar claro si estos dispositivos permiten examinar, con el mismo nivel de precisión, gráficos avanzados de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (es decir, aquellos que son más técnicos que los que se ocupan de objetos geométricos básicos, como formas, puntos o cuadrículas). Del mismo modo, hay pocas pruebas que determinen si las pantallas táctiles multimodales son tan efectivas a la hora de comunicar contenidos gráficos como la tecnología de apoyo tradicional. En este trabajo, intentamos llenar este vacío, y presentamos un estudio comparativo que explora la precisión con la que los usuarios extraen información a partir de conceptos gráficos básicos presentados en relieve en papel y en dispositivos multisensoriales con pantalla táctil. En una tableta Samsung Galaxy Tab S instalamos la aplicación *vITAL* (2018), una herramienta didáctica con la capacidad de presentar contenidos multisensoriales en tiempo real. Se mostraron conceptos gráficos CTIM básicos a niños con discapacidad visual tanto en la Tab S con el programa *vITAL*, como en un formato impreso en relieve. Como se comentará en la sección *Método*, se mostró a los participantes cómo debían explorar estos gráficos utilizando la tableta. Las pruebas experimentales exigieron que los participantes examinaran y respondieran a preguntas sobre diversos gráficos presentados impresos en relieve y en formato electrónico. Además, los participantes rellenaron un cuestionario sobre sus antecedentes educativos y su historial de salud, y comentaron su experiencia subjetiva sobre la sesión de prueba, el dispositivo Tab S y la aplicación *vITAL*.

## Método

### Participantes

Se seleccionaron estudiantes con discapacidad visual ( $N=22$ , 11 del sexo femenino / 11 del sexo masculino, media de edad = 15,45, rango de edad = 10-22 años) procedentes de cuatro instituciones, incluyendo un campamento de verano en el que se imparten habilidades para vivir independientemente, y tres escuelas del medio oeste de los EE. UU. para estudiantes ciegos. Estas instituciones tienden a atraer a alumnos con discapacidad visual que tienen diferentes antecedentes educativos

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

(esto es, estudiantes procedentes del sistema de educación general y de ámbitos de la educación especial), aunque no evaluamos de forma directa sus historiales académicos. Somos conscientes de que los distintos entornos educativos de los que proceden los participantes probablemente hayan tenido su efecto en los problemas de accesibilidad a los que han debido enfrentarse, y hay que tener en cuenta este factor a la hora de interpretar los resultados de nuestro estudio. Un investigador estuvo presente *in situ* para supervisar los objetivos del estudio, obtener el consentimiento de los participantes (o de sus tutores, en el caso de los menores de edad) y revisar las protecciones establecidas de conformidad con la Health Insurance Portability and Accountability Act<sup>2</sup> (HIPAA). Se excluyeron del estudio a los niños menores de 13 años y a las personas con visión normal. Este límite de edad se añadió en pleno proceso de recopilación de datos, porque algunos de los participantes más jóvenes se revelaron incapaces de entender ciertos conceptos matemáticos. A los participantes se les ofreció una tarjeta de regalo como compensación. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de San Luis.

## **Materiales**

### *Cuestionario demográfico*

Al entrar en la sala donde iban a tener lugar las pruebas, los participantes rellenaron un cuestionario demográfico. Hubieron de responder a preguntas sobre su edad, sexo, nivel de curso académico, zurdera o destreza, existencia de otras discapacidades, número de años pasados desde el diagnóstico de discapacidad visual, gravedad de la discapacidad visual, modalidad primaria de aprendizaje y sistema operativo preferido.

### *Samsung Galaxy Tab S y aplicación ViTAL*

Se utilizó un dispositivo Samsung Galaxy Tab S de 10,5" para mostrar el contenido gráfico multisensorial. Se colocaron seis puntos en relieve y cuatro bandas de goma a lo largo del perímetro de la pantalla de la tableta, como una manera preliminar de conseguir que los participantes fueran capaces de mantenerse sin problemas dentro de la parte activa de la pantalla, ya que trabajos anteriores habían mostrado que les era difícil conseguir esto sin la existencia de límites físicos (véase Figura 1).

---

<sup>2</sup> Ley de Transferibilidad y Responsabilidad del Seguro Sanitario [N. del trad.].

Figura 1. Ejemplo de gráfico en el programa vITAL en la Samsung Galaxy Tab S e impreso en relieve

