

Hemos leído

Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual¹

Introduction of 3D printing technology in the classroom for visually impaired students

W. Jo, J. H. I, R. A. Harianto, J. H. So, H. Lee,
H. J. Lee, M.-W. Moon²

Resumen

La profusión de elementos gráficos (figuras, imágenes, etc.) en los libros de texto, que permite a los alumnos sin dificultades visuales aprender los conceptos de manera más eficaz, constituye un obstáculo para los alumnos con discapacidad visual y también para los profesores, que deben explicar verbalmente este tipo de contenidos, y, aún así, es posible que los conceptos no queden claros. La impresión en tres dimensiones (3D) ofrece la posibilidad de preparar materiales didácticos complementarios accesibles de producción sencilla, relativamente económica y personalizable, con el objetivo de que el acceso táctil pueda mejorar el proceso de aprendizaje y la memorización. En este artículo se propone una introducción a esta tecnología.

1 Artículo publicado con el título *Introduction of 3D printing technology in the classroom for visually impaired students*. En: *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 110, n.º 2 marzo-abril 2016, pp. 115-121. ©2016 American Foundation for the Blind (AFB), Nueva York, EE. UU. Todos los derechos reservados. Traducción de María Dolores Cebrián-de Miguel, publicada con permiso del editor.

2 **Wonjin Jo**, Ph. D. (wjjo@kist.re.kr), estudiante de posdoctorado, 3D Printing Group, Computational Science Research Center. **Jang Hee I**, B. S. (jhikist@gmail.com), estudiante de máster, 3D Printing Group, Computational Science Research Center. **Rachel Ananda Harianto**, B. S. (514006@kist.re.kr), estudiante de máster. **Ji Hyun So**, B. S. (chreesteen@gmail.com), estudiante de máster. **Hyebin Lee** (god-6007@hanmail.net), estudiante de Grado (senior), Kookmyung Women's University. **Heon Ju Lee**, Ph. D. (hlee@kist.re.kr), investigador científico senior. **Myoung-Woon Moon**, Ph. D. (mwmoon@kist.re.kr), investigador científico principal.

Korea Institute of Science and Technology, Seúl (República de Corea). Se ruega remitir toda la correspondencia al Dr. Moon.

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

Palabras clave

Educación. Didácticas específicas. Producción bibliográfica. Materiales didácticos. Impresión en tres dimensiones. Materiales en tres dimensiones.

Abstract

The abundance of graphic elements (such as figures and pictures) in textbooks enables students with normal vision to learn more effectively. It is nonetheless an obstacle for students with visual disability as well as for their teachers, obliged to verbally explain such content which even then may not be fully understood. With three-dimensional (3D) printing, supplementary, accessible, personalised teaching materials can be prepared simply and fairly economically with a view to enhancing learning and memorisation through tactile access. The technology is explained and introduced in this article.

Key words

Education. Specific instruction. Bibliographic production. Teaching materials. Three-dimensional printing. Three-dimensional materials.

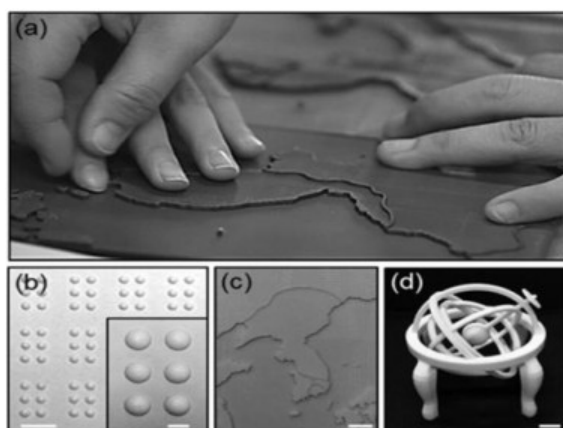
A medida que crece la importancia de los productos de apoyo para la discapacidad visual, los libros de texto incorporan cada vez más figuras e imágenes que contribuyen a su mejor comprensión por parte de los alumnos. Estos productos o ayudas visuales hacen posible que dichos alumnos comprendan los conceptos de forma más eficaz, al permitirles escucharlos y verlos simultáneamente. Pese a ello, la lectura y comprensión de los libros de texto representa un reto para los alumnos con discapacidad visual (es decir, alumnos con ceguera o baja visión), y sus profesores tienen dificultad para enseñarles en esos libros de texto, ya que se ven obligados a explicarles y describirles verbalmente tanto su contenido, como las complejas figuras. Incluso una vez explicadas estas, puede que la imagen o el concepto les sigan quedando en una nebulosa. Por consiguiente, para poder ayudar a los alumnos y profesores, los materiales educativos deberían fabricarse mediante métodos fáciles, baratos y personalizados, tipo impresión en tres dimensiones (3D). En vez de verlos y escucharlos, los estudiantes pueden utilizar su sentido del tacto para reconocer los productos de apoyo táctiles en 3D, y así mejorar sus procesos de memoria y aprendizaje.

