

Tesis doctoral

Diseño y fabricación digital en entornos educativos: Estudio y validación de casos prácticos

Doctorado en educación (D105)
Universidad de La Laguna (España)



Doctorando: **Alejandro Bonnet de León**

Director: **Jose Luis Saorín Pérez**

Codirector: **Jorge de la Torre-Cantero**

2019



Tesis docotral

**Diseño y fabricación digital en entornos educativos:
Estudio y validación de casos prácticos**

Doctorado en educación (D105)
Universidad de La Laguna, España

Doctorando: Alejandro Bonnet de León

Director: Jose Luis Saorín Pérez

Codirector: Jorge de la Torre-Cantero

2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, he de agradecer la labor realizada por mi director de tesis José Luis Saorín por su inestimable dedicación, tiempo y paciencia, estando siempre que lo he necesitado y cuando no, también estaba ahí. Por haberme ayudado en cada paso dado en esta investigación con un criterio ejemplar.

Doy también las gracias a mi codirector de Tesis Jorge de la Torre por su apoyo incondicional, por sus correcciones de textos, por su ayuda a la hora de incorporar nuevos medios tecnológicos con los que experimentar, y por facilitarme las herramientas necesarias para la organización y divulgación de mi trabajo.

Agradezco el tiempo dedicado a Carlos Carbonell, a Jorge Dorribo Camba, a Manuel Contero, a Eliseo García Marrero, a María Cabrera Pardo, a María de la Rosa Pérez, a Carolina Pérez Méndez y por supuesto a Dámari Melián Díaz, por su apoyo y colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Destacar la ayuda y los medios prestados por el Fab Lab ULL, así como a la Fundación General de La Laguna por su apoyo en los proyectos tecnológicos, agradeciéndoles la posibilidad de contribuir en ferias, talleres y experiencias, de las que se ha nutrido esta investigación.

Mis reconocimientos y gratitud, al tiempo y a la dedicación, que nos han prestado los profesores y alumnos para realizar las investigaciones en sus aulas.

Mi infinita gratitud hacia mis padres y familia, por apoyarme siempre incondicionalmente, haciendo posible que yo esté hoy donde estoy, empujándome a perseguir y cumplir mis sueños.

Por último, pero no por ello menos importante, le agradezco a Cecile, su ayuda, su paciencia y su cariño, estando siempre a mi lado, animándome y apoyándome en todo momento.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA DE LOS ARTÍCULOS.	6
Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos	6
Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas	6
Fase III. Casos prácticos	6
RESUMEN GLOBAL DE LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	11
Objetivos generales	11
METODOLOGÍA	11
Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos	11
Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas.	13
Fase III. Casos prácticos	14
CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN REGLADA	15
CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN ESPECIAL	18
RESULTADOS	19
Resultados Fase I	19
A.- Revisión bibliográfica sobre el uso de la fabricación digital en el ámbito del dibujo, diseño y artes plásticas, de la competencia digital y su relación con el modelado y la fabricación 3D.	19
B.- Pruebas de laboratorio de aproximación al hardware y software de fabricación digital.	22
C.- Visitas de campo a entornos de fabricación digital para comprobar de primera mano cómo se pueden integrar estas tecnologías en contextos educativos.	34
Resultados Fase II	35
A.) Resultados Caso práctico N° 1 Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING. Aplicaciones creativas.	36
B.) Resultados Caso práctico N° 1 Impresoras 3D Y Fabricación Digital; Actividades para Centros Escolares.	37
Resultados Fase III	41
RESULTADOS DE LOS CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN REGLADA	41
RESULTADOS DE CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN ESPECIAL	47
DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	63

INTRODUCCIÓN

Esta tesis se enmarca dentro del trabajo de investigación del grupo DEHAES (Desarrollo de Habilidades Espaciales) de la Universidad de La Laguna, que desde 2004 hasta 2011 ha desarrollado diversas tesis doctorales orientadas hacia el análisis de las aportaciones que determinadas tecnologías (Realidad Aumentada, Videojuegos, ...) podrían hacer en la mejora de las habilidades espaciales de estudiantes de Ingeniería.

En 2013, con el trabajo de Tesis *“Aplicación de Tecnologías Gráficas Avanzadas como elemento de apoyo en los procesos de enseñanza-aprendizaje del dibujo, diseño y artes plásticas”* (de la Torre-Cantero, 2013), este grupo inicia una línea de investigación que incorpora el enfoque de educación preuniversitaria y de enseñanzas artísticas, incluyendo novedades tecnológicas aplicadas a los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En 2014, miembros del grupo DEHAES contribuyen a crear el Laboratorio de Diseño y Fabricación Digital de la Universidad de La Laguna (Fab Lab ULL). Este laboratorio forma parte de la red Fab Foundation, vinculada al Center for Bits and Atoms (CBA) del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Las tres principales líneas de investigación desarrolladas en el Fab Lab ULL son:

- 1) Línea 1: Integración de tecnologías de diseño y fabricación digital en diversos contextos educativos
- 2) Línea 2: Ilustración Científica con tecnologías de modelado y animación 3D.
- 3) Línea 3: Tecnologías de diseño y fabricación digital aplicadas a la fundición artística de micro-esculturas.

El contexto de elaboración de este trabajo de tesis se enmarca al Fab Lab ULL, en el que este doctorando ha desarrollado parte de su trabajo de investigación y está asociado a la Línea 1: Integración de tecnologías de diseño y fabricación digital en diversos contextos educativos.

Como referentes previos dentro de esta línea de investigación se han realizado dos trabajos de Tesis:

“Aplicación de tecnologías de bajo coste como estrategia para la incorporación de competencias artísticas y creativas en los procesos de enseñanza aprendizaje del dibujo técnico”

Doctorando: Dámari Melián Díaz

Directores: José Luis Saorín y Jorge de la Torre Cantero

Centro: Universidad de la Laguna

Fecha: diciembre 2018

“Incorporación del patrimonio escultórico en contextos educativos mediante el uso de Impresoras 3D y tecnologías avanzadas de bajo coste”

Doctorando: Cecile Meier

Directores: José Luis Saorín y Jorge de la Torre Cantero
Centro: Universidad de la Laguna
Fecha: marzo 2017

El presente trabajo de investigación supone la tercera tesis doctoral vinculada al Fab Lab ULL en la que se estudia el potencial de las tecnologías de diseño y fabricación digital en contextos educativos.

Este trabajo de investigación, ***“DISEÑO Y FABRICACIÓN DIGITAL EN ENTORNOS EDUCATIVOS: ESTUDIO Y VALIDACIÓN DE CASOS PRÁCTICOS”*** se ha centrado en los procesos de fabricación digital que se pueden llevar a las aulas del ámbito del **Dibujo, Diseño y Artes plásticas**, de tal manera que cualquier profesor pueda incluir este tipo de actividades en su docencia. El trabajo realizado se presenta bajo la modalidad de compendio de artículos. Como fruto del proceso de investigación de esta tesis doctoral, se han escrito ocho Artículos para revistas, siete de ellos publicados o aceptados para su publicación en revistas indexadas.

El diseño y la fabricación digital se refiere al trabajo con programas de diseño CAD (Computer aided design) así como su fabricación posterior mediante maquinaria controlada por ordenador, como por ejemplo impresoras 3D y máquinas de corte. En muchos casos la fabricación digital se asocia a los laboratorios de fabricación digital, llamados también FabLabs, Makerspaces, etc.

Existe cantidad de bibliografía sobre Laboratorios de Diseño y Fabricación Digital en educación, movimientos sociales como los MakerSpaces, bibliografía asociada al uso de la fabricación digital y el uso de la robótica, etc. (García Sáez, 2016). También están apareciendo iniciativas consistentes al llevar estas tecnologías directamente a aulas convencionales sin necesidad de disponer o desplazarse a espacios especializados. Estas propuestas pretenden, además, acercar y facilitar herramientas de diseño y fabricación digital a docentes de distintas áreas para fomentar la inclusión de estas tecnologías en el desarrollo habitual de sus clases. Un ejemplo de este tipo de planteamientos es el proyecto MakerCart (McKay & Peppler, 2013). En el proyecto MakerCart se plantea la creación de un armario transportable que permita el uso de varias herramientas de fabricación como por ejemplo una impresora 3D, una máquina de corte láser, un plotter de corte de vinilo, una máquina de coser, un soldador... Siguiendo este tipo de propuestas, en este trabajo de investigación se van a analizar diferentes herramientas de fabricación digital portátiles y aplicaciones de diseño gratuitas y sencillas que permitan su uso en el propio aula de dibujo, diseño y artes plásticas.

Sin embargo, en el ámbito del dibujo, el diseño y las artes plásticas, esta bibliografía cuenta con menos referencias, y se hace aún más difícil encontrar propuestas de actividades que incidan directamente en nuestro ámbito de estudio. A lo largo de este trabajo de investigación se han realizado nueve casos prácticos en entornos educativos del ámbito del Dibujo, el Diseño y las Artes plásticas, que han permitido, mediante el uso de herramientas digitales, validar diferentes aspectos educacionales como por ejemplo la creatividad, el retrato, la forma y el color, la tipografía 3D experimental, la autoestima, etc. Es interesante señalar que los casos prácticos se han realizado mayoritariamente en aulas de educación regladas, pero dos de los casos prácticos se han realizado en aulas de educación especial. En concreto se han realizado en los talleres del centro psicopedagógico de la Orden de San Juan de Dios en Tenerife. Parte de los trabajos se encuadran

dentro del proyecto Descubriendo Artistas: Arte y Nuevas tecnologías, desarrollado en el centro psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife y financiado por la obra social de la Caixa.

JUSTIFICACIÓN DE LA UNIDAD TEMÁTICA DE LOS ARTÍCULOS.

Como fruto del proceso de investigación de esta tesis doctoral, se han escrito ocho artículos, siete de ellos publicados o aceptados para su publicación en revistas de investigación y 2 ponencias en congresos internacionales.

La presente tesis doctoral, se presenta por compendio de artículos, desglosados en tres apartados diferenciados:

- 1º) Artículos publicados en revistas indexadas
- 2º) Artículos aceptados o en revisión en revistas indexadas
- 3º) Resto de publicaciones (congresos y libros)

Las publicaciones mencionadas, se han clasificado atendiendo al orden establecido en el plan de investigación, divididas en tres fases diferenciadas.

Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos: Tras una primera revisión bibliográfica y un estudio de las tecnologías de bajo coste disponibles en el mercado, se han analizado distintos equipos y aplicaciones para el Diseño y la Fabricación Digital en función de su usabilidad dentro de los centros educativos.

Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas: En esta fase se han realizado 16 propuestas de actividades en centros escolares, que utilizan la fabricación digital en el aula.

Fase III. Casos prácticos: En esta fase se han desarrollado los casos prácticos propuestos en la fase II. Estos casos se han dividido en dos grandes líneas temáticas. La primera de ellas, casos prácticos realizados en entornos de formación reglada y la segunda línea de casos prácticos realizados en entornos de formación no reglada (en concreto realizados en el Centro psicopedagógico de San Juan de Dios en Tenerife).

Las publicaciones correspondientes y los datos obtenidos en cada una de las fases nombradas anteriormente, pueden consultarse en las siguientes tablas.

FASE I		
Artículos publicados en revistas indexadas	Artículos aceptados o en revisión en revistas indexadas	Otras publicaciones
Publicación nº1		Publicación nº9
Artículo Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D Revista Edmetec, Revista de Educación Mediática y TIC Base de Datos: Latindex. Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS) Fecha: 2017		Comunicación a Congreso “Application of Low-Cost 3D Scanning Technologies to the Development of Educational Augmented Reality Content” Congreso Frontiers in Education (FIE 2016), Oklahoma, EEUU. Fecha: octubre 2016
		Publicación nº10
		Comunicación a congreso Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías. Congreso II Congreso Internacional Tecnología y Turismo, accesibilidad 4.0 para todas las personas, DRT4ALL. pp 5-10. Fecha: septiembre 2017

FASE II		
Artículos publicados en revistas indexadas	Artículos aceptados o en revisión en revistas indexadas	Otras publicaciones
Publicación nº2	Publicación nº6	Publicación nº11
Artículo Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa Revista Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 29 N°1 pp 85-100 (enero 2017) Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS) Índice de impacto: Indice SJR (2017) = 0,157	Artículo Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography (<i>En revision</i>) Revista International Journal of Technology and Design Education Base de Datos: JCR Índice de impacto: Base de Datos: JCR Índice de impacto:1.339 Journal Citation Reports (2017))	Libro: Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje Editorial: Bubok ISBN eBook en PDF: 978-84-685-3550-0 ISBN Libro en papel: 978-84-685-3549-4
Publicación nº3	Publicación nº7	
Artículo Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos Revista Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 30 N°2 pp 295-309 (Abril 2018) Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS) Índice de impacto indice SJR (2017) = 0,157	Artículo Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste (<i>Aceptado, pendiente de publicación</i>) Revista Edutec: Revista electrónica de tecnología educativa Base de Datos: Latindex. Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS)	

FASE III		
Artículos publicados en revistas indexadas	Artículos aceptados o en revisión en revistas indexadas	Otras publicaciones
Publicación nº4	Publicación nº8	
Artículo Makerspaces teaching learning environment to enhance creative competence in engineering students Revista Thinking Skills and Creativity, Vol. 23 pp 188-198 (enero 2017) Base de Datos: JCR Índice de impacto JCR (2017) = 1,33	Artículo The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments (<i>Aceptado, pendiente de publicación</i>) Revista International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET) Base de Datos: Scopus, Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS) Índice de Impacto: SJR (2017): 0,218	
Publicación nº5		
Artículo Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos Revista Comunicación y Pedagogía nº 291-292 (diciembre 2016) Sistema de evaluación: CARHUS Plus+ 2014		

RESUMEN GLOBAL DE LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Objetivos generales

- A. Analizar los distintos tipos equipos y aplicaciones para el Diseño y la Fabricación Digital en función de su adecuación a los centros educativos.
- B. Diseñar propuestas de actividades que faciliten la incorporación de estas tecnologías en el aula en las asignaturas relacionadas con Dibujo, Diseño y Artes Plásticas.
- C. Realizar casos prácticos, con profesores, que nos permitan obtener una primera valoración para comprobar la viabilidad de las actividades en un entorno educativo.
- D. Realizar casos prácticos de actividades de fabricación digital en aulas convencionales con alumnos, que nos permitan validar los aspectos educativos de dichas actividades.
- E. Divulgar las acciones y los resultados obtenidos para procurar la interacción dentro de la comunidad educativa.

METODOLOGÍA

La metodología de esta tesis se divide en tres fases.

Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos

Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas

Fase III. Casos prácticos:

Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos: Tras una primera revisión bibliográfica y un estudio de las tecnologías de bajo coste disponibles en el mercado, se han analizado distintos equipos y aplicaciones para el Diseño y la Fabricación Digital en función de su usabilidad dentro de los centros educativos.

La primera fase comprende el estudio y análisis de las tecnologías y aspectos educativos del diseño y fabricación digital. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de estudios relativos a la fabricación digital en entornos educativos y de la competencia digital y su relación con el modelado y la fabricación 3D, pruebas de laboratorio de aproximación a las tecnologías de fabricación digital y visitas de campo a entornos de fabricación digital para comprobar de primera mano cómo se pueden integrar estas tecnologías en contextos educativos.

Como parte de la primera fase en el estudio de medios tecnológicos, se testeó diferente hardware de fabricación digital de bajo coste que se consideraba apropiado para Laboratorios de Diseño y Fabricación Digital, en entornos escolares. Dichas pruebas incluían impresoras 3D, fresadoras CNC, plotters de corte, máquinas de corte láser y escáneres 3D. Entre el hardware testeado destaca la adquisición de un kit de fresadora CNC de sobremesa, Stepcraft 420. Se realizó el montaje de dicha máquina de corte por control numérico, que necesitó alrededor de un mes para su montaje definitivo y puesta en marcha. Se realizaron pruebas con distintos materiales para comprobar su funcionamiento y posibilidades en entornos educativos. También se hicieron pruebas con plotters corte de sobremesa como, por ejemplo, con el modelo Cameo de Silhouette y el modelo Curio de la misma marca. Por último, se gestionó la adquisición de una máquina de corte láser de sobremesa, denominada Glowforge. Esta máquina tiene características singulares que podía hacer pensar su inclusión en contextos educativos. Sin embargo, este producto estaba en fase de preventa y solo ha estado disponible, de forma definitiva, hasta la fase final de este trabajo de tesis.

Por otro lado, se realizó un análisis comparativo de escáneres 3D de bajo coste. En este estudio se probaron dos tipos de escáneres: de mano como el 3D Sense, la Kinect de Xbox360 o el Structure Sensor para iPad, y escáneres de plato giratorio como el Ciclop de BQ y el Makerbot Digitizer.



(a)

(b)

(c)

Figura 3a: Montaje de CNC,
Figura 3b: Plotter de corte Silhouette Cameo con su bolsa de transporte
Figura 3c: escaneado con el escáner 3DSense

Dentro de las pruebas de laboratorio, además se testearon diferentes softwares y aplicaciones orientadas a la creación gráfica que permitieran conectar con herramientas de fabricación digital. Se testearon una serie de aplicaciones que se consideran factibles para su uso en el ámbito del dibujo diseño y artes plásticas.

Por otro lado, se realizaron visitas de campo a los llamados Fab Labs, Makerspaces, etc. Entre ellos podemos destacar las realizadas al Media-Lab Prado de Madrid, FabLab de Barcelona, Taller de fabricación de Aldeas Infantiles en Tenerife, Social Makers en La Laguna, Fab Lab del IES de Geneto, incluso la visita a la National Gallery de Dublin, que tenía expuestos diseño realizados

con fabricación digital, y por supuesto, el Laboratorio de Fabricación digital de la Universidad de La Laguna (Fab Lab ULL). En todas estas visitas, se quería ver el espacio físico, la organización, los proyectos llevados a cabo en estos entornos, la maquinaria que utilizan...). Estas visitas se realizaron en los dos primeros años de este trabajo de investigación y aunque no se hizo un proceso formal de recogida de datos, sirvieron para poder entender bien los espacios de fabricación, así como estimular la creación de propuestas propias educativas que utilizaran estas tecnologías.



(a)

(b)

(c)

Figura 4a: Media-Lab Prado Madrid; Figura 4b: Fab-Lab Barcelona; Figura 4c: Fab-Lab ULL

Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas: En esta fase se han realizado dieciséis propuestas de actividades en centros escolares, que utilizan la fabricación digital en el aula.

En la segunda fase se realizaron dieciséis propuestas de actividades, con el objetivo de implementar la fabricación digital en el aula y en ámbitos relacionados con el dibujo, diseño y artes plásticas. Se llevó a cabo dos de las propuestas como casos prácticos en un aula para valorar la implementación de ellas en entornos educativos.

