

Touch and Learn: Turning simple objects into learning materials

A system that turns simple materials into multisensorial experiences for learning

Daniel A. Cuellar-Reynaga, Mayra Y. Mendoza-Córdova, Gabriel Arturo Ramírez-Marrujo, Uriel Granados, David Santamaría, Cristina G. Reynaga-Peña

Tecnologico de Monterrey, Campus Monterrey
Monterrey, NL, México

danicuellar99@live.com.mx, yessmendoza19@gmail.com, arturo.rama97@gmail.com, a00825720@itesm.mx,
david.santamaria@materia14.com, cristina.reynaga@tec.mx

Abstract— Traditionally, the typical educational strategies used in Mexico’s classrooms limit the incorporation of tactile and multisensorial experiences in the teaching of people with visual impairment. With this challenge in mind, the prototype here described was developed to be used as an innovative tool for the teaching-learning of any subject within the curriculum. With the incorporation of low-cost technology, it was feasible to combine tactile and auditory stimuli that consider the diversity of students and their contexts. By using the Universal Design for Learning (UDL) principles during the elaboration of this prototype, we aimed to facilitate learning for the visually impaired students in an inclusive environment, by producing a multisensorial learning experience that is also attractive for sighted students. In addition, and to support diversity in the classroom, the auditory information can be displayed in different spoken languages. The prototype was elaborated with common Makerspace machinery such as laser cutters and 3D printers, so that it can be easily replicated in any part of the world at a low cost. Also, the programming is designed so that teachers can easily upload audio files to adapt the material to their specific needs and incorporate into the lessons of any given subject.

Index Terms— inclusive education, visual impairment, universal design for learning, didactic resource.

I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la educación se construye con objetivos comunes que implican asumir que el contexto de todas las personas es parecido. Esto constituye una desventaja para aquellos que presentan circunstancias o condiciones diferentes a las dominantes en la población [1], como es el caso de los alumnos con alguna discapacidad, quienes pueden representar un reto para el profesor o incluso para el sistema educativo actual. A pesar de que se piensa que el involucrar tecnología puede ayudar a establecer un punto de partida común a la hora de educar, las diferencias de los contextos o condiciones no hacen sino enfatizarse ante la multiplicidad de circunstancias presentes [2] volviendo el uso de la tecnología una herramienta más dentro de la misma concepción tradicional de enseñanza.

En este sentido, el marco teórico del Diseño Universal para el Aprendizaje (Universal Design for Learning o UDL) propone

hacer un cambio de paradigma al momento de diseñar estrategias y herramientas educativas, haciendo enfoque no en las diferencias, sino en el entendimiento de que cada estudiante tiene necesidades distintas para la consecución de los objetivos de aprendizaje [3]. Desde este marco teórico, la educación pasa de ser centrada en la estructura o el sistema, a ser centrada en el estudiante y requiere el rompimiento de un solo modelo dominante de enseñanza-aprendizaje al proveer de múltiples formas del “qué”, el “cómo” y el “para qué” en el aprendizaje, los cuales se traducen en múltiples formas de representación, múltiples formas de acción y participación y, múltiples formas de motivación para los estudiantes.

Así, el reto para lograr una educación equitativa para cualquier alumno es la construcción de entornos de aprendizaje adecuados a las necesidades diversas de los estudiantes, entre ellos, aquellos que tienen alguna discapacidad física o sensorial o algún otro problema de accesibilidad, y que se solventa incorporando flexibilidad en el diseño curricular -aceptando que la misma estructura educativa no puede ser funcional para todos [4]. La educación basada en UDL representa la oportunidad de involucrar a los estudiantes por medio de nuevas formas, a través de un involucramiento sensorial más integral que no depende únicamente de las propiedades de los textos escritos [5] sino que conectan los conceptos con sus significados y relevancia para la adquisición de conocimiento como una experiencia holística, alejándose de las limitaciones de ser una actividad receptiva para convertirla en una experiencia participativa [3].

