

## Hemos leído

### Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción<sup>1</sup>

#### *Usability evaluation of tactile map symbols across three production technologies*

M. E. Brittell, A. K. Lobben, M. M. Lawrence

---

#### Resumen

*Introducción:* los avances tecnológicos han convertido la impresión tridimensional (3D) en una opción para crear mapas táctiles utilizados por personas con discapacidad visual (es decir, ciegas o con baja visión), diversificando los tipos de productos cartográficos disponibles. Al mismo tiempo, esta situación entraña un reto para los fabricantes de mapas, que han de desarrollar sus diseños utilizando varios métodos de producción. Hemos evaluado los símbolos que se utilizan en los mapas para determinar la facilidad con la que pueden ser identificados por el usuario al utilizarse tres materiales distintos: papel microcápsula, plástico de impresión en tres dimensiones y papel gofrado. *Métodos:* en el curso de una sesión única, con una duración inferior a los 90 minutos, los participantes llevaron a cabo una tarea de emparejamiento de símbolos, aportando opiniones de carácter informal sobre sus preferencias. Se midieron la rapidez y exactitud con las que los participantes realizaron las tareas, con objeto de establecer la facilidad con la que los participantes fueron capaces de identificar los símbolos fabricados con cada uno de los materiales. Se seleccionaron dieciocho participantes de entre una muestra escogida entre participantes en la convención anual del American Council of the Blind (Consejo Americano del Ciego), que tuvo lugar en 2013. *Resul-*

---

<sup>1</sup> Publicado en la revista *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Vol. 112, n.º 6, noviembre-diciembre 2018, págs. 745-758 [formato PDF], © 2018 AFB. Todos los derechos reservados. Traducido por José Luis de Aragón Mari con permiso de la American Foundation for the Blind en el marco del convenio suscrito por la ONCE con la AFB.

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

*tados*: los tiempos de respuesta mostraron diferencias significativas entre los tres materiales ( $p < 0,001$ ). Sin renunciar a la precisión, los tiempos de respuesta fueron más rápidos en el caso de los gráficos impresos en 3D que en el caso del papel microcápsula ( $p < 0,001$ ) o del papel gofrado o estampado en relieve ( $p < 0,001$ ). Hubo división de preferencias entre los usuarios con respecto a los tres materiales. Algunos de los participantes mostraron su desagrado con las aristas «afiladas» de los símbolos en 3D, mientras que otros usuarios prefirieron los bordes «nítidos» de los mismos. *Análisis*: Nuestros resultados muestran que el conjunto de símbolos táctiles producidos mediante una impresora en 3D se puede distinguir con mayor rapidez que ese mismo conjunto impreso en papel microcápsula, que es el material para el que se diseñaron los símbolos en origen. Las observaciones de los participantes reflejaron sus preferencias tanto a favor como en contra de la lectura de símbolos creados mediante la impresora en 3D. *Implicaciones para los profesionales*: este artículo analiza la equivalencia funcional de los símbolos táctiles elaborados mediante múltiples tecnologías de producción. Aborda dos cuestiones relativas a la utilización de la impresión en 3D para fabricar mapas táctiles: la preparación de los archivos digitales de forma previa a la impresión, y el flujo de los trabajos de impresión. Se pueden descargar archivos digitales preparados para ser impresos en cada uno de los tres materiales (Brittelle, Lobben y Lawrence, 2016).

## Palabras clave

Mapa táctil. Símbolos. Papel de microcápsulas. Tecnología de impresión 3D. Gráficos en relieve.

## Abstract

*Introduction*: Technological advances have introduced three-dimensional (3-D) printing as an option for creating tactile maps for people with visual impairments (that is, those who are blind or have low vision), diversifying the types of map products that are available. At the same time, it presents a challenge to map makers to implement designs across multiple production methods. We evaluated map symbols to determine their discriminability across three different materials: microcapsule paper, 3-D printer plastic, and embossed paper. *Methods*: In a single session lasting less than 90 minutes, participants completed a matching task and provided informal feedback regarding their preferences. We measured speed and accuracy to establish discriminability of map symbols on each of the materials. Eighteen participants were recruited from a referred sample among attendees at the American Council of the Blind annual convention in 2013. *Results*: Response times were significantly different across the three materials ( $p < 0.001$ ). Without sacrificing accuracy, response times were faster for the 3-D printed graphics than for either the microcapsule paper ( $p < 0.001$ ) or the

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

embossed paper ( $p < 0.001$ ). User preference was divided across the three materials. Some people disliked the «sharp» corners of the 3-D printed symbols, while others preferred their «crisp» edges. *Discussion:* Our results demonstrate faster discriminability of a set of tactile symbols produced on a 3-D printer compared to those same symbols printed on microcapsule paper, the material for which the symbols were originally designed. Participant feedback reflected preferences both in favor of and against reading symbols produced on the 3-D printer. *Implications for practitioners:* This article discusses the functional equivalence of tactile symbols produced across multiple production technologies. It addresses two considerations when using 3-D printing to make tactile maps: preparing digital files for printing and the printing work flow. Digital files ready for printing on each of the three materials are available for download (Brittelle, Lobben, & Lawrence 2016).

### Key words

Tactile map. Symbols. Microcapsule paper. 3D printing technology. Embossed graphics.

---

Este trabajo ha sido financiado por los Institutos Nacionales de Sanidad (NEI 1RC1EY020316) y la Fundación Nacional para la Ciencia (HRD 0930769). Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a Mark Fonstad y al Departamento de Geografía de la Universidad de Oregón por la utilización de su impresora en 3D; a Manny Garcia, ayudante de investigación universitaria, por su contribución a la fabricación de piezas impresas en tres dimensiones y al San Francisco Lighthouse for the Blind and Visually Impaired (Faro de San Francisco para las personas ciegas y con discapacidad visual) por su apoyo en la impresión de gráficos en relieve. Los autores no tienen conflicto de intereses alguno en relación con ninguno de los mencionados colaboradores del proyecto.

Los mapas táctiles representan un enfoque utilizado con frecuencia para hacer posible el acceso de las personas con discapacidad visual (es decir, ciegas o con visión reducida) a datos geoespaciales. El lector capta la información contenida en los mapas táctiles gracias a símbolos en relieve y a diversas texturas. Existen varias tecnologías capaces de originar texturas y símbolos en relieve. Los procesos de termoconformado al vacío y microencapsulación (expansión) gozan de popularidad desde hace muchos años (Perkins, 2001); las maquetas físicas y la impresión en relieve son de uso común (Rowell y Ungar, 2003b), y, de forma más reciente, ha surgido la impresión tridimensional. Debido, probablemente, tanto al elevado coste como al alto nivel de conocimientos especializados exigidos por la impresión en 3D, esta no ha sido ampliamente adoptada todavía en la producción a gran escala (Ducasse, Macé y Jouffrais, 2015; Hasiuk, Harding, Renner y Winer, 2017; Poon, 2016). Sin embargo, en vista del hecho de que el precio de la impresión tridimensional sigue reduciéndose, y teniendo

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

en cuenta el crecimiento previsto de la industria de la impresión en 3D durante los próximos años (Columbus, 2015), este método de producción puede convertirse en una alternativa viable a los otros procedimientos utilizados en la actualidad para la producción de gráficos y mapas táctiles.