Las 16 propuestas se han clasificado en:

Apartado 1: Introducción a la fabricación digital mediante tecnologías de papel

Apartado 2: Obtención de archivos tridimensionales

Apartado 3: Edición de modelos 3D digitales

Apartado 4: Modelado y creación de archivos 3D

Apartado 5: Maquinarias opcionales para otros materiales

En primer lugar, se realizó una actividad de ingeniería de papel con el fin de probar la viabilidad de las actividades y de los medios tecnológicos propuestos en cada caso.

CASO PRÁCTICO N° 1	
Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING. Aplicaciones creativas	
Organizador	Fab Lab ULL a través de la Fundación General de la Universidad de la Laguna
Lugar y Fecha	La Laguna, 18 al 27 de febrero de 2016
Participantes	4
Objetivos	El objetivo de la investigación es validar las propuestas referidas a fabricación digital con papel y fresadora CNC.
Hardware	Ordenadores, Plotter de corte, escáner 3D y Stepcraft 420
Software	Pop-Up Card Designer, Foldify, Silhouette Studio, 123D Make, Meshmixer e Illustrator
Herramientas de medición	Ejecución de propuestas en el aula
Publicación Asociada	Publicación N.º11

El segundo caso práctico, se llevó a cabo a través del Cabildo de la Palma, con una actividad dirigida a profesores de toda la isla, para valorar la implementación de las propuestas realizadas en el aula. Los datos de esta actividad son los siguientes:

CASO PRÁCTICO N° 2	
Impresoras 3D Y Fabricación Digital; Actividades Para Centros Escolares	
Organizador	Cabildo de la Palma y Fundación General de la Universidad de la Laguna
Lugar y Fecha	La Palma, 27, 28 y 29 de abril de 2016
Participantes	16 profesores de: Dibujo ESO y Bachillerato. Tecnología ESO y Bachillerato. Informática Ciclo Grado Superior Medios Informáticos Ciclo Formativo Textiles Artísticos 1er y 2do Ciclo Tecnologías Tic ESO y Bachillerato. Fotografía Ciclo Grado Superior Materiales y Tecnología Joyería Ciclo Grado Superior Sistemas electrónicos y automatizados de Grado Medio y grado Superior.
Objetivos	Validar con profesores de distintos ámbitos, que las propuestas realizadas, pueden ser viables en aulas de secundaria.
Hardware	Ordenador, impresora 3D, Plotter de corte y escáner 3D
Software	Tinkercad, Meshmixer, Project Shapeshifter, 123D Make, Makerbot desktop.
Herramientas de medición	Cuestionario de conocimientos previos y cuestionarios de satisfacción en escala Likert
Publicación Asociada	Publicación N.º11

Fase III. Casos prácticos: En esta fase se han desarrollado los casos prácticos propuestos en la fase II. Estos casos se han dividido en dos grandes líneas temáticas. La primera de ellas, casos prácticos realizados en entornos de formación reglada y la segunda línea de casos prácticos realizados en entornos de formación no reglada (en concreto realizados en el Centro psicopedagógico de San Juan de Dios en Tenerife).

En esta tercera fase se realizaron siete casos prácticos en centros cuyo objetivo era la medición de su impacto educativo. Para ello se utilizaron metodologías cuasi-experimentales con técnicas cualitativas y cuantitativas de medición. En esta fase se han desarrollado algunas de las actividades propuestas en la fase II.

CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN REGLADA

CASO PRÁCTICO N° 3	
Personalización de muñecos articulados a partir de la fabricación digital	
Lugar y Fecha	Universidad de La Laguna, Curso 15/16
Participantes	44 estudiantes del Grado en Ingeniería Automática y Electrónica
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si el uso de tecnologías de fabricación digital fomenta la creatividad . Además, se pretende la validación de la actividad.
Hardware	Ordenadores, impresora 3D, y escáner 3D
Software	Meshmixer, Tinkerplay y Makerbot desktop.
Herramientas de medición	Test TAEC de creatividad y Cuestionario satisfacción en escala Likert
Publicación Asociada	Publicación N.º 2 y 4

CASO PRÁCTICO N° 4	
Realización de un retrato tridimensional a partir de la fabricación digital	
Lugar y Fecha	Universidad de La Laguna, Curso 15/16
Participantes	13 estudiantes del Máster de Formación del Profesorado
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si se puede implementar el uso de escáneres 3D y herramientas de fabricación digital, en aulas convencionales, para crear retratos tridimensionales, cumpliendo, además, con los contenidos del apartado del currículo de, el retrato
Hardware	Ordenadores, impresora 3D, Plotter de corte y escáner 3D

Software	123D Make, Silhouette Studio, Makerbot desktop.
Herramientas de medición	Cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert. Además, se contabilizó el número de piezas terminadas y el tiempo empleado para realizar la actividad.
Publicación Asociada	Publicación N.º3

CASO PRÁCTICO N.º 5	
Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital (Programas online y plotter de corte)	
Lugar y Fecha	Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife Curso 17/18
Participantes	63 alumnos del 4º de ESO de la asignatura dibujo diseño y artes plásticas
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si para impartir los contenidos de forma y color , se pueden implementar el uso de programas vectoriales y herramientas de fabricación digital en el aula.
Hardware	Programas online y plotter de corte
Software	Silhouette Studio, Convertio y Gravit.io
Herramientas de medición	Número de tarjetas pop-up realizadas, errores de la máquina y Cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N.º7

CASO PRÁCTICO N.º 6	
Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital II (ipads y plotter de corte)	
Lugar y Fecha	Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife Curso 17/18
Participantes	72 alumnos de 3º de la ESO de la asignatura dibujo diseño y artes plásticas
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si es posible digitalizar una actividad que normalmente se lleva a cabo con herramientas manuales, creando tarjetas pop-up mediante

	aplicaciones de dibujo vectorial en un ipad y un plotter de corte portátil.
Hardware	iPads y plotter de corte
Software	Silhouette Studio y Vectary
Herramientas de medición	Número de tarjetas pop-up realizadas, errores de la máquina y cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N. °8

CASO PRÁCTICO N° 7	
Realización de tipografías tridimensionales a partir del uso de moldes impresos en material flexible	
Lugar y Fecha	Escuela de Arte y Superior de Diseño Fernando Estévez, Santa Cruz de Tenerife, Curso 17/18
Participantes	8 alumnos de la asignatura de Tipografía y Comunicación, que se imparte en las Enseñanzas Artísticas Superiores de Diseño.
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si es posible la creación de Tipografías 3D experimentales en el aula, mediante moldes flexibles impresos en 3D.
Hardware	Ordenadores, impresora 3D
Software	Litophane, Ultimaker Cura, Adobe Illustrator, FontLab y Meshmixer
Herramientas de medición	Realización de réplicas de tipografías 3D, Cuestionario de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N. °6

CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN ESPECIAL

CASO PRÁCTICO N°8	
Realización de figuras a escala real	
Lugar y Fecha	Centro Psicopedagógico (C.P.P.) de la orden de San Juan de Dios en Tenerife Curso 14/15
Participantes	9 usuarios del centro.
Objetivos	El objetivo de la investigación es la comparación de tiempos entre diferentes métodos de fabricación digital
Hardware	Ordenador y proyector digital
Software	123D Make
Herramientas de medición	Medición de tiempos y piezas realizadas
Publicación Asociada	Publicación N. °5

CASO PRÁCTICO N°9	
Formación en el uso de las Nuevas tecnologías a personas con discapacidad intelectual	
Lugar y Fecha	Centro Psicopedagógico de la orden de San Juan de Dios en Tenerife Curso 17/18
Participantes	8 usuarios del centro
Objetivos	El objetivo de la investigación es estudiar la mejora de la creatividad , de la autoestima y de la autopercepción de la felicidad , a partir del aprendizaje y uso de medios tecnológicos.
Hardware	Ordenador y proyector digital
Software	384 Puzzles for Kids, Maze Puzzle Deluxe, Cubos mágicos, Logic Free, SketchBook de Autodesk o Castle Blocks, etc.
Herramientas de medición	Cuestionario de conocimientos previos, Test de Abreacción de la creatividad (TAEC), Test de felicidad Test PHI (Pemberton Happiness Index), Cuestionarios de satisfacción
Publicación Asociada	Publicación N°10

RESULTADOS

En este apartado se detalla un resumen de los resultados de investigación tomando como referencia las fases metodológicas en las que se ha desarrollado este trabajo:

Fase I. Estudio y análisis de medios tecnológicos

Fase II. Diseño de actividades educativas con Fabricación Digital en Dibujo, Diseño y Artes Plásticas

Fase III. Casos prácticos

Resultados Fase I

En esta fase se realizaron las siguientes actuaciones:

- A. Revisión bibliográfica sobre el uso de la fabricación digital en el ámbito del dibujo, diseño y artes plásticas, de la competencia digital y su relación con el modelado y la fabricación 3D.
- B. Pruebas de laboratorio de aproximación al hardware y software de fabricación digital.
- C. Visitas de campo a entornos de fabricación digital para comprobar de primera mano cómo se pueden integrar estas tecnologías en contextos educativos.

A.- Revisión bibliográfica sobre el uso de la fabricación digital en el ámbito del dibujo, diseño y artes plásticas, de la competencia digital y su relación con el modelado y la fabricación 3D.

El término Fab Lab o el de Laboratorio de Fabricación Digital, surge en el ámbito académico del MIT (Massachusetts Institute of Technology). Los Fab Labs, son entornos donde se fabrican objetos físicos a escala personal o local caracterizándose por el uso de máquinas como impresoras 3D, máquinas de corte o tecnologías como los scanner 3D (Walter-Herrmann & Büching, 2013). Posteriormente, surgieron movimientos que integraron estos espacios de fabricación en la educación. Cabe destacar, por ejemplo, los centros denominados Fabschool o los llamados Fablearn (Blikstein, Libow Martinez, & Allen Pang, 2015). Además, han surgido infinidad de propuestas para acercar estas tecnologías al público en general, entre ellas, se puede destacar un proyecto desarrollado en Málaga consistente en un FabLab móvil, una serie de máquinas de bajo coste integradas y casi fusionadas en un triciclo, que permite la movilidad de estas tecnologías para darlas a conocer. El dispositivo FabMóvil fue desarrollado por el equipo de Ehcofab durante el año 2013, y fue financiado a través de una campaña de crowdfunding en la plataforma Goteo con la colaboración de la Universidad Internacional de Andalucía. (Sánchez-Laulhé Sánchez de Cos, y otros, 2013). Otro ejemplo de este tipo de planteamientos es el proyecto MakerCart (McKay & Peppler, 2013). El proyecto MakerCart plantea la creación de un armario transportable que permita el uso de varias herramientas de fabricación como por ejemplo una impresora 3D, una máquina de corte láser, un plotter de corte de vinilo, una máquina de coser, un soldador, etc. Los

principios de este proyecto, no solamente consisten en proporcionar las herramientas, sino que, de hecho, persigue fomentar la cultura de la Fabricación y el Diseño digital, dentro de la cultura docente preexistente.

Siguiendo este tipo de propuestas, en este trabajo de investigación se van a analizar diferentes herramientas de fabricación digital portátiles y aplicaciones gratuitas y sencillas que permitan su uso en la propia aula de dibujo, diseño y artes plásticas.

De igual manera, se han multiplicado las posibilidades educativas afines a la fabricación digital con propuestas formativas como FormaLab. El concepto esencial de este proyecto, es transferir conocimiento desde el modelo de Fab Lab a un nuevo modelo llamado FormaLab teniendo como base lo desarrollado en los diferentes Fablabs. Este nuevo modelo pretende implantarse dentro de la educación de adultos, en el contexto de un centro de formación formal. (FormaLab, 2011). Esta diversificación de propuestas y proyectos ha sido posible gracias al abaratamiento de la tecnología y al incremento de la demanda de profesionales en los campos de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, más conocido por su acrónimo en inglés STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) (García Sáez, 2016).

En este trabajo de investigación, se pretende focalizar la investigación en el ámbito del dibujo el diseño y las artes plásticas, por ello, resulta más interesante centrarnos en el acrónimo STEAM que incluye aspectos de Arte y Diseño en educación (Breton, y otros, 2015). De esta manera se estudiarán aspectos no sólo de contenidos relacionados con la Ciencia, la Tecnología, la Ingeniería o las Matemáticas, sino enfocados al desarrollo de la creatividad y el diseño. Esta tendencia ha llegado también a España, favoreciendo la aproximación de algunos centros educativos a los espacios de Diseño y Fabricación digital, con el fin de complementar su aprendizaje, creando incluso, materiales didácticos específicos para sus asignaturas. Otra apuesta por la incorporación de las tecnologías de fabricación digital en educación, se desarrolló en el SEK Ciudadcampo (Madrid), un colegio privado, donde se puso a disposición de los alumnos un espacio Maker, para trabajar materias como ciencia, tecnología o diseño. (Martínez Torán, 2018)

En los ámbitos de STEAM no existe mucha bibliografía sobre la introducción de actividades de fabricación digital en las aulas. Aun así, las referencias generales sobre Fab Labs y educación se encuentran incluidas en la parte de antecedentes de las publicaciones: **Nº2 Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa**, en la publicación **Nº4 Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students**, en la publicación **Nº 7: Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste**, y en la publicación **Nº 8: The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments**.

También, y de cara a la investigación de hardware y software, se han tenido en cuenta trabajos previos referidos a las impresoras 3D y su uso en educación (Rivero Trujillo & Saorín Pérez, 2014), para valorar qué tipo de impresoras eran las más apropiadas para desarrollar las posteriores pruebas y actividades. Uno de los factores imprescindibles a tener en cuenta a la hora de utilizar las impresoras 3D son los tiempos de impresión. Otros autores también nos hablan de la frustración que puede suponer la incorporación de estas tecnologías en entornos escolares,

teniendo en cuenta que, las prácticas de fabricación digital en la escuela son muy diferentes a las prácticas Maker realizadas en espacios específicos fuera de la escolarización formal (Nemorin, 2016). Así, estas tecnologías se han de entender como una nueva herramienta de trabajo con sus ventajas y con sus inconvenientes.

Como puede observarse en la comparativa realizada en la publicación **Nº5 Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos**, la impresión 3D no siempre será la tecnología adecuada para crear objetos tridimensionales, más aún cuando dichos objetos sean de gran tamaño o se pretendan obtener varios objetos en una única sesión de clase.

Además, para comprobar si el uso de materiales 3D impresos tenían sentido y repercusión en entornos educativos, se realizó un caso práctico, en el que se aprovechó parte del material docente elaborado por Cecile Meier, en concreto, un catálogo escultórico de versiones digitales de modelos tridimensionales para analizar la adquisición de competencias digitales a través de tecnologías de bajo coste como la visualización e impresión 3D (Meier, 2017). Los resultados de este caso pueden consultarse en la publicación **Nº1: Competencia digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D**. A pesar de que el uso y manejo de modelos tridimensionales digitales aún no está concebido dentro de la competencia digital de los currículos de secundaria y Bachillerato, muchos autores relacionan la competencia digital con el manejo de modelos 3D, el modelado 3D y entornos virtuales tridimensionales (Realidad aumentada, virtual...). En esta prueba se propuso como alternativa a los modelos impresos en 3D, la visualización de los archivos en dispositivos digitales y su divulgación a través de enlaces, repositorios online o códigos QR. Aunque los alumnos prefieren el manejo de los modelos 3D tangibles impresos en 3D, se ha de tener en cuenta el tiempo de fabricación mediante una impresora 3D.

B.- Pruebas de laboratorio de aproximación al hardware y software de fabricación digital
Para crear modelos 3D, ya sea para imprimir en 3D, fabricar de otra manera o visualizar en dispositivos mediante visores 3D o realidad aumentada, se realizó un estudio sobre escáneres 3D de bajo coste como estrategia para crear modelos 3D a partir de objetos reales que puedan integrarse posteriormente en escenas de realidad aumentada, incidiendo en sus características y costes para valorar su implementación en las aulas. Se analizaron distintos dispositivos de escaneo 3D, Kinect de Xbox 360, Structure Sensor para iPad, Sense 3D, Ciclop BQ y Makerbot Digitizer. Este estudio está publicado en la publicación **Nº9 comunicación para el congreso internacional Frontiers in Education (FIE 2016). Oklahoma, EEUU**. En esta publicación se evaluaron las tecnologías de escaneo 3D más asequibles y adecuadas para aplicaciones educativas, a partir del análisis comparativo de las tecnologías de escaneo 3D de bajo costo, su uso, integración con la realidad aumentada y su implementación como herramientas educativas. Los factores considerados en nuestro estudio incluyen la portabilidad, el tamaño del modelo, la resolución y los requisitos de postproducción.

Además, de las posibilidades extraídas de este estudio sobre los escáneres 3D, también se decidió implementar esta tecnología en otras actividades posteriores como en la publicación **Nº3 Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos**. La utilización de los escáneres 3D en este tipo de actividades, facilita la reproducción de retratos tridimensionales, con bastante fidelidad con respecto al original por parte de todo el alumnado, democratizando sus resultados frente al virtuosismo individual a la hora de modelar un retrato humano. Así, estos dispositivos, permiten realizar este tipo de ejercicios en entornos ajenos a las Bellas Artes o a las artes plásticas, permitiendo incorporarlos en otras ramas del conocimiento como por ejemplo en la ingeniería electrónica y automática, tal y como puede consultarse en las publicaciones **Nº2 Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa**, y en la publicación **Nº4 Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students**.

A continuación, se muestra la Tabla 01 donde se describen los 5 escáneres analizados durante la tesis:

Tabla 01: Escáneres 3D							
Dispositivo	Tipo	Coste	Software	Coste del Software	Tamaño del objeto	Resolución	Observaciones
Kinect Xbox 360 	Manual (adaptado)	\$	Reconstruct Me Skanect Pro	Gratis \$\$	> 7.5 cm	0.9 mm	Requiere fuente de alimentación externa. No es ergonómico, pero las asas y los trípodes se pueden comprar por separado.
Structure Sensor + iPad 	Manual	\$\$	ItSeez 3D Skanect Pro	Gratis \$\$	> 40cm and < 3.5 m	0.9 mm	Portátil y compacto. iPad requerido.
Sense 3D 	Manual	\$\$	Sense 3D	Incluido con el Hardware	> 35 cm and < 3.5 m	0.9 mm	Simple y fácil de usar. Conexión a PC. Potente software de edición. No se necesita postproducción.
Ciclop BQ 	Sobremesa	\$\$	Horus	Gratis de Código abierto	< 25 cm diámetro and < 20 cm tall	0.5 mm	Proyecto de código abierto. Necesita montaje. Software de autocalibración. Objetos grandes o pesados no soportados.
Makerbot Digitizer 	Sobremesa	\$\$\$	MakerWare	Incluido con el Hardware	< 20.3 cm	0.5 mm	Uno de los primeros escáneres de bajo coste. Objetos grandes o pesados no soportados.

