*Polímeros utilizados en impresoras 3D para promover la inclusión educativa en estudiantes con discapacidad visual*

**Resumen**

El presente trabajo de investigación consistirá en analizar el diseño y la utilización de polímeros en la implementación de material didáctico para la enseñanza enfocado en personas con discapacidad visual. El material didáctico por realizar son teclas impresas en 3D con el sistema braille. Además, se menciona cuál es el funcionamiento de las impresoras 3D, así como los polímeros que se pueden utilizar, tipos de impresión, ventajas y desventajas de estas.

Palabras clave: Impresoras 3D, Sistema Braille, Educación inclusiva, Polímeros

**Introducción**

El material didáctico que se utiliza para promover educación a los estudiantes con discapacidad visual en ocasiones es difícil de conseguir o de elaborar, ya que esto significa un gasto económico para poder obtenerlos. La durabilidad de los productos varía dependiendo de la calidad y uso que se le dé al material didáctico. Se está promoviendo utilizar industria 4.0 para poder realizar dicho material didáctico, innovando el proceso de producción de dicho material, haciendo uso de la impresión 3D para poder obtener costes más bajos, calidad mucho más elevada debido al polímero a utilizar y en un tiempo mucho más rápido. Se determinará si promueve la inclusión educativa en estudiantes con discapacidad visual, esperando que el aprendizaje sea significativo en los estudiantes.

**Marco Teórico**

**Antecedentes**

**Tecnologías 3D**

La impresión 3D constituye una alternativa rápida y de bajo coste frente a técnicas más tradicionales de manufactura, como el modelado o el control numérico de las llamadas máquinas herramienta. Además, permite la creación de instrumentos, herramientas y estructuras altamente especializados, con diseños muy complejos y materiales a elegir entre una amplia gama de posibilidades.

Para crear un modelo 3D el primer paso es su diseño con un software de renderizado 3D (tipo CAD). El modelo se guarda en una estereolitografía (fichero. STL). El software de la impresora reinterpreta la información del fichero. STL y la transforma en secciones horizontales 2D que serán las que la impresora vaya imprimiendo de modo aditivo hasta formar el objeto 3D completo. Existen muchas técnicas diferentes para imprimir modelos tridimensionales.

La impresora dispone de una boquilla que puede desplazarse con mucha precisión en tres ejes, por la que vierte material fundido en forma de hilos que se solidifican inmediatamente después de salir de ella.

Los materiales más comunes empleados en este tipo de impresoras son varios tipos de plásticos, como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y el poliácido láctico (PLA). Pero también pueden usarse con ceras, metales, cerámicas, nylon, cristal e incluso chocolate y otros alimentos para crear piezas de repostería.

Otro método habitual de impresión 3D es el sinterizado selectivo por láser (SLS). Consiste en fundir capas sucesivas de un material en polvo (que puede ser metal, cerámica, plástico o incluso proteínas), marcando el perfil del objeto que se desea imprimir. El polvo se deposita sobre una bandeja, el láser traza el contorno del objeto fundiendo el polvo allí por donde pasa, y la impresora añade la siguiente capa de material, repitiéndose el proceso capa a capa hasta finalizar la producción.

Posteriormente se elimina todo el material suelto que no ha sido fundido, y que puede volver a utilizarse. Este tipo de impresoras permite alcanzar precisiones típicamente de 10-15 micras. Se utiliza para fabricar componentes metálicos en la industria del automóvil, y también para fabricar baterías miniaturizadas para sensores sin cables o implantes médicos. (Ortiz, 2019, pp. 1-2)

**Población destinataria de la experiencia**

Una de las ventajas de la realización de las piezas de esta manera es la creación de un material totalmente inclusivo y universal. Todos los usuarios interesados en descubrir la pieza, sin prácticamente ningún condicionamiento de edad o discapacidad pueden, disfrutar de ella. Al ser una pieza en 3D sobre soporte con braille para tocar, se hace especial énfasis en los usuarios con discapacidad visual, aunque, al añadir la imagen en tinta y los macrotipos, el espectro de difusión es mucho más amplio. Tampoco hay una limitación de edad mínima, ya que siempre son piezas agradables e interesantes al tacto que pueden servir de estímulo para cualquier edad infantil. Al tratarse de un material que está expuesto en dependencias relacionadas con la cultura, bibliotecas y salas de lectura, el incentivo a la lectura de su temática hace del público que va a dichos centros su principal destinatario, aunque siempre se puede ampliar a otros ámbitos, ya sean culturales como didácticos. (Martín-Blas, A. D. 2019)