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

Recientemente, la tecnología de impresión 3D ha aparecido como una ilusionante herramienta tecnológica para crear objetos sofisticados y personalizados con materiales relativamente baratos. (Melchels, Feijen y Grijpma, 2010; Peltola, Melchels, Grijpma y Kellomäki, 2008; Pham y Gault, 1998). La impresión 3D es el proceso de fabricación de objetos basado en la producción de materiales por superposición de capas sucesivas, con un espesor de capa específico que oscila entre las 100 y las 400 micras (μm). La mayor ventaja de la impresión 3D es su capacidad para construir nuevos objetos personalizados. Así pues, la impresión 3D puede ser una poderosa herramienta de fabricación de modelos u objetos táctiles para libros de texto. Stangl et al. intentaron producir libros de imágenes impresas en 3D para niños con discapacidad visual (Stangl, Kim y Yeh, 2014). Transcribieron las imágenes del clásico *Goodnight Moon* (*Buenas noches, Luna*), de Margaret Wise Brown, imprimiendo algunas de sus partes en capas sucesivas. No obstante, el presente estudio solo se refiere a las formas basadas en planos y no a objetos completos en 3D.

Es esta investigación, nos propusimos averiguar cómo podría utilizarse la tecnología de impresión 3D para fabricar materiales pedagógicos que dieran a los alumnos con discapacidad visual pleno acceso a una enseñanza de calidad en la clase de Historia. Los investigadores del Grupo de impresión 3D del Korea Institute of Science and Technology (KIST) hicieron entrega a la Seoul National School for the Blind de materiales pedagógicos táctiles y en braille redimensionable, impresos mediante impresoras 3D (v. Figura 1).

Figura 1. (a) Manos de profesora y alumno del último curso de primaria, utilizando un mapa táctil impreso en 3D durante una clase en la escuela para ciegos de Seúl (Seoul National School for the Blind). (b-d) Ejemplos de materiales educativos en relieve, impresos en 3D: (b) dos modelos de braille en distinto tamaño, (c) un mapa táctil, y (d) una reliquia histórica. Las barras blancas de escala corresponden a (b) 5 mm y (c-d) 2 cm



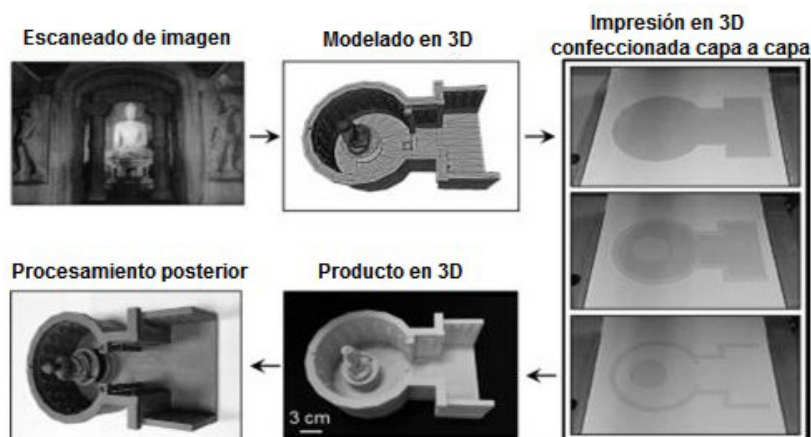
JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

El profesor daba la clase situándose junto al alumno, para llevarle (mediante la técnica mano sobre mano) a comprender las características de las formas y su significado. Los alumnos también utilizaban las manos para explorar de forma independiente los materiales en 3D, de forma que pudieran percibir adecuadamente las pinturas, mapas o reliquias de tipo histórico. Este procedimiento reforzaba inmensamente la explicación de las lecciones, ya que permitía aclarar las posibles malinterpretaciones de las descripciones de los textos. La consecuencia fue que los materiales educativos en 3D resultaron ser los más positivos y adecuados para ayudar eficazmente a que los alumnos con discapacidad visual comprendieran los contenidos explicados en clase.