Aparte de las herramientas para obtener modelos digitales como los escáneres 3D, se probaron tecnologías de fabricación digital tales como impresoras 3D y máquinas de corte. Dichas máquinas tenían que ser apropiadas para entornos educativos y viables para asignaturas del ámbito artístico.

En cuanto al uso de impresoras 3D, cabe destacar que principalmente se buscó que fueran robustas, seguras y transportables ya que debían permitir su traslado y uso en aulas de secundaria. En segundo lugar, se necesitaban aparatos de sencillo funcionamiento y que permitieran obtener

impresiones precisas en un tiempo relativamente corto. Por último, también se buscaba la opción de imprimir empleando distintos materiales e incluso poder cambiar los cabezales de impresión por otros como por ejemplo un cabezal láser. Estos tres factores fueron tenidos en cuenta a la hora de decidir los tipos de impresoras con la que trabajar en función de la actividad a desarrollar, así como el lugar donde se pretendían emplear.

A continuación, se muestra la tabla 02 donde se describen las 3 impresoras probadas y empleadas durante la tesis.

Tabla 02: Impresoras 3D					
Dispositivo	Coste	Software	Coste del Software	Tamaño del objeto	Observaciones
 MakerBot Replicator 2	\$\$\$	MakerBot desktop	Incluido con la máquina	200 x 300 x 200	PROS: Carcasa semicerrada. Impresora de sencillo funcionamiento, que permite obtener buenos resultados sin necesidad de grandes ajustes. Extrusión directa. Se distribuye montada. CONTRAS: Coste elevado. No permite software de terceros
 Legio de León 3D	\$	Ultimaker Cura	Gratuito	200 x 200 x 200	PROS: Impresora económica que permite crear piezas 3D en múltiples materiales. Extrusión directa. Permite software de terceros. CONTRAS: Carcasa abierta Se distribuye desmontada. Precisa de sendos ajustes
 da Vinci 1.0 Pro de XYZ	\$\$	XYZware Pro	Incluido con la máquina	200 x 200 x 200	PROS: Carcasa cerrada. Impresora relativamente económica que permite intercambiar su cabezal de impresión por un cabezal de grabado y corte laser. Se distribuye montada. CONTRAS: No permite software de terceros. Extrusión indirecta. Su mantenimiento y arreglos son complicados.

El uso de estas impresoras puede consultarse en las publicaciones **Nº1 Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D**, en la publicación **Nº2 Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia**

creativa, en la publicación **Nº4 Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students**. Es interesante señalar que una de las impresoras (Legio de la marca León 3D) se ha utilizado para imprimir con filamento flexible. Para ello ha sido necesario modificar la impresora, tanto en las piezas como en las variables de configuración. Todos los datos de dichas modificaciones están detallados en la publicación **Nº6 Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography**.

Por otro lado, también se probaron distintas máquinas de corte que cumplieran con esos criterios de robustez, seguridad y transportabilidad, anteriormente exigidos a las impresoras 3D, ya que, las máquinas de corte o plotters de corte, funcionan con una cuchilla tipo cutter de precisión informatizada que permiten cortar materiales tales como papel, cartulina, vinilo, etc. Los dispositivos que se probaron son portátiles y de bajo coste, susceptibles de ser incorporados a entornos educativos como Cameo de Silhouette y Curio también de Silhouette. Estas compactas máquinas permiten su fácil transporte y son adecuadas para su uso en aulas convencionales. Únicamente precisan de un ordenador para conectarse y así poder volcar los archivos diseñados. Por ello, estos dispositivos pueden ser una alternativa al corte convencional con tijeras o cúter, permitiendo un mayor detalle y precisión en los cortes a ejecutar, además de posibilitar la realización de ejercicios de corte complejo en edades y etapas educativas, en las que el uso del cúter está desaconsejado.

Empleando estos dispositivos se realizó una comparativa entre el corte convencional con tijeras y el corte automatizado con los dispositivos propuestos, midiendo los tiempos de corte, y el número de piezas realizadas. Esta comparativa puede consultarse en la publicación **Nº3 Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos**. Esta actividad se realizó tanto con profesores de secundaria como con alumnos Universitarios.

Así mismo, y dado el sencillo funcionamiento de estos dispositivos de corte, también se decidió probarlos en entornos educativos preuniversitarios para valorar las posibilidades de uso que ofrece en alumnos de menor edad (3º y 4º de educación secundaria obligatoria). Los resultados obtenidos de estas dos prácticas quedan reflejados en las publicaciones **Nº 7 Diseño y fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste** y en la publicación **Nº 8 The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments**. En dichas publicaciones se pone de manifiesto que todos los alumnos de esta etapa escolar han sido capaces de emplear las tecnologías propuestas para realizar la actividad de corte automatizado, valorando positivamente su uso, por lo que además de la validación de los medios tecnológicos se puede relacionar dicho uso, con la adquisición de competencias digitales por parte de los alumnos, de forma que también se cumple con el currículo educativo de las asignaturas en las que se han desarrollado estas actividades.

Además, se experimentó con máquinas de corte y fresado para materiales de mayor grosor y dureza como madera, metacrilato, porexpan, etc. En este caso, se montó y se probó la máquina de corte CNC StepCraft 420. Este dispositivo si bien es compacto y de fácil transporte, su elevado ruido, residuos y peligrosidad, hicieron que únicamente se empleará en el caso práctico **Nº2 Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING. Aplicaciones creativas**.

En este caso se empleó para realizar piezas en Goma Eva de 4mm que fueron diseñadas digitalmente por los alumnos empleando la aplicación 123D Make.

En la siguiente tabla se puede observar una descripción de las cuatro máquinas de corte testeados durante la tesis:

Tabla 03: Máquinas de corte					
Dispositivo	Coste	Software	Coste del Software	Área máxima de corte	Observaciones
 SILHOUETTE CAMEO 3	\$	Silhouette Studio® Designer Edition y edition plus Silhouette Studio® Business Edition.	Gratis con el software	30.5 cm x 30.5 cm 30.5 cm x 3m (para rollo de vinilo)	Máquina de corte, con una cuchilla pequeña que corta más de 100 materiales. Posee conexión por bluetooth. Compatible con Pixscan
 Silhouette Curio	\$	Silhouette Studio® Designer Edition y edition plus Silhouette Studio® Business Edition.	Gratis con el software	Hasta A4	Herramienta de corte, que permite cortar diferentes materiales de grosor medio como por ejemplo cartón o goma eva, a parte de materiales más finos como el papel. Posee la opción de dos cabezales en un mismo carril para realizar un mismo trabajo con dos opciones (ejemplo rotulador y cuchilla).
 Stepcraft 420	\$\$	CNC drive. Cut 2D, desktop. PhotovCarve. Vectric vcarve. Win Pc-Nc.	Incluido con el Hardware	40 x 45 cm	Máquina de fresado y corte por control numérico, pensada para el comercio pequeño y privado y para uso educativo. Los modelos de esta serie son 210, 310, 420, 600 y 840, según el tamaño.
 Glowforge Basic	\$\$\$	Es compatible con formatos tales como svg. Jpg. svg. entre otros	Gratis de Código abierto	A3	Es una cortadora y grabadora láser, funciona mediante un fino haz de luz que da el corte preciso a diferentes materiales. Finalmente este dispositivo no se pudo testear.

Paralelamente, se realizaron pruebas con 27 aplicaciones y programas CAD sencillos y de bajo coste, que permitieran realizar diseños digitales para ser utilizados con los dispositivos anteriormente nombrados. Estas aplicaciones se agrupan dentro de tres tipologías diferentes: Edición, creación y obtención de modelos 3D, Edición y creación de dibujos 2D y programas específicos para la impresión 3D.

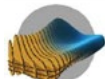
En la siguiente tabla se pueden encontrar las aplicaciones de edición, creación y obtención de modelos 3d Digitales, probadas durante la tesis:

Tabla 04		
Edición, creación y obtención de modelos digitales 3D		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Blockify: Creación de estructuras tridimensionales a partir de cubos. Tableta digital	1
	Cookie Caster: Crea moldes para galletas u otras pastas Online	1
	Tinkercad: Modelado 3D sencillo a partir de formas predefinidas Online	3
	123D Sculpt+: Modela figuras orgánicas como monstruos, bichos, etc. Tableta Digital	2
	Image to Litophane: Transforma fotografías o dibujos en relieves 3D y permite su descarga en formatos aptos para modificación e impresión tridimensional. Online	1
	Tinkerplay: Crea personajes a partir de elementos prediseñados Tableta digital / Ordenador con Windows 10	1
	Sketchup: Programa de modelado 3D para arquitecturas, terrenos, etc. Ordenador	5
	Sculptris: Modelado orgánico (como arcilla digital) Ordenador	4
	123D Design: Modelado 3D para tabletas Tableta digital	5
	Formit: Modelado para bocetos arquitectónicos Tableta digital	5
	Meshmixer: Programa de modelado orgánico y para arreglar y prepara modelos para su impresión 3D Ordenador	4
	3DC.io — 3D Modeling: Modelado 3D a partir de figuras geométricas. Tableta digital / Ordenador / Online	3
	TrueSculpt Virtual Sculpture: Modelado orgánico 3D Tableta digital	3
	123D Catch: Crea un modelo 3D a partir de fotografías Tableta digital y ordenador	1
Galerías 3D online	Sketchfab: https://sketchfab.com/ Thingiverse: http://www.thingiverse.com/ 123D gallery: http://www.123dapp.com/Gallery/content/all Makershop: http://www.makershop.co/ Pinshape: https://pinshape.com/ My mini Factory: https://www.myminifactory.com/ You imagine: https://www.youimagine.com/	1

La investigación y uso de estas aplicaciones de edición, creación y obtención de archivos digitales 3D, hizo posible la formulación de actividades que posteriormente fueron desarrolladas en entornos educativos. Así, para la realización de la actividad propuesta en las publicaciones **Nº2 Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa**, y en la publicación **Nº4 Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students**, se utilizaron las aplicaciones Tinkerplay y la aplicación Meshmixer. Empleando Tinkerplay, se obtuvieron las piezas necesarias para crear muñecos articulados a partir de elementos prediseñados, mientras que con la aplicación Meshmixer, se editaron y combinaron, los archivos obtenidos del escaneado 3D de los alumnos y el sistema de unión de piezas propuesto por Tinkerplay, para obtener muñecos articulados personalizados con los rostros de los alumnos participantes en la prueba.

Otra de las actividades propuestas y contenidas en la publicación **Nº6 Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography**, se realizó gracias a las posibilidades que ofrece la aplicación Online Litophane. Esta aplicación elabora relieves tridimensionales a partir de imágenes bidimensionales, asignando una altura a la luminosidad de cada color presente en la imagen.

Respecto a las aplicaciones utilizadas para la creación de dibujo 2D, se probaron ocho aplicaciones de acuerdo a la tabla 5.

Tabla 05		
Edición y creación de modelos digitales 2D		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Foldi: Creación de papertoys Tableta digital	2
	Foldify: Creación de papertoys Tableta digital	2
	Pop-Up Card Designer: Creación de tarjetas Pop Up Ordenador	3
	Pepakura Designer: Creación de Papertoys a partir de archivos 3D Ordenador	3
	123D Make: Transforma diseños 3D en plantillas para construir en papel, cartón, madera, etc Ordenado /tableta digital	3
	Slicer for Fusion 360: Despiece por capas de archivos 3D para corte Ordenador	3
	Vector Magic: Vectoriza imágenes para corte por control numérico Online / Ordenador	2

	Autodesk SketchBook: Creación de dibujos en 2D • Tableta digital • *Los dibujos obtenidos de esta app se pueden utilizar para crear relieves 3D con Image to Lithophane	2
---	--	---

Estas aplicaciones permiten trabajar tanto a partir de modelos 3D digitales como a partir de modelos bidimensionales, creando las plantillas necesarias para posteriormente, montar figuras tridimensionales utilizando materiales tales como el papel el cartón o la goma Eva entre otros. Además, en este apartado también se encuentran aplicaciones de dibujo digital y vectorización, que se han valorado como aptas y útiles para realizar algunos de los pasos previos necesarios para el corte automatizado.

Estas aplicaciones se han utilizado por ejemplo para la realización de las plantillas necesarias para la actividad desarrollada en la publicación **Nº3 Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos**. En esta actividad se utilizó la aplicación 123D Make, que posteriormente pasó a llamarse Slicer for Fusion 360. Esta aplicación permite convertir archivos 3D digitales en plantillas bidimensionales para su posterior montaje en diversos materiales.

Otra de las aplicaciones utilizadas, para desarrollar actividades fue Pop-Up Card Designer, una aplicación que permite crear de forma sencilla, las plantillas imprimibles necesarias para crear tarjetas Pop-Up. Esta aplicación se utilizó en el caso práctico **Nº1 Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING**. Aplicaciones creativas, donde quedó reflejada su utilidad de cara a la realización de actividades de creación de tarjetas desplegables, que posteriormente fue incluida en la publicación **Nº11 Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje**.

En último lugar, se trabajó con aplicaciones que permitieran insertar archivos 3D en impresoras para su impresión. Algunos de estos programas son de uso específico según la impresora a utilizar, y otros, permiten generar archivos para un mayor número de dispositivos. Estos programas “genéricos” presentan un amplio número de parámetros personalizables, que permiten una gran personalización de las características de impresión.

En este caso se probaron cinco aplicaciones diferentes, las cuales quedan reflejadas en la Tabla número 6.

Tabla 06		
Programas específicos para la impresión en 3D		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Makerbot Desktop: Transformar diseños 3D para la impresora 3D. • Ordenador	2
	Repetier Host: Transformador de archivos para Impresoras 3D • Ordenador	2

	Simplify 3D: Transformador de archivos para Impresoras 3D • Ordenador	2
	Ultimaker Cura: Transformador de archivos para Impresoras 3D • Ordenador	3
	Pronterface: Transformador de archivos para Impresoras 3D Ordenador	4

A partir de la investigación y uso de las diferentes aplicaciones que permiten preparar y enviar archivos a las impresoras 3D, se logró una configuración adecuada de los parámetros de impresión para la utilización de filamentos flexibles con la impresora Legio, empleando la aplicación Ultimaker Cura. Estas configuraciones hicieron posible generar actividades en las que, en lugar de imprimir modelos en materiales rígidos, se pudieran realizar impresiones en materiales flexibles, lo que a su vez derivó en la impresión de moldes flexibles de elementos tridimensionales. Esta nueva posibilidad se desarrolló en la publicación **Nº6 Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography**, permitiendo obtener múltiples réplicas de un modelo digital, empleando la reproducción por vertido sobre moldes reutilizables. El uso de esta técnica se ha presentado como alternativa a la impresión 3D ya que permite la obtención de varias piezas tridimensionales en una única sesión de clase, salvando algunas de las dificultades presentes tanto en la impresión de prototipos (tiempo) como en la elaboración posterior de moldes flexibles utilizando técnicas y materiales convencionales (costes y necesidad de espacios y conocimientos específicos).

Por otro lado, y en otra línea de trabajo presente en esta investigación, se han probado múltiples aplicaciones para la adquisición de conocimientos básicos sobre el uso de tecnología táctiles digitales como el caso de las tablets. Esta parte de la investigación se centra en las necesidades expuestas en el caso práctico **Nº9 Formación en el uso de las Nuevas tecnologías a personas con discapacidad intelectual**. Para el desarrollo de este caso práctico, las aplicaciones empleadas para la formación, se han dividido en tres grupos: Actividades de iniciación, Actividades de lógica y desarrollo y mantenimiento cognitivo y actividades de creación en dos y tres dimensiones.

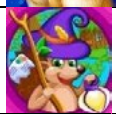
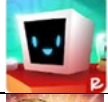
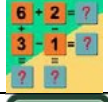
Así, las actividades de iniciación han quedado recogidas en la siguiente tabla:

Tabla 07		
Aplicaciones de iniciación		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Memory: Juego de encontrar las parejas iguales	1
	384 Puzzles para niños: Puzzles sencillos de diferentes temáticas.	1
	Sort it up 1, 2 y 3: Juego para aprender a ordenar por categorías	1
	Maze Game 2 y 3: Juego de laberintos sencillos	1
	Rompecabezas PUZZINGO: Puzzles animados	2
	Rompecabezas juegos gratis para niños: Puzzles sencillos de diferentes temáticas e incluso convierte fotos propias en puzzles.	2
	Encuentra la Diferencia: Juego sencillo de encontrar las diferencias entre dos imágenes	2
	Kids games 1,2,3,4 y 5: Conjunto de minijuegos educativos	2
	Juegos gratis para 2 jugadores: Conjunto de minijuegos para varios jugadores en una sola pantalla	3
	BGC: Juegos para dos jugadores: Conjunto de minijuegos para varios jugadores en una sola pantalla	3

Este primer grupo de aplicaciones se caracteriza por su sencillez. En este caso, su utilización para el aprendizaje de gestos de interacción básicos con dispositivos táctiles, las hace apropiadas para el trabajo con estos alumnos ya que en el 99% de los casos, desconocían el correcto funcionamiento de este tipo de dispositivos. Las primeras sesiones de trabajo se realizaron utilizando una pantalla táctil de 70”, de tal modo que facilitase el aprendizaje en grupo.

A continuación, y una vez que se hubieran adquirido las habilidades de uso necesarias para trabajar con dispositivos táctiles, se emplearon aplicaciones de mayor complejidad, procurando un aprendizaje progresivo a través de las mismas, así como el desarrollo y el mantenimiento de habilidades cognitivas como la memoria, la lógica, la resolución de problemas, aplicaciones de lectura y matemáticas para los casos con mayor capacidad e incluso aplicaciones de iniciación a la programación.