Quizá debido a las diferentes características de los elementos gráficos producidos mediante cada uno de los métodos de producción, así como a sus respectivas ventajas y desventajas (por ejemplo, sus niveles de durabilidad y accesibilidad), la mayoría de los fabricantes de mapas utilizan más de un método para satisfacer las necesidades individuales de las personas con discapacidad visual (Rowell y Ungar, 2003b). La evaluación de las tecnologías de producción en la bibliografía publicada ha tenido en cuenta la usabilidad de símbolos concretos por separado (Lawrence y Lobben, 2011), la usabilidad de símbolos específicos en el contexto de un mapa (Gual-Ortí, Puyuelo-Cazorla y Lloveras-Macia, 2013) y la comparación de distintos métodos de producción (Perkins, 2001). Nuestro trabajo se centra en este último punto. En un contexto experimental, procedimos a evaluar un único conjunto de símbolos reproducido mediante tres tecnologías de producción: papel microcapsulado, impresión en tres dimensiones e impresión en relieve. En este artículo se analiza tanto la preparación de los archivos digitales antes de ser impresos como nuestra experiencia con respecto al procedimiento de impresión en tres dimensiones. Nuestras conclusiones respaldan la viabilidad de la utilización del mismo juego de símbolos en múltiples métodos de producción.

## Examen de la bibliografía

Si bien reconocemos la existencia de conexiones potenciales entre el asunto del que nos ocupamos y muchos otros ámbitos de la bibliografía, nos fijamos solamente en dos áreas con objeto de centrar nuestra labor: el diseño de símbolos táctiles y la producción de mapas utilizando la tecnología de impresión en tres dimensiones.

### Diseño de símbolos táctiles

La exploración del amplio campo teórico del diseño de símbolos táctiles ha aportado directrices de diseño que se relacionan o bien con la percepción o bien con el reconocimiento e interpretación de dichos símbolos en un contexto específico. Basándose en mediciones de la agudeza táctil, por ejemplo, Jehoel, McCallum, Rowell, y Ungar (2006)

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

definieron una altura mínima de los símbolos, así como la separación óptima entre las líneas paralelas que forman un símbolo concreto. Las investigaciones han detectado, asimismo, una relación entre legibilidad y forma (véase Renner, 1993, que ofrece un análisis). Además de las propiedades físicas relacionadas con la percepción, en la legibilidad de los símbolos táctiles también influye la definición de un contexto en el que una colección de símbolos debe actuar concertadamente para transmitir un significado. Las investigaciones sobre percepción táctil y el diseño de símbolos táctiles, en colaboración con organizaciones nacionales, como la Braille Authority of North America (2010), en los Estados Unidos, conforman y modelan las directrices establecidas.

Varios proyectos han evaluado conjuntos de símbolos utilizados específicamente en el diseño de mapas táctiles, generalmente en conexión con una tecnología de producción específica (Perkins, 2002). Por ejemplo, el Nottingham Map Making Kit [*kit* de elaboración de mapas de Nottingham] y, posteriormente, el Euro-Town-Kit (Laufenberg, 1988) presentaron un juego de 28 símbolos táctiles, para su uso en la cartografía urbana, que se podían fabricar utilizando el método de producción de termoconformado. Se propuso la utilización de este conjunto de símbolos estándar en una aplicación concreta: planos urbanos de ciudades europeas. No se pretendió que dicho conjunto fuera exhaustivo, y no se diseñó para ello, ni tampoco con objeto de aplicarse a todos los mapas. Incorporando principios básicos del Euro-Town-Kit, así como datos empíricos obtenidos recientemente, investigadores de la Universidad de Oregón desarrollaron una serie de símbolos para mapas de navegación táctiles específicamente destinada para el uso en mapas de referencia a gran escala elaborados con papel microcapsulado, en conjunción con un programa táctil de mejora de imágenes (Lobben y Lawrence, 2012). Ensayos de campo, con la participación de usuarios con discapacidad visual, demostraron que este conjunto de símbolos se podía utilizar de forma efectiva, consiguiéndose que el usuario fuera capaz de distinguirlos. Sin embargo, la creación de un conjunto de símbolos táctiles estandarizado presenta complicaciones (Tatham, 2001). Entre las dificultades, podemos mencionar la gran cantidad de factores medioambientales singulares que tienen que representarse, la variedad limitada de los diseños posibles de símbolos (esto es, la cantidad de símbolos táctiles que se pueden distinguir claramente unos de otros), así como posibles interacciones entre el diseño de los símbolos y el método de producción. Rowell y Ungar (2003a) propusieron una colección estructurada de diseños de símbolos táctiles utilizada en conjunción con metadatos que detallen la estructura de los símbolos, describan una posible evaluación empírica de los mismos y ofrezcan recomendaciones de uso. Sin embargo, hasta donde sabemos, semejante base de

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

datos de símbolos cartográficos táctiles no es accesible al público, y no forma parte de este estudio. En términos más generales, durante la última década han aparecido bibliotecas en línea de maquetas en tres dimensiones, y se han desarrollado diversas herramientas para automatizar la creación de mapas táctiles (véanse los ejemplos en la Tabla 1). La Tabla 1 ofrece un resumen de algunos de los intentos de crear símbolos y mapas que se pongan a disposición del público.

Desde hace mucho tiempo, los cartógrafos son conscientes de que los símbolos funcionan de forma diferente en medios diferentes. Tal es, por ejemplo, el caso de los diseños destinados a un mapa impreso frente a los que están pensados para un mapa digital. Además, el diseño de símbolos para mapas táctiles debe tener en cuenta el método de producción del que se va a servir (Perkins, 2001, 2002). Es necesario obtener una mejor comprensión de la interacción entre el diseño de los símbolos y el material de fabricación según los diversos métodos de producción utilizados.

## **Elaboración de mapas utilizando la tecnología de impresión tridimensional**

Los avances tecnológicos han ampliado la gama de opciones para la fabricación de mapas táctiles, y, aunque no existen muchos ejemplos de producción a gran escala de este tipo de mapas, los investigadores han empezado a explorar recientemente formas en las que se puedan reducir las dificultades de producción (Ducasse et al., 2015; Poon, 2016; Voženílek y Vondráková, 2015). Las impresoras 3D constituyen una de estas nuevas opciones, por lo que tiene interés distinguir entre las distintas tecnologías de impresión tridimensional. La tecnología de sinterización (que compacta térmicamente materiales en polvo) ofrece flexibilidad y control en el acabado del objeto impreso (por ejemplo, en relación con la textura, como indican Voženílek y Vondráková (2015)). Las impresoras que elaboran el objeto impreso utilizando tecnología de extrusión permiten controlar la resolución (el espesor de cada una de las capas) y son más fáciles de adquirir a un precio menor, pero presentan limitaciones con respecto al control del acabado del producto.