En México, 7.1 millones de personas presentan algún tipo de discapacidad física, de las cuales, el 58.4% pertenecen al grupo que posee discapacidad visual [6]. Las estrategias educativas para las personas con este tipo de discapacidad se han limitado a adaptar los recursos existentes de texto con tipografía mayor o bien en Braille, a incorporar recursos tecnológicos para ampliar imágenes [7], o a utilizar gráficos táctiles en vinil termoformado; sin embargo, estas estrategias están pensadas a partir del déficit y no de la diversidad, lo que hace que sean poco atractivas para el resto de los estudiantes. De esta manera, la educación para esta población se ve limitada a la adopción de herramientas específicas y excluyentes más que a un diseño para todos.

A pesar de que el aprendizaje es más eficaz cuando se involucran distintos sentidos [8], la estrategia educativa en el aula regular se ha mantenido de forma tradicional y ha limitado la incorporación de lo táctil, sustituyendo así el uso de un sentido por otro para adquirir conocimiento [9], pero se ha fallado en hacer uso de la manipulación de objetos para potenciar el aprendizaje de manera inclusiva, es decir que sean objetos de aprendizaje para todos. Lo más cercano a esta forma de abordar el aprendizaje se ha logrado con la relativamente reciente tecnología de impresión de objetos plásticos en tercera dimensión (3D printing), la cual se presenta como una oportunidad de tener acceso a imágenes de temas de distintas disciplinas - principalmente en áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM)- para las personas con discapacidad visual [10]. Dentro de esta tendencia de utilizar materiales impresos 3D para sustituir el uso de imágenes, un área de gran interés ha sido la impresión en 3D de imágenes astronómicas, como aquellas obtenidas por el telescopio Hubble [11], en virtud de que en ellas se representan datos que, por ejemplo, permiten entender la tridimensionalidad de los cuerpos celestes, y esto es válido para la población en general. Sin embargo, es importante mencionar que la impresión en 3D se limita a proveer un recurso táctil sin involucrar otros sentidos.

Por otro lado, es posible encontrar de manera comercial gráficos táctiles en vinil termoformado creadas por Touch Graphics, Inc. (www.touchgraphics.com), en los que las imágenes se muestran con relieve y a la vez utilizan tecnología para proveer de información auditiva. Estos materiales están diseñados con bases de UDL y son atractivos para cualquier alumno; sin embargo, los temas son limitados, su costo es relativamente elevado y el alumno que los utilizaría requiere habilidades de interpretación mayores que aquellas necesarias para observar un material elaborado completamente en 3D.

Avances más recientes en la generación de materiales con tridimensionalidad, audios, y atractivos para todos, se presentan en la propuesta de Shi y colaboradores [12], en la cual se incorporan las cámaras de dispositivos móviles (celulares, tabletas) para añadir información interactiva a modelos 3D, pero cuenta con algunas limitantes; por un lado, la resolución de la cámara de los dispositivos, pero también su manipulación no es sencilla, ya que la cámara debe estar en una posición fija y además estar directamente dirigida al objeto, debido a que requiere que las marcas de reconocimiento del modelo junto con los dedos del alumno se mantengan en todo tiempo dentro del campo de visión de la cámara.

En México, las condiciones socioeconómicas de la población en general demandan que cualquier material educativo que se desarrolle para la inclusión de personas con discapacidad, además de contar con los elementos óptimos para el aprendizaje, debe ser económicamente accesible y/o que pueda reproducirse con bajo costo, con el fin de que llegue al mayor número de alumnos posible. Con este reto en mente, el trabajo que aquí presentamos se enfoca en el desarrollo de una herramienta de enseñanza-aprendizaje que busca combinar el uso de los sentidos, táctil y auditivo para ser un material didáctico lúdico, manipulable, y atractivo para cualquier alumno, para su uso en ambientes inclusivos. Así, el trabajo aquí

descrito no solamente considera la diversidad de contextos de los cuales provienen los estudiantes, sino también asume la existencia de distintas necesidades al momento de aprender. El objetivo principal es lograr un material didáctico accesible, flexible, replicable y de bajo costo que permita aprender a personas con discapacidad visual, pero también que sea atractivo y útil para todos.

II. METODOLOGÍA

Nuestro equipo de trabajo consiste de un grupo colaborativo compuesto por estudiantes de distintos programas de licenciatura en ramas de ingeniería cuyo interés compartido fue desarrollar una propuesta de material didáctico que incorpore el uso de tecnologías para la educación inclusiva de alumnos de nivel educación básica.