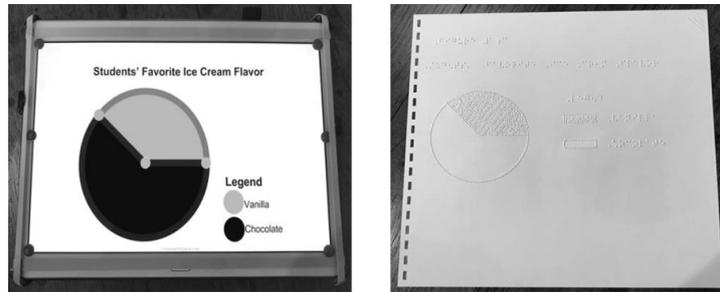
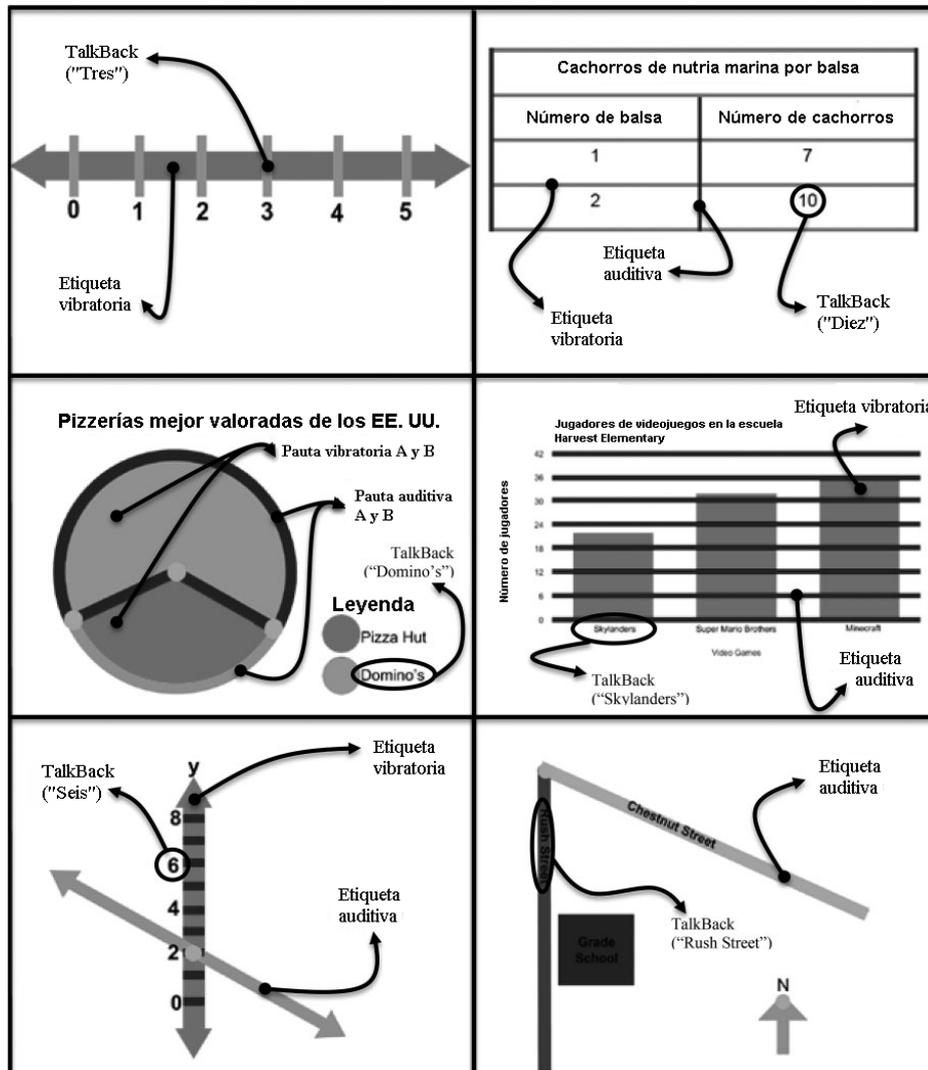


Figura 2. Gráficos para prácticas de vITAL anotados con llamadas en el texto que describen las reacciones de los participantes



Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

La aplicación ViTAL venía instalada en la Tab S. Se cargaron en la aplicación dieciocho gráficos (Prácticas [6], «Conjunto de preguntas n.º 1» [6] y «Conjunto de preguntas n.º 2» [6]). En la Figura 2 se muestran ejemplos de gráficos anotados con comentarios. Al introducirse el número de participante y el código de sesión, aparecía el primer gráfico de las prácticas. Durante las fases de prácticas y de realización de la prueba se mostraron los siguientes gráficos: línea numérica, tabla, gráfico circular, diagrama de barras, gráfico lineal y mapa. Se eligieron estos gráficos porque representan algunos de los conceptos gráficos básicos presentes en los planes de estudios de matemáticas y ciencias en la Enseñanza Secundaria y el Bachillerato. Cada gráfico que aparecía en la pantalla táctil ofrecía información auditiva y vibratoria cuando el participante recorría con el dedo los distintos componentes de la imagen. Todos los textos que acompañaban la imagen se leían en voz alta mediante un sistema de conversión de texto a voz. Por ejemplo, los mapas utilizados en el estudio contenían «etiquetas vibratorias» que producían una vibración cuando se tocaba una calle o punto de referencia, y «etiquetas auditivas» que leían en voz alta los nombres de las calles y de los sitios de importancia que se tocaban. Conforme se avanzaba en el estudio, el investigador (Hahn) deslizaba el dedo por la tableta para que los participantes pudieran acceder a la siguiente imagen.

### *Gráficos en relieve*

Un especialista en orientación y movilidad (Hollinger), que imparte clases a estudiantes con discapacidad visual y trabaja en un distrito escolar local (véase Figura 1), desarrolló todos los gráficos para la aplicación ViTAL (salvo los utilizados en las prácticas) mediante una impresora braille. Este educador ha trabajado con personas con discapacidad visual durante unos 20 años, domina el *software* de gráficos táctiles y conoce bien la tecnología de apoyo y de gráficos táctiles. Los 12 gráficos se imprimieron en relieve, en hojas de papel separadas de tamaño 12" x 11". Los mapas exigieron una hoja de papel adicional que dejara espacio para las leyendas. El educador creó estos gráficos a semejanza de los gráficos táctiles de calidad que se elaboran para que un estudiante sea capaz de aprender estos conceptos.

### *Formulario de evaluación de contenidos*

Se elaboraron tres preguntas por gráfico para evaluar la comprensión del participante tras haber explorado los contenidos. Las preguntas se adaptaron partiendo del material educativo estándar (como libros de texto) que recibimos de un internado local para alumnos con discapacidad visual. Trabajamos junto con el profesional de educación para

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

elaborar las preguntas de nuestro estudio sobre la base de este material normalizado, seleccionando cuidadosamente un contenido adecuado al nivel escolar de los participantes. Además, nuestro formulario de evaluación se sometió a validación cruzada por parte de un asesor especializado, independiente de nuestro equipo de investigación. Este asesor tiene una amplia experiencia con estudiantes con discapacidades (incluyendo discapacidades visuales) y es un experto en educación basada en la tecnología, el diseño universal y el desarrollo de instrumentos de valoración y evaluación en este contexto.

### *Cuestionario de salida*

Se formularon preguntas a los participantes en relación a su historial académico y su impresión personal sobre la aplicación de pantalla táctil. El propósito de este cuestionario fue conocer las reacciones de los usuarios a la presentación de gráficos mediante la tecnología de pantalla táctil. Además, el cuestionario de salida nos permitió comprender mejor hasta qué punto el carácter no accesible del contenido suponía un problema para los participantes.