La aparición de la impresión tridimensional ha incrementado el número de opciones de fabricación que aprovechan el eje z (eje vertical o en altura) de los símbolos. En cambio, los símbolos táctiles producidos sobre papel microcapsulado o utilizando un dispositivo de estampación en relieve presentan una resolución limitada en relación con el eje z. En lugar de producir solamente un relieve vertical o en altura, la impre-

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

sión en tres dimensiones puede crear símbolos «volumétricos», como, por ejemplo, esferas. En el curso de una evaluación empírica, Gual-Ortí et al. (2013) concluyeron que los usuarios eran capaces de localizar los símbolos volumétricos antes que los símbolos en bajorrelieve, y, además, podían hacerlo cometiendo un menor número de errores. Pero todavía tienen que establecerse unas directrices generales para el diseño de símbolos cartográficos volumétricos. Aunque la tecnología disponible permitiría la producción de símbolos volumétricos, este estudio se centra en la viabilidad del uso de un mismo diseño de símbolos para distintos métodos de producción.

Tabla 1. Ejemplos de fuentes de mapas táctiles renderizados, mapas táctiles semiautomáticos y símbolos de mapas táctiles

Elemento	Fuente
Mapas renderizados disponibles	Thingiverse ( <a href="https://www.thingiverse.com">https://www.thingiverse.com</a> )
Generación (semi)automática de mapas táctiles	TMAP (Miele, Landau y Gilden, 2006) HaptoRender (Lulu-Ann, 2009) TMAPS (Watanabe, Yamaguchi, Koda y Minatani, 2014) HaptoOSM (Hänßgen, 2014) TactileMpas.net (Taylor et al., 2015) BlindWeb (Götzelmann y Eichler, 2016) Haptické mapy (Červenka, Bøinda, Hanouskova, Hofman y Seifert, 2016) TouchMapper (Kärkkäinen, 2017; <a href="https://touch-mapper.org/en/">https://touch-mapper.org/en/</a> )
Juego de símbolos	Euro-Town-Kit (Laufenberg, 1988; Deutsches Blindenstudienanstalt) Tactile symbol directory (Hagood, 1992; <a href="http://www.tsbvi.edu/tactile-symbols">http://www.tsbvi.edu/tactile-symbols</a> ) Point, line, and texture symbols (Frascara y Takach, 1993) TacMap (Chamberlain y Dieng, 2011; <a href="http://tacmap.co.uk/">http://tacmap.co.uk/</a> , commercial) Street Symbol Set (Lobben y Lawrence, 2012)

Muchos fabricantes de mapas utilizan múltiples tecnologías (Rowell y Ungar, 2003b). Los distintos métodos de producción emplean materiales diversos para fabricar los gráficos. Las características del material de base pueden influir en la facilidad de

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

lectura y uso de algunos símbolos (Jehoel, Ungar, McCallum y Rowell, 2005), pero no de todos (Rener, 1993). Además, las pruebas realizadas con el propósito de definir las preferencias de los usuarios han dado resultados no concluyentes (Perkins, 2002). Antes de postular la inclusión de las impresoras en tres dimensiones en el arsenal de opciones de todo fabricante de mapas, nos hemos interesado por cuestiones como los diseños estándar y la generalización de la producción de los símbolos en todas las tecnologías. ¿Hasta qué punto es rígida la conexión entre el diseño de los símbolos y un método concreto de producción? ¿Se puede utilizar un solo juego de símbolos en múltiples métodos de producción?

## Métodos

Con objeto de aclarar nuestras dudas, hemos diseñado y realizado un experimento para medir y analizar la capacidad de distinguir un juego de símbolos cartográficos táctiles de referencia utilizando tres métodos de producción distintos: la impresión en papel microcapsulado, la impresión en tres dimensiones y la impresión en relieve. Los símbolos táctiles se fabricaron mediante los tres métodos de producción seleccionados. A continuación, un grupo de usuarios potenciales participó en sesiones de prueba, en el curso de las cuales tuvieron que realizar tareas de emparejamiento de símbolos. En concreto, el experimento estableció en qué medida podían los participantes distinguir los distintos símbolos producidos mediante varios métodos de producción. En el siguiente apartado se detalla la selección del conjunto de símbolos utilizado en el experimento, así como los procesos de producción, el instrumento de prueba y la evaluación realizada por los participantes.

### Selección del conjunto de símbolos

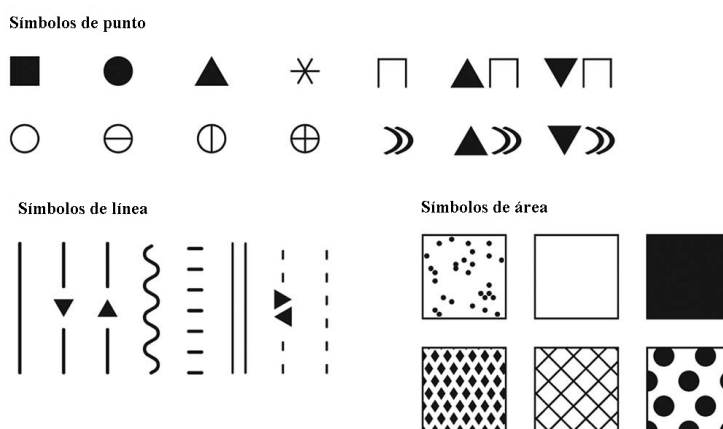
En este ensayo utilizamos un conjunto de símbolos preexistente, cuya fiabilidad y validez habían sido contrastadas en análisis y ensayos de campo (véase Lobben y Lawrence (2012), que ofrecen un análisis completo de la elaboración de este juego de símbolos y de las pruebas subsiguientes). El conjunto de símbolos (que se muestra en la Figura 1) se desarrolló y diseñó para ser producido utilizando papel microcapsulado y un proceso de elevación de la imagen táctil. Incluye símbolos de punto, línea y área, que se aplicaron a mapas de navegación a gran escala, llegándose a la conclusión de que dichos símbolos eran fáciles de distinguir, transmitían significados y se podían utilizar de forma práctica en mapas táctiles reales (Lobben y Lawrence, 2012).

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.



Figura 1. Juego de símbolos



## Procesos de producción

El conjunto de símbolos original se diseñó con destino a un único método de producción: el papel microcapsulado con un dispositivo de elevación de la imagen táctil. A efectos de comparación, reproducimos el conjunto de símbolos original utilizando papel microcapsulado y dos métodos de producción adicionales: la impresión en tres dimensiones y la impresión en papel. Los tres métodos siguieron un protocolo similar, en virtud del cual un archivo digital se envió a un dispositivo de impresión, exigiéndose un grado mínimo de intervención manual durante el proceso de impresión. Los estímulos experimentales utilizados en la prueba se elaboraron mediante los tres métodos de producción.

### *Papel microcapsulado*

La producción de papel microcapsulado exige una impresora tradicional de inyección de tinta y un dispositivo de elevación de la imagen táctil. En virtud de este proceso, primero se imprimen los símbolos en papel microcapsulado, que contiene unas diminutas cápsulas, tratadas químicamente, que se intercalan entre dos láminas de papel especial. A continuación, el papel microcapsulado se introduce en un dispositivo de elevación de la imagen táctil que calienta la superficie del papel y altera las sustancias químicas contenidas en las cápsulas. Los productos químicos, situados bajo la tinta negra, se calientan hasta que se produce la expansión de las cápsulas, provocándose una elevación de la superficie del papel que resalta en relieve los símbolos del mapa táctil. Este proceso de producción da como resultado una elevación (z) uniforme de los elementos en relieve.