Las aplicaciones pertenecientes a este apartado han quedado referenciadas en la siguiente tabla:

TABLA 08		
Aplicaciones de desarrollo y mantenimiento cognitivo		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Unir animales, números, letras: Juego estilo laberinto en el que se han de unir animales, números y letras por parejas	2
	Maze Puzzle Deluxe: Juego de laberintos con pad de direcciones	3
	Juegos para niños 6-9 Gratis: Conjunto de minijuegos de lógica para niños	3
	Lógica Juegos gratis, niños 3+: Conjunto de minijuegos de lógica para niños	3
	Masha y el oso - Juegos educativos: Conjunto de juegos educativos	3
	Heart Box - Puzzles de física: Juego sencillo de lógica y física	4
	Fontanero 2: Juego rompecabezas	4
	Connect Trees: Juego rompecabezas	4
	Roll the Ball: Hidden Path: Juego rompecabezas	4
	Cubos Mágicos-Ejercicio Mental: juego rompecabezas en 3D	4
	4 fotos 1 palabra: Juego de encontrar la palabra común	5
	Sopa de Letras: juego de encontrar las palabras propuestas	3
	Juegos de Memoria: Conjunto de minijuegos para ejercitar la memoria	4
	Kids Math Puzzle: Juego de resolución de problemas matemáticos	4
	Tablas de multiplicar – juego matemáticas gratis: Juego de resolución de problemas matemáticos	4

	Bit by Bit - Programming Game: Juego de iniciación a la programación para niños	5
---	---	---

Estas aplicaciones se caracterizan, de forma general, por presentar distintos niveles de dificultad que permiten un aprendizaje progresivo y adaptable en función de los conocimientos de los alumnos. También se ha de señalar que la mayoría de estas aplicaciones y sus actividades, no precisan de lectoescritura, factor muy importante a tener en cuenta ya que un alto porcentaje de los alumnos no sabe leer ni escribir. En otros casos, en los que los alumnos si tienen una buena capacidad lectora, se les proporcionan aplicaciones para el mantenimiento y aprendizaje de nuevos términos. Estas aplicaciones que pueden ser desde sopas de letras hasta aplicaciones similares al ahorcado, proporcionan un medio de aprendizaje lúdico, alejado de actividades de lectura convencionales que persiguen fines parecidos, lo que proporciona una mayor aceptación y voluntad de trabajo por parte de los alumnos.

Como parte del desarrollo de este caso práctico, también se pretende el fomento de la creatividad. Por ello, dentro de las aplicaciones a trabajar, se ha realizado una selección de aquellas que permiten la creación de historias y contenidos en formato digital, así como el diseño de elementos susceptibles de ser impresos en 3D a partir de aplicaciones básicas de modelado y creación 3D.

TABLA 09		
Aplicaciones de creación en dos y tres dimensiones		
Programa	Descripción	Dificultad: 1 - 5
	Dibuja tu juego: Juego que permite crear niveles propios a partir de dibujos	3
	Castle Blocks: Juego de creación de castillos en 2D	3
	Toontastic 3D: Creación de historias animadas	4
	Autodesk SketchBook: Creación de dibujos en 2D ● Tableta digital *Los dibujos obtenidos de esta app se pueden utilizar para crear relieves 3D con Image to Lithophane	2
	3DC.io — 3D Modeling: Modelado 3D a partir de figuras geométricas. ● Tableta digital / Ordenador / Online	3
	Blockify: Creación de estructuras tridimensionales a partir de cubos. ● Tableta digital	2

Los resultados obtenidos mediante la utilización de estas aplicaciones han sido satisfactorios ya que se ha conseguido formar a los alumnos tanto en la creación de juegos, en la narración de historias y se ha logrado una formación inicial en la creación de elementos tridimensionales, que posteriormente han podido ser materializados con la impresión 3D.

C.- Visitas de campo a entornos de fabricación digital para comprobar de primera mano cómo se pueden integrar estas tecnologías en contextos educativos.

Como resultado fundamental, se han podido ver de primera mano las maquinarias y actividades realizadas en cada uno de estos espacios. Si bien es cierto que, en la gran mayoría de estos, una de las principales herramientas que se utilizan son las impresoras 3D, también es cierto que cada vez más se están apostando por tecnologías de fresado y corte tanto por medios como la CNC o el Láser. Estas últimas, se están posicionando como valiosas alternativas a la impresión 3D ya que permite crear piezas de mayor tamaño en un tiempo razonable, lo que abre la puerta a la elaboración de proyectos de mayor envergadura que los que se podrían realizar empleando únicamente la impresión tridimensional.

También se ha podido comprobar como el uso de las aplicaciones CAD está cada vez más extendido, estando presentes las mismas aplicaciones, en la mayoría de los espacios de trabajo.

Resultados Fase II

A partir de la investigación llevada a cabo durante la fase I, se desarrolló en la segunda fase un primer borrador de un libro de actividades de fabricación digital, en él, se propusieron 16 actividades en las que se emplearán los medios y procesos, que se probaron en la fase anterior. Este borrador, contaba con actividades enfocadas al ámbito del dibujo, el diseño y artes plásticas, pretendiendo hacer accesible la fabricación digital a partir de diversos ejercicios en los que se incidía en la utilización de tecnologías avanzadas tanto para la edición digital como para la creación física de figuras tridimensionales.

Dentro de las actividades propuestas, se pueden encontrar ejercicios con distintos materiales y procesos de construcción, desde actividades en las que se emplean aplicaciones digitales con las que crear plantillas para construir figuras tridimensionales con materiales como papel, cartón o goma eva, o ejercicios en los que se crearán modelos digitales 3D, que posteriormente se imprimirán tridimensionalmente.

Estas actividades aspiran a ser una iniciación a la fabricación digital, contribuyendo a facilitar el uso de las aplicaciones y herramientas digitales propuestas. Por ello, se presentan ejercicios de distintas dificultades, permitiendo así su realización en entornos con distintas capacidades y conocimientos, procurando a su vez, que dichos conocimientos aumenten conforme se realicen los ejercicios de menor complejidad, siendo finalmente capaces de abordar las actividades más complejas.

En la mayoría de los casos se proponen aplicaciones gratuitas o de un coste relativamente bajo, accesibles a centros educativos. De igual manera, la maquinaria sugerida, se encuentra entre los 250 y los 1500 €.

Las propuestas son las siguientes:

Apartado 1: Introducción a la fabricación digital mediante tecnologías de papel

ACTIVIDAD 1: CREACIÓN DE MUÑECOS DE PAPEL

ACTIVIDAD 2: CREACIÓN DE TARJETAS DESPLEGABLES O POP UP

1. Ejercicio: Creación de una tarjeta con una figura geométrica

2. Ejercicio: Creación de una tarjeta con texto

3. Ejercicio: Creación de una tarjeta a partir de un Skyline

ACTIVIDAD 3: CORTE AUTOMATIZADO CON PLOTTER DE CORTE

ACTIVIDAD 4: CREACIÓN DE PLANTILLAS PARA MONTAR FIGURAS TRIDIMENSIONALES

1. ejercicio 123D Make. Construcción 3D con corte a mano

2. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Curio

3. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Silhouette Cameo

Apartado 2: Obtención de archivos tridimensionales

ACTIVIDAD 6: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D A PARTIR DE FOTOGRAMETRÍA

ACTIVIDAD 7: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D EN GALERÍAS ONLINE

ACTIVIDAD 8: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D A PARTIR DE ESCANEOS 3D

Apartado 3: Edición de modelos 3D digitales

ACTIVIDAD 9: EDICIÓN DE MODELOS 3D DIGITALES
ACTIVIDAD 10: LÁMPARA PERSONALIZADA
ACTIVIDAD 11: PERSONALIZACIÓN DE MUÑECOS ARTICULADOS CON TINKERPLAY
ACTIVIDAD 12: PERSONALIZACIÓN DE LA CABEZA DE UN MUÑECO DE LEGO

Apartado 4: Modelado y creación de archivos 3D

ACTIVIDAD 13: CREACIÓN DE MOLDES DE GALLETAS
ACTIVIDAD 14: CREACIÓN DE MODELOS 3D CON TINKERCAD
ACTIVIDAD 15: CREACIÓN DE UN CUÑO
ACTIVIDAD 16: CREACIÓN DE TEXTOS PERSONALIZADOS EN 3D
ACTIVIDAD 17: PERSONALIZACIÓN DE UN LLAVERO
ACTIVIDAD 18: CREACIÓN DE UNA CASA

Apartado 5: Maquinarias opcionales para otros materiales

ACTIVIDAD 19: CREACIÓN DE TRAZADOS PARA CORTE AUTOMATIZADO EN CNC
ACTIVIDAD 20: CREACIÓN DE TRAZADOS PARA CORTE AUTOMATIZADO EN CNC

Para comprobar la viabilidad de incorporar estas actividades en entornos educativos, se desarrollaron dos casos prácticos en los que se propuso la realización de gran parte de estas actividades. Estos casos prácticos fueron:

- A. Caso práctico N° 1 **Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING. Aplicaciones creativas.**
- B. Caso práctico N° 2 **Impresoras 3D Y Fabricación Digital; Actividades Para Centros Escolares.**

A.) Resultados Caso práctico N° 1 Diseño y fabricación digital con técnicas de PAPER ENGINEERING. Aplicaciones creativas.

Este caso práctico fue diseñado para validar las propuestas relacionadas con la fabricación digital con papel, cartón y goma eva, en el ámbito del dibujo, diseño y artes plásticas. Fue organizada por la Fundación General de la Universidad de la Laguna, desde el 18 al 27 de febrero de 2016. En concreto las actividades a validar son las siguientes:

Apartado 1: Introducción a la fabricación digital mediante tecnologías de papel

ACTIVIDAD 1: CREACIÓN DE MUÑECOS DE PAPEL
ACTIVIDAD 2: CREACIÓN DE TARJETAS DESPLEGABLES O POP UP

- 1. Ejercicio: Creación de una tarjeta con una figura geométrica
- 2. Ejercicio: Creación de una tarjeta con texto
- 3. Ejercicio: Creación de una tarjeta a partir de un Skyline

ACTIVIDAD 3: CORTE AUTOMATIZADO CON PLOTTER DE CORTE
ACTIVIDAD 4: CREACIÓN DE PLANTILLAS PARA MONTAR FIGURAS TRIDIMENSIONALES

- 1. ejercicio 123D Make. Construcción 3D con corte a mano
- 2. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Curio
- 3. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Silhouette Cameo

Con el desarrollo de esta práctica se pudo comprobar que las actividades del apartado 1 son viables en un aula.

Los medios tecnológicos eran apropiados para su incorporación en actividades en entornos educativos, validando la utilización de dispositivos como Cameo y Curio de Silhouette en actividades de corte de papel y cartulinas, desechando otros dispositivos de corte como la CNC Stepcraft. Estas decisiones se tomaron tras verificar que:

- La preparación de archivos y la utilización de los dispositivos Curio y Cameo fueron óptimas para su implementación en el aula dada su sencillez y su escasa peligrosidad en cuanto a sus herramientas de corte y su producción de residuos.
- Stepcraft, presenta problemas para su utilización en aulas convencionales ya que produce un elevado nivel de ruido, crea residuos en forma de polvo que pudieran ser nocivos o desaconsejables en dichos entornos y la adaptación de los archivos para su corte automatizado requerían un alto grado de especialización con programas específicos, así como una mayor dedicación de tiempo para elaborarlos.

B.) Resultados Caso práctico N° 1 Impresoras 3D Y Fabricación Digital; Actividades para Centros Escolares.

Esta práctica fue diseñada para validar las propuestas incorporadas en el libro de actividades correspondiente a la publicación N°11 de esta tesis; **Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje**. Dicha validación se realizó con un grupo de dieciséis profesores de secundaria de la isla de la Palma. Esta práctica se desarrolló en las instalaciones del MAB – Museo Arqueológico Benahoarita, en Los Llanos de Aridane durante el 25, 26 y 27 de abril de 2016, y fue organizada por el Cabildo insular de la Palma y Fundación General de la Universidad de la Laguna.

Durante el desarrollo de estas prácticas, en primer lugar, se pasó un cuestionario inicial en donde entre otros ítems, se recabaron datos acerca del uso y disposición de medios tecnológicos en los distintos centros a los que pertenecían los profesores. Por otro lado, se pasó un cuestionario de satisfacción cada uno de los días de actividad con el fin de evaluar la dificultad y la idoneidad de las actividades propuestas entre otros. Así, de los datos obtenidos se obtuvieron los siguientes datos de interés:

Cuestionario inicial	
	PORCENTAJE N=16
PREGUNTA	Afirmativo
Te gustaría introducir actividades de fabricación digital en tu asignatura	93,75%
En tu centro se enseña modelado 3D en secundaria	18,75%
En tu centro se enseña modelado 3D en Bachiller	18,75%
Te gustaría disponer de un libro de actividades de fabricación digital para centros escolares	93,75%
Crees que el tiempo de tus clases es una limitación para actividades de fabricación digital	37,50%
Crees que el coste de la maquinaria es una limitación para implantar actividades de fabricación digital en centros escolares	87,50%
Dispone tu centro de un aula de ordenadores de fácil acceso y donde se puedan instalar diferentes aplicaciones de fabricación digital	100%

Crees que tus alumnos disponen de ordenadores particulares para su uso en tareas relacionadas con su educación	87,50%
Si se les pidiera, tus alumnos llevarían ordenador portátil a clase	62,50%
Crees que tus alumnos disponen de dispositivos móviles particulares para su uso en tareas relacionadas con la educación	81,25%
Si se les pidiera tus alumnos llevarían dispositivos móviles a clase	87,50%
Conoces el concepto de Laboratorio de fabricación digital	56,25%
Te gustaría disponer de un Laboratorio de fabricación digital externo a tu centro escolar donde realizar actividades complementarias	87,50%
Dispones de proyector en tu clase	81,25%
Tendrías posibilidad de tener una impresora de papel en clase	81,25%
Se permite en tu centro que los alumnos utilicen sus dispositivos móviles para tareas de aprendizaje	81,25%

Como se puede ver en los datos, la mayoría de los profesores tiene interés en introducir actividades de fabricación digital en sus aulas y consideran que tienen los medios adecuados para hacerlo.

Cuestionario sobre propuesta actividades de fabricación digital	
Pregunta	Media (desviación estándar)
La actividad de crear moldes personalizados me ha parecido apropiada para introducirla en entornos educativos	4,13 (0,88)
Las propuestas planteadas en el libro de actividades fomentan la creatividad	4,38 (0,89)
Me gustaría disponer de un libro de actividades de fabricación digital adaptado a centros educativos	4,75 (0,44)
Como docente me veo capaz de desarrollar estas actividades con mis alumnos	4,44 (0,63)
La posibilidad de trabajar con figuras personalizadas aumenta la motivación	4,69 (0,48)
Creo que el uso de estas aplicaciones y actividades es posible en mi centro educativo	4,06 (0,83)
La actividad de personalizar objetos me ha parecido adecuada para introducir las herramientas básicas de Meshmixer	4,00 (0,87)
La actividad de crear un llavero personalizado me ha parecido adecuada para introducir el uso de SketchUp en Fabricación Digital	4,11 (0,78)
Me gustaría conocer y realizar más actividades de este tipo para hacerlas con mis alumnos	4,18 (1,01)
La actividad de crear cabezas en goma eva ha sido útil para introducir el programa 123D Make	4,18 (0,73)
Creo que esta actividad es una buena alternativa y complemento a la impresión 3D	4,41 (0,80)
El uso de los materiales propuestos para esta actividad me parece adecuado para entornos educativos	4,18 (0,81)
La práctica y la comparación entre las distintas formas de obtención de modelos 3d me ha resultado muy interesante	4,41 (0,71)
Creo que el uso de esta aplicación y actividad es posible en mi centro educativo	4,36 (0,71)

Como se puede comprobar, todas las preguntas referidas a las actividades propuestas han obtenido valoraciones de los profesores entre 4 y 5.

Cuestionario sobre software y hardware	
Pregunta	Media (desviación estándar)
Tinkercad me ha parecido una aplicación adecuada para realizar actividades en mi centro educativo	3,88 (0,88)
Sculp + es una aplicación adecuada para introducir el modelado 3D en las aulas	3,33 (0,81)
Sculp+ me parece una aplicación adecuada para introducir el modelado orgánico	3,80 (0,63)
Meshmixer me ha parecido una aplicación adecuada para introducir en mi centro educativo	4,00 (0,87)
La aplicación Project Shapeshifter me parece adecuada para introducir el modelado de bisutería y objetos de decoración	3,75 (0,87)
He sido capaz de utilizar la aplicación 123D Make para obtener las plantillas de corte	4,12 (0,70)
La posibilidad de obtener modelos digitales a partir de escaneos 3D me parece interesante para introducir la fabricación digital personalizada	4,31 (0,79)
He sido capaz de realizar los pasos necesarios para imprimir los modelos creados	3,76 (0,97)
He sido capaz de utilizar la impresora 3D sin problemas	4,00 (1,25)

A pesar de que los participantes valoran muy bien las propuestas de actividades, no sienten completamente capaces a la hora de trabajar con las aplicaciones de modelado 3d, aunque han utilizado sin problemas tanto el scanner 3D como la impresora 3D.

Una vez finalizados los dos casos prácticos anteriores, se modificó el borrador inicial del libro de actividades y se procedió a su divulgación, dando lugar a la publicación **Nº 11 Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje.**

En la versión final publicada, se recopilan un total de 20 actividades relacionadas con el ámbito del Dibujo, Diseño y Artes Plásticas, clasificadas en cinco apartados diferentes, según el tipo de material y los medios tecnológicos a emplear. Así mismo, dentro de cada apartado se han ordenado las actividades en función de la dificultad de implementación en el aula.

Apartado I: Introducción a la fabricación digital mediante tecnologías de papel

En este primer grupo de actividades, se propone la realización de ejercicios sencillos, cuyo material esencial de construcción es el papel o la cartulina. En estos ejercicios se plantea la utilización de programas informáticos accesibles para la creación de los patrones y plantillas que, posteriormente, se recortarán y ensamblarán a mano utilizando técnicas tradicionales. Opcionalmente también se contemplan otros sistemas de corte computarizado, que pueden simplificar el proceso de despiece, en el caso de contar con los dispositivos propuestos. Las actividades correspondientes a este apartado se describen en las **publicaciones 3, 5, 7 y 8**;

Apartado II: Obtención de archivos tridimensionales

En este apartado se describen algunas de las posibilidades para la obtención de modelos tridimensionales con los que posteriormente se podrá trabajar en distintas actividades. Así, en primer lugar, se mencionan algunas de las galerías online, desde donde se pueden descargar archivos 3D digitales compartidos por la comunidad. En segundo lugar, se explican algunas herramientas de edición 3D y los pasos a seguir para arreglar los archivos obtenidos tanto desde galerías online como a partir de escaneados o por fotogrametría. Además, se incluyen ejercicios de personalización de archivos tridimensionales. Las actividades correspondientes a este apartado se describen en las **publicaciones 1, 3, 4, y 5**.