Para la división de trabajo se consideró necesario involucrar a un estudiante con enfoque en educación, uno con enfoque en programación, y dos enfocados en el proceso de *makers* con experiencia en manejo de equipo de Control Numérico Computarizado (CNC).

Inicialmente, y con la colaboración de una persona con discapacidad visual, se identificaron necesidades actuales para la educación de las personas que tienen discapacidades físicas. Concretamente, las experiencias giraron alrededor de la discapacidad visual como elemento que dificulta el proceso de enseñanza-aprendizaje y la utilización poco optimizada de tecnología en ambientes locales para facilitar dicho proceso.

Destacando que el uso de adecuaciones en la educación ha sido a partir de la concepción tradicional, se orientó la creación de soluciones con los métodos y técnicas siguiendo las bases del diseño centrado en el usuario y en cumplimiento con el marco teórico del UDL [13], es decir, que se buscó no solamente incorporar elementos que permitieran el aprendizaje de personas con discapacidad visual, sino también que fueran soluciones que eliminen la exclusión de éste estudiante al darle una herramienta que utilizable y atractiva para la población estudiantil en general, de manera que puedan utilizarla al mismo tiempo y en el mismo espacio de aprendizaje.

Nuestro grupo, ante la necesidad de crear un material didáctico que brindará una mejor calidad de educación para personas con discapacidad visual en las aulas de clase, comenzó con lluvia de ideas respecto al tema entre los integrantes del equipo. De estas ideas en que se encontraron distintas formas de abordar el problema, se llegó a una solución relacionada con elementos interactivos para la enseñanza de cualquier tema, que pudiera ser de utilidad para niños en educación primaria, pensando en la forma en que se involucran otros sentidos en el aprendizaje de las personas con discapacidad visual, especialmente a través de herramientas táctiles que favorecen la construcción sensorial de imágenes y la consecuente adquisición de conocimiento relacionado. La esencia de esta idea primaria era la forma en que las personas con discapacidad visual se valen de informaciones táctiles para construir mentalmente la información sobre objetos. Esta idea poco tiempo después fue retroalimentada por los principales coordinadores del proyecto.

En esta etapa, siguiendo las propuestas de *Design thinking*, de manera colaborativa se tomaron ideas y propuestas de otros compañeros, así como de profesores e instructores para incorporar los elementos técnicos que permitieran conectar componentes táctiles con auditivos. El trabajo colaborativo constituyó entonces la construcción del primer prototipo y la programación de los primeros archivos de audio para probar el diseño inicial.

Después de múltiples sesiones de exposición y retroalimentación con pares y profesores del Center for Information Technology Research in the Interest of Society (CITRIS) Invention Lab de la Universidad de California en Berkeley, a partir de las cuales se realizaron modificaciones al diseño original. Asimismo, se tuvo la oportunidad de pedir retroalimentación personas adultas con discapacidad visual, por lo que su experiencia en estos tipos de materiales didácticos fue de gran ayuda para sustentar el diseño.

Es importante mencionar que la educación vista desde el UDL no se limita a involucrar a personas con discapacidades en el proceso tradicional, sino que busca reinventar el proceso educativo de manera que resulte útil y atractivo, potenciador para todos los estudiantes. De esta forma, la nueva propuesta incorporó la utilización del sentido táctil para captar características distintivas de los objetos de estudio deseados, haciendo conexión con archivos de audio que concentran el conocimiento a relacionarse con tales objetos, misma que se llevará a cabo mediante el diseño y programación del prototipo propuesto.

Además de conversar con un profesor especializado en discapacidad visual, recibimos retroalimentación de dos maestras de educación especial, quienes han trabajado directamente con niños que presentan discapacidad visual y otras necesidades educativas. Recopilando los diferentes puntos de vista y tomando en cuenta la experiencia de los involucrados se empezó a generar el prototipo avanzado del material, el cual se presenta en este trabajo. Cabe aclarar que este prototipo se elaboró en función un objeto que permite ejemplificar del uso de la tecnología utilizada, bajo la premisa que puede sustituirse por cualquier objeto de estudio.

Para la construcción de este material se utilizaron tecnologías tales como: Arduino, Rhino 6, Cura y RD Works. Estos programas permiten que los archivos se puedan compartir a otras personas que quieran elaborar el material. De esta manera, cualquier persona dispuesta a crearlo tendrá la facilidad de solo descargar los archivos y ejecutarlos en las máquinas CNC.