La frecuencia con la que los estudiantes se enfrentaban a la falta de accesibilidad de los problemas planteados en el aula, así como al retraso en la disponibilidad de contenidos, se evaluó utilizando una escala del 1 al 6 (1 = nunca, 6 = todos los días). Asimismo, la medida en la que se estimaba que estas cuestiones presentaban un obstáculo a su experiencia educativa se graduó mediante una escala del 1 al 5 (1 = ningún problema, 5 = un grave problema). También se preguntó a los participantes si resultaba más fácil explorar los gráficos utilizando relieves impresos o la tableta, si creían posible que la tableta reemplazara a cualquier otra tecnología existente que estuvieran utilizando, así como los puntos fuertes y débiles de la aplicación de pantalla táctil. Finalmente, se evaluó la motivación de algunos de los participantes, aunque no de todos, ya que el investigador percibió que varios participantes no se estaban esforzando al máximo al principio del proceso de recopilación de datos. La motivación se evaluó mediante una escala del 1 al 5 (1 = no muy motivado, 5 = muy motivado).

### *Procedimiento*

El investigador saludó a los participantes a su llegada y revisó la información incluida en los formularios de consentimiento y de la HIPAA. A continuación, se pidió a los participantes que rellenaran el cuestionario demográfico. El investigador leyó en voz alta todas las preguntas, así como las correspondientes opciones de respuesta.

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

A continuación, los participantes recibieron instrucciones para realizar la prueba comparativa. Se les dijo que dispondrían de 12 gráficos matemáticos o científicos (6 en la tableta y 6 en relieve en papel) y tendrían que responder a ciertas preguntas sobre los mismos. Se les explicó que podrían tomarse todo el tiempo que necesitasen, y se les pidió que respondieran «No sé» en caso de que no supieran la respuesta. Se ofreció a los participantes la oportunidad de formular preguntas antes de que comenzara la sesión de prácticas. El orden de ambas modalidades estuvo plenamente compensado.

Se procedió luego a enseñar a la mitad de los participantes el manejo de la tableta y de la aplicación vITAL. Las actividades de prácticas siempre tuvieron lugar antes de las pruebas experimentales con las tabletas. Al principio, los participantes exploraron la tableta con la pantalla apagada para adaptarse a la zona activa de la misma. A continuación, recibieron instrucciones e información sobre estrategias para explorar cada uno de los gráficos. En concreto, se les indicó que utilizaran un solo dedo, que deslizaran el dedo lentamente por la pantalla de la tableta y que hicieran uso de los puntos en relieve y de las bandas de goma como referentes. Asimismo, se alentó a los participantes a escoger un punto en relieve concreto como posición inicial, a la que podrían volver si se desorientaban mientras recorrían la tableta, así como a colocar el pulgar en la parte inferior de la tableta, de forma que actuara como otro punto de referencia (táctica que anteriores usuarios habían encontrado útil en trabajos previos).

Tras ello, el investigador encendió la pantalla de la tableta para mostrar los gráficos de prácticas en la aplicación vITAL. Durante el examen de los gráficos, se ofreció una explicación de las funciones de audio y vibratorias de cada gráfico y se formularon dos o tres preguntas orientativas por gráfico para facilitar el aprendizaje (por ejemplo, «¿Cuántas filas hay en la tabla?», «¿Cuál es el valor más alto del eje Y en el gráfico de barras?»). Los participantes recibieron apoyo adicional siempre que fue necesario (por ejemplo, el investigador guio la mano del participante) y se les concedió un plazo indefinido para avanzar de gráfico en gráfico. Los gráficos de formación se presentaron en un orden parcialmente compensado y el periodo de prácticas duró menos de 30 minutos.

Tras el tiempo dedicado a las prácticas, se iniciaron las pruebas experimentales relativas a la condición de la tableta. A los participantes se les formularon tres preguntas por gráfico, siguiendo un orden secuencial fijo. Se les mostró el mismo tipo de gráfico que se había presentado durante el periodo de prácticas, pero no exactamente el mismo gráfico. No se tapó los ojos de los participantes con visión funcional durante esta tarea porque (1) nuestro propósito era conocer la utilidad de cada medio a la hora

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

de transmitir información iconográfica a lo largo de todo el espectro de la agudeza visual y (2) de esta manera pudimos llevar a cabo análisis exploratorios para investigar si existe una interacción entre la capacidad visual y el medio utilizado a la hora de realizar las tareas. El orden de presentación de los gráficos fue el mismo que durante la sesión de formación para (1) mantener la coherencia del proceso y (2) controlar efectos indeseados debidos al orden en el que se efectuaban las tareas. Aunque no se cronometró a los participantes, se les animó a ofrecer una respuesta cada vez que transcurría un periodo excesivamente largo (>5 min/problema). Los comentarios del investigador se redujeron al mínimo: no hizo ninguna observación, positiva o negativa, como reacción a las respuestas de los participantes, pero les animó cuando mostraron síntomas de frustración o desinterés. Asimismo, hubo periodos de descanso siempre que fueron necesarios o se solicitaron.

Como en el caso de las pruebas realizadas con la tableta, se pidió a los participantes que examinaran y respondieran a preguntas sobre seis gráficos impresos en relieve. No hubo que enseñar a los participantes a interpretar estos gráficos, puesto que o bien sabían usar los gráficos en relieve, o bien estaban aprendiendo a manejarlos. Los gráficos se presentaron de forma consecutiva y en un orden idéntico a los de las tabletas, y en esta condición experimental se siguió el mismo protocolo que en el caso de las tabletas.

Para asegurarse de que los resultados no se produjeran en función del material gráfico utilizado, se crearon dos variantes por cada tipo de gráfico: se elaboraron dos conjuntos de preguntas alternativas, que diferían en una o dos características básicas (por ejemplo, en la «Línea numérica 1» se encierra con un círculo el número 7, mientras que en la «Línea numérica 2» el círculo rodea el número 5). Estas diferencias se introdujeron para (a) asegurarse de que la dificultad de los problemas fuera comparable en las dos condiciones y (b) reducir la probabilidad de interacciones potenciales entre condiciones y problemas. Por lo tanto, a la mitad de los participantes se les asignó una combinación de condición y material y a la otra mitad se les asignó la combinación opuesta.