Apartado III: Edición de modelos 3D digitales

En este apartado se explica el uso y posibilidades de un programa de edición de mallas tridimensionales como es el caso de la aplicación gratuita Autodesk Meshmixer. Meshmixer permite tanto la edición y personalización de archivos 3D digitales, así como corregir errores en las mallas de dichos archivos una vez obtenidos por alguno de los medios descritos en otros apartados. Las actividades correspondientes a este apartado se describen en las **publicaciones 2, 3, 4, 5 y 6**.

Apartado IV: Modelado y creación de archivos 3D

En este apartado se desarrollan una serie de actividades mediante las cuales se podrán generar modelos 3D, empleando distintas aplicaciones de modelado y creación tridimensional, comenzado por aplicaciones sencillas que permiten obtener elementos tridimensionales de forma rápida. También se incorporan actividades de mayor complejidad que requieren de aplicaciones más complejas. Las actividades correspondientes a este apartado se describen en las **publicaciones 2, 4 y 6**.

Apartado V: Maquinarias opcionales para otros materiales

Este apartado cuenta con distintas alternativas para la construcción y creación de objetos tridimensionales sin necesidad de emplear impresoras 3D. Para ello, en algunos casos se precisará del uso de maquinaria específica como CNC, y en otros, este uso será opcional. Las actividades correspondientes a este apartado se describen en **las publicaciones 3 y 5**.

Una vez realizada y validada esta propuesta de actividades, en la siguiente fase se procede a valorar su impacto educativo.

Resultados Fase III

Fase III. Casos prácticos: En esta fase se han desarrollado los casos prácticos utilizando las tecnologías testeadas en la fase I y las actividades validadas en la fase II. En estos casos el objetivo será validar algún aspecto educativo relacionado con el Dibujo, el Diseño y las Artes Plásticas.

Estos casos se han dividido en dos grandes líneas temáticas. La primera de ellas, casos prácticos realizados en entornos de formación reglada y la segunda línea de casos prácticos realizados en entornos de formación no reglada, en concreto, realizados en el Centro psicopedagógico de San Juan de Dios en Tenerife.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en cada uno de los casos prácticos desarrollados durante esta fase:

RESULTADOS DE LOS CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN REGLADA

Resultados del Caso práctico N° 3 Personalización de muñecos articulados a partir de la fabricación digital

CASO PRÁCTICO N° 3	
Personalización de muñecos articulados a partir de la fabricación digital	
Lugar y Fecha	Universidad de La Laguna, Curso 15/16
Participantes	44 estudiantes del Grado de Ingeniería Automática y Electrónica
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si el uso de tecnologías de fabricación digital fomenta la creatividad . Además, se pretende la validación de la actividad.
Hardware	Ordenadores, impresora 3D, y escáner 3D
Software	Meshmixer, Tinkerplay y Makerbot desktop.
Herramientas de medición	Test TAEC de creatividad y Cuestionario satisfacción en escala Likert
Publicación Asociada	Publicación N.º 2 y 4

Este caso práctico se llevó a cabo en la Universidad de La Laguna. Con él, se pretendía fomentar la creatividad de los alumnos mediante el uso de herramientas de escaneo tridimensional, edición digital de mallas tridimensionales e impresión 3D. El objetivo fue que los alumnos trabajasen en un entorno colaborativo que, proporcionase la resolución de un problema, aportando distintas soluciones haciendo valer su creatividad. La actividad consistió en la creación y personalización de objetos articulados (muñecos) a partir de la aplicación Tinkerplay, el escaneo 3D de la cabeza de los alumnos para su incorporación en el muñeco y su edición posterior utilizando el programa Meshmixer, para, finalmente, proceder a la impresión 3D de las creaciones.

Los resultados obtenidos, medidos con el test de abreacción de la creatividad, nos muestran que los alumnos mejoraron en 24.04 puntos sus valores de creatividad. Por otro lado, los cuestionarios de satisfacción nos indican que disponer de estos medios tecnológicos contribuye a desarrollar la creatividad de los alumnos (4,5 sobre 5).

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en las **Publicaciones N.º 2 y 4**.

Resultados Caso práctico N.º 4 Realización de un retrato tridimensional a partir de la fabricación digital

CASO PRÁCTICO N.º 4	
Realización de un retrato tridimensional a partir de la fabricación digital	
Lugar y Fecha	Universidad de La Laguna, Curso 15/16
Participantes	13 estudiantes del Máster de Formación del Profesorado
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si para impartir los contenidos del apartado del currículo de, el retrato se pueden implementar el uso de escáneres 3D herramientas de fabricación digital en el aula para crear retratos tridimensionales.
Hardware	Ordenadores, impresora 3D, Plotter de corte y escáner 3D
Software	123D Make, Silhouette Studio, Makerbot desktop.
Herramientas de medición	Cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert. Además, se contabilizó el número de piezas terminadas y el tiempo empleado para realizar la actividad.
Publicación Asociada	Publicación N.º 3

En este caso práctico se toma de las actividades del libro de actividades: **Publicación n.º11: Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje**. Dicha actividad trata de la creación de retratos tridimensionales digitales y físicos, cuyo objetivo es que se pueda realizar en centros de educación secundaria. Para ello se utilizan tecnologías 3D de bajo coste que no requieran una formación específica, es decir, accesibles para profesores y alumnos.

El trabajo con retratos es parte del currículo de secundaria, para la realización de estos ejercicios se suelen utilizar técnicas tradicionales. Sin embargo, en los propios currículos educativos se indica que los alumnos deben iniciarse en el uso de recursos tales como programas sencillos de diseño para su experimentación en la materia, trabajando de esta manera la competencia digital. Esta competencia digital, se está empezando a incluir en muchos centros educativos, sobre todo

cuando se habla de representaciones bidimensionales, pero en el caso de la creación tridimensional, no es habitual.

En la publicación N° 3: **Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos** se describe una actividad para la creación de retratos tridimensionales digitales y físicos, que utilizarán tecnologías 3D de bajo coste y que no requieran una formación específica, es decir, accesibles para profesores y alumnos. Se emplearán tecnologías tridimensionales como escáner 3D de bajo coste, ordenador, impresora de papel, tijeras y pegamento, sin necesidad de disponer de tecnologías avanzadas y de precios inaccesibles para entornos escolares.

Para validar esta propuesta, se realizan dos experiencias prácticas, para comprobar que dicha actividad se puede realizar (es viable) con profesores y alumnos sin formación específica, empleando un mínimo de tecnología. La primera prueba se realizó con 13 alumnos del máster en formación del profesorado y la segunda en un curso de formación del profesorado con 15 docentes de enseñanza secundaria, ambas realizadas durante el curso 2015/2016.

La actividad se ha dividido en tres fases realizadas en dos sesiones con una duración total de 4,5 horas. En la primera sesión se realiza el escaneado de los alumnos en 3D y en la segunda sesión se realizan la creación de secciones planas y a la construcción del retrato 3D de los alumnos mediante secciones apiladas de goma Eva.

En paralelo a la actividad descrita anteriormente, y para comparar con otros medios de fabricación, se realizaron dos bustos adicionales: Uno de ellos utilizando la impresora 3D y otro empleando el plotter de corte. En el caso del busto impreso en 3D, se necesitan casi 6 horas. Por otro lado se realizó un busto mediante el plotter de corte Curio Silhoutte que necesitó 72 minutos para completar el proceso de corte más el ensamblado manual. Dichos tiempos nos dan muestras que es inviable imprimir un busto para cada alumno en las sesiones de clase. Aunque el corte con el plotter de corte es más rápido y preciso, al disponer de una sola máquina no es viable su uso para toda la clase.

Los resultados de la publicación muestran que el uso del software propuesto, no representa un problema para la realización de los retratos 3D en educación ya que existen recursos gratuitos y accesibles que permiten a cualquier profesor incorporar tecnologías tridimensionales en aula sin necesidad de conocimientos informáticos avanzados. Tanto alumnos como profesores coincidieron en que esta actividad les sirvió para aprender nuevas formas de creación y manipulación de figuras tridimensionales, viéndose capaces de realizar este tipo de actividades con sus futuros alumnos.

Finalmente es importante señalar, que con esta actividad se incorpora la competencia digital en ejercicios o asignaturas que tradicionalmente no la contemplan, sin necesidad de disponer de aulas específicas y a un coste asequible. De este modo, los alumnos comienzan a familiarizarse con herramientas y dispositivos digitales que cada vez están más presentes en el mundo profesional.

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en la **Publicación N.º 3**

Resultados Caso práctico N° 5 Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital (Programas online y plotter de corte)

CASO PRÁCTICO N° 5	
Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital (Programas online y plotter de corte)	
Lugar y Fecha	Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife Curso 17/18
Participantes	63 alumnos del 4º de ESO de la asignatura dibujo diseño y artes plásticas
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si para impartir los contenidos de forma y color , se pueden implementar el uso de programas vectoriales y herramientas de fabricación digital en el aula.
Hardware	Programas online y Plotter de corte
Software	Silhouette Studio, Convertio y Gravit.io
Herramientas de medición	Número de tarjetas pop-up realizadas, errores de la máquina y Cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N.º 7

En este caso práctico se plantea el uso de plotteres de corte y programas de dibujo vectorial online para incorporar las tecnologías de fabricación digital en el aula. En este trabajo se plantea la fabricación mediante máquinas de corte, como una alternativa para evitar los problemas del excesivo tiempo que requieren las impresoras 3D. Se plantea una actividad, que incorpora las tecnologías de fabricación digital en aulas tradicionales de educación secundaria sin necesidad de disponer de un Makerspace o Fablab.

La actividad trata del diseño y creación de tarjetas pop-up. La realización de este ejercicio implica el corte y doblado de papel que habitualmente se ejecuta mediante tijeras o cutter. Sin embargo, con la aparición plotters de bajo coste, este proceso puede ser automatizado e introducido en cualquier aula. Dicho trabajo está descrito en la publicación **Nº 7: Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste.**

La actividad se ha llevado a cabo con 63 alumnos de 4º de ESO. La experiencia realizada consistió en generar tarjetas pop-up de figuras de las películas de Pixar de Toy Story. Esta actividad se enmarca dentro de la asignatura de Educación Plástica, Visual y Audiovisual ya que trabaja los contenidos propios de esta asignatura de acuerdo al currículo como la elaboración imágenes digitales utilizando distintos programas de dibujo por ordenador, el uso de las TIC como medio de ayuda a la creación de proyectos y la utilización de diferentes soportes, materiales y técnicas analógicas y digitales.

Para la realización de la misma, los participantes, primero buscaban imágenes en internet de Toy Story, vectorizaban los perfiles de las figuras mediante un programa de dibujo vectorial online para poder generar una tarjeta pop-up y cortaban la misma mediante el plotter de corte.

Los resultados en la experiencia demuestran que la fabricación digital mediante plotter de corte y el diseño vectorial mediante programas digitales online resultan viables en educación secundaria sin necesidad de crear un Fab Lab en el centro educativo. El plotter utilizado que dispone de un maletín con ruedas resulta muy cómodo para desplazarse. Por otro lado, respecto a la dificultad y fiabilidad de esta herramienta, podemos afirmar que el plotter de corte de la marca Silhouette Cameo 2 ha funcionado correctamente sin generar problemas ni a los alumnos ni al profesor, ya que se realizaron en torno a las 100 cortes y no hubo problema alguno.

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en la **Publicación N.º 7**

CASO PRÁCTICO N.º 6	
Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital II (ipads y plotter de corte)	
Lugar y Fecha	Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife Curso 17/18
Participantes	72 alumnos de 3º de ESO de la asignatura dibujo diseño y artes plásticas
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si es posible digitalizar una actividad que normalmente se lleva a cabo con herramientas manuales, creando tarjetas pop-up mediante aplicaciones de dibujo vectorial en un ipad y un plotter de corte portátil.
Hardware	iPads y Plotter de corte
Software	Silhouette Studio y Vectary
Herramientas de medición	Número de tarjetas pop-up realizadas, errores de la máquina y Cuestionario de conocimientos previos y otro con preguntas de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N.º 8

Resultados Caso práctico N.º 6 Realización de tarjetas Pop-Up utilizando la fabricación digital II (Ipads y plotter de corte)

En esta prueba se analiza la incorporación de máquinas de fabricación digital en un aula tradicional sin necesidad de que el centro disponga de un Fab Lab ni tenga que acceder a un Makerspace externo. Este trabajo está descrito en la publicación N.º 8: **The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments**

Para ello se plantea la posibilidad de usar máquinas de fabricación digital que sean de bajo coste, sencillos de usar, de pequeño formato y sobre todo portátiles. La actividad llevada a cabo trata de crear tarjetas Pop-Up mediante aplicaciones de dibujo en tabletas digitales y su corte mediante un plotter portátil de bajo coste. Dicha actividad es factible en ese centro debido a que el centro distribuye una tableta para cada alumno, y su uso está integrado en el proceso de aprendizaje enseñanza del centro, la realización de esta práctica fue posible en un aula sin dotación informática.

La experiencia consistió en generar tarjetas Pop-Up relacionadas con la situación de aprendizaje del color, en la parte de la representación de símbolos con colores. Para ello, cada alumno elige un color y a continuación busca una imagen de un objeto que representa dicho color.

La actividad se ha llevado a cabo con 72 alumnos en 3º de ESO en la asignatura de expresión plástica y visual. Los resultados en la experiencia demuestran que la fabricación digital mediante plotter de corte y el diseño vectorial mediante aplicaciones en dispositivos móviles resultan viables en educación secundaria sin necesidad de crear un Fab Lab (laboratorio de fabricación digital) en el centro educativo. El plotter utilizado que dispone de un maletín con ruedas resulta muy cómodo para desplazarse.

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en la **Publicación N.º 8**.

Resultados Caso práctico N° 7 Realización de tipografías tridimensionales a partir del uso de moldes impresos en material flexible

CASO PRÁCTICO N° 7	
Realización de tipografías tridimensionales a partir del uso de moldes impresos en material flexible	
Lugar y Fecha	Escuela de Arte y Superior de Diseño Fernando Estévez, Santa Cruz de Tenerife, Curso 17/18
Participantes	8 alumnos de la asignatura de Tipografía y Comunicación, que se imparte en las Enseñanzas Artísticas Superiores de Diseño.
Objetivos	El objetivo de la investigación es comprobar si es posible la creación de Tipografías 3D experimentales en el aula, mediante moldes flexibles impresos en 3D
Hardware	Ordenadores, Impresora 3D
Software	Litophane, Ultimaker Cura, Adobe Illustrator, FontLab y Meshmixer
Herramientas de medición	Realización de réplicas de tipografías 3D, Cuestionario de satisfacción en escala Likert.
Publicación Asociada	Publicación N.º 6

Uno de los problemas de utilizar impresoras 3D en entornos educativos es que el tiempo de creación de cada pieza es elevado y por lo tanto es muy difícil fabricar al menos una pieza para cada alumno. Este aspecto es importante para que cada alumno pueda sentirse parte del proceso de fabricación. Para conseguir esto, se pueden utilizar las impresoras 3D, no para fabricar las piezas, sino para fabricar los moldes flexibles que los estudiantes usan para crear réplicas. El uso de moldes impresos en 3D para la fabricación de piezas en entornos escolares está descrito en la publicación N° 6: **Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography.**

Para poder crear moldes flexibles, es decir, imprimir con material flexible en una impresora 3D, es necesario adaptar la máquina y los parámetros de impresión. A pesar de tener que adaptar la impresora, en este trabajo se ha decidido incorporar la fabricación digital en el aula para fomentar la competencia digital.

En este trabajo, por un lado, se han analizado los cambios a realizar con una impresora de bajo coste para poder imprimir con materiales flexibles y por otro lado, se ha realizado una prueba piloto con 8 alumnos de Tipografía, en las Enseñanzas Superiores de Diseño Gráfico de la Escuela de Arte y Superior de Diseño de Tenerife para validar el uso de moldes impresos en 3D en entornos educativos.

Respecto a las piezas creadas en el taller de tipografía 3D, podemos comprobar que cada alumno ha podido generar en dos sesiones las cuatro letras que componían la palabra seleccionada: “Chos”. Es decir que en total se han fabricado 32 piezas. Si estas piezas se hubiesen impreso en 3D se habría necesitado un total de 25 horas y 20 minutos para poder realizar la actividad y los alumnos no podrían ser partícipes de la fabricación. Sin embargo, se necesitaron 9 horas y 25 minutos para imprimir los cuatro moldes mediante Filaflex más cuatro de clase para crear las copias mediante la resina.

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en la **Publicación N.º 6**.

RESULTADOS DE CASOS PRÁCTICOS EN EDUCACIÓN ESPECIAL

Resultados Caso práctico N° 8 Realización de figuras a escala real

CASO PRÁCTICO N°8	
Realización de figuras a escala real	
Lugar y Fecha	Centro Psicopedagógico (C.P.P.) de la orden de San Juan de Dios en Tenerife Curso 14/15
Participantes	9 usuarios del centro.
Objetivos	El objetivo de la investigación es la comparación de tiempos entre diferentes métodos de fabricación digital
Hardware	Ordenador y proyector digital

Software	123D Make
Herramientas de medición	Medición de tiempos y piezas realizadas
Publicación Asociada	Publicación N. °5

En este caso práctico, se presenta la creación de objetos tridimensionales de cartón, partiendo del modelo 3D digital, utilizando tecnologías de bajo coste accesibles en entornos escolares. Para valorar esta alternativa frente a las impresoras 3D, en el curso 2014-2015 se han realizado tres experiencias en entornos educativos, que nos permiten valorar y comparar las posibilidades de cada uno de los procesos.

Materializar un objeto tridimensional mediante una impresora 3D tiene la ventaja de convertir en real, prácticamente cualquier modelo 3D digital. Esta conversión es un proceso “casi mágico” que los alumnos disfrutan, pero que, sin embargo, no está exento de problemas (Domínguez, Romero, Espinosa y Domínguez; 2013). Por ello, es importante conocer alternativas que permitan materializar objetos, a partir de ficheros 3D digitales, aportando a su vez, otra serie de ventajas y desventajas.

Una vez conocidos los problemas asociados a las impresoras 3D, se ha procurado buscar alternativas que permitan obtener réplicas físicas de modelo 3D digitales solventando dichos problemas. En concreto, poder aumentar el número de figuras que se realizan en el mismo tiempo, así como la posibilidad de realizar figuras de gran tamaño.

Una de las aplicaciones disponibles de forma gratuita, que permiten la construcción de plantillas bidimensionales para crear objetos tridimensionales en papel y cartón, a partir de modelos 3D digitales, es Autodesk 123D Make.

Para poder valorar la obtención de figuras tridimensionales en cartón a partir de la aplicación 123D Make, se han realizado tres experiencias en dos entornos educativos distintos. De esta actividad se obtuvieron unos resultados prometedores, ya que, a pesar de que el 90% de los participantes desconocían la existencia de estas tecnologías y sus posibilidades de construcción tridimensional, en las tres experiencias realizadas, los participantes fueron capaces de realizar el ejercicio en el tiempo y forma estipulado.