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

Para crear los estímulos experimentales, se procedió a imprimir los símbolos en papel microcapsulado con una impresora de inyección de tinta normal, de las que se adquieren normalmente en el mercado. Una vez depositada la tinta sobre la superficie del papel, se introdujo este en un dispositivo de elevación de la imagen táctil.

Los archivos digitales que se enviaron a la impresora se obtuvieron a partir de maquetas en tres dimensiones, y, tras aplicárseles un color negro sólido mediante el programa Adobe Illustrator, se exportaron en formato PDF.

### *Gráficos en relieve*

Los mismos archivos PDF utilizados en la impresión sobre el papel microcapsulado se utilizaron también en los gráficos impresos en papel, tras haberse enviado directamente al dispositivo de impresión. Los gráficos se elaboraron mediante el dispositivo EmFuse Color Braille Station de ViewPlus ([www.viewplus.com](http://www.viewplus.com)). Para crear los gráficos táctiles, la impresora creó puntos en relieve en la página. Si bien el EmFuse es capaz de ofrecer hasta ocho alturas distintas de punto, se decidió que la altura utilizada para servir de estímulo en el experimento fuera uniforme, recurriéndose a la configuración de altura máxima. Los estímulos se imprimieron en papel braille estándar, e incluyeron un gráfico táctil (a 20 dpi) con la correspondiente representación visual de los símbolos en la parte inferior (a 600 dpi). El gráfico visual impreso sirvió de ayuda a los investigadores con visión normal, pero los participantes no pudieron utilizarlo para efectuar la tarea propuesta, consistente en distinguir unos símbolos de otros.

### *Gráficos impresos en tres dimensiones*

Al tratarse de la tecnología de desarrollo más reciente de entre las mencionadas, la descripción del procedimiento de impresión en tres dimensiones es más extensa que la de aquella parte del proceso que se refiere a la impresión en papel y al papel microcapsulado. Incluye tanto una descripción de la impresora, como información adicional sobre la secuencia de operaciones que seguimos para crear los gráficos impresos en tres dimensiones.

En el caso de la impresión en 3D, los gráficos se fabricaron con una impresora Replicator Dual de MakerBot ([www.makerbot.com](http://www.makerbot.com)), utilizando plásticos de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS, por sus siglas en inglés). Cada uno de los símbolos se modeló en tres dimensiones utilizando un programa informático de dibujo de código abierto

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

de OpenSCAD ([www.openscad.org](http://www.openscad.org)), con objeto de replicar la forma, el tamaño y la sensación táctil aproximada del símbolo cuando este se genera en papel microcapsulado. Los símbolos se modelaron como formas en bajorrelieve (altura = 1 milímetro). El *software* ofrecía la opción de exportar los gráficos como una versión bidimensional de las formas elevadas en altura, opción de la que hicimos uso para crear archivos en PDF que permitieran imprimir los símbolos tanto en papel microcapsulado como en la impresora de papel.

El diseño de las maquetas realizadas por ordenador a partir de las formas en tres dimensiones nos exigió definir los símbolos como combinaciones de formas sencillas utilizando el lenguaje de diseño asistido por ordenador (CAD, por sus siglas en inglés). Se eligió CAD porque este lenguaje ofrece un control preciso sobre el tamaño y forma de los símbolos. Se definieron los símbolos utilizando líneas de código capaces de replicar copias idénticas de los símbolos utilizados en cada uno de los gráficos. Este procedimiento se mostró muy apropiado como respuesta a nuestra necesidad de controlar el experimento, y pudimos automatizarlo con una secuencia de comandos que permitió adaptarlo al flujo de trabajo, o secuencia de tareas, propio de un sistema de información geográfico (GIS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, también se podría haber utilizado cualquier programa de diseño en tres dimensiones para crear archivos STL o archivos de estereolitografía (Taylor, Dey, Siewiorek y Smailagic, 2015).

Los archivos STL son un formato portátil para maquetas en tres dimensiones. Antes de enviarlas a la impresora, es preciso convertirlos a un formato específico de esa impresora. Por fortuna, este proceso se realiza automáticamente mediante el *software* que viene con la impresora. En el caso del dispositivo de impresión MakerBot, la conversión implica cortar cada una de las formas en capas, creando un archivo «x3g», que es un formato de archivo binario exclusivo. Ciertas alteraciones o artefactos producidos por el corte automatizado en capas obligaban a que el diseño de las maquetas en tres dimensiones fuera un proceso iterativo. Cuando las líneas eran demasiado finas, se corría el riesgo de que se perdieran durante el corte automatizado y de que quedaran ausentes del producto impreso. También existía el riesgo de que las líneas medias, ni muy finas ni muy gruesas, se representaran como contornos que carecían del relleno previsto. Para mayor comodidad, hemos hecho públicos aquellas maquetas en tres dimensiones utilizadas en nuestro estudio que produjeron símbolos legibles; se pueden descargar y adaptar para uso general (Brittelle et al., 2016).

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

Las maquetas representaban formas en bajorrelieve con una parte superior plana, que se produjeron elevando la forma del símbolo como un prisma ortogonal. La altura del símbolo se estableció en un milímetro, con lo que se obtuvieron símbolos de calidad similar a la de aquellos que se imprimieron en papel microcapsulado (según estimación subjetiva de los investigadores). Para mantener un cierto nivel medio en el hipotético flujo de trabajo del proceso que lleva desde el archivo digital al producto final, no se optimizaron las figuras en tres dimensiones. Los gráficos se produjeron con una resolución «media» (espesor del corte = 0,20 milímetros) utilizando plástico ABS. La textura de las superficies, que es un efecto o artefacto inherente al proceso de producción, no se suavizó.

Se corrigieron los defectos de importancia en los gráficos impresos, pero no los defectos menores. Al manejar el dispositivo MakerBot, que utiliza tecnología de extrusión de filamento, comprobamos que los tamaños de impresión más grandes tendían a verse afectados por una malformación de las placas de base. En concreto, había una tendencia a que las esquinas se ondularan en las piezas de mayor tamaño. Siempre que se produjo esta ondulación, se desechó la pieza afectada y se volvió a imprimir el gráfico. Los defectos menores, como inconsistencias en el acabado de la capa superior que no alteraban la forma del contorno de los símbolos, se conservaron, incluyéndose en el juego de símbolos utilizados como estímulos para el experimento.