**Sistema Braille**

El sistema braille fue creado por Louis Braille, en 1824 el cual consta de un sistema de puntos en relieve de la lectura y la escritura para las personas ciegas y con deficiencia visual. El braille es un sistema que permite a las personas ciegas o con discapacidad visual leer cualquier texto usando sus dedos (Sutariya, y otros, 2017). Las personas con discapacidad visual (PCDV) hacen uso de este sistema en la lecto-escritura de documentos, ellos poseen la capacidad de entender cuál es el significado de cada punto con relieve que se encuentre en los libros. A pesar de que las personas con discapacidad visual acceden a los materiales de impresión mediante el uso de libros de audio o escuchar a un lector personal y escribir dictando a alguien, muchos encuentran que pueden acceder a la información más rápidamente y realizar tareas que implican la lectura o la escritura de manera más eficiente con el uso del Braille (Kway, Mohd Salleh, & Abd. Majid, 2010). El sistema braille les permite desenvolverse de manera autónoma, deslizando las yemas de los dedos sobre matrices, determinando los símbolos para formar las palabras, siendo además un método alternativo de lectura para PCDV. El diseño de recursos 3D junto al sistema braille aplicado como innovación educativa, pueden ayudar a favorecer el aprendizaje significativo de estudiantes con discapacidad visual. (Naranjo, B, Banchón, B., Mártinez, C. 2020).

**Las impresoras pueden trabajar con diversos materiales:**

* ABS: Material termoplástico compuesto de acrilonitrilo, butadieno y estireno. El acrilonitrilo provee dureza a grandes temperaturas, el butadieno le da firmeza en temperaturas bajas y protección contra impacto. El cabezal para este material trabaja entre 230 y 245ºC y la bandeja necesita una temperatura de 110ºC.
* PLA: Termoplástico de origen natural biodegradable, está compuesto del ácido poli láctico que se obtiene del almidón de maíz, raíces de tapioca y caña de azúcar. Al imprimirse emana olor a comida y puede utilizarse con los alimentos. Las piezas tienen una contextura más dura que el material ABS y una mayor gama de colores. La impresión se realiza a temperaturas bajas de 190 a 200ºC. Su densidad es 1,3 g.cm3 .
* NYLON: Material muy pegajoso que absorbe mucha humedad, por lo que previamente debe ser secado en un horno, además tiende a encogerse y no se adhiere firmemente a otros materiales como el aluminio y el cristal. Sin embargo es un material que presenta buen acabado, de muy poca viscosidad y muy resistente a temperaturas altas.
* NINJAFLEX: Es un elastómero termoplástico con el que se pueden imprimir piezas de flexibilidad, consistencia y dureza asombrosa. El cabezal puede trabajar a una temperatura de 215ºC.
* LAYWOOD-D3: Es una mezcla entre polímero y polvo de madera, se asemeja a la madera. La temperatura de impresión está entre 190 y 200ºC, simular al material PLA, con la peculiaridad de que al variar la temperatura aumenta o disminuye el color y el tono del objeto impreso.
* HIPS: Se trata de un material de poliestireno que usualmente se utiliza en combinación con el material ABS para la realización de piezas con espacios (huecos), se usa el HIP como material de apoyo, ya que posteriormente se eliminará con D-Limoneo, con cual es soluble y no sufre efectos bajo el influjo de la acetona. La densidad del material es de 1,04 g.cm-3 .
* PET: Terflalato de polietileno, tiene como cualidad su gran propiedad de cristalización, su dureza y resistencia contra golpes e impactos. La densidad que posee es de 1,45 g.cm-3 . Es utilizado en las industrias embotelladoras.
* PVA: (Alcohol polivinilo), plástico biodegradable que se utiliza en cabezales de impresoras de múltiples cabezas, tiene la ventaja de procesarse a 180 ºC aproximadamente, su desventaja está en la absorción de agua y humedad.
* LAYBRICK: Es una mezcla entre yeso y plástico que permite imprimir piezas con texturas lisas o rugosas similares a las piedras
* FLEXIBLE PLA: Filamento gomoso para imprimir objetos de composición flexible. La impresión necesita una velocidad más baja para no provocar fallas en la impresión, resistente a disolventes orgánicos (acetona), el uso común de este material está sirviendo en la impresión de calzados y ruedas.
* HDPE: Resistente a pegamentos y disolventes, es una variedad de polietileno que se compacta y no es biodegradable. Imprime a la temperatura de 225ºC. (Flores, 2016)