El estudio se concluyó una vez que el investigador hubo administrado el cuestionario de salida. Dicho cuestionario se entregó en último lugar para evitar un sesgo en la actuación de los participantes e impedir que estos conocieran antes de la prueba nuestras hipótesis de investigación. Se alentó a los participantes a dar su sincera opinión sobre la tecnología utilizada, y se les recordó que el investigador no tenía ningún

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

interés directo en relación con el resultado del estudio. Por lo general, las sesiones de estudio duraban unos 60 minutos.

## Resultados

### Análisis de potencia

Un análisis de potencia *post hoc*, utilizando el programa de estadística G\*Power 3.1, concluyó que se necesitaría un tamaño muestral adecuado de  $N = 15$  ( $1 - \beta > 0,80$ ,  $d$  de Cohen =  $0,8$ ) para nuestras hipótesis específicas.

### Estadística descriptiva

Veintidós participantes se inscribieron en este estudio. Sin embargo, cinco de ellos dejaron de participar en posteriores análisis por problemas de motivación (3), barreras lingüísticas (1) y nivel de dominio de braille (1). En segundo lugar, no todos los participantes vieron todos los gráficos, ya que algunos desconocían ciertos conceptos (por ejemplo, gráficos de líneas). En tercer lugar, se efectuaron algunos cambios menores en ciertos gráficos a mitad de la prueba (por ejemplo, líneas más gruesas, pautas vibratorias más claras y similares). Por lo tanto, utilizamos la expresión «Estudio 1» para hacer referencia a las pruebas efectuadas antes de que se produjeran estos cambios ( $n = 9$ ) y «Estudio 2» para las pruebas posteriores a estos cambios ( $n = 8$ ), aunque confirmamos que el rendimiento o actuación de los participantes no se mostró estadísticamente diferente entre estos dos grupos, lo que permitió combinarlos en análisis posteriores, como se detalla a continuación.

La Tabla 1 muestra el desglose por grupos de edad, sexo, curso escolar y nivel de visión de la muestra de análisis. La muestra era heterogénea en términos de edad, curso y agudeza visual. Este último punto es significativo, puesto que diferencias en agudeza visual podrían subyacer a diferencias en el rendimiento de los participantes (véase la sección *Análisis exploratorios*). El porcentaje de respuestas correctas se indica en la Tabla 2. Las respuestas de los participantes se mostraron ligeramente más precisas (+6%) en la condición experimental que utilizaba relieves impresos, si bien esta diferencia no fue estadísticamente significativa, como se ve en la sección *Análisis de la varianza (Anova)*. En la Tabla 3 se incluyen comentarios sobre la tecnología. En la Tabla 4 se muestran estadísticas descriptivas sobre diversos elementos del cuestiona-

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

rio de salida. La mayoría de los participantes informaron de que sus profesores habían sido incapaces de convertir un gráfico a un formato accesible al menos una vez durante el mes anterior (12), y que se había producido un retraso a la hora de proporcionar contenido accesible en el aula al menos una vez durante los últimos 6 meses (11).

Tabla 1. Características demográficas de los participantes

<b>Edad media (desviación estándar)</b>	<b>Estudio 1 (n = 9) 15,22 (3,77)</b>	<b>Estudio 2 (n = 8) 16,75 (2,25)</b>	<b>Combinado (K = 17) 15,94 (3,15)</b>
<b>Sexo</b>			
Masculino	3	6	9
Femenino	6	2	8
<b>Curso</b>			
Quinto	1		1
Sexto	1	1	2
Octavo	1		1
Noveno	2	1	3
Décimo	1		1
Decimoprimer		2	2
Decimosegundo	3		3
Graduado en Enseñanza Secundaria		4	4
<b>Nivel de discapacidad visual<sup>a</sup></b>			
Moderado		2	2
Grave	3	5	8
Completo	6	1	7
<b>Discapacidades adicionales<sup>b</sup></b>			
Trastorno por déficit de atención con hiperactividad		1	1
Parálisis cerebral		1	1
Deficiencia del habla/lenguaje		1	1

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Edad media (desviación estándar)	Estudio 1 (n = 9) 15,22 (3,77)	Estudio 2 (n = 8) 16,75 (2,25)	Combinado (K = 17) 15,94 (3,15)
<b>Modalidad principal de aprendizaje<sup>b</sup></b>			
Visual		4	4
Táctil	7	3	10
Auditivo	7	5	12
<b>Sistema operativo favorito<sup>b</sup></b>			
Android	2	4	6
iOS	8	6	14
Windows	3	4	7

<sup>a</sup> Discapacidad moderada = utilización de lentes graduadas para ver el material; discapacidad grave = conserva la percepción de luz, de objetos o de ambas cosas; discapacidad completa = no puede ver la luz.

<sup>b</sup> Los participantes podían indicar opciones múltiples de respuesta para estas preguntas.

Tabla 2. Porcentaje de respuestas correctas

### Gráficos en relieve

### Gráficos en tableta

Concepto	Estudio 1 (n = 9)	Estudio 2 (n = 8)	Combinado (N = 17)	Estudio 1 (n = 9)	Estudio 2 (n = 8)	Combinado (N = 17)	Total
Línea numérica	92 (8)	90 (7)	91 (15)	81 (9)	92 (8)	86 (17)	89
Tabla	100 (8)	90 (7)	96 (15)	96 (9)	92 (8)	94 (17)	95
Gráfico circular	93 (4)	94 (6)	94 (10)	78 (6)	100 (7)	90 (13)	92
Gráfico de barras	92 (8)	83 (6)	88 (14)	67 (9)	86 (7)	75 (16)	81
Gráfico de coordenadas	81 (6)	83 (6)	82 (12)	67 (8)	81 (7)	73 (15)	77
Plano	58 (8)	86 (7)	71 (15)	70 (9)	71 (8)	71 (17)	71
Total	86	88	87	77	87	81	84

*Nota:* Algunos participantes no examinaron todos los gráficos impresos o en la tableta. El número de participantes que examinaron cada tipo de gráfico se indica entre paréntesis, junto al porcentaje de respuestas correctas.