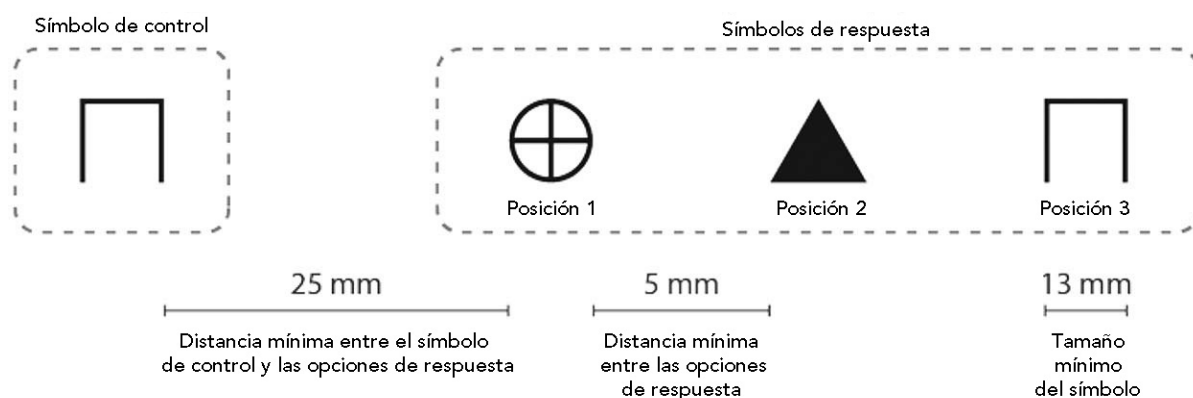
## Instrumento de prueba

El conjunto de símbolos de Lobben y Lawrence (2012) incluye tres tipos de símbolos: puntos, líneas y áreas. Cartográficamente, los símbolos de *punto* se utilizan para representar objetos con una posición espacial x-y limitada (por ejemplo, la entrada a un edificio, o una parada de autobús). Los símbolos de *línea* representan objetos que tienen una longitud considerable en relación con su ancho (por ejemplo, calles, ríos o fronteras). Por último, los símbolos de *área* representan elementos, presentes en el medio ambiente, que cuentan con superficies continuas (como parques, lagos, o el espacio ocupado por un edificio). Con objeto de evaluar los símbolos utilizando los distintos métodos de producción, diseñamos una matriz experimental en formato 3 (tipo de símbolo) x 3 (método de producción). Fabricamos varias copias múltiples de todos los tipos de símbolo utilizando cada uno de los métodos de producción.

Diseñamos una tarea de emparejamiento por la que se pedía a los participantes que hicieran coincidir el símbolo de control, situado a la izquierda, con el símbolo

coincidente que correspondiera, seleccionado de entre una fila de tres símbolos colocados en la parte derecha (véase la Figura 2). Cada uno de los símbolos del conjunto diseñado por Lobben y Lawrence (2012) se utilizó tres veces como símbolo de control, con objeto de conseguir una medición sólida del mayor o menor éxito de los participantes en la realización de la prueba. La ubicación de la respuesta correcta se distribuyó de forma equilibrada entre las tres posiciones que aparecen en fila en las opciones de respuesta. La tarea consistió en 252 ensayos (28 símbolos distintos x 3 métodos de producción x 3 posiciones de respuesta).

Figura 2. Ejemplo de la disposición de la tarea de emparejamiento



Cada gráfico utilizado en el experimento se ofreció a los participantes en papel tamaño carta o sobre una base consistente en un tablero con orientación horizontal (8,5 pulgadas de alto por 11 pulgadas de ancho). La parte central del símbolo de control estaba a 66 milímetros del centro del símbolo de respuesta más cercano; la distancia entre el centro de un símbolo de respuesta y el centro del símbolo de respuesta situado a su lado era de 42 milímetros. El ancho del espacio vacío entre los símbolos no fue siempre el mismo debido a la diversidad de las formas de los símbolos. La separación mínima entre el símbolo de control y los símbolos de respuesta fue de 25 milímetros; la separación mínima entre los símbolos de respuesta fue de cinco milímetros. El orden en el que se presentaron los símbolos fue aleatorio, si bien cada uno de los participantes se sometió al mismo orden de presentación aleatorio. La posición en la que aparecía la opción de respuesta correcta (coincidente con el símbolo de control) se repartió de forma equilibrada entre las tres posiciones que las respuestas ocupaban en la fila.

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

Las diferencias en el tiempo que tardó cada participante en resolver la tarea se redujeron al efectuarse la normalización de los tiempos de respuesta. Las observaciones relativas a cada participante se transformaron en una medición de la desviación del tiempo de respuesta medio de dicho participante. La cuantía de la variabilidad del tiempo de respuesta de los participantes (diseño del experimento intrasujetos: esto es, todos los participantes se someten a los mismos factores de estímulo) que se puede atribuir a las condiciones experimentales se midió utilizando un sistema de análisis de la varianza, o ANOVA, de dos factores (vías) con medidas repetidas.

Una vez hubieron completado la tarea de emparejamiento, se pidió a los participantes que compartieran sus opiniones sobre las ventajas y desventajas relativas de los tres métodos de producción y de los materiales empleados en ellos.

## **Evaluación por parte de los participantes**

Nuestro diseño experimental se desarrolló como una tarea de emparejamiento cronometrada, cuyo objetivo consistió en evaluar la capacidad por parte de los participantes de distinguir los distintos símbolos pertenecientes a un conjunto elaborado utilizando tres materiales distintos. Dieciocho personas (con una edad media de 52 años; 9 mujeres y 9 hombres) participaron en las pruebas. Los participantes se seleccionaron a partir de una muestra de referencia reunida entre asistentes a la convención anual del American Council of the Blind que se celebró en 2013. Ocho de los participantes eran ciegos de nacimiento, 2 quedaron ciegos antes de cumplir los 3 años de edad, y los demás participantes quedaron ciegos después de los 3 años. Todos los participantes declararon que eran capaces de leer braille: 1 de ellos era capaz de leer braille sin contracciones (también conocido como braille grado 1), 15 podían leer braille con contracciones (también conocido como braille grado 2) y los dos restantes podían leer una forma de braille con un uso importante de contracciones, conocida como braille «grado 3». Todos los participantes o bien eran incapaces de usar la visión, o bien llevaban una venda en los ojos para bloquear cualquier pista visual o lumínica que pudiera afectar a la tarea de reconocimiento del símbolo táctil. Dieciséis de los participantes confirmaron que habían utilizado anteriormente gráficos o mapas táctiles (dos declararon que no tenían experiencia previa en este sentido), y ocho de los dieciséis dijeron que habían recibido capacitación formal o informal en el manejo de gráficos o mapas táctiles. El protocolo de la prueba fue examinado y aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Oregón. Debidamente informados, todos los participantes consintieron en participar en la prueba, de la que

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

tenían derecho a retirarse en cualquier momento. Todos los participantes decidieron completar las sesiones hasta el final.

Todas las sesiones de las pruebas tuvieron una estructura uniforme. Las actividades de cada sesión se realizaron en el orden siguiente: descripción del proyecto y consentimiento informado de los participantes, recogida de datos demográficos, explicación de los materiales empleados en las pruebas y del juego de símbolos, seguida de la realización de la tarea de emparejamiento de símbolos, pidiéndose a los participantes que dieran sus respuestas de la forma más rápida y precisa posible. Las sesiones de las pruebas se distribuyeron en bloques de dos horas.