Los detalles y resultados completos de este caso práctico se encuentran en la **Publicación N.º5**.

Resultados Caso práctico Nº 9 Formación en el uso de las Nuevas tecnologías a personas con discapacidad intelectual

CASO PRÁCTICO Nº9	
Formación en el uso de las Nuevas tecnologías a personas con discapacidad intelectual	
Entidad Financiadora	Obra Social la Caixa
Lugar y Fecha	Centro Psicopedagógico de la orden de San Juan de Dios en Tenerife Curso 17/18
Participantes	8 usuarios del centro
Objetivos	El objetivo de la investigación es estudiar la mejora de la creatividad , de la autoestima y de la autopercepción de la felicidad , a partir del aprendizaje y uso de medios tecnológicos.
Hardware	Ordenador y proyector digital
Software	384 Puzzles for Kids, Maze Puzzle Deluxe, Cubos mágicos, Logic Free, SketchBook de Autodesk o Castle Blocks, etc.
Herramientas de medición	Cuestionario de conocimientos previos, Test de Abreacción de la creatividad (TAEC), Test de felicidad Test PHI (Pemberton Happiness Index), Cuestionarios de satisfacción
Publicación Asociada	Publicación Nº10

Este caso práctico se encuadra dentro del proyecto Descubriendo Artistas: Arte y Nuevas tecnologías, desarrollado en el centro psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife y financiado por la obra social de la Caixa. Dicho centro atiende a usuarios con distintos grados de discapacidad intelectual y graves trastornos de conducta, así como a personas con trastornos del neurodesarrollo.

La toma de resultados de este caso práctico, se ha realizado en dos fases, una a mitad de proyecto (Intermedia) y otra a la finalización del mismo (final). La primera de ellas está detallada en la **publicación Número 10** y la segunda fase está todavía en periodo de análisis de resultados y escritura de los mismos, por lo que se detallan en esta memoria las actividades llevadas a cabo, así como los resultados obtenidos en ambas fases.

El desarrollo de este caso práctico ha logrado incorporar las nuevas tecnologías como elemento de apoyo en el aprendizaje, estimulando las capacidades cognitivas (memoria, creatividad, concentración...) y la capacidad psicomotriz, de manera lúdica a través del uso de aplicaciones Android en dispositivos digitales como pantallas táctiles de gran formato y tabletas, dando como resultado unos datos que evidencian la mejora tanto en conocimientos de uso y disfrute de la tecnología, como en un aumento de la creatividad y de la felicidad del grupo de usuarios que participan en los talleres.

Actualmente, existen gran variedad de aplicaciones y tecnologías, que además pueden ser adaptadas a las necesidades de apoyos especiales que precisan las personas con NEE. Dentro de estas aplicaciones, se pueden encontrar sendas opciones para el desarrollo de las capacidades creativas y artísticas, aunque la clasificación de aplicaciones y otros recursos TIC en categorías cerradas es arriesgada, puesto que los usos que se pueden hacer de una misma aplicación o recurso son muy variados. Por ello, el uso de la tecnología requiere planificación y es ésta la que le concede su valor primordial.

Objetivos

En el año 2015, en el marco de la Convocatoria Autonómica de la Obra Social de la Caixa se presentó un proyecto con el objetivo de promover la autonomía de las personas con discapacidad y se plantea la necesidad de incluir en el proceso de aprendizaje de nuestros usuarios nuevas tecnologías (aula multimedia con pantallas táctiles, tabletas digitales, impresoras 3D...) que favorezcan su desarrollo. Este proyecto está estructurado en dos fases cuya duración estimada es un año. En la primera fase (20 semanas) se utilizaron las tecnologías táctiles para familiarizar a los alumnos con estas nuevas tecnologías y en la segunda fase se emplearon impresoras 3D para crear objetos tridimensionales de diseño propio.

El objetivo general del proyecto es, mediante la realización de talleres basados en nuevas tecnologías, mejorar la calidad de vida de los usuarios del centro a través de la creación artística y la creatividad, promoviendo la expresión de sentimientos y emociones para así favorecer la disminución de los trastornos de conducta, además de contribuir a la inclusión de las personas con discapacidad intelectual, facilitando su accesibilidad al arte y la cultura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Incorporar las nuevas tecnologías como elemento de apoyo en el aprendizaje
- Estimular las capacidades cognitivas (Percepción, atención, comprensión, memoria, orientación, razonamiento...) y la capacidad psicomotriz de manera lúdica a través del uso de la tecnología (tabletas, smartphones, pantallas táctiles, impresoras 3D, etc.).
- Ofrecer a las personas con discapacidad la oportunidad de descubrir toda la gama de posibilidades creativas que ofrecen los medios tecnológicos, estimulando sus capacidades artísticas.
- Mejora de la autoestima y de la autopercepción de la felicidad.
- Favorecer la coordinación viso-motora, la atención, la memoria.

Los talleres de nuevas tecnologías propuestos están divididos en dos apartados diferenciados: Adquisición de habilidades básicas para el uso de los medios tecnológicos propuestos y familiarización con aplicaciones bidimensionales, y una segunda parte de creación tridimensional y fabricación digital. En este artículo se describen los talleres realizados en ambas fases.

Materiales y Métodos

Participantes

Estos talleres se llevan a cabo en el Centro Psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife que atiende a usuarios con distintos grados de discapacidad intelectual (DI) y graves trastornos de conducta (TC). Para poder impartir dichos talleres de una forma eficiente, inicialmente se han seleccionado a ocho usuarios, divididos en dos grupos de cuatro.

Además de las características asociadas a la DI y los TC de los 8 participantes, 4 presentan dificultades en lectoescritura, 1 presenta problemas de lateralidad y otro padece una discapacidad sensorial auditiva sin aprendizaje de lenguaje alternativo.

Herramientas de medición

En este trabajo se pretende cuantificar los valores de creatividad, felicidad, motivación y conocimientos del uso tecnológico, utilizado tres herramientas de medición:

Para determinar la motivación y los conocimientos *previos*, se han utilizado cuestionarios que constan de seis preguntas, agrupadas en: Preguntas de conocimientos y preguntas de motivación. Para facilitar la comprensión de las respuestas a las distintas cuestiones, estos cuestionarios se hicieron en base a la escala de Likert de tal manera que 1 es nada de acuerdo y 5 muy de acuerdo.

Para determinar los valores de creatividad, se ha utilizado el Test TAEC, Test de Abreacción para la Evaluación de la Creatividad [4]. Este es un test gráfico-inductivo de complejidad de figuras, cuyo objetivo es valorar la creatividad desde diversos ángulos, proponiendo categorías que permitan diferenciar a los sujetos. Los resultados obtenidos por cada usuario se miden en una escala del 1 al 324.

Para determinar el índice de felicidad se ha utilizado el Test PHI (Pemberton Happiness Index), adaptado por la organización Plena Inclusión, en la que los resultados se miden en una escala del 0 al 4.

Metodología

En primer lugar, los participantes rellenan un cuestionario para conocer el nivel de conocimiento sobre el uso de los medios tecnológicos propuestos y su nivel de motivación.

De este cuestionario inicial, se desprende que, a pesar de que un 87,5% conocía la existencia de los dispositivos táctiles y el 50% había trabajado con anterioridad con algún tipo de dispositivo digital, un

75% de los usuarios no sabía manejar las aplicaciones que tenía en las tabletas gráficas, y el 100% de los usuarios les gustaría disponer de la Tablet para utilizarlas en su tiempo libre.

Por otro lado, en cuanto a su nivel de motivación, aunque el 75% no se encontraba nada o casi nada cómodo utilizando los medios propuestos, entre el 87,5% y el 100% estaban motivados con la posibilidad de aprender a utilizar dichos dispositivos y tenían predisposición a pasarlo bien aprendiendo, creyéndose capaces de realizar las actividades.

Para determinar el nivel de creatividad de los participantes, antes de realizar los talleres, se realiza el test de creatividad TAEC a los grupos de control y experimental. Después de realizar los talleres (cinco meses después) se comprueban los niveles de creatividad con el mismo test.

Por otro lado, los participantes realizaron antes y después de la actividad el test PHI o Pemberton Happiness Index, para comprobar si el uso y aprendizaje con los medios propuestos, ejercía un efecto positivo en su nivel de felicidad. El test tiene como objetivo medir el bienestar a partir de once variables que aluden al llamado “bienestar recordado”, relacionado estrechamente con las emociones, así como otras diez que se refieren al “bienestar vivido”, que hace referencia a esos sucesos ocurridos el día anterior. Estos acontecimientos, pueden influir de manera positiva o negativa a la felicidad de la persona.

Descripción de los talleres

Durante las 20 primeras sesiones de trabajo (20 semanas), se procuró que los usuarios del taller aprendan nociones básicas del uso y funcionamiento de los dispositivos digitales táctiles (tabletas Android y pantallas táctiles de gran formato). En el caso de la pantalla táctil de gran formato, se empleó BlueStacks, un emulador de Android para Windows para así poder lanzar las mismas apps que se utilizarían en las tablets. Además, para facilitar la visualización de la actividad realizada en la pantalla táctil por parte del resto de alumnos, se empleó un accesorio que permite duplicar la señal de salida de HDMI, lo que posibilita proyectar la misma imagen que está en la pantalla táctil otra de las paredes del aula utilizando un proyector digital.

Dentro del catálogo de aplicaciones seleccionadas para esta primera fase del taller, se han de destacar algunos juegos sencillos como puzzles y laberintos para que, a la vez que ejercitan habilidades como la capacidad de análisis y síntesis, la coordinación óculo-manual, la visión espacial, la motricidad o el pensamiento lógico y la creatividad, se familiaricen además con los gestos táctiles básicos para el manejo de las tabletas y pantallas táctiles. Estos gestos básicos son principalmente el click y el arrastre de elementos por la pantalla.

Entre las aplicaciones utilizadas destaca: 384 Puzzles for Kids, Maze Puzzle Deluxe, Cubos mágicos, Logic Free, SketchBook de Autodesk o Castle Blocks entre otras.

Posteriormente, cuando los usuarios adquirieron las destrezas necesarias para el uso de los dispositivos propuestos, se pasó a realizar ejercicios con aplicaciones de mayor complejidad cognitiva como sudokus con imágenes o completar secuencias, actividades que fomentan el razonamiento lógico y la capacidad para resolver problemas con un pensamiento crítico. Algunos de los programas empleados en este caso fueron Logic Free y Cat Dog Free.

De igual manera se fueron introduciendo aplicaciones en entornos tridimensionales, como por ejemplo Cubos Mágicos, una aplicación en la que se han de quitar los cubos necesarios para lograr

la figura propuesta. Esta app se empleó con el fin de estimular las habilidades espaciales. Esta habilidad está directamente involucrada en la resolución de problemas espaciales, ya sean reales o imaginarios. Así mismo estas actividades sirvieron para iniciar a los usuarios en el uso de aplicaciones en entornos tridimensionales.



Dcha.: 384 Puzzles for Kids y Maze Puzzle Deluxe son algunas de las aplicaciones empleadas para adquirir destrezas básicas. Izqda.: Aplicaciones para fomentar el razonamiento lógico y las habilidades espaciales. Logic Free arriba, Cubos Mágicos abajo.

Además, se trabajó con otro tipo de programas más creativos con el fin de fomentar dicha habilidad, a partir de dibujos y construcción de historias empleando juegos bidimensionales. Inicialmente se emplearon aplicaciones de dibujo como Autodesk SketchBook y se les pidió que hicieran autorretratos o retratos de personas cercanas con el fin de que el resto de compañeros pudieran identificarlos.



Autorretratos realizados con SketchBook de Autodesk

También se utilizó la aplicación Castle Blocks, una app para crear construcciones bidimensionales de castillos y fortalezas que además permite generar historias a partir de la propia construcción. Utilizándola, los usuarios del taller creaban espacios imaginarios y contaban la historia que sucedía en ellos.



Ejercicio realizado con la aplicación Castle Blocks

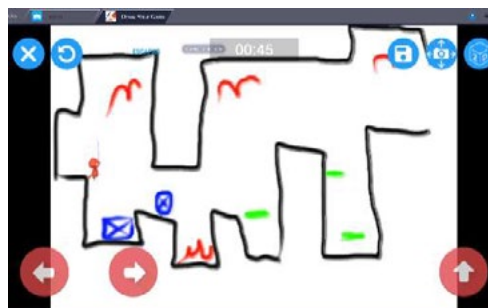
Transcurridas las primeras veinte sesiones en las que principalmente se desarrollaron los ejercicios utilizando la pantalla táctil de gran formato, se comenzaron a utilizar las tablets de forma individualizada por parte de los alumnos.

En las primeras sesiones se repasaron las actividades realizadas con las aplicaciones anteriores, con el fin de familiarizar a los alumnos en el uso de estos dispositivos de menor tamaño. Se les enseñó el funcionamiento de las tablets: encendido y apagado, funciones de volumen, iniciar apps etc. Aunque siempre procurando facilitar y adaptar los dispositivos a las capacidades de cada uno de ellos.

Así, los usuarios aprendieron a gestionar y realizar las actividades propuestas anteriormente en la pantalla táctil, de forma individualizada cada uno con una Tablet.

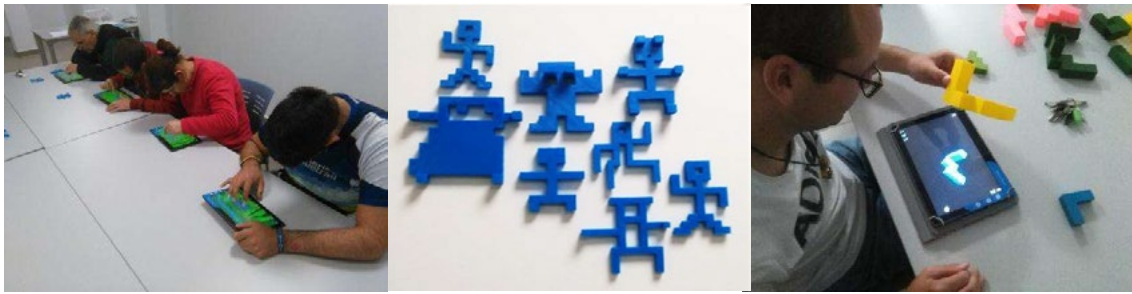
Este avance propició una mayor personalización de los ejercicios y una mayor capacidad de aprovechamiento de las sesiones de clase ya que permitía adecuar el nivel y la aplicación a las capacidades y necesidades de los distintos usuarios.

En este periodo se comenzó a trabajar con aplicaciones como Draw Your Game, una aplicación de sencillo funcionamiento que permite crear pantallas de videojuegos a partir de dibujos de los propios usuarios. Este ejercicio puso de manifiesto las capacidades creativas de los integrantes del taller ya que crearon múltiples pantallas con las que jugar y se las intercambiaban entre ellos, favoreciendo la interrelación. En este caso cabe señalar que, dada la complejidad de ciertas opciones de configuración, la mayoría precisó de algún que otro apoyo para lograr un funcionamiento óptimo de las pantallas creadas.



Uso de aplicación de creación bidimensional.

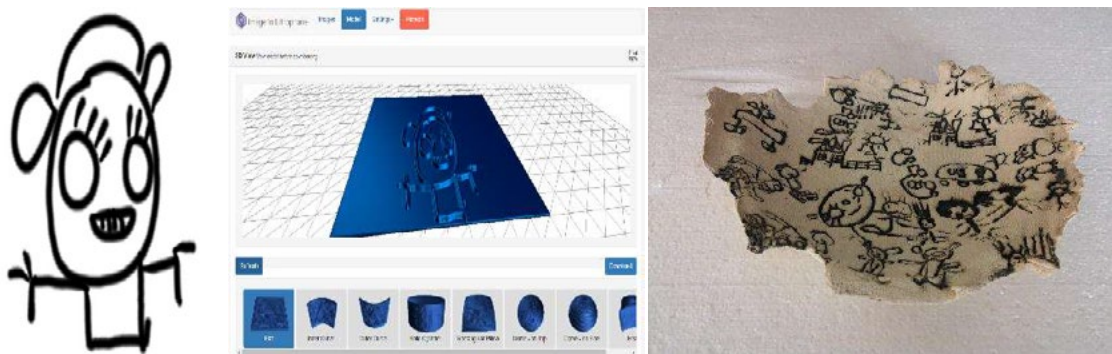
Otra de las aplicaciones que se utilizaron durante este periodo fue Blockify, una app de creación tridimensional a partir de cubos en la que, al igual que en la anteriormente nombrada Castle Blocks, se instaba a los alumnos a crear escenarios imaginarios propios y contar una historia, pero esta vez, esos escenarios estarían contruidos en tres dimensiones. También crearon distintas figuras y construcciones que posteriormente se imprimieron en 3D utilizando la impresora con la que se cuenta en el centro, un XYZ Pro.



Uso de aplicación de creación tridimensional.

Dado el interés y las habilidades que algunos de los participantes del taller mostraron en la creación 3D, también se realizaron varias sesiones en las que se empleó la app 3DC.io, una aplicación multiplataforma de creación 3D a partir de figuras geométricas básicas. Para ello inicialmente se imprimieron distintas formas geométricas que se les repartieron y que ellos consiguieron reproducir en formato digital.

En cuanto a la creación de elementos tridimensionales es importante destacar el uso del programa online Litophane. Este programa permite subir archivos bidimensionales, es decir dibujos o fotos y crear de forma casi mágica relieves de las imágenes deseadas. Para crear los dibujos que se subieron, se empleó la ya nombrada y trabajada app Autodesk SketchBook, con la que los alumnos realizaron sendos dibujos de elementos o figuras de creación propia. Dichos dibujos se subieron a la plataforma Litophane para crear unos relieves de los mismos y estos, tras imprimirse tridimensionalmente, se están empleando por los propios alumnos y por otros compañeros en el taller de cerámica para crear motivos decorativos en bajorrelieve. Esta técnica ha propiciado un mayor interés si cabe en la fabricación digital ya que, no solo se pueden crear objetos tridimensionales, sino que al mismo tiempo se pueden confeccionar toda una serie de herramientas tales como cuños, rodillos o tampones que además pueden emplear en otros talleres para decorar y personalizar sus obras artísticas.