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Tabla 3. Comentarios/opiniones sobre Samsung Galaxy Tab S y vITAL

Comentarios positivos	Comentarios negativos
«La retroalimentación auditiva y táctil ayuda a la orientación y a entender la información gráfica» (9)	«Las líneas gráficas deberían ser más gruesas» (4)
«Los sonidos y/o vibraciones [son] atractivos» (7)	«Resulta más fácil cometer errores sencillos» (2)
«Ingenioso al manejar el espacio» (2)	«[No proporciona] suficiente retroalimentación táctil/auditiva» (1)
«Las claves/leyendas [son] más fáciles de leer» (1)	«Solo se puede tocar la pantalla con un dedo» (1)
«Es más fácil explorar los límites de los gráficos» (1)	«Las señales sonoras [son] repetitivas» (1)
«Portátil» (1)	«Las vibraciones [son] demasiado suaves» (1)
	«Es difícil encontrar las intersecciones» (1)
	«El espacio vacío lleva a confusión» (1)

Tabla 4. Cuestionario de salida, Samsung Galaxy Tab S y vITAL; frecuencias

**¿Con cuánta frecuencia no puedes participar en clase debido a un retraso en la disponibilidad del contenido?**

Respuesta	<i>n</i>	%
Todos los días	3	17,6
Todas las semanas	1	5,9
Todos los meses	3	17,6
Cada seis meses	4	23,5
Cada año	1	5,9
Nunca	5	29,4

**¿Con cuánta frecuencia plantea un profesor en clase un problema al que no puedes acceder?**

Respuesta	<i>n</i>	%
Todos los días	5	29,4
Todas las semanas	4	23,5

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Respuesta	<i>n</i>	%
Todos los meses	3	17,6
Cada seis meses	1	5,9
Cada año	2	11,8
Nunca	3	11,8

### El programa vITAL es más fácil de usar que los gráficos impresos.

Respuesta	<i>n</i>	%
Muy en desacuerdo	4	26,7
En desacuerdo	1	6,7
Indeciso	3	20,0
De acuerdo	4	26,7
Muy de acuerdo	3	20,0

## Análisis de la varianza (Anova)

### *Análisis de confirmación*

El orden de las condiciones, el emparejamiento de condición y material gráfico y el orden de los gráficos se compensaron para disminuir la probabilidad de un sesgo sistemático. Para comprobar si el resultado variaba en función de estos factores, se realizaron varios análisis Anova. En todos estos casos, las diferencias entre los grupos no se mostraron significativas. Del mismo modo, se realizó un Anova para determinar si el rendimiento de los participantes inscritos en los estudios 1 y 2 difería de forma significativa. No se mostraron diferencias de grupo. Esta conclusión nos permitió combinar e integrar los datos entre distintos grupos y estudios para aumentar la potencia estadística de análisis posteriores.

Se realizó una prueba *t* para muestras emparejadas relativa a la proporción de respuestas correctas, utilizándose el medio como factor intrasujetos. Una comparación de las medias indicó que no existía ninguna diferencia significativa entre los gráficos en relieve y los gráficos presentados en la tableta,  $t(14) = 1,91$ ,  $p = 0,07$ .

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

### *Análisis exploratorios*

Se realizó un Anova factorial exploratorio 2 (impreso, tableta) x 6 (línea numérica, tabla, gráfico circular, gráfico de barras, gráfico de coordenadas, plano) relativo a la proporción de respuestas correctas, con objeto de determinar si la interacción de los participantes con tipos de gráficos concretos difería al utilizar medios distintos. No se apreciaron efectos fundamentales ni del medio utilizado,  $F(1, 10) = 1,16$ ,  $p = 0,31$ , ni del tipo de gráfico,  $F(5, 50) = 1,64$ ,  $p = 0,17$ , y no hubo interacción entre condición y gráfico,  $F(5, 50) = 0,43$ ,  $p = 0,83$ .

Se efectuó un último análisis exploratorio para averiguar si el nivel de discapacidad visual influyó en la actuación y los resultados de los participantes según los distintos medios utilizados. Para este análisis, se clasificó a los participantes con una discapacidad visual moderada (uso de lentes graduadas para ver los materiales;  $n = 8$ ) o grave (percepción de luz o de objetos, o ambas;  $n = 2$ ) en un solo grupo (baja visión), y luego se los comparó con los participantes con ceguera ( $n = 7$ ). No se detectaron efectos fundamentales ni de la condición,  $F(1, 13) = 0,44$ ,  $p = 0,52$ , ni del grado de visión  $F(1, 13) = 2,37$ ,  $p = 0,15$ , y no se produjo ninguna interacción,  $F(1, 13) = 0,00$ ,  $p = 0,96$ .

## **Análisis**

Aunque la bibliografía existente sugiere que las pantallas táctiles multimodales dirigidas al consumidor podrían transmitir información iconográfica tan bien como los materiales en relieve tradicionales, pocos estudios han investigado esta cuestión directamente. Nuestros resultados indicaron que no hubo diferencias significativas entre los participantes en cuanto a la exactitud de la respuesta tras el examen de gráficos táctiles utilizando medios electrónicos en comparación con medios tradicionales. Los análisis exploratorios de seguimiento mostraron también que era evidente un rendimiento similar en los distintos medios, independientemente del tipo de problema y del nivel de discapacidad visual.

Estos resultados son destacables por varias razones. En primer lugar, la mayoría de los participantes tenían amplia experiencia en la lectura en braille, mientras que entraron en contacto con la tableta y la aplicación por primera vez durante el breve periodo de prácticas. Si bien les enseñamos estrategias

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

de exploración de la tableta, no esperábamos que esta actividad de formación dejara sin efecto la necesidad de la curva de aprendizaje inherente a toda nueva tecnología, y, de hecho, algunos de los participantes tuvieron dificultades. Sin embargo, la relativa equivalencia en el rendimiento de los participantes resulta prometedora si tenemos en cuenta que no estaban familiarizados con este nuevo medio. Además, nuestro estudio utilizó un conjunto variado de gráficos CTIM, lo que ilustra la viabilidad de mostrar tanto conceptos básicos como más complejos mediante una tableta multimodal.