Métodos

Se utilizaron tres tipos diferentes de métodos para la impresión 3D: (1) Modelado por Deposición Fundida (MDF); (2) impresión tridimensional (impresión 3D), y (3) Procesado Digital por Luz (PDL). El proceso de impresión en 3D conlleva múltiples fases (v. Figura 2).

Figura 2. Las múltiples fases del proceso de impresión en 3D



Las tres técnicas de impresión 3D se basan en la utilización de la información del diseño asistido por ordenador (CAD), que describe la geometría y el tamaño de los objetos que se van a imprimir. Los datos del CAD se transforman en un fichero con formato STL (STereoLithography) que cuenta con la coordinación triangular extensiva de la geometría de las superficies en 3D (Chen, Ng y Wang, 1999). Una vez que el archivo está en un formato que se puede imprimir, el modelo en 3D se corta en

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

una serie de capas digitales transversales de un determinado grosor. Entonces, la estructura del diseño se genera mediante un proceso de fabricación capa a capa, siendo 100 µm el grueso de cada capa. Una vez finalizada la impresión, el siguiente paso consiste en las operaciones de postratamiento para que el objeto mejore en suavidad, durabilidad y seguridad. En esta etapa, se empleó material biológicamente compatible, el PLA (poliácido láctico, un termoplástico biodegradable) para el método MDF. Para conseguir una importante mejora de la suavidad de la superficie de los objetos realizados con la impresora en 3D para MDF, se realizó un proceso térmico por refusión (Jo, Kim, Lee, Lee y Moon, 2014). En el caso de los métodos de impresión tridimensional en 3D y de procesamiento digital de la luz, los objetos impresos se recubrieron con una solución de barniz, consistente en un producto no tóxico fabricado con material sin olor y respetuoso con el medio ambiente.

Los materiales pedagógicos en 3D se produjeron con la intención de utilizarlos en la clase de Historia, durante un semestre. En el proyecto participó un grupo de cuatro alumnos de último curso de Primaria del centro educativo para niños y jóvenes ciegos Seoul National School for the Blind. Sus afecciones visuales, aptitud de aprendizaje y medio preferente de lectura y escritura se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Información sobre los participantes en el estudio

Variable	Participante A	Participante B	Participante C	Participante D
Situación visual	Deficiencia visual de cuarto grado; aniridia; puede leer caracteres de 24 pt.	Deficiencia visual de primer grado; lesión retiniana congénita.	Deficiencia visual de primer grado; opacidad corneana congénita; visión escasa en el ojo debida a 5 operaciones oftalmológicas; puede leer caracteres de 40 pt.	Deficiencia visual de primer grado; enfermedad de Norrie, ambos ojos son artificiales; ceguera total.
Aptitud para el aprendizaje	Buen vocabulario, comprensión y discernimiento; memorización pobre.	Vocabulario y comprensión muy pobres.	Buena comprensión; vocabulario pobre.	Vocabulario y comprensión pobres.

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

Variable	Participante A	Participante B	Participante C	Participante D
Aptitud para la alfabetización	Capaz de leer y comprender el significado de frases a la velocidad adecuada; capaz de poner por escrito sus pensamientos en un diario, de forma precisa y pese a numerosas faltas de ortografía.	Capaz de leer, tomar al dictado y escribir en braille en unidades silábicas; capaz de escribir una entrada de cinco frases en un diario.	Capaz de leer, escuchar y escribir en braille en unidades de palabra-frase; capaz de escribir de forma sencilla una entrada en un diario.	Capaz de leer con facilidad frases en braille; capaz de tomar dictados con exactitud; capaz de escribir sus pensamientos en un diario.

El libro de texto elegido para los estudios de Ciencias Sociales cubre la historia de Corea desde la época prehistórica hasta el siglo XX (plan del Ministerio de Educación Coreano, 2014). Para el presente estudio se crearon 11 mapas históricos diferentes y 27 tipos de reliquias históricas, convirtiendo las imágenes planas de los libros de texto originales en materiales en 3D. La elección de las imágenes seleccionadas corrió a cargo de la profesora, quien las eligió en base a su valor histórico e importancia, las dificultades para poder comprar reproducciones de ellas o las restricciones de accesibilidad a esos lugares. El equipo revisor institucional del KIST aprobó el proceso antes de que los materiales educativos táctiles en 3D pudieran ser mostrados a los alumnos de la Seoul National School for the Blind.