(Sánchez, Ferrero, Conde y Alfonso, 2016). La tecnología de impresión 3D es en la actualidad una posibilidad educativa real y a partir de un software de diseño 3D, como puede ser OpenSCAD o FreeCAD, y un software de laminado, como por ejemplo Cura 3D (Ultimaker), podemos imprimir un objeto físico relacionado con cualquier área de conocimiento (Historia, Música, Matemáticas, Tecnología, etc.), que ayudará a los alumnos en su comprensión, mejorará su creatividad y fomentará la motivación e interés de estos por las vocaciones STEM y en concreto por la tecnología

Adams (2017). Mencionan que las impresoras 3D son una tecnología que tendrá un impacto significativo para la educación en los próximos 5 años, asociada de manera muy directa con los Makerspaces, los cuales permiten crear espacios en los que los alumnos pueden desarrollar un aprendizaje basado en proyectos que, junto con la tecnología de impresión 3D, lleven a los estudiantes a explorar conceptos de forma más auténtica, dando lugar a un aprendizaje más significativo, en definitiva, aprender haciendo.

En dicho informe se indica que la impresión 3D en el aula pone al alcance de los alumnos las mismas tecnologías de vanguardia que encontrarán a lo largo de su carrera profesional, permitiendo con ello contextualizar el aprendizaje y dar herramientas a los alumnos para su futuro desarrollo laboral. Además, la creatividad y la motivación de los alumnos aumenta, llegando incluso a señalar que es un recurso adecuado para utilizar con alumnos con necesidades educativas especiales (ACNEE) ya que pueden ayudarles a aprender de forma significativa y fomentar el desarrollo competencial mientras trabajan de forma colaborativa o cooperativa con sus compañeros.

(Lutolf, 2014) 3D, así como los programas de diseño y laminado necesarios. El autor aclara que el tipo de objetos que puedan diseñar e imprimir irá aumentando en complejidad, paralelamente a su conocimiento y manejo del hardware y software empleados como recursos educativos. Además habla de la posibilidad de aprendizaje independiente a través de las diferentes fases en que se divide el trabajo, idear, diseñar, fabricar, revisar, etc., recordando que se trata de una herramienta segura para su utilización en las aulas.

Los resultados obtenidos en el estudio piloto de (Bonet, Meier, Saorín, De la Torre y Carbonell, 2017), con alumnos del Grado en Ingeniería electrónica y automática de la Universidad de La Laguna, sobre la incidencia del uso de impresoras 3D para fomentar la creatividad, revelan que ésta se vio altamente potenciada acercándose a valores observados para alumnos de carreras eminentemente creativas como las Bellas Artes. (Blázquez, Orcos, Mainz, Sáez, 2018, “Impresoras 3D con fines educativos”, párr. 23-28 )

(Mungabusi, 2018, pp. 24) Implementó un robot cartesiano para la elaboración de figuras en relieve, enfocado para personas con discapacidad visual, el prototipo pretende ser una alternativa de bajo costo a una impresora braille convencional. El proyecto intenta tener un impacto social positivo en docentes y padres de familia que tengan estudiantes con discapacidad visual al contar con una herramienta de ayuda para una educación personalizada. El prototipo permite realizar figuras y texto braille en hojas de papel de estándar A4 de 120 gramos, los elementos que conforman el proyecto el Host que es una computadora cargada de un programa que permite realizar el tratamiento de la imagen y simbología Braille y generar los comandos que a posterior se enviara por medio de comunicación USB hacia el robot. Un Arduino MEGA 2560 interpreta los comandos enviados por el Host y traslada todas las señales eléctricas a la parte actuante del prototipo. La generación del relieve es elaborada por un punzón, que basado en un solenoide gener––a la fuerza suficiente en el embolo el cual al golpear la hoja de papel para generar el relieve que conformara el elemento braille. De las pruebas realizadas se obtuvo que el consumo de potencia del prototipo implementado es de 55.65W, que representa un 28% de la potencia requerida por una impresora convencional. Se determinó que las figuras y escritura en braille elaboradas por el prototipo cumplen con la normativa INEN 2850 aplicadas a dispositivos de similares características. Por lo que se puede concluir que el prototipo implementado puede constituirse en una herramienta de ayuda para la elaboración de material didáctico braille similar a equipos comerciales. Es recomendable implementar un sistema de módulos compactos con protección plástica de alta resistencia que reduzca el peso, facilite su transportable y mejore su estética.