Creación de relieves tridimensionales a partir de dibujo e incorporación a soportes cerámicos

Para valorar los progresos en motivación y conocimiento, se les volvieron a pasar los cuestionarios, de los cuales con los siguientes resultados (ver Tabla A)

Tabla A: Resultados del cuestionario de conocimiento y motivación			
Pregunta	(Escala 1-5)		
	Pre (desviación estándar)	Post Intermedio (desviación estándar)	Post final (desviación estándar)
Sé utilizar los dispositivos táctiles de forma autónoma	1,75 (0,89)	4,75 (0,46)	4,87 (0,35)
Sé utilizar la mayoría de aplicaciones	1,62 (1,40)	4,62 (0,74)	4,87 (0,35)
Me siento cómodo utilizando los dispositivos táctiles	2,12 (1,80)	4,42 (0,51)	4,50 (1,06)
Me gustaría aprender a utilizar nuevas aplicaciones	4,87 (0,35)	4,75 (0,70)	4,50 (1,41)
La posibilidad de aprender a hacer cosas nuevas me motiva	4,62 (1,06)	4,75 (0,70)	4,75 (0,70)
Lo paso bien aprendiendo	4,87 (0,35)	4,75 (0,70)	4,75 (0,70)

Los resultados de creatividad medidos con el test TAEC son los siguientes:

Tabla B: Resultados del test TAEC				
	Pre-Test (max 324)	2º Test (max 324)	Post Test (max 324)	Ganancia
Media	42,37	61,4	94,8	52.43
Desviación estándar	29,86	33,8	22,52	

Tabla C: Resultados del Test PHI felicidad				
	PreTest (Max 4)	2º Test (Max 4)	PostTest (Max4)	Ganancia
Medias	2,83	3,53	3,4	0,7
Desviación estándar	0,34	0,19		0,43

De acuerdo a los cuestionarios, el uso de estas tecnologías ha servido para familiarizar a los usuarios con el funcionamiento básico de las pantallas táctiles. Además, los usuarios, independientemente de su grado de discapacidad, no han tenido problemas a la hora de realizar actividades de lógica o visión espacial.

El 100% de los usuarios ha aprendido a utilizar bien a muy bien las pantallas táctiles, estando de acuerdo en que saben emplear la mayoría de las aplicaciones propuestas, y un 87% ha aprendido a realizar correctamente los ejercicios utilizando dichas aplicaciones. En preguntas sobre motivación, el 100% de los usuarios se sienten cómodos o muy cómodos utilizando las pantallas táctiles y su nivel de motivación sigue presentando altos valores porcentuales.

DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se han analizado distintas fuentes bibliográficas relacionadas con los laboratorios de fabricación digital y su relación con entornos educativos. Existen Fab Labs muy conocidos como el Medialab Prado o el Fab Lab de Barcelona, espacios fomentados por grandes organizaciones. Pero también a nivel local, dentro de la convocatoria de proyectos de la Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento del Gobierno de Canarias, se han creado dos Fab Labs durante el año 2018, uno en el Centro de Profesorado de La Laguna y otro en el de Las Palmas de Gran Canaria, pretendiéndose crear otros ocho, repartidos en las siete islas. Además, este programa está apoyando la creación de Aulas Maker en los centros de secundaria. (Gobierno de Canarias, 2018). Sin embargo, estos espacios no son utilizables en el día a día de un centro escolar, para poder acceder a ellos con los alumnos, requiere desplazamientos y una planificación previa. Es por ello nuestra investigación, se ha centrado en llevar el Fab Lab al aula y en concreto al aula de dibujo, diseño y artes plásticas.

Esta idea, la de llevar el Fab Lab al aula, ya ha sido explorada por otros autores. El proyecto FabMóvil (Sánchez-Laulhé Sánchez de Cos, y otros, 2013), donde se pretendía acercar tecnologías como la impresión y el escáner 3D, a partir de talleres en la calle, impartidos desde un triciclo modificado para contener dichos dispositivos. Otra de las propuestas en las que nos podemos ver identificados es el MakerCart, (McKay & Peppler, 2013), un armario móvil, adaptado para albergar máquinas como una impresora 3d, un plotter de corte de vinilo, una máquina de corte láser o una máquina de coser.



A

B

C

A: Fab Móvil

B: MakerCat, carro con todos los dispositivos en su interior.

C: Cameo de Silhouette y bolso de transporte.

En nuestro caso, más que diseñar un medio para transportar estas tecnologías, lo que hemos tratado de buscar, son máquinas que permitan ser incorporadas de forma cómoda, barata y sencilla a un aula cualquiera en función de la actividad que se quiera desarrollar. Además, en nuestro caso, se ha apostado por la incorporación de tecnologías de bajo coste o de precio asequible ya que en la mayoría de los centros no se dispone de una financiación elevada para la dotación de este tipo de materiales tecnológicos.

Otro aspecto a tener en cuenta con respecto a nuestra investigación, es la incorporación de actividades y tecnologías que permitan la elaboración de modelos de papel. La utilización de materiales como el papel, el cartón o la goma eva, para realizar actividades en centros educativos, utilizando tecnologías de fabricación digital, se muestra como una buena alternativa frente a otras técnicas como por ejemplo la impresión 3D (dados sus elevados tiempos de impresión), al corte láser (ya que los precios de esta maquinaria siguen siendo actualmente elevados, y que para su utilización en las aulas, precisa de filtros de aire y una buena ventilación), o en el caso del fresado y corte mediante CNC, puesto que el nivel de ruido y residuos producidos hace desaconsejable su uso en espacios no acondicionados. No se ha encontrado bibliografía de actividades de fabricación digital con papel y máquinas de corte.

Por otro lado, en nuestra investigación, tampoco nos hemos centrado en proponer o utilizar una única aplicación, así, se han probado 58 aplicaciones distintas, y se han elaborado actividades específicas utilizando la mayoría de ellas.

En cuanto a actividades de fabricación digital también puede encontrarse bastante documentación, aunque la mayoría a proyectos de robótica, o ingeniería asociados generalmente al ámbito de enseñanzas de tecnología e informática. No se han encontrado fuentes o referencias bibliográficas en las que se propongan proyectos o actividades del ámbito del Dibujo el Diseño y las Artes Plásticas, salvo los que se están realizando en el grupo DEHAES de la Universidad de La Laguna (Fabricación digital para la enseñanza del patrimonio escultórico y mejora de la creatividad en dibujo técnico). Quizás, este aspecto tan tecnológico, pueda parecer una barrera difícil de solventar para docentes de asignaturas relacionadas con la creación artística ya que históricamente en estas materias, los procesos de creación han sido habitualmente enfocados a la adquisición y fomento de destrezas manuales, utilizando técnicas tradicionales.

Por ello, la creación de propuestas y actividades para incorporar estas tecnologías dentro del ámbito del Dibujo, el Diseño y las Artes Plásticas, es uno de los puntos principales sobre el que se ha pretendido incidir en esta investigación. Así, una de las acciones llevadas a cabo durante la presente tesis doctoral ha sido precisamente el acercar estas tecnologías y actividades de fabricación digital a profesores de dicho ámbito de enseñanzas, concretamente, a profesores de la isla de la Palma en unas jornadas organizadas conjuntamente por la Fundación de la Universidad de La Laguna y el Cabildo de la Palma. Este caso práctico, nombrado en este escrito como caso práctico Nº2, ha servido, además, para conocer la opinión de docentes de materias tales como: Dibujo, Fotografía, Textiles Artísticos, Joyería, Tecnología, Informática y Medios Informáticos, Materiales y Tecnología y Sistemas electrónicos y automatizados, sobre las actividades de fabricación digital propuestas.

Si bien es cierto que nos hubiera gustado poder contrastar los resultados obtenidos a partir de los cuestionarios pasados a este grupo de profesores, con un mayor número de participantes y quizás de otras islas, también es cierto que lo heterogéneo de este grupo de validación en cuanto a la docencia que imparten, hace pensar que estos resultados se puedan considerar como relevantes. Por ello, las actividades realizadas durante estas jornadas y validadas, se han recogido en la publicación Nº11 con el fin de divulgar las posibilidades que ofrecen estas tecnologías dentro de materias tales como el dibujo, el diseño, o las artes plásticas.

Respecto a los casos prácticos realizados es interesante señalar que habitualmente, en la bibliografía se encuentran descripciones de casos en educación reglada, no se ha encontrado fuentes ni referencias respecto a la incorporación de estas tecnologías de fabricación digital en centros de educación especial. En todas las experiencias realizadas, tanto en educación reglada como especial, se ha procurado que los participantes no se sientan frustrados por el uso de estas tecnologías (Nemorin, 2016). Se han diseñado las propuestas, no sólo para mejorar alguna competencia o contenido curricular sino para conseguir que los participantes se sientan motivados y valoren estas tecnologías, procurando que todos ellos formaran parte del proceso de creación y se pudieran llevar algo fabricado después de las actividades.

La introducción de tecnologías de fabricación digital en el Centro Psicopedagógico de la Orden de San Juan de Dios en Tenerife, ha tenido muy buenos resultados en términos generales. Aunque no se han tomado mediciones, lo que es reseñable es que durante todas las sesiones en las que se desarrollan estos talleres, la incidencia de los trastornos graves de conducta ha sido inexistente. Así mismo, la participación y la asistencia de los usuarios a estos talleres es continua por lo que su nivel de adherencia a este tipo de actividades se valora como muy positiva y beneficiosa.

Estos resultados han hecho que, aparte de la financiación obtenida por la obra social de la Caixa para llevar a cabo esta investigación, se ha conseguido ampliar la duración de estas actividades y multiplicar por dos el número de beneficiarios, a través de la fundación Cepsa y de los premios al Valor Social 2018. Además, con esta última dotación económica, también se está comenzando a trabajar en la comunicación aumentativa y alternativa a partir del uso de dispositivos táctiles, con usuarios del centro que carecen de habilidades comunicativas eficientes.

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Con respecto a los objetivos generales de la Tesis, y a nivel general, se puede concluir que:

- A. Se ha podido realizar un amplio análisis de Tecnologías (hardware y software) de Diseño y Fabricación Digital, y de su adecuación para ser integrados en distintos contextos educativos.
Cabe destacar que este tipo de tecnologías caducan muy pronto, por lo que hay que concebir cualquier integración de este tipo de tecnologías sin centrarnos en un modelo o marca concreta.
- B. Se han podido diseñar propuestas de actividades para asignaturas relacionadas con Dibujo, Diseño y Artes Plásticas, en las que se facilita la incorporación de las tecnologías analizadas.
- C. Se han podido desarrollar casos prácticos, con profesores, que han permitido para validar las actividades en entornos educativos.
- D. Ha sido posible realizar casos prácticos de actividades de diseño y fabricación digital en aulas convencionales con alumnos, que nos han permitido validar aspectos educativos de dichas actividades.
- E. Se ha podido realizar divulgación de las acciones y los resultados obtenidos para procurar la interacción dentro de la comunidad educativa.

De forma más específica y detallada las conclusiones de esta tesis se encuentran recogidas en el compendio de artículos que conforman este trabajo. Como resumen de las mismas podemos indicar que:

La incorporación de modelos 3D digitales e impresos en 3D puede servir para el desarrollo de la competencia digital de alumnos y profesores. Con las tecnologías de edición e impresión digital existentes, los docentes pueden disponer de un material educativo replicable que incluye modelos 3D a bajo coste o incluso gratis, con el que facilitar el acceso a contenidos de carácter tridimensional a sus alumnos. Estas tecnologías son accesibles y de fácil implantación en la docencia, ofreciendo la posibilidad de introducir nuevos recursos didácticos en los procesos de enseñanza -aprendizaje, que ayudan a incorporar la competencia digital en los centros.

Durante esta investigación, se ha puesto de manifiesto que la incorporación en educación de las tecnologías de creación y visualización de contenidos 3D, contribuye al desarrollo de la competencia creativa, a través de actividades específicas en un entorno de enseñanza-aprendizaje,

en que se utilicen escáneres 3D, impresoras 3D y ordenadores con software 3D. Así, como figura en la Publicación N°4, los participantes en este tipo de actividades, mejoran su competencia creativa en 24,04 puntos, según los datos obtenidos del test TAEC.

Para la obtención de modelos 3D se han analizado y utilizado escáneres 3D de bajo coste, cuyo uso, contribuye a reducir significativamente el tiempo necesario para construir un modelo 3D, eliminando, además, la necesidad de habilidades de modelado y experiencia técnica. En general, este método es más rápido y directo, especialmente si se utilizan escáneres 3D de escritorio. A pesar de esto, en experiencias posteriores se pudo deducir que el desconocimiento de los medios tecnológicos tales como los escáneres 3D, propicia que muchos centros no los utilicen a pesar de su bajo coste.

El uso de escáneres 3D, ha de entenderse como una toma fotográfica en tres dimensiones, es decir, capturar la figura desde todos sus puntos de vista permitiendo obtener una representación 3D digital fiel al original. Dicho esto, cabe señalar que, para la fabricación de réplicas físicas de la figura escaneada, la herramienta que dará mejores resultados en cuanto a fidelidad con respecto a la original será la impresión 3D. Sin embargo, este método, requiere de maquinaria y de un elevado tiempo de impresión. Por ello, cuando el objetivo de la actividad es lograr que cada alumno pueda obtener un resultado en una misma sesión, será preferible la fabricación de las réplicas empleando el corte, aunque el resultado final no sea tan preciso como la impresión 3D.

Este hándicap que suponen los largos tiempos de impresión, se ha tenido que superar durante el desarrollo de este trabajo de investigación, adaptando las actividades y los resultados a lograr, proponiendo incluso disponer de mayor número de horas para terminar la actividad. Este caso queda patente en la Publicación N°2. Una actividad consistente en personalizar y crear un muñeco personalizado a partir del escaneo de los propios alumnos. En esta actividad, sólo un tercio de los grupos han podido imprimir en 3D los resultados obtenidos de la actividad, sin embargo, todos los grupos crearon, al menos, la versión digital del muñeco personalizado.

Así, durante el transcurso de esta investigación, hemos apostado por tecnologías digitales, accesibles a los centros educativos, que permitan generar figuras tridimensionales en papel, cartón y goma Eva, partiendo de ficheros 3D digitales, permitiéndonos soslayar los problemas de tiempo y de tamaño que tienen las impresoras 3D actuales, obteniendo sin embargo unos resultados muy satisfactorios para los alumnos.

Empleando estas alternativas, desarrollamos distintas actividades en las que el material principal es el papel (**Publicación N° 7** y **Publicación N° 8**). En estas actividades, se propuso la introducción de plotters de corte, y tras los datos obtenidos, se puede afirmar que se puede incorporar este tipo de dispositivos, sin generar problemas ni a los alumnos ni al profesor, ya que en torno a las 100 cortes realizados (entre pruebas previas, ejercicio y errores), no se produjo ningún fallo propio de la máquina. Por lo que, tanto su precio como su funcionamiento, es óptimo para el trabajo en centros educativos.

Sin embargo, aunque se han analizado, probado y comprobado la viabilidad de incorporar tecnologías alternativas a la impresión 3D en entornos educativos, creemos que la impresión tridimensional tiene muchas posibilidades de cara a incorporar otro tipo de actividades a partir

de otras estrategias de uso. Por ejemplo, una de estas estrategias de uso de la impresión 3D es la impresión de moldes flexibles tal y como aparece en la **publicación N°6**, concluyendo que, la introducción de moldes flexibles en el aula es factible ya que, en este caso, cada alumno consiguió trabajar con los moldes y obtener varias piezas, participando activamente en el proceso de fabricación.

También, durante este proceso de investigación, se ha elaborado un libro de actividades (**Publicación nº 11**), que contiene las indicaciones y medios necesarios para desarrollar la mayor parte de las actividades descritas en las distintas publicaciones mencionadas. Desde nuestro punto de vista, este libro de “*Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje*”, muestra opciones para incorporar estas tecnologías en aulas convencionales, sin necesidad de conocimientos previos de fabricación digital, y pretende suplir en gran medida, el vacío existente en cuanto al diseño de actividades, ofreciendo posibilidades accesibles que sirvan como una iniciación a la fabricación digital, dentro del ámbito del Dibujo, Diseño y Artes Plásticas.

Por último, pero no menos importante, se ha de señalaR que este tipo de tecnologías y actividades, también son posibles en centros de educación especial. En este caso, se ha de atender principalmente a la formación básica de los usuarios con discapacidad intelectual, procurando adaptar los contenidos y las actividades en función de las capacidades y habilidades de este colectivo. No obstante, los resultados obtenidos son buenos en términos generales, aunque esta línea de investigación debería profundizarse, para obtener resultados concluyentes.

Como futuros trabajos derivados de esta tesis sería interesante abordar actividades en las que se empleasen máquinas corte láser portátil. En este trabajo de investigación estaba previsto experimentar con este tipo de tecnología y para ello se inició el proceso de adquisición de uno de estos dispositivos (Glowforge) pero este proyecto, surgido de una campaña de crowdfunding, sufrió problemas de producción que impidieron su adquisición.

Otro posible futuro trabajo es la realización de una investigación ampliada sobre las actividades desarrolladas en los talleres de los centros de educación especial, añadiendo nuevos centros para poder comparar y validar nuevas actividades.

REFERENCIAS

- Blikstein, P., Libow Martinez, S., & Allen Pang, H. (2015). *Meaningful Making Projects and Inspirations for FabLabs and Makerspaces*. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press.
- BOE. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *I. Disposiciones generales*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- Breton, K., Johanson, C., Xanthoudaki, M., Baker, Y., Gras Velázquez, À., Miaoulis, I., . . . Alfons, A. (2015). Aprender hoy para solucionar el mañana. En 3. B. 2015 (Ed.), *1st STEAM International Conference* (págs. 1-16). Barcelona: Obra Social “la Caixa”. Obtenido de file:///C:/Users/Alejandro/Documents/DOCTORADO/STEAM_text1/STEAM_text1.pdf
- Cummins, P. (1980). *Industrial Education, Volumen 69*. Michigan: Cummins Publishing Company. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=A4neAAAAMAAJ>
- FormaLab. (2011). De FabLab a FormaLab. *Leonardo transfer of innovation Formalab 2011-1-FR1-LEO05-24454*. España. Obtenido de https://formalab.fr/sites/formalab.fr/files/De%20FABLAB%20a%20FORMALAB_es.pdf
- García Sáez, C. (Mayo de 2016). *(Casi) Todo por hacer*. España: Fundación Orange. Obtenido de http://www.fundacionorange.es/wp-content/uploads/2016/05/Estudio_Fablabs_Casi_Todo_por_hacer.pdf
- Goodship, V. (2004). *Practical Guide to Injection Moulding*. Shawbury: iSmithers Rapra Publishing.
- Martínez Torán, M. (2018). Creación y fabricación digital. En P. Biel, I. López Forniés, & E. & Manchado, *Diseño y reflexión: el cambio del diseño y el diseño del cambio* (págs. 125-137). Prensas Universidad de Zaragoza.
- McKay, C., & Peppler, K. (2013). MakerCart: A Mobile Fab Lab for the Classroom. *12th Interaction Design for Children Conference (IDC)*, (pág. 1 a 5). New York.
- Meier, C., Saorín, J.L., de la Torre-Cantero, J. (2017). Incorporación del patrimonio escultórico en contextos educativos mediante el uso de impresoras 3D y tecnologías avanzadas de bajo coste, *Tesis Doctoral*, Universidad de La Laguna.
- Nemorin, S. (2016). The frustrations of digital fabrication: an auto/ethnographic exploration of ‘3D Making’ in school. *International Journal of Technology and Design Education*. doi:10.1007/s10798-016-9366-z
- Rich, J. C. (1914). *The materials and methods of sculpture*. New York: Dover Publications Inc.