Resultados

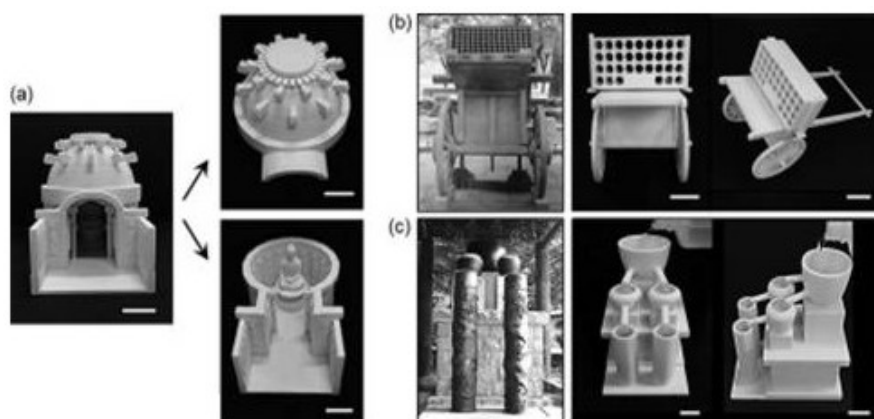
Una de las ventajas de la tecnología de impresión en 3D es su capacidad para crear materiales personalizados para alumnos con deficiencia visual que tienen distintos tipos de patologías y agudezas visuales, aptitudes de aprendizaje y capacidades cognitivas (como refleja la Tabla 1). Por consiguiente, lo primero que tratamos con la profesora fue el tamaño y el nivel de detalle óptimos de los objetos basándonos en la capacidad de reconocimiento de los alumnos, y de ahí que la mayoría de los objetos impresos en 3D se simplificaran para que únicamente destacaran las características básicas. Por ejemplo, los mapas políticos debían presentar claramente los límites territoriales para reflejar las relaciones entre las dinastías que habían existido en la península coreana, pues las figuras táctiles que existen y han sido producidas por otros métodos

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

se limitan a resaltar las relaciones entre regiones. Estos otros métodos describen las fronteras mediante signos en braille o dibujos de cada región, con complicados tipos de diseños o telas de texturas diferenciadas. Por el contrario, los materiales educativos en 3D pueden ser fácilmente configurados para caracterizar los mapas por los distintos grosores de los contornos plásticos, conforme puede verse en la Figura 1. De igual forma, la impresión en 3D puede traducir murales, pinturas o formas distintivas, mediante una serie de opciones de fabricación, como la de la técnica de producción de materiales en relieve.

La impresión en 3D también puede reducir la escala de los originales de grandes reliquias del pasado. Cuando un monumento es presentado a gran escala, los alumnos no pueden comprenderlo *in situ*. La Figura 3(a) representa la gruta budista Seokguram en 3D, dividida para dar a conocer su arquitectura interior y exterior. La arquitectura del interior de Seokguram conduce a la antecámara rectangular, al estrecho pasillo y, finalmente, a la cámara circular principal en la que se encuentra la estatua sedente del Buda de 3,62 metros de alto. La Figura 3(b) muestra la fotografía original y la impresión en 3D de la lanzadera coreana de cohetes Hwacha. Consta de 100-200 agujeros cilíndricos que disparan cohetes simultáneamente. Los alumnos aprenden el mecanismo de su funcionamiento mediante las copias impresas en 3D de Hwacha y palillos de madera. La Figura 3(c) presenta la estación pluviométrica coreana Cheugugi. La impresión en 3D de Cheugugi se realizó con intención de que mostrara el modo en que los distintos niveles están interconectados a través de canales que previenen las inundaciones derivadas de las lluvias. A través de estos objetos en 3D, los alumnos pudieron valorar y aprender mejor la historia cultural de Corea.