A nivel internacional existen diversas iniciativas donde las maquetas impresas con tecnología 3D proponen un mejor acercamiento al espacio urbano y arquitectónico a personas con alguna discapacidad visual.

En 2011, la Asociación Danesa de Ciegos planteó una idea de ladrillos con letras y números en sistema Braille que permitieran a niños con discapacidad visual la lectura a través del tacto. La Fundación Dorina Nowill creó su propia versión en Brasil (2017) y en 2019 la empresa LEGO refinó el concepto y empezó a probarlo en Reino Unido y Noruega por medio del proyecto “Braille Bricks” (Álvarez, 2019).

En lo que respecta a temas patrimoniales, el arqueólogo español Néstor F. Marqués desarrolla desde hace varios años trabajos impresos de gran calidad para museos, en los cuales prioriza el realismo de los elementos arquitectónicos en diversas escalas. En uno de sus proyectos más recientes, la Iglesia de Santa María del Melque (Toledo, España), menciona: gracias a la impresión 3D trasladamos los datos fotogramétricos a la máquina cartesiana que, en un trabajo de más de 10 horas, recreó con todo lujo de detalle la iglesia. De este modo hemos conseguido hacerla más accesible a cualquier persona a través del tacto, especialmente a los invidentes (sic), que pueden sentir el patrimonio con sus manos, algo que de otra forma sería imposible con una estructura de esta magnitud (Marqués, s.f.).

Otro referente importante a nivel internacional es el museo Tattile Statale Omero (Ancona, Italia), considerado un modelo de excelencia en el escenario de oportunidades culturales para personas ciegas y débiles visuales, “un centro de capacitación e investigación, un laboratorio permanente para la mejora y el uso de la obra de arte”, que promueve exposiciones táctiles de importancia nacional e internacional, como afirma su página de Facebook. Al igual que el Vilamuseu, plantea que las maquetas táctiles deben ser lo más fieles posible a la realidad ya que la precisión de los detalles es muy importante en el momento de tocar los elementos de la obra artística. (Hérnandez, 2020)

Metodología común

Todas las piezas parten de una metodología común que plantea un proceso similar: elección de la pieza, dificultad técnica, temporalización de la producción, materiales a emplear y existencia previa de los archivos 3D stl (en su defecto, escaneo y generación del archivo).

• **Elección.** En el proceso de elección de la pieza se tiene en cuenta su originalidad, variedad e imposibilidad de encontrarla reproducida comercialmente. Es en esta fase donde también ha sido muy importante la participación de personas ciegas, cuyas opiniones acerca de las posibles piezas a realizar siempre han estado presentes, así como sus evaluaciones de las pruebas, el testeo de las piezas realizadas y otras muchas sugerencias que siempre se han tenido en cuenta.

**• Temporalización**. Aunque la tecnología de impresión 3D ha evolucionado mucho, los tiempos de impresión siguen siendo relativamente lentos. Algunas de las piezas requirieron en torno a 3 horas de duración para su impresión (pieza de Mafalda y pirámide de Chichén Itzá), mientras otras necesitaron hasta 21 horas (el Trono de Hierro). Dichos tiempos siempre se han tenido en cuenta a la hora de planificar todo el trabajo.

**• Materiales a emplear.** Las impresoras que utilizamos emplean básicamente dos tipos de material, pla y pva (ver el Glosario en el Apéndice B, para más información). Al tratarse de unas piezas de carácter inclusivo y no exclusivamente encaminadas a ciegos y deficientes visuales, se ha optado por hacer cada figura en un color sólido diferente para que se puedan alternar colores con las piezas sucesivas.

**• Archivos stl.** Existen bases de datos en línea en internet (como Thingiverse) que poseen miles de modelos 3D ya aptos para su impresión o, en su defecto, perfectamente manipulables para conseguir la pieza necesaria. Si una pieza en cuestión no existe en su versión 3D, es necesario generar un archivo stl mediante el proceso de escaneado 3D.