Teniendo en cuenta que el uso de la Tab S con el programa VITAL es más rentable que la mayoría de los dispositivos de tecnología de apoyo, y que el *hardware* utilizado es un producto de consumo ya disponible, su importancia potencial resulta evidente. Doce de los participantes analizados declararon que sus profesores no habían podido realizar la conversión de un gráfico a un formato accesible al menos una vez en el último mes, y once afirmaron que se había producido un retraso en la creación de contenido al menos una vez durante los últimos seis meses. Estos problemas pueden suponer un obstáculo al progreso académico de un estudiante, por lo que una solución como la pantalla táctil multimodal es decisiva a la hora de reducir las diferencias de accesibilidad, en especial a medida que el contenido educativo sigue migrando a formatos electrónicos.

Otra ventaja de VITAL sobre la tecnología de apoyo tradicional es que se puede refinar y mejorar basándose en las opiniones y comentarios de los usuarios (véase la Tabla 3). Por ejemplo, problemas relacionados con «el grosor de las líneas de separación», «el uso eficiente del espacio» y «el uso de señales de audio repetitivas» se pueden solucionar fácilmente. Otros comentarios negativos, como que «es más fácil cometer errores simples» y que «solo se puede tocar la pantalla con un dedo» son preocupantes, pero no parece que estos aspectos tengan un efecto significativo en el rendimiento del usuario. Creemos que, con experiencia y práctica, se pueden desarrollar estrategias de búsqueda individualizadas y eficaces que consigan que la herramienta se haga más fácil de manejar a medida que pase el tiempo. Por otro lado, los participantes también expresaron algunas observaciones positivas (por ejemplo, «los sonidos y las vibraciones son atractivos» y «la orientación de los gráficos es fácil de entender») y, lo que quizás sea todavía más importante, casi la mitad de los participantes afirmó que prefería la tableta, aun a pesar de que este estudio representó su primera toma de contacto con la misma.

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

## Limitaciones

Nuestro estudio se vio limitado por el hecho de que la muestra utilizada era variada en distintos aspectos. La agudeza visual y el número de años pasados desde el diagnóstico diferían de un participante a otro. Este es un aspecto importante, puesto que las personas con ceguera congénita y las personas con ceguera sobrevenida se diferencian en agudeza táctil, independencia funcional y redes neuronales (Pawluk, Adams y Kitada, 2015; Wong *et al.*, 2011). Sin embargo, un análisis exploratorio indicó que la actuación de los participantes con ceguera total no mostró diferencias significativas en comparación con los participantes con baja visión. Los participantes también se diferenciaban en cuanto a edad, curso escolar y existencia de discapacidades adicionales. Si bien todos estos factores son destacables, es habitual que haya variaciones dentro de la población con discapacidad visual. Asimismo, tales variaciones no deben considerarse necesariamente como un aspecto negativo de este estudio, ya que representan un caso práctico realista.

En segundo lugar, aunque el tamaño de nuestra muestra es grande en comparación con otros estudios sobre usuarios de tecnología pertenecientes a esta población, los resultados nulos observados pudieran deberse a una potencia estadística inadecuada. Si bien nuestro análisis de potencia indicó que probablemente detectaríamos la presencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las distintas condiciones experimentales utilizando una muestra del tamaño de la que utilizamos, hubiera sido deseable, pese a todo, una muestra mayor. En tercer lugar, las preguntas se realizaron oralmente (para facilitar su comprensión). Nos damos cuenta de que esta condición no solo comprueba, intrínsecamente, el conocimiento conceptual del participante, sino también su comprensión auditiva; sin embargo, este modo de realizar las preguntas se mantuvo invariable tanto con la tableta como con el material impreso en relieve. Para aliviar la presión sobre la memoria funcional verbal, las preguntas se repitieron siempre que los participantes lo pidieron. En cuarto lugar, no se midió el tiempo de exploración de los materiales. Hubiera sido de esperar que los participantes encontraran las soluciones de forma más rápida en la condición en la que se utilizan materiales impresos en relieve, dada su familiaridad con este medio, aunque este estudio no está en condiciones de confirmar tal cosa. No obstante, queremos señalar que el estudio era limitado en el tiempo, y que se asignó a ambas condiciones un periodo de tiempo aproximadamente similar. El investigador no observó diferencias perceptibles. En futuros trabajos, sería interesante comparar los tiempos con objeto de estudiar no solo la

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

comprensión del participante durante el proceso de aprendizaje, sino también su eficiencia.

Finalmente, algunos de los estudiantes mostraron problemas de motivación durante las pruebas y fueron excluidos de la muestra analítica. Aunque no se midió objetivamente la motivación de muchos, en algunos casos hubo señales evidentes de frustración (por ejemplo, suspiros excesivos) y desinterés (a saber, indiferencia ante las instrucciones). Cabe observar que no se hicieron preguntas directas para estimar la motivación, ya que hubieran podido tener una influencia en forma de sesgo en las respuestas o provocar el deseo por parte del participante de causar una impresión favorable en el investigador. Por lo tanto, en tales casos el investigador confió sobre todo en su observación subjetiva del comportamiento del participante y dirigió preguntas (como, por ejemplo, «¿Qué te parece la tarea por ahora?») para evaluar su nivel de implicación. Además, se tomaron medidas, como periodos de descanso, conversaciones informales y similares para fomentar el interés por la tarea.

No se apreció ninguna diferencia en cuanto a motivación con respecto a la edad, el sexo, la agudeza visual o el orden en el que se realizaron las tareas. Sin embargo, si los participantes mostraron tener algún problema de motivación, fue al utilizar la tableta para explorar los gráficos. Nuestra hipótesis es que la personalidad puede influir en la motivación (así como en el rendimiento posterior del participante) en la condición experimental relativa a la tableta. En particular, aquellas personas que tienden a ser menos abiertas o expresivas podrían considerar un nuevo desafío, como el que supone examinar gráficos mediante una tableta táctil multimodal, algo poco atractivo. De hecho, estudios futuros deberían investigar posibles elementos moderadores de la motivación y el rendimiento.