III. DESARROLLO

El material didáctico es un sistema que consta de dos componentes: una base de reconocimiento en pueden insertarse objetos de manera intercambiable, y un sistema electrónico que provee de audio en respuesta a la inserción de objetos.

La base consta de círculos concéntricos cortados en Fibropanel de Densidad Media (MDF) (Fig. 1) los cuales embonan en moldes de las mismas medidas impresos en 3D (Fig. 2) que se sostienen en una base con orificios al fondo en donde se encuentran interruptores del tipo “Push button”

(Fig. 3). De esta última base es de donde saldrá todo el cableado que se conecta con la tarjeta de Arduino (Fig. 4). La base circular previamente cortada en MDF (Fig. 1), que no tiene orificios, es el lugar donde se colocan los objetos 3D o representaciones del tema de estudio. En la parte inferior de esta base se colocan los círculos concéntricos de manera que se pueden crear distintas combinaciones al posicionar distintos círculos de manera simultánea o individual (Fig. 5 y 6). De esta forma se podrán insertar las combinaciones de círculos concéntricos en la base con “Push buttons” para crear una especie de código que puede ser identificado por la base que cuenta con el sistema de reconocimiento (Fig. 6). Por poseer cinco círculos concéntricos, el sistema actualmente cuenta con 31 posibilidades de combinaciones distintas, las cuales se incrementan de manera exponencial al añadir círculos en el exterior, ya que la cantidad de combinaciones posible es expresada como $n^r - 1$, donde n son los estados posibles del botón (1,0) y r la cantidad círculos con sus respectivos botones. Por ejemplo, el mismo sistema con 6 círculos tendría la posibilidad de generar 63 combinaciones y al añadir dos círculos más, para un total de 8, el número de combinaciones aumenta a 255.

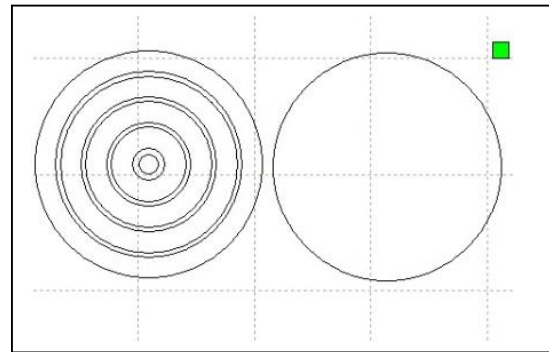


Fig. 1. Círculos concéntricos y base circular diseñados en RDWorks para ser cortados en MDF.

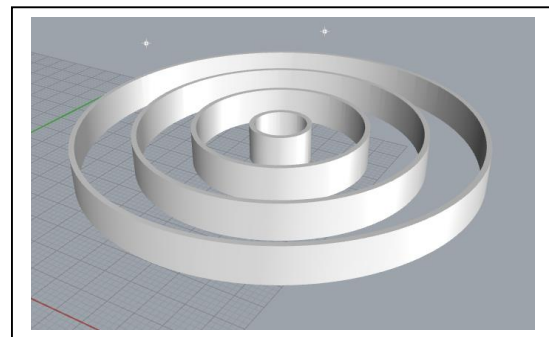


Fig. 2. Molde diseñado en Rhino para imprimir en 3D

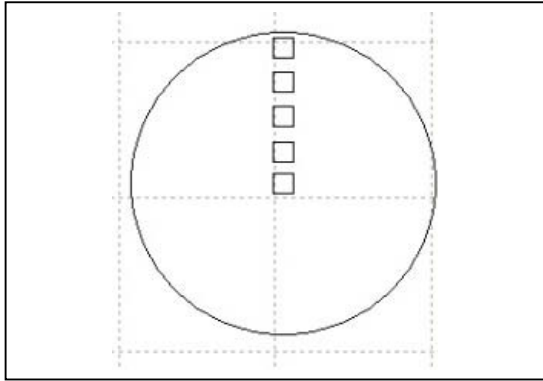


Fig. 3. Diseño de base con orificios para cortar en MDF e insertar "Push buttons"