## Resultados

Las sesiones de prueba tuvieron una duración de entre 35 y 83 minutos (promedio: 57 minutos). Cada prueba duró entre 0,901 y 55,367 segundos (media: 5,368 segundos, mediana: 3,962 segundos).

En términos de precisión, en general, los participantes escogieron el emparejamiento correcto en el 95,5 % de los intentos (impresión en relieve: 94,2 %; microcapsulado 95,5 %; 3D: 96,7 %). Se produjo una diferencia en el grado de precisión entre los tres métodos (ANOVA con medidas repetidas,  $p = 0,018$ ) atribuible a la mayor efectividad de los gráficos impresos en tres dimensiones en comparación con los gráficos estampados en relieve (prueba post-hoc de Tukey,  $p = 0,007$ ). Pese a que este resultado es estadísticamente significativo, el menor grado de precisión en los emparejamientos de gráficos estampados en relieve se podría explicar por una desventaja inherente en el diseño, que se analiza con más detalle en el apartado siguiente. No se produjo ninguna diferencia significativa de precisión entre los gráficos impresos en tres dimensiones y en papel microcapsulado ( $p = 0,321$ ), o entre el papel microcapsulado y el papel impreso en relieve ( $p = 0,254$ ).

En promedio, los tiempos de respuesta fueron ligeramente más rápidos en el caso de las respuestas correctas (5,315 segundos) que en el de las respuestas incorrectas (6,495 segundos). Esta mayor rapidez al conseguir los emparejamientos correctos sugiere que los participantes no sacrificaron la precisión en favor de tiempos más rápidos de respuesta. Se observó una fuerte variabilidad en el tiempo de respuesta de los distintos participantes. Por ejemplo, la diferencia entre los tiempos de respuesta

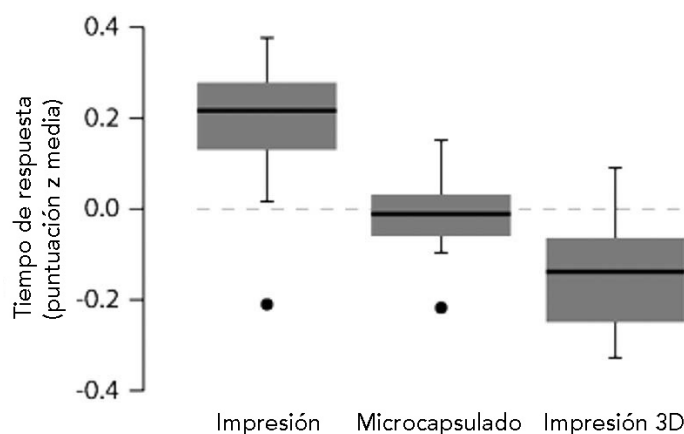
---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

observados en dos participantes (el número 865 y el número 85) resultó estadísticamente significativa (pruebas de los rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras:  $V = 382$ ,  $p < 0,001$ ; los tiempos medios de respuesta fueron de 29 segundos y de 71 segundos respectivamente). Tras efectuarse la normalización del tiempo de respuesta, la diferencia entre las distribuciones de los tiempos de respuesta de estos dos participantes dejó de ser significativa en términos estadísticos ( $V = 15545$ ,  $p = 0,751$ ).

La medición estandarizada del tiempo de respuesta (véase la Figura 3) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos de producción (ANOVA de dos factores con medidas repetidas:  $F = 25,93$ ,  $p < 0,001$ ). Una comparación por pares basada en la prueba de Tukey reveló diferencias significativas entre los tres pares ( $p < 0,001$  por cada par). Una prueba post-hoc relativa a la interacción entre el método de producción y el tipo de símbolo indicó que existía una interacción significativa ( $F = 3,028$ ,  $p = 0,023$ ).

Figura 3. Medidas estandarizadas del tiempo de respuesta



## Análisis

El resultado empíricamente observado de una prueba de emparejamiento reveló que las respuestas de los participantes fueron más rápidas en el caso de los gráficos impresos en tres dimensiones que en el de aquellos impresos en papel impreso o utilizando papel microcapsulado. Esta diferencia se puede atribuir tanto al método de producción como a la interacción entre dicho método y el tipo de símbolo. Este resultado concuerda con las conclusiones publicadas en relación con los símbolos volumétricos (Gual-Ortí et al., 2013) y la rugosidad del material de base (Jehoel et al., 2005).

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.



La distribución de los tiempos de respuesta mostró un sesgo positivo. La duración máxima de las pruebas (tiempo de respuesta) superó los 55 segundos, pero solo una pequeña proporción de las pruebas totales tuvo una duración de más de 30 segundos (10 de entre 4518). Nuestra interpretación de estas duraciones excesivas de un número pequeño de pruebas es que algunas de las pruebas presentan valores extremos atípicos que se pueden atribuir a la distracción del participante. Pero no dejamos constancia de tanto nivel de detalle durante las pruebas.

Los tres métodos de producción seleccionados presentaron dos niveles de resolución distintos. La impresora en relieve era de alta resolución dentro de los parámetros de su propio método de producción; sin embargo, la conversión de los gráficos a una cuadrícula de puntos en relieve (20 dpi) no fue capaz de representar curvas o líneas diagonales con la misma precisión que permite el papel microcapsulado o el dispositivo de elevación de la imagen táctil de la impresora en tres dimensiones. Esta diferencia en la resolución hizo que los gráficos impresos en relieve fueran de lectura más difícil, con lo que no resulta sorprendente que los correspondientes tiempos de respuesta fueran más lentos, así como que el nivel de precisión fuera menor. En cambio, la impresora en tres dimensiones fue capaz de crear con precisión las formas de los símbolos, aunque estos se habían diseñado para su producción en papel microcapsulado. Resulta probable que la similitud del nivel de resolución del papel microcapsulado y de la impresión en tres dimensiones sea un factor que explique la adaptación satisfactoria del conjunto de símbolos originales a un nuevo método de producción.

Una buena definición física de las aristas es típica de los símbolos producidos mediante gráficos impresos en tres dimensiones. Estos bordes bien definidos fueron objeto de opiniones conflictivas. A algunos participantes no les gustaron los gráficos impresos en tres dimensiones, pese al hecho de que estos permitieron un rendimiento más rápido, percibido y real, en las tareas de emparejamiento. Describieron los bordes de los símbolos como «afilados» y desagradables al tacto. Otros participantes mostraron su preferencia por esos bordes «nítidos», que realizaban el contraste entre material de base y el símbolo, facilitando la percepción de las formas.

En trabajos futuros, se podría intentar conseguir un equilibrio entre el carácter desagradable de los bordes «afilados», por un lado, y una nitidez que facilite la legibilidad de los símbolos, por el otro. Las versiones de los símbolos elaborados para ser impresos en tres dimensiones y que se utilizaron en este estudio se construyeron como prismas sencillos. Las maquetas podrían ajustarse para redondear las aristas y optimizarse

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

para capturar cambios sutiles en los perfiles. Como ejemplo, Schwarzbach, Sarjakoski, Oksanen, Sarjakoski y Weckman (2012) utilizan un sistema de alisamiento o suavizado con objeto de «hacer que los árboles sean más agradables al tacto» (página 175) en maquetas de terrenos diseñados para ser impresos en tres dimensiones.