Quizás la principal baza de nuestro estudio radique en la amplitud y profundidad de su diseño metodológico. Utilizamos un diseño intrasujeto que permite una comparación del rendimiento de los participantes cuando utilizan medios distintos, y controlamos varios factores de confusión potenciales mediante un sistema de compensación. Resulta alentador que tanto las medidas objetivas como las subjetivas indiquen que la aplicación viTAL es comparable a los gráficos en relieve. Este resultado es estimulante, ya que anuncia un futuro en el que dispositivos cotidianos, al alcance del consumidor, pueden convertirse en herramientas de uso universal para todos los estudiantes, independientemente de su capacidad, ayudándoles a satisfacer muchas de sus inquietudes y deseos.

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

## Implicaciones para los profesionales

El propósito de este estudio es continuar ampliando los límites de nuestra comprensión de cómo pueden aprovecharse los dispositivos de pantalla táctil (tecnología muy difundida, que se adopta con frecuencia tanto dentro como fuera de las aulas y que es utilizada por personas con discapacidad visual) como una herramienta para acceder a gráficos. Nos centramos, principalmente, en entender cómo puede interpretar el usuario una representación digital gráfica y multisensorial en comparación con los gráficos tradicionales impresos en relieve. Conforme los contenidos educativos se van trasladando rápidamente al entorno electrónico, creemos que las pantallas táctiles multisensoriales ofrecen el potencial de servir como una plataforma que proyecte estos gráficos más allá de descripciones verbales y, al mismo tiempo, disminuya el largo plazo de ejecución y los recursos especializados que se precisan para crear gráficos táctiles en relieve. De igual importancia que el objeto de este estudio (comprender el modo en el que las pantallas táctiles se adaptan a su uso por parte de los estudiantes) es discernir la utilidad potencial de dichos dispositivos para los profesionales del sector.

Trabajando en estrecha cooperación con un profesor con experiencia en la actividad con alumnos con discapacidad visual, las fases del trabajo requerido para incorporar el *software* ViTAL y una tableta a las aulas se estructuran como sigue:

- El profesor, auxiliar pedagógico o miembro del personal encargado del material utiliza el portal de la página de Internet de ViTAL, integrado en Google Classroom, para cargar imágenes que formen parte del contenido del curso.
- Las herramientas automatizadas de ViTAL reconocen automáticamente las características y el texto de las imágenes (por ejemplo, en un gráfico de barras el usuario solo tendría que hacer clic en una barra, y todas las barras posteriores del mismo color se reconocerían automáticamente).
- A continuación, se seleccionan elementos descriptivos en forma de vibraciones y sonidos y se superponen a elementos específicos del gráfico.
- También se pueden aplicar gradientes, de forma que se alteren las intensidades de sonido o vibración según se vaya examinando un objeto (por ejemplo, a medida que se eleva la barra, aumenta la intensidad del tono o de la vibración).

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Observamos que el equilibrio entre automatización y marcado por parte del profesor está en constante evolución en la herramienta. Con frecuencia, la automatización reduce el tiempo y esfuerzo que el profesional de la enseñanza debe dedicar a su trabajo, pero también disminuye la flexibilidad y la personalización que podrían obtenerse manualmente. ViTAL utiliza un sistema de reconocimiento óptico de caracteres integrado para reconocer automáticamente el texto presente en las imágenes subidas, de modo que, cuando el estudiante pasa el dedo sobre el texto, este se lee en voz alta. Si el profesor así lo quiere, también puede añadir etiquetas auditivas personalizadas adicionales. Una vez se ha concluido el marcado, las imágenes multimodales se pueden guardar, para transferirse de inmediato a la carpeta de contenidos del alumno, desde donde pueden consultarse y examinarse.

## Orientación futura

Estudios futuros seguirán investigando los límites a los que puede llegar el uso de los contenidos gráficos multisensoriales, tanto desde la perspectiva del profesional de la enseñanza como del alumno. Estudios futuros también deberían seguir investigando la capacidad de las pantallas táctiles multimodales, en comparación con otras ayudas en las aulas (como gráficos en papel microcapsulado o *collages*), para comunicar conceptos CTIM fundamentales. También es importante comprender los posibles elementos moderadores del rendimiento estudiantil (por ejemplo, personalidad, capacidad cognitiva y similares) que influyen en el manejo satisfactorio de contenidos iconográficos mediante la nueva tecnología. Finalmente, todavía no se ha profundizado en la creación de estas imágenes digitales y multimodales desde el punto de vista del profesional educativo. Son precisas investigaciones en este sentido para comprender cómo se puede reducir el tiempo requerido, así como los recursos necesarios, para que los gráficos accesibles lleguen a las manos de los estudiantes.

## Nota del autor

Todas las opiniones, resultados, conclusiones o recomendaciones que se expresan en este trabajo pertenecen a los autores, y no reflejan necesariamente las opiniones de la National Science Foundation.

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud a todos los participantes en el estudio por el tiempo dedicado, así como al especialista en orientación y movilidad, y profesor de alumnos con discapacidad visual, Kevin Hollinger, por elaborar las versiones impresas en relieve de los gráficos utilizados en este trabajo.

## Declaración de conflicto de intereses

El/Los autor/es ha/n declarado los siguientes posibles conflictos de intereses en relación con la autoría, investigación y/o publicación de este artículo: las autoras Corrine Mueller y Jenna L. Gorlewicz están vinculadas a ViTAL.

## Financiación

El/Los autor/es ha/n revelado haber recibido el siguiente apoyo financiero para la investigación, autoría y/o publicación de este artículo: este material se basa en trabajos respaldados por la National Science Foundation en virtud de la subvención número 1660242.

## Referencias bibliográficas

Brock, A. M., Truillet, P., Oriola, B., Picard, D., y Jouffrais, C. (2015). *Interactivity improves usability of geographic maps for visually impaired people* [PDF]. *Human-Computer Interaction*, 30, 156-194 (DOI: <https://doi.org/10.1080/07370024.2014.924412>).

Craig, J.C. (1985). *Attending to two fingers: two hands are better than one* [PDF]. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 38, 496-511. (DOI: <https://doi.org/10.3758/bf03207059>).