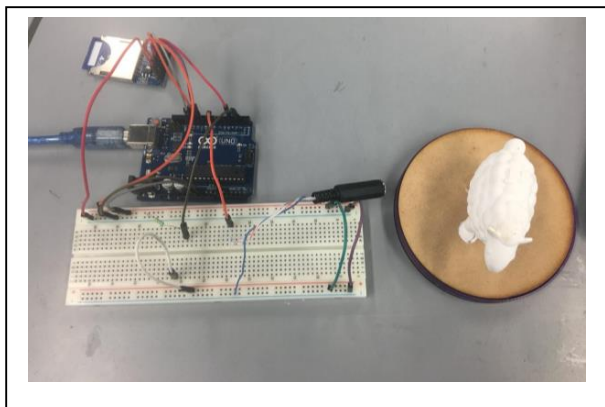


Fig. 4. El cableado del sistema lector de tarjeta SD con un interruptor de prueba.

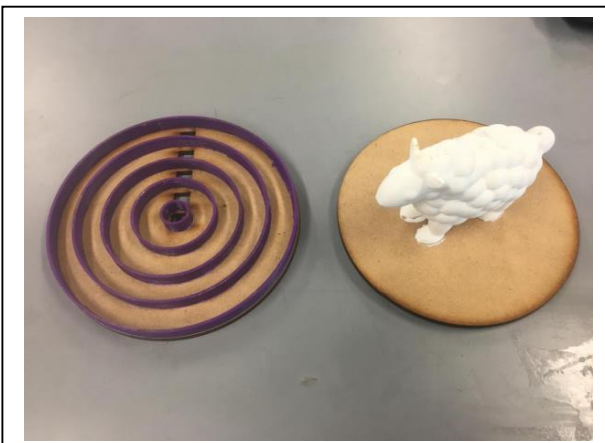


Fig. 5. Ensamblaje de las piezas en MDF y 3D junto con un ejemplo de objeto (Borrego) igualmente impreso en 3D visto por arriba.



Fig. 6. Ensamblaje visto por debajo con un ejemplo de las combinaciones de círculos concéntricos.

Los archivos para la construcción del dispositivo básico se subirán a la plataforma "Inclusive STEM Education" que estará disponible próximamente. Los usuarios podrán obtener los archivos de manera gratuita. Teniendo los archivos, se tiene la posibilidad de hacer uso de cualquier 'Maker Space' en donde se cuente con maquinaria básica de cortadoras láser e impresoras 3D para producir las piezas básicas. Una vez que se elaboran estas piezas, el ensamble del material es prácticamente sencilla. Esto va en función del propósito general de desarrollar un material educativo que incorpore tecnologías y sea fácilmente replicable a un bajo costo.

Por esta misma razón, el código del prototipo está elaborado en un compilador de C++ dentro del mismo software que ofrece Arduino para la programación. Se hicieron uso de las librerías *open source* dentro del directorio de Arduino para las funciones del lector de tarjetas SD a través de un bus SPI y la reproducción de archivos .wav por el dispositivo. De esta manera, las bases con las cuales se realizó la programación permiten que cualquier otra persona pudiese mejorar o cambiar aspectos de la programación de acuerdo con sus necesidades específicas. *Grosso modo*, el sistema consiste en el reconocimiento de distintos "casos" o "códigos" al presionar simultáneamente diferentes combinaciones de "Push buttons" que se encuentran en el fondo de la base donde se coloca el modelo. Una vez reconocido el patrón, se reproduce el audio correspondiente al "caso" con sus respectivas capas de información. Esto se realiza de manera iterativa en un ciclo *while* para que sea posible cambiar de caso de manera inmediata sin esperar a que se termine la reproducción actual de audio para una respuesta más inmediata al usuario.

Así, el dispositivo (en fase prototipo) actual de 5 círculos, como se mencionó en párrafos anteriores, tiene la posibilidad de activar 31 posibles códigos distintos -formados por las diferentes combinaciones posibles de la presencia de los círculos. Cada uno de estos códigos puede accionar la reproducción de audio(s) conteniendo descripciones y explicaciones relativas al objeto que se encuentra en la parte superior del dispositivo. Para el caso ejemplificado en la Fig. 5, en la base se elegiría una de las combinaciones posibles de círculos, y en la programación se ingresaría el audio o audios correspondientes a esa combinación. Los audios pueden versar sobre el borrego (usado como ejemplo de un objeto simple) y su contenido dependerá del nivel educativo en el que se utilizará

como herramienta didáctica. Con el fin de utilizar el dispositivo para presentar información sobre otro objeto de estudio, éste se colocará en una nueva base, con una combinación de círculos distinta, se generará el audio correspondiente y así hasta saturar las 31 combinaciones posibles. En resumen, este dispositivo, en la forma propuesta actualmente, puede servir para describir 31 objetos distintos.