Durante el proceso de preparación de los archivos, se evitó deliberadamente un retoque excesivo de la imagen (por ejemplo, la resolución de la impresión en tres dimensiones se configuró en un valor medio, y las piezas impresas en 3D se utilizaron tal y como salieron de la impresora, sin que se suavizara el resultado durante el proceso de acabado técnico). Pese a ello, el procedimiento siguió siendo distinto del flujo de trabajo propio de un SIG (sistema de información geográfica) típico, e incluyó la utilización de *software* adicional (CAD, en el caso del modelado en tres dimensiones) y un ajuste manual de los archivos producidos mediante el proceso automatizado para la impresión de formas en dos dimensiones (como, por ejemplo, el añadido de rellenos de color negro). Si bien este enfoque es posible en un entorno de investigación científica, podría suponer un obstáculo a la adopción de esta tecnología por parte de profesionales. Como alternativa, los símbolos podrían diseñarse mediante un programa de SIG (Voženílek y Vondráková, 2014) que reflejaría más fielmente un flujo de trabajo cartográfico típico, o se podrían automatizar utilizando herramientas basadas en Internet (Taylor et al., 2015).

Nuestra tarea de emparejamiento evaluó los símbolos de manera aislada. Con este enfoque, insistimos en la equivalencia funcional de símbolos individuales, así como en la facilidad de distinguir unos de otros. Es posible que sea preciso efectuar más pruebas para determinar la legibilidad de los símbolos al generalizarse su uso en un mapa completo. Si bien ha quedado establecida la validez del uso del conjunto original de símbolos (Lobben y Lawrence, 2012) al reproducirse en papel microcapsulado, los mapas impresos en tres dimensiones pueden reproducir elementos confusos que limiten su utilidad. Por ejemplo, no investigamos el efecto que pueda tener la inclusión en un mismo mapa tanto de símbolos de punto como de símbolos de línea. También pueden producirse complicaciones cuando se utilice la tecnología de impresión en tres dimensiones para crear gráficos de mayor tamaño.

## Consecuencias prácticas

Como ocurre cada vez que aparece una nueva tecnología, la adopción de la impresión en tres dimensiones dará lugar a cambios en los procedimientos de trabajo actuales

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

de los profesionales. Puesto que hemos llegado a la conclusión de que los símbolos que son reconocibles y utilizables en papel microcapsulado se pueden emplear directamente en la impresión en tres dimensiones, ha dejado de ser necesario rediseñar por completo mapas ya existentes. Los archivos que se han publicado (Brittelle et al., 2016) pueden servir como punto de partida para que los profesionales elaboren sus propios mapas. Las secuencias de comandos contienen especificaciones completas sobre las formas de los símbolos, y se pueden situar en el mapa especificando unas coordenadas numéricas. El programa CAD utilizado para realizar los símbolos es un *software* de código abierto del que se puede disponer gratuitamente.

## Conclusión

Conforme se sigan produciendo avances en la tecnología de impresión en tres dimensiones, es probable que esta se utilice cada vez más para producir gráficos táctiles. Para aquellos creadores de mapas que se estén planteando la posibilidad de utilizar la impresión en tres dimensiones, la conversión directa de un juego existente de símbolos táctiles en formas en relieve constituye un primer paso que permite trasladar directamente los símbolos ya disponibles, y también puede mejorar la usabilidad de los gráficos empleados en los mapas táctiles (medida por la rapidez con la que se lee cada símbolo individual).

Las convenciones cartográficas y la normalización de los símbolos cartográficos son moneda corriente en los mapas utilizados por las personas videntes, y los usuarios de mapas táctiles podrían beneficiarse del mismo grado de atención (Lobben, 2015). Dos casos dignos de mención son la utilización sistemática por parte del Servicio Geológico de los Estados Unidos de símbolos normalizados en sus mapas topográficos, así como las convenciones cartográficas no oficiales (por ejemplo, el agua es azul y la tierra marrón) a las que recurren de forma habitual los cartógrafos, tanto profesionales como aficionados. Un resultado del uso sistemático de símbolos similares es que los usuarios de los mapas se van acostumbrando al significado de un símbolo, y pueden dedicar su tiempo a entender el significado mismo del mapa en vez de en aprenderse los símbolos (Lobben, 2015). Esta investigación ha demostrado que los tres tipos de tecnología utilizados para reproducir los símbolos no alteran sustancialmente la facilidad que tiene el usuario para distinguir unos de otros, lo que respalda la utilización sistemática de simbología de uso común en los mapas táctiles.

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

En vista de la creciente diversidad de métodos de producción de símbolos táctiles, evaluar la legibilidad relativa de los gráficos elaborados mediante distintos métodos es un empeño que bien vale la pena. Pero nuestros resultados revelan consecuencias mucho más significativas para el diseño y empleo de mapas táctiles, que incluso se pueden ampliar a otros tipos de gráficos táctiles. Los resultados de nuestra investigación no indican una superioridad generalizada de un método de impresión en particular sobre los demás, pero aportan pruebas que respaldan la viabilidad de disponer de un diseño de símbolos que pueda utilizarse en más de un método de producción. El hecho de que los mismos símbolos táctiles puedan utilizarse con varias tecnologías de producción significa que alguien podría emplear un diseño único de mapa y fabricarlo haciendo uso de distintas tecnologías para satisfacer distintas necesidades o ajustarse a las preferencias de distintos grupos de usuarios de mapas.

## Referencias bibliográficas

BRaille AUTHORITY OF NORTH AMERICA (2010). *Guidelines and standards for tactile graphics, web version* [página web].

BRITTELL, M., LOBBEN, A., y LAWRENCE, M. (2016). *University of Oregon Scholars Bank, tactile symbols for production on 2D and 3D printers*. Eugene, OR: University of Oregon.

ČERVENKA, P., BŘINDA, K., HANOUSKOVÁ, M., HOFMAN, P., y SEIFERT, R. (2016, julio). *Blind-friendly maps: Tactile maps for the blind as a part of the public map portal* [formato PDF]. En: K. MIESENBERGER, C. BÜHLER y P. PENAZ (eds.), *Computers helping people with special needs* (pp.131-138). 15th International Conference, Linz, Austria.

CHAMBERLAIN, P., y DIENG, P. (2011, abril). *Looking good, feeling good – Tac map: a navigation system for the blind* [formato PDF]. En: *Proceedings of Include 2011 – The role of inclusive design in making social innovation happen*. Royal College of Art, Londres, Reino Unido.

COLUMBUS, L. (31 de marzo, 2015). *2015 roundup of 3D printing market forecasts and estimates* [página web]. *Forbes*.

DUCASSE, J., MACÉ, M., y JOUFFRAIS, C. (2015). *From open geographical data to tangible maps: Improving the accessibility of maps for visually impaired people* [formato

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

[PDF](#)]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, xL-3/W3, 517-523.

FRASCARA, J., y TAKACH, B. S. (1993). The design of tactile map symbols for visually impaired people. *Information Design Journal*, 7(1), 67-75.