Giudice, N. A., Palani, H. P., Brenner, E., y Kramer, K. M. (2012). *Learning non-visual graphical information using a touch-based vibro-audio interface* [PDF]. En: *ASSETS' 12: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, octubre 2012, Boulder, CO; pp. 103-110. (DOI: <https://doi.org/10.1145/2384916.2384935>).

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Goncu, C., y Marriott, K. (2011). [GraVVITAS: Generic multi-touch presentation of accessible graphics \[PDF\]](#). En: Campos *et al.* (eds.), *Proceedings of the Human-Computer Interaction INTERACT 2011*, 30-48, Springer. (DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23774-4_5)).

Gorlewicz, J. L., Burgner, J., Withrow, T. J., y Webster, R. J. III (2014). [Initial experiences using vibratory touchscreens to display graphical math concepts to students with visual impairments \[PDF\]](#). *Journal of Special Education Technology*, 29, 17-25. (DOI: <https://doi.org/10.1177/016264341402900202>).

Kelly, S. M. (2009). Use of assistive technology by students with visual impairments: Findings from a national survey. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 103, 470-480. (DOI: <https://doi.org/10.1177/0145482X0910300805>).

Loomis, J. M., Klatzky, R. L., y Giudice, N. A. (2012). [Sensory substitution of vision: Importance of perceptual and cognitive processing \[PDF\]](#). En: R. Manduchi y S. Kurniawan (eds.), *Assistive technology for blindness and low vision*, pp. 162-191. Boca Raton, FL: CRC Press.

Macaluso, E., y Maravita, A. (2010). The representation of space near the body through touch and vision. *Neuropsychologia*, 48, 782-795. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.010>).

Mousty, P. (1986). *La lecture de l'écriture braille: patrons d'exploration et fonctions des mains*. Tesis doctoral sin publicar. Bruselas, Bélgica: Université Libre de Bruxelles.

O'Modhrain, S., Giudice, N. A., Gardner, J. A., y Legge, G. E. (2015). [Designing media for visually-impaired users of refreshable touch displays: possibilities and pitfalls \[PDF\]](#). *IEEE Transactions on Haptics*, 8, 248-257. (DOI: <https://doi.org/10.1109/TOH.2015.2466231>).

Pal, J., Pradhan, M., Shah, M., y Babu, R. (2011). [Assistive technology for vision impairments: an agenda for the ICTD community \[PDF\]](#). [En: *WWW'11: 20<sup>th</sup> International Conference Companion on World Wide Web*, Hyderabad, India, marzo 2011.

Pawluk, D. T., Adams, R. J., y Kitada, R. (2015). Designing haptic assistive technology for individuals who are blind or visually impaired. *IEEE Transactions on Haptics*, 8, 258-278. (DOI: <https://doi.org/10.1109/TOH.2015.2471300>).

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

- Raja, M.K. (2011). *The development and validation of a new smartphone based non-visual spatial interface for learning indoor layouts*. Tesis de máster sin publicar. Orono, MN: University of Maine.
- Tennison, J.L., y Gorlewicz, J.L. (2016). Toward non-visual graphics representations on vibratory touchscreens: shape exploration and identification. En: F. Bello, H. Kajimoto y Y. Visell (eds.), *Haptics: perception, devices, control, and applications; Eurohaptics; Lecture notes in computer science*, vol. 9775 (pp. 384-395). (DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42324-1\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42324-1_38)).
- Ulusoy, M. (2015). *A touch based finger-motion-adaptive control design for braille reading* [PDF]. Tesis doctoral. Boston, MA: Northeastern University.
- ViTAL (2018). Sitio web. Extraído de: <https://www.vital.education>.
- Wong, M., Gnanakumaran, V., y Goldreich, D. (2011). *Tactile spatial acuity enhancement in blindness: evidence for experience-dependent mechanisms* [PDF]. *Journal of Neuroscience*, 31, 7028-7037. (DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6461-10.2011>).
- Zhou, L., Parker, A.T., Smith, D.W., y Griffin-Shirley, N. (2011). Assistive technology for students with visual impairments: challenges and needs in teachers' preparation programs and practice. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105, 197-210. (DOI: <https://doi.org/10.1177%2F0145482X1110500402>).

---

**Michael E. Hahn.** Universidad de San Luis, MO, EE. UU.

**Corrine M. Mueller.** Vibratory Touchscreen Applications for Learning (ViTAL), San Luis, MO, EE. UU.

**Jenna L. Gorlewicz, PhD.** Universidad de San Luis, MO, EE. UU. y Vibratory Touchscreen Applications for Learning (ViTAL), San Luis, MO, EE. UU. *Correspondencia:* Parks College of Engineering, Aviation & Technology, Saint Louis University, 3450 Lindell Boulevard, Saint Louis, MO 63103, USA. Correo electrónico: [jenna.gorlewicz@slu.edu](mailto:jenna.gorlewicz@slu.edu).

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.

Si bien se ha hecho todo lo posible para garantizar que los contenidos de esta publicación sean objetivamente correctos, ni los autores ni el editor aceptan, sino que excluyen expresamente por la presente, en la mayor medida posible que lo permita la legislación aplicable, cualquier responsabilidad que se derive de los contenidos publicados en este número, incluyendo, sin limitarse a ello, cualquier error, omisión, o inexactitud de la traducción original o de posteriores traducciones, o cualquier consecuencia que de ello se derive. Nada de lo dispuesto en esta notificación excluirá aquella responsabilidad que no pueda excluirse en virtud de la legislación.

*While every effort has been made to ensure that the contents of this publication are factually correct, neither the authors nor the publisher accepts, and they hereby expressly exclude to the fullest extent permissible under applicable law, any and all liability arising from the contents published in this Article, including, without limitation, from any errors, omissions, inaccuracies in original or following translation, or for any consequences arising therefrom. Nothing in this notice shall exclude liability which may not be excluded by law.*

---

Hahn, M. E., Mueller, C. M., y Gorlewicz, J. L. (2020). La comprensión de gráficos CTIM por parte de estudiantes con discapacidad visual mediante la utilización de un dispositivo de tableta electrónica multisensorial. *RED Visual: Revista Especializada en Discapacidad Visual*, 76, 216-242. <https://doi.org/10.53094/ZLKN1876>.