Cabe recalcar que, dada la versatilidad del dispositivo, es posible adaptar o utilizar cualquier material u objeto relacionado con un tema -dentro del programa curricular- que pueda beneficiarse del uso de tocar un objeto en tercera dimensión. Es importante hacer notar que el objeto no necesariamente debe ser producido por medio de una impresión en 3D, sino que puede ser elaborado manualmente con materiales pertinentes, o incluso provenir de la naturaleza (una flor, una hoja, una muestra geológica, etc.), siempre y cuando este objeto se coloque encima de la base que cuente con los círculos concéntricos y se elaboren los códigos y audios para cada objeto sujeto de estudio.

Las características por resaltar del dispositivo aquí descrito son: 1) puede ingresarse el audio descriptivo de los objetos en distintos idiomas, lo que lo hace altamente atractivo para aulas con alumnos que hablen distintas lenguas, 2) las descripciones pueden ser elaboradas para distintos niveles educativos y propósitos del currículo, además de que 3) el sistema puede utilizarse para objetos diversos, ya que el sistema de círculos permite identificar cada uno de ellos y las bases son intercambiables y, 4) el alumno puede explorarlo de manera autónoma cuantas veces le sea necesario. Las aquí descritas son ventajas sobre otros métodos más convencionales para descripción por audio, como puede ser el uso de código QR, ya que el dispositivo aquí descrito es un sistema integrado que no requiere de otros dispositivos o conexiones a internet para reproducir archivos de audio. Esto es debido a que los archivos de voz se cargan dentro del mismo dispositivo y el sistema de detección, por presión de botones, es mucho más simple y ayuda a evitar errores de detección como puede suceder con el uso de cámaras.

IV. CONCLUSIONES

El producto que aquí se describe considera el diseño centrado en el usuario para construir una herramienta didáctica que cumple con las bases del UDL, y que apunta a alcanzar objetivos de aprendizaje para alumnos con discapacidad visual, cumpliendo a su vez con tener un atractivo y funcionalidad para todos los estudiantes. Tomando en cuenta el objetivo principal de este proyecto y la retroalimentación de diversos expertos en el área, se puede concluir que el material elaborado cumple totalmente con el propósito de ser un recurso didáctico para la educación inclusiva de personas con discapacidad visual que se encuentren inmersos en el ambiente del aula regular, junto con sus pares normo-visuales y compañeros con distintos estilos de aprendizaje para quienes el uso de un recurso multisensorial basado en tecnología pueda ser atractivo.

Dada sus características y el uso de tecnología de fácil adquisición, tiene además el potencial para que pueda llevarse a

cabo su implementación no sólo en las aulas educativas de México, sino también en las de otros países del mundo. Además, los materiales que se utilizan logran convertir al dispositivo en un material completamente accesible y de bajo costo, lo que le permite ser elaborado en cualquier Maker Space, sin necesidad de requerir procesos muy complejos para su elaboración. De esta forma, niños y niñas con y sin discapacidad podrán ser partícipes de actividades dinámicas que permitan el aprendizaje integral de los temas necesarios para su crecimiento académico. En resumen, este modelo representa un sistema flexible para abordar diversos temas en la educación. Este sistema convierte, con el uso de tecnología, representaciones tridimensionales simples en materiales educativos accesibles capaces de proveer al alumno de experiencias de aprendizaje multisensoriales en un ambiente inclusivo.