Hardware y software

Los elementos de hardware y el equipo informático utilizados han sido los siguientes:   
• Tres impresoras 3D de la marca Ultimaker modelo 3 Extended.   
• Escáner 3D de la marca EinScan, modelo Pro.   
• Ratón háptico de la marca Geomagic, modelo Touch.   
• Ordenadores HP de sobremesa con configuración gráfica avanzada.

Respecto al software, se han utilizado:   
• Programa Cura para impresión y gestión de las impresoras y archivos stl, de la marca Ultimaker. • Freeform, de la marca Geomagic, para el modelado y manipulado de objetos 3D.   
• Software de captura del escáner 3D EinScan Pro para generar archivos stl de objetos reales mediante la realización de fotografías.   
• CorelDRAW para el retoque gráfico de elementos vectoriales.

***Referencias bibliográficas***

* Blázquez, P. J., Orcos, L., Mainz, J., & Sáez , D. (2018). Propuesta metodológica para la mejora del aprendizaje de los alumnos a través de la utilización de las impresoras 3D como recurso educativo en el aprendizaje basado en proyectos. Psicología, Conocimiento y Sociedad, 8(1), 139–166. <https://dx.doi.org/10.26864/pcs.v8.n1.8>
* Rodrigo, A., & Mungabusi, S. (2018). ). Implementación de un robot cartesiano, para la elaboración de figuras en relieve enfocado a personas con discapacidad visual. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Published. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/9256
* Hernández, A., De la torre. C., Mejía, J. (2019). Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual. Un acercamiento a la ciudad histórica. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://doi.org/-60.10.15446/bitacora.v30n2.81771>
* Mejía, H.(2016). Ventajas y desventajas de las impresoras 3D. Rev. Tecnológica, La Paz, v. 12, n.18, 2016.Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1729-75322016000100006&lng=es&nrm=iso>.
* Escobar, C. (2013, 23 de Marzo). Breve historia de la impresión 3D. Impresoras3D.com. Recuperado de <https://goo.gl/N7U9KP>
* Evans, B. (2012). Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing. New york: Technology in action. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=R4qxOQZV9T0C&lpg=PR3&ots=pCDgMZLY0t&dq=Evans%2C%20B.%20(2012).%20Practical%203D%20Printers%3A%20The%20Science%20and%20Art%20of%203D%20Printing.%20New%20york%3A%20Technology%20in%20action.%20&lr&hl=es&pg=PR3#v=onepage&q&f=false>
* Sánchez, L., Ferrero, R., Conde, M. Á., Alfonso, J. (2016). Experiencia de aprendizaje basado en la implementación colaborativa de proyectos para el desarrollo de competencias emprendedoras. En XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa SIIE 2016, 109-114.s.l.: s.n. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/315372474\_Desarrollo\_de\_competencias\_emprendedoras\_mediante\_iniciativas\_de\_aprendizaje\_basado\_en\_proyectos
* Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., y Hall, C. (2016). NMC Informe Horizon 2016. Edición Superior de Educación. Austin: NMC. Recuperado de <http://cdn.nmc.org/media/2016-nmc-horizon-report-HE-ES.pdf>
* Lütolf, G. (2014). Uso de impresoras 3D en la Escuela: La experiencia de 3druncken.ch. Bern: University of Teacher Education. Recuperado de <https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/uso-de-impresoras-3d-en-la-escuela-la-experiencia-de-3drucken-ch_gregor-lc3bctolf1.pdf>
* Bonnet, A., Meier, C., Saorín, J. L., de la Torre, J., & Carbonell, C. (2016). Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. *Arte, Individuo Y Sociedad*, *29*(1), 89-104. <https://doi.org/10.5209/ARIS.51886>
* Beltrán, P., Rodríguez, C. (2017). Modelado e impresión 3D en la enseñanza de las matemáticas: un estudio exploratorio. ReiDoCrea, 6(2), 16-28. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5908617>
* Naranjo, B, Banchón, B., Mártinez, C. (2020). Recursos didácticos 3D para el aprendizaje significativo de estudiantes con discapacidad visual. *Revista Boletín Redipe*, *9*(3), 126–143. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i3.938>
* Martín-Blas, A. D. (2019). La impresión en 3D como incentivo a la lectura para personas con discapacidad visual. Integración: Revista digital sobre discapacidad visual, 75, 184-203. https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual/revista-integracion/2019-integracion-74-75/numero-75/numero-75-completo-de-la-revista-integracion/download