Figura 3. Versiones en 3D de: (a) gruta budista, Sekokguram; (b) lanzadera de cohetes múltiple Hwacha; y (c) estación pluviométrica de Cheugugi. La escala que la barra blanca representa es de 4 cm



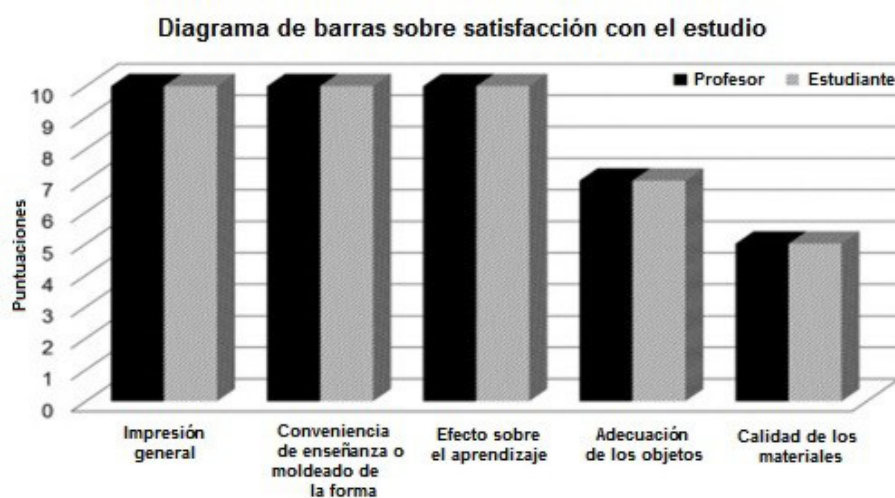
JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

Es de señalar que la impresión 3D no es capaz de representar de manera eficaz todas las imágenes, debido a las limitaciones de los materiales y los métodos de impresión. Aunque los materiales se hayan desarrollado en poco tiempo, los que se utilizan con mayor frecuencia siguen circunscribiéndose al plástico, el polvo, la resina o el metal. Además, las estructuras finas o delgadas son difíciles de imprimir y fáciles de romper, debido a la insuficiente resistencia mecánica. Por lo tanto, analizamos detenidamente cada uno de los pasos a dar, empezando por el diseño, las características estructurales y los materiales, y la facilidad de producción.

Discusión

Al finalizar el semestre, los participantes evaluaron la eficacia de los materiales pedagógicos táctiles en 3D basándose en varios criterios representados en la Figura 4.

Figura 4. Diagrama de barras sobre satisfacción con el estudio sobre los materiales táctiles impresos en 3D, evaluados por la profesora y los alumnos



Tanto los alumnos como los profesores reconocieron la importancia y utilidad de los materiales en 3D. El estudio probó que los alumnos tenían en alta estima los objetos en 3D, ya que su uso mejoraba su capacidad para memorizarlos y comprenderlos. Aunque siga siendo difícil comprender el tamaño real de las reliquias históricas, los alumnos sostuvieron que los materiales en 3D transmitían una buena sensación respecto a las formas y contribuían a aclarar ciertos significados que resultaban oscuros en el libro de texto. Además, los materiales en 3D aportaban viveza y disfrute a la

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

clase. La profesora expresó que los materiales pedagógicos en 3D le permitían ser más eficaz a la hora de dar su clase, ya que los materiales enriquecían el contenido de la lectura. Anteriormente, había tenido dificultades para describir o expresar únicamente mediante palabras el significado histórico contenido en los mapas o en las reliquias del pasado. Aunque con frecuencia los alumnos sentían la dificultad de comprender las explicaciones orales, estaban más capacitados para comprenderlas cuando se servían de materiales en 3D. Tales materiales pedagógicos estimulaban directamente la imaginación de los alumnos y reforzaban su comprensión y capacidad de memorización. También resultaban eficaces para mantener su interés durante las clases, ya que podían tocarlos ininterrumpidamente.

Según los datos arrojados por el estudio, profesora y alumnos identificaban las áreas de mejora potencial, entre las que se incluían: (1) definición del tamaño óptimo y detalles de los materiales, para reducir la dificultad de comprensión de las propias formas; (2) mejora de la suavidad y durabilidad de la superficie, y (3) desarrollo de más y más materiales seguros con distintas texturas táctiles. Además, uno de los principales obstáculos para la utilización de la tecnología 3D en el ámbito educativo es la imposibilidad de adquirir una impresora para 3D y sus materiales a un precio no muy elevado. Téngase en cuenta que el estudio sobre las percepciones de profesora y alumnos, que la Figura 4 refleja, proporcionó información subjetiva, y que no constituía objeto del estudio evaluar los resultados de los alumnos (por ejemplo, con un grupo de control). La investigación sobre el grado de satisfacción apoya favorablemente la actitud de las personas que utilizaron los materiales, si bien esta se basa en las opiniones de los usuarios y no prueba necesariamente la diferencia en términos de cantidad o calidad del aprendizaje.