RECONOCIMIENTOS

El presente prototipo se realizó con fondos del Center for Information Technology Research in the Interest of Society (CITRIS) de la University of California en Berkeley (US) y el Tecnológico de Monterrey (México) obtenidos como apoyo al proyecto binacional “Connecting Communities of Makers to Foster inclusive STEM Education”, a cargo de Cristina G, Reynaga-Peña y Eric Paulos. Cabe mencionar que la colaboración y retroalimentación constante fueron factores clave para el desarrollo del proyecto, por lo tanto, para el logro de su propósito. Por ello, agradecemos el acompañamiento y apoyo de Alejandra Díaz de León, Azael Capetillo, Leonardo Glasserman y Juan Manuel Fernández, profesores del Tecnológico de Monterrey, colaboradores en este proyecto. De igual manera agradecemos la retroalimentación de los profesores de educación especial, expertos en discapacidad visual, el Biólogo Oscar Pecina Rivera y los especialistas de LightHouse for the Blind San Francisco. Y de manera especial, a los investigadores Eric Paulos y Chris Myers del CITRIS Invention Lab en UC Berkeley, quienes colaboran en el proyecto.

REFERENCIAS

- [1] D.H. Rose, W.S. Harbour, C.S. Johnston, S.G. Daley y L. Abarbanell, “Universal design for learning in postsecondary education: reflections on principles and their application,” *Journal of postsecondary education and disability*, vol. 19, no.2, pp.135-51, 2016.
- [2] N. Gregg, “Underserved and unprepared: Postsecondary learning disabilities,” *Learning Disabilities Research & Practice*, vol. 22, no. 4, pp. 219-228, 2007.
- [3] E. Hartmann, “Universal Design for Learning (UDL) and Learners with Severe Support Needs,” *International Journal of Whole Schooling*, vol. 11, no. 1, pp. 54-67, 2015.
- [4] A.I. Hashey y S. Stahl, “Making online learning accessible for students with disabilities,” *TEACHING Exceptional Children*, vol. 46, no. 5, pp. 70-78, 2014.
- [5] S. Crichton y S. Kinash, “Enabling learning for disabled students,” en *Handbook of distance education*, 3a ed, M.G. Moore, Ed. New York: Routledge, 2013, pp. 452-466.

- [6] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, “La discapacidad en México, datos al 2014,” México: INEGI, 2014.
- [7] C.G. Reynaga Peña, I. Hernández Valencia, J.N. Rico Moreno y D. Treviño Escobedo, “Educación científica de niños con o sin discapacidad visual por medio de representaciones táctiles auditivas y actividades multi-sensoriales,” IX Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Girona, España, 2013, pp.2997-3001.
- [8] M. Chan y J. Black, “Direct-manipulation animation: incorporating the haptic channel in the learning process to support middle school students in science learning and mental model acquisition,” Proceedings of the 7th International Congress in Learning Sciences ICLS, International Society of the Learning Sciences, 2006, pp. 64-70.
- [9] M. Reiner, “Seeing through touch: the role of haptic information in visualization,” en Visualization: theory and practice in science education, J.K. Gilbert et al., Ed. Dordrecht: Springer, 2008, pp. 73-84.
- [10] M. A. Kolitsky, “3d printed tactile learning objects: Proof of concept”, Journal of Blindness Innovation and Research, vol. 4, no. 1, 2014. [Online] Available: <https://nfb.org/images/nfb/publications/jbir/jbir14/jbir040102.html>. doi: <http://dx.doi.org/10.5241/4-51> [Accessed Sept 15, 2019]
- [11] N. Grice, C. Christian, A. Nota y P. Greenfield, “3D Printing Technology: A Unique Way of Making Hubble Space Telescope Images Accessible to Non-Visual Learners”, J. of Blindness Innovation & Research. vol. 5, no. 1, 2015. [Online] Available: <https://nfb.org/images/nfb/publications/jbir/jbir15/jbir050101abs.html> doi: <http://dx.doi.org/10.5241/5-66> [Accessed Sept 15, 2019]
- [12] L. Shi, H. Lawson, Z. Zhang y S. Azenkot, “Designing Interactive 3D Printed Models with Teachers of the Visually Impaired”, in CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings (CHI 2019), Glasgow, Scotland UK, May 4–9, 2019, ACM, New York, NY, USA, 14 pages. 2019.
- [13] C. G. Reynaga-Peña y C. D. López-Suero, “Strategies and Technology Aids for Teaching Science to Blind and Visually Impaired Students”, en User-Centered Software Development for the Blind and Visually Impaired: Emerging Research and Opportunities, T. Álvarez Robles, F. Álvarez Rodríguez, & E. Benítez-Guerrero (Eds.), Hershey, PA: IGI Global, 2020, pp. 26-37. doi:10.4018/978-1-5225-8539-8.ch002