GÖTZELMANN T., y EICHLER, L. (2016, julio). Blindweb maps: An interactive web service for the selection and generation of personalized audio-tactile maps. En: K. MIESENBERGER, C. BÜHLER y P. PENAZ (eds.), *Computers helping people with special needs* (pp. 139-145). 15th International Conference, Linz, Austria.

GUAL-ORTÍ, J., PUYUELO-CAZORLA, M., y LLOVERAS-MACIA, M. (2013). Improving tactile map usability through 3-D printing techniques: An experiment with new tactile symbols. *Cartographic Journal*, 52(1), 51-57. doi:10.1179/1743277413Y.0000000046.

HAGOOD, L. (1992) [A standard tactile symbol system: Graphic language for individuals who are blind and unable to learn braille \[página web\]](#). *PS News* (Texas School for the Blind & Visually Impaired Outreach Programs).

HÄNBGEN, D. (2014). Haptosm: A system creating tactile maps for the blind and visually impaired. *Proceedings of the Conference Universal Learning Design*, 49-56.

HASIUK, F., HARDING, C., RENNER, A., y WINER, E. (2017). TouchTerrain: A simple web-tool for creating 3-D-printable topographic models. *Computers & Geosciences*, 109, 25-31.

JEHOEL, S., MCCALLUM, D., ROWELL, J., y UNGAR, S. (2006). An empirical approach on the design of tactile maps and diagrams: The cognitive tactualization approach. *British Journal of Visual Impairment*, 24(2), 67-75. doi: 10.1177/0264619606063402.

JEHOEL, S., UNGAR, S., MCCALLUM, D., y ROWELL, J. (2005). [An evaluation of substrates for tactile maps and diagrams: Scanning speed and users' preferences \[formato PDF\]](#). *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 99(2), 85-95.

KÄRKKÄINEN, S. (2017). [Touch Mapper: Create tactile maps easily for any address \[página web\]](#).

LAUFENBERG, W. (1988). «Euro-Town-Kit»: A set of standardized symbols for making town maps for visually handicapped persons. *Review of the European Blind*, 17(4), 10-15.

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

- LAWRENCE, M., y LOBBEN, A. (2011). [The design of tactile thematic symbols \[formato PDF\]](#). *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(10), 681-691.
- LOBBEN, A. (2015). [Tactile maps and mapping \[página web\]](#). *Journal of Blindness Innovation and Research*, 5(1).
- LOBBEN, A., y LAWRENCE, M. (2012). The use of environmental features on tactile maps by navigators who are blind. *Professional Geographer*, 64(1), 95-108. doi:10.1080/00330124.2011.595619.
- LULU-ANN (2009). [HaptoRender \[página web\]](#).
- MIELE, J., LANDAU, S., y GILDEN, D. (2006). Talking TMAP: Automated generation of audio-tactile maps using Smith-Kettlewell's TMAP software. *British Journal of Visual Impairment*, 24(2), 93-100.
- PERKINS, C. (2001). [Tactile campus mapping: Evaluating designs and production technologies \[formato PDF\]](#). *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Topic 21*.
- PERKINS, C. (2002). [Cartography: Progress in tactile mapping \[formato PDF\]](#). *Progress in Human Geography*, 26(4), 521-530. doi:10.1191/0309132502ph383pr.
- POON, L. (2016). [How 3D-printed maps are helping the blind and visually impaired \[página web\]](#). New Brunswick, NJ: CityLab.
- RENER, R. (1993). Tactile cartography: Another view of tactile cartographic symbols. *Cartographic Journal*, 30(2), 195-198. doi:10.1179/000870493787860139.
- ROWELL, J., y UNGAR, S. (2003a). A taxonomy for tactile symbols: Creating a useable database for tactilemapdesigners. *Cartographic Journal*, 40(3), 273-276. doi: 10.1179/000870403225012998.
- ROWELL, J., y UNGAR, S. (2003b). The world of touch: Results of an international survey of tactile maps and symbols. *Cartographic Journal*, 40(3), 259-263. doi:10.1179/000870403225012961.
- SCHWARZBACH, F., SARJAKOSKI, T., OKSANEN, J., SARJAKOSKI, L., y WECKMAN, S. (2012). Physical 3D models from LIDAR data as tactile maps for visually impaired persons. En:
- 
- BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.

M. BUCHROITHNER (ed.), *True-3-D in cartography, lecture notes in geoinformation and cartography* (pp. 169-183). Berlin & Heidelberg, Germany: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-12272-9\_11.

TATHAM, A. F. (2001). [Achievable goal or chimaera? Standardization in tactile mapping \[formato PDF\]](#). *Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference*.

TAYLOR, B. T., DEY, A. K., SIEWIOREK, D. P., y SMAILAGIC, A. (2015). TactileMaps.net: A web interface for generating customized 3D-printable tactile maps. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Association for Computing Machinery Special Interest Group on Accessible Computing Conference on Computers & Accessibility* (pp. 427-428). doi:10.1145/2700648.2811336.

U. S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES (2014). [The NIH 3D Print Exchange: Scaling and operationalizing an online portal to open-source data and tools for discovering, creating, and sharing 3-D-printable models related to biomedical science \[página web\]](#). Washington, DC: U. S. Department of Health and Human Services.

VOŽENÍLEK, V., y VONDRÁKOVÁ, A. (2014). [Tactile maps based on 3D printing technology \[formato PDF\]](#). En: V. LUBKINA y G. MARZANO (eds.), *Society – Integration – Education: Proceedings of the International Scientific Conference*. Rezekne, Letonia. doi: 10.17770/sie2014vol3.732.

WATANABE, T., YAMAGUCHI, T., KODA, S., y MINATANI, K. (2014, julio). [Tactile map automated creation system using OpenStreet-Map \[formato PDF\]](#). En: K. MIESENBERGER, D. FELS, D. ARCHAMBAULT, P. PEÑÁZ y W. ZAGLER (eds.), *Computers helping people with special needs* (pp. 42-49). 14th International Conference, París, Francia, 13-15 de julio, 2016.

---

**Megen E. Brittell, M. S.** Doctoranda. Departamento de Geografía. Universidad de Oregon, Eugene, OR. Correo electrónico: [megen@uoregon.edu](mailto:megen@uoregon.edu).

**Amy K. Lobben, Ph. D.** Catedrática, Departamento de Geografía. Universidad de Oregon, 1251 University of Oregon, Eugene, OR 97403. Correo electrónico: [lobben@uoregon.edu](mailto:lobben@uoregon.edu).

**Megan M. Lawrence, Ph. D.** Promotora técnica de accesibilidad (Accessibility Technical Evangelist). Microsoft, 3460, 157th Avenue NE, Redmond, WA 98052. Correo electrónico: [melawre@microsoft.com](mailto:melawre@microsoft.com).

---

BRITTELL, M. E., LOBBEN, A. K., y LAWRENCE, M. M. (2019). Evaluación de la adecuación para el uso de símbolos empleados en mapas táctiles utilizando tres tecnologías de producción. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 74, 151-173.