Conclusión

Hemos introducido aquí la tecnología de la impresión 3D para producir los materiales pedagógicos táctiles en 3D de mapas y reliquias del pasado histórico que se parezcan a las imágenes de los libros de texto (como un pluviómetro, una campana y una fortaleza). Para el presente estudio fabricamos los materiales táctiles en 3D en tamaños y con los detalles adecuados. También empleamos materiales biológicamente compatibles con el método de Modelado por Deposición Fundida (MDF), y con cobertura de barniz sobre los objetos fabricados con técnicas de impresión de procesado 3D (3DP) y Procesado Digital por Luz (PDL). En el aula, los materiales en

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

3D tuvieron un impacto positivo en la enseñanza y el aprendizaje de los alumnos. Aunque tanto los alumnos como la profesora que participaba en este proyecto indicaron que las propiedades y robustez del material de los objetos impresos en 3D debería mejorar para futuras aplicaciones, reconocieron los beneficios indudables de los materiales táctiles educativos en 3D, entre los que se incluyen el refuerzo de los puntos abstractos y los contenidos, el aumento de la capacidad retentiva de los alumnos y el incremento de la capacidad de atención y de concentración de los estudiantes en el transcurso de las clases. Este proyecto nos ha permitido aprender que la tecnología de impresión 3D puede adaptarse a otras materias, como el Arte, las Matemáticas o las Ciencias. Las opiniones obtenidas en una encuesta realizada a cuatro estudiantes de primer curso en un tipo concreto de centro académico pueden tener valor limitado respecto a la generalización del valor de los materiales educativos táctiles en 3D, por lo que se recomienda efectuar estudios adicionales o encuestas que recaben más datos relacionados con el presente estudio. La demanda de adecuados materiales de apoyo para la educación de alumnos con discapacidad visual va a crecer, y la tecnología de impresión en 3D tiene el potencial de ayudar a profesores y alumnos gracias a su método de comunicación versátil y personalizado. Sin embargo, son varios los aspectos de la impresión 3D (como las dificultades de diseño y el coste, el tiempo de fabricación que conlleva y la limitación de los materiales existentes para la fabricación de distintos objetos en 3D) que apuntan a la necesidad de introducir mejoras para que esta tecnología pueda resultar de mayor aplicación.

Referencias bibliográficas

CHEN, Y. H., NG, C. T., y WANG, Y. Z. (1999). Generation of an STL file from 3D measurement data with user-controlled data reduction. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(2), 127-131; doi: 10.1007/s001700050049.

JO, W., KIM, D. H., LEE, J. S., LEE, H. J., y MOON, M.-W. (2014). 3D printed tactile pattern formation on paper with thermal reflow method. *RSC Advances*, 4(60), 31764-31770; doi: 10.1039/C4RA02822H.

MELCHELS, F. P. W., FEIJEN, J., y GRIJPM, D. W. (2010). A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. *Biomaterials*, 31(24), 6121-6130; doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>.

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN COREANO (2014). *Social studies textbook 5-1*. Seúl, Corea: Chunjae Education.

PELTOLA, S. M., MELCHELS, F. P. W., GRIJPMAN, D. W., y KELLOMÄKI, M. (2008). A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. *Annals of Medicine*, 40(4), 268-280; doi: 10.1080/07853890701881788.

PHAM, D. T., y GAULT, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(10-11), 1257-1287; doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955\(97\)00137-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00137-5).

STANGL, A., KIM, J., y YEH, T. (2014). *3D printed tactile picture books for children with visual impairments: a design probe* [formato PDF]. Ponencia presentada en la 2014 Conference on Interaction Design and Children, en Aarhus, Dinamarca.

Este trabajo ha sido posible gracias a la ayuda económica recibida del *Korea Institute of Science and Technology* (KIST). El primero y los siguientes autores han contribuido conjuntamente y en idéntica medida a este trabajo, y quieren expresar su profundo agradecimiento a la profesora Hee Jin Kim y a sus alumnos de la Seoul National School for the Blind por su valiosa participación y colaboración.

JO, W., I, J. H., HARIANTO, R. A., SO, J. H., LEE, H., LEE, H. J. y MOON, M.-W. (2016). Introducción a la tecnología para la impresión 3D en aulas para alumnos con discapacidad visual. *Integración: Revista digital sobre discapacidad visual*, 69, 82-92.