- Rivero Trujillo, D., & Saorín Pérez, J. (2014). Impresoras 3D en el ámbito educativo. *Trabajo Final de Máster*. La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España.
- Sánchez-Laulhé Sánchez de Cos, J. M., Olmo Bordallo, J. J., Barrigón Ferrero, B., Moreno Range, D., Lugo Muñoz, D., & Fernández Expósito, M. (2013). *Tour FabMóvil Provincia de Málaga*. Solicitud de subvención, Málaga. Obtenido de <https://docplayer.es/14047932-Fab-movil-00-tour-fabmovil-provincia-de-malaga.html>
- Turner, A. (2011). *Extruder, Mold & Tile: Forming Techniques*. Cleveland: The american Ceramic Society.
- Walter-Herrmann, J., & Büching, C. (2013). *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*. Bremen: Transcript Verlag.

Anexos

Anexo I: Artículos publicados en revistas indexadas

1. Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D.
2. Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa.
3. Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos.
4. Makerspaces teaching learning environment to enhance creative competence in engineering students.
5. Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos.

Anexo II: Artículos en revisión en revistas indexadas

1. Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography.
2. Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste.
3. The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments.

Anexo III: Otras publicaciones

1. Application of Low-Cost 3D Scanning Technologies to the Development of Educational Augmented Reality Content.
2. Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías.
3. Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje.

Anexo I: Artículos publicados en revistas indexadas

FASE I	1. Artículo: Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D Revista: Edmetec, Revista de Educación Mediática y TIC (junio 2017) Base de Datos: Latindex. Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS)
FASE II	2. Artículo: Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa Revista: Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 29 Nº1 pp 85-100 (enero 2017) Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS) Índice de impacto: SJR (2017) = 0,157 3. Artículo: Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos Revista: Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 30 Nº2 pp 295-309 (abril 2018) Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS) Índice de impacto: SJR (2017) = 0,157
FASE III	4. Artículo: Makerspaces teaching learning environment to enhance creative competence in engineering students Revista: Thinking Skills and Creativity, Vol. 23 pp 188-198 (enero 2017) Base de Datos: JCR Índice de impacto: JCR (2017) = 1,33 5. Artículo: Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos Revista: Comunicación y Pedagogía nº 291-292 (diciembre 2016) Sistema de evaluación: Journal Scholar Metrics

Anexo II: Artículos en revisión en revistas indexadas

FASE I	
FASE II	6. Artículo: Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography (<i>En revision</i>) Revista: International Journal of Technology and Design Education Base de Datos: JCR Índice de impacto:1.339 Journal Citation Reports (2017) 7. Artículo: Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste (<i>Aceptado, pendiente de publicación</i>) Revista: Edutec: Revista electrónica de tecnología educativa Base de Datos: Latindex. Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS)
FASE III	8. Artículo: The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments (<i>Aceptado, pendiente de publicación</i>) Revista: International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET) Base de Datos: Scopus, Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS) Indice de Impacto: SJR (2017): 0,218

Anexo III: Otras publicaciones

FASE I	9. Comunicación a Congreso: “Application of Low-Cost 3D Scanning Technologies to the Development of Educational Augmented Reality Content” Congreso Frontiers in Education (FIE 2016), Oklahoma, EEUU. Fecha: octubre 2016 10. Comunicación en congreso: Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías. Congreso: II Congreso Internacional Tecnología y Turismo, accesibilidad 4.0 para todas las personas, DRT4ALL. pp 5-10. Fecha: septiembre 2017
FASE II	11. Libro: Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje Editorial: Bubok ISBN eBook en PDF: 978-84-685-3550-0 ISBN Libro en papel: 978-84-685-3549-4
FASE III	

1.

Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D

Edmetec, Revista de Educación Mediática y TIC 6(2), 27-46

(junio 2017)

Base de Datos: Latindex. Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS)

Jose Luis Saorín, Cecile Meier, Jorge de la Torre Cantero, Dámari Melián Díaz, Carlos Carbonell Carrera, Alejandro Bonnet de León

1.

Edmetic, Revista de Educación Mediática y TIC

Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D

- Fuente de impacto: Latindex
- Emerging Source Index



Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

[FAQ](#)
[Ayuda](#)
[Facebook](#)
[Contacto](#)
[Disminuir](#)
[Aumentar](#)

[¿QUÉ ES?](#)
[ORGANIZACIÓN](#)
[SOCIOS](#)
[EDITORES](#)
[BIBLIOTECA DEL EDITOR](#)
[DOCUMENTOS](#)
[NOTICIAS](#)
[IDIOMA](#)

ISSN: 2310-2795

☒ Directorio
 ☐ Catálogo 2.0
 ☐ Revistas en línea

Índices
Gráficas



EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC nace con el objetivo claro de potenciar la línea educocomunicativa que desde la Unión Europea se está demandando. Abierta a experiencias de investigación y de aula y a aportaciones reflexivas, emprende su andadura invitando a toda la comunidad educativa a promover desde sus páginas la educación en medios de comunicación y en las tecnologías de la información y la comunicación en todos los niveles y ámbitos en los que la educación tiene cabida.

Catálogo v2.0 (2018 -)

✓ Características cumplidas: 33

✗ Características no cumplidas: 5

Catálogo v1.0 (2002 - 2017)

✓ Características cumplidas: 30

✗ Características no cumplidas: 6

Título	Edmetic
Título Abreviado	Edmetic
País	España
Situación	Vigente
Año de inicio	2012
Año de Terminación	9999
Frecuencia	Semestral
Tipo de publicación	Publicación periódica
Soporte	En línea
Idioma	Español
ISSN	2254-0059
ISSN-L	2254-0059
Otros Títulos	EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC
Temas	Ciencias Sociales
Subtemas	Educación
Clasificación Decimal	371.66/
Universal	
Organismo responsable	Universidad de Córdoba
Editorial	Universidad de Córdoba
Naturaleza de la publicación	Revista de investigación científica
Naturaleza de la organización	Institución educativa
Revista arbitrada	Si

Texto completo
<http://www.uco.es/revistas/index.php/ed...>

Cobertura Temporal
 2012-

Formato de Salida
 pdf

Acceso
 Gratuito

SupportTrainingContact Usclarivate.com

Clarivate Analytics

Master Journal List

Search 

[Master Journal List](#) > Journal Search

Journal Search

Emerging Sources Citation Index - JOURNAL LIST

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z



EDMETIC

Semiannual

ISSN: 2254-0059

E-ISSN: 2254-0059

UNIV CORDOBA, FAC CIENCIAS EDUCACION, AVDA SAN ALBERTO MAGNO S-N, CORDOBA,
SPAIN, 14071

Coverage ▼

[Emerging Sources Citation Index](#)



Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D

Digital Competence: Use and handling of 3D digital models and 3D printed 3D models

Fecha de recepción: 27/01/2017

Fecha de revisión: 04/03/2017

Fecha de aceptación: 01/06/2017

***Competencia Digital: su relación con el uso y manejo de modelos 3D
tridimensionales digitales e impresos en 3D***

***Digital Competence: It's relation with the use and handling of 3D digital
models and 3D printed 3D models***

José Luis Saorín¹, Cecile Meier²; Jorge de la Torre-Cantrero³, Carlos Carbonell-Carrera⁴, Dámari Melián-Díaz⁵ y Alejandro Bonnet de León⁶

Resumen:

El uso y manejo de modelos tridimensionales digitales no está concebido dentro de la competencia digital de los currículos de secundaria y Bachillerato. Sin embargo muchos autores relacionan la competencia digital con el manejo de modelos 3D, el modelado 3D y entornos virtuales tridimensionales (Realidad aumentada, virtual,...). En este artículo se presenta un recurso educativo para facilitar el acceso a contenidos didácticos de carácter tridimensional digital y tangible. Determinadas materias precisan de la comprensión e interpretación de conceptos volumétricos: los recursos didácticos innovadores para la edición, visualización e impresión 3D ofrecen una alternativa a las representaciones 2D en los procesos de enseñanza y aprendizaje. En este artículo se describe la creación de un catálogo escultórico que contempla versiones digitales y tangibles de modelos tridimensionales de las esculturas a través de tecnologías innovadoras de bajo coste como la visualización e impresión 3D. La prueba piloto desarrollada con 15 alumnos de bachillerato recoge una alta valoración de los participantes sobre las tecnologías empleadas.

Palabras claves: Enseñanza-aprendizaje tridimensional, Impresión 3D, modelos 3D, Competencia digital.

Abstract:

¹Universidad de la Laguna, España; jlsaorin@ull.es

²Universidad de la Laguna, España; cecile.eme@hotmail.com

³Universidad de la Laguna, España; jcantero@ull.edu.es

⁴Universidad de la Laguna, España; ccarbonate@ull.es

⁵Universidad de la Laguna, España; damarimd@gmail.com

⁶Universidad de la Laguna, España; alebonle@hotmail.com

The use and management of digital three-dimensional models is not conceived within the digital competence of secondary and high school curricula. However many authors relate the digital competence to the handling of 3D models, 3D modeling and three-dimensional virtual environments (augmented reality, virtual,...). This article presents an educational resource to facilitate access to three-dimensional digital and tangible educational content. Some subjects require understanding and interpretation of volumetric concepts: innovative teaching resources such as editing, viewing and printing 3D offer an alternative to 2D representations in the teaching and learning. A sculptural catalogue that provides digital and tangible versions of three-dimensional models through innovative low-cost technologies like 3d printing and visualisation is described. The experience carried out with 15 high school students shows a high consideration of the participants on the technologies used.

Keywords: Three-dimensional learning, 3D printing, 3D models, Digital competence

1. Introducción

En los entornos escolares para fomentar la competencia digital es habitual el uso del proyector y ordenador con acceso a internet para mostrar o buscar información y recursos didácticos en 2D como imágenes, fotos, planos o dibujos. Estos medios pueden ser complejos para el aprendizaje de materias relacionadas con conceptos de carácter tridimensional, y a veces insuficientes para la comprensión espacial por parte del alumno, que precisa imaginar objetos bajo diferentes orientaciones, manipular modelos tridimensionales y trasladar mentalmente dibujos entre representaciones de dos y tres dimensiones. Por ello, en entornos educativos suele ser habitual la utilización de objetos tangibles o maquetas como recurso didáctico complementario. Álvarez (2011) señala la maqueta como un elemento didáctico de primer orden.

En ingeniería y arquitectura es habitual la utilización de maquetas; en geografía, mapas con relieve, en dibujo técnico se usan piezas metálicas manipulables y en estudios artísticos es normal el uso de réplicas tridimensionales de obras escultóricas, por citar algunos ejemplos en educación superior universitaria. En la enseñanza preuniversitaria también es habitual que los estudiantes realicen sus propias maquetas como un paso más en el proceso de aprendizaje (Sardà y Márquez, 2008).

El uso de estos modelos tangibles presenta inconvenientes como el precio, roturas, pérdidas, dificultad para su movilidad, almacenamiento, acceso, etc. Estos factores limitan disponer de una variedad amplia de modelos tangibles para el aprendizaje. La falta de acceso a los objetos tangibles es especialmente evidente en la educación online.

Para solventar estos problemas, el empleo modelos 3D digitales constituye una alternativa viable, al ser fácilmente accesibles desde recursos TIC como Smartphone, tabletas u ordenadores, además de facilitar una manipulación tridimensional semejante al modelo tangible o maqueta. Sin embargo, Álvarez, (2011) resalta la importancia de las maquetas como recurso educativo. En este sentido, la disminución de precios en tecnologías de

fabricación digital como las impresoras 3D hace cada vez más viable la incorporación de objetos de aprendizaje tangibles en la docencia reglada.

Muchos autores relacionan la competencia digital con el manejo de modelos 3D, el modelado 3D, entornos virtuales tridimensionales, etc. (Cervera y Mon, 2013; Cervera, Martínez, y Mon, 2015). Además subrayan la importancia de educar a los profesores en la competencia digital y en el uso de entornos 3D (Muñoz-Repiso y del Pozo, 2016). Esta relación entre objetos 3D y competencia digital está empezado a ser reconocida en organismos oficiales. Por ejemplo, la Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento del Gobierno de Canarias, en julio de 2016, en su convocatoria de subvenciones orientadas a la mejora de las competencias digitales de la población residente en Canarias, incluye diseño, modelado y fabricación 3D entre las tres temáticas de la convocatoria (BOC, 2016).

En este artículo se describe la creación de un recurso educativo tridimensional que contempla los dos formatos simultáneamente, el digital y el tangible: un catálogo de esculturas que utiliza enlaces y códigos QR como acceso a modelos digitales tridimensionales que se pueden visualizar online o descargar y replicar en una impresora 3D, sin necesidad de conocimientos avanzados de tecnologías tridimensionales. El catálogo se presenta en dos formatos: libro tradicional con hiperenlaces o en versión tangible en forma de caja de esculturas impresas en 3D. Para valorar su implantación, se ha realizado una prueba piloto con alumnos de 1º de Bachillerato durante el curso 2015/16, en la que trabajaron con el catálogo de esculturas aportando sus valoraciones en un cuestionario que recoge su grado de satisfacción.

2. Antecedentes: objetos tridimensionales tangibles en educación

El uso de modelos físicos tangibles es una estrategia docente con una gran tradición. Un caso típico de objetos tangibles utilizado en secundaria son los modelos de piezas 3D para el aprendizaje de vistas normalizadas en las asignaturas de dibujo técnico (de la Torre Cantero, Martín-Dorta, Saorín, Carbonell y Contero, 2013). Estos modelos físicos se utilizan para que los estudiantes puedan realizar bocetos desde distintos puntos de vista y mejorar

la comprensión de la relación entre el mundo real (entornos y modelos tridimensionales) y las representaciones bidimensionales (dibujo de las vistas normalizadas). Constituyen un material educativo muy extendido en dibujo técnico para potenciar la mejora de las habilidades espaciales (Ben-Chaim, Lappan y Houang, 1988).

En estudios de ciencias naturales es frecuente disponer de elementos reales (fósiles, animales disecados...) para su estudio en laboratorio (figura 1, izquierda), en geología es frecuente el uso de minerales y rocas; En otras asignaturas se usan maquetas, pero el coste de éstas es considerable. Por ejemplo, el precio de la vaca de la figura 1 (derecha), utilizada en estudios de zootecnia, asciende a 3044,50 euros.



Figura 1. Izq.: Fósiles marinos canarios para el estudio en el laboratorio de la sección de paleontología. Dch.: Lámina y maqueta de estudio (Modelo de Vaca de la empresa Medical simulator) Área de Zootecnia de la Universidad de La Laguna

En ingeniería el empleo de maquetas ayuda a la comprensión del espacio tridimensional. En estudios de topografía se usan maquetas para facilitar la transición entre las representaciones 2D y su representación 3D (Carter, Patrick, Wiebe, Park y Butler; 2005). En arquitectura las maquetas son utilizadas como herramientas auxiliares en la realización de proyectos arquitectónicos (Carazo Lefort y Galván Desvaux, 2014).

Para el estudio de la escultura, el dibujo artístico y el volumen, es usual la utilización de réplicas de esculturas y objetos de escayola, que sirven entender los conceptos tridimensionales asociados al análisis de las formas y su representación (Rodríguez-Samaniego, 2013).

2.1 La alternativa digital

La aparición de tecnologías digitales permiten el diseño de recursos didácticos, alternativos a la manipulación directa de objetos tangibles, con los que el usuario puede interactuar con contenidos 3D. Entre estas tecnologías destacan los dispositivos multitáctiles como los smartphones y las "Tablets", cuya interfaz tangible se aproxima a la forma de interactuar con el objeto real (Yi-Chen, Hung-Lin y Wei-Han, 2011).

De entre los informes internacionales sobre la tecnología (Instituto de Educación Internacional, 2014; OCDE, 2014; UNESCO, 2015) hay uno que se ha convertido en referente: el Informe Horizon. Este informe, elaborado por New Media Consortium, identifica nuevos tipos de tecnologías que pueden ser utilizados en la educación, y analiza su impacto en la educación, el aprendizaje y la investigación. El informe Horizon (Johnson et al., 2015) incide en las oportunidades para el aprendizaje informal, poder estudiar y trabajar dónde y cuándo quieras a través del uso de Smartphone y tabletas digitales destacando una nueva tendencia: BYOD (Bring Your Own Device), que promueve el uso por parte de los estudiantes de sus propios dispositivos para acceder a recursos innovadores de aprendizaje como complemento a la docencia tradicional en el aula. Tabletas digitales y Smartphone constituyen una tecnología de gran potencial en el aula: un 30% de los niños españoles de 10 años de edad dispone de una Tablet o un Smartphone, un 70% a los 12 y un 83% a los 14 (Cánovas, García-De-Pablo, Oliaga-San-Atilano y Aboy-Ferrer, 2014).

A este respecto, el resultado de un estudio reciente sobre la competencia digital en el aula a egresados de Grado en Maestro en Educación Infantil muestra que se sienten poco preparados para el uso didáctico de dispositivos multitáctiles y tecnologías 3D en el aula (Muñoz-Repiso & del Pozo, 2016). Es preciso un cambio de tendencia, y las tecnologías descritas en este trabajo pueden ayudar a conseguirlo.

2.2 ¿Digitales o tangibles?

El uso de modelos tridimensionales digitales puede solventar algunas de las carencias que presentan los modelos reales o maquetas, como roturas o pérdidas de objetos, ya que los modelos 3D no solo se pueden visualizar en diversos dispositivos, tanto offline como online, sino que además es posible su descarga para su reproducción tantas veces como sea necesario (son replicables). Resuelven, a su vez, la problemática del transporte, intercambio y almacenaje, debido a la opción de archivarlos en espacios en la nube o aulas virtuales, traspasando así los límites de un laboratorio.

En el año 2013, en la Universidad de La Laguna, se realizó una prueba piloto sobre la comparación del uso de modelos tangibles y digitales. Se analizó la viabilidad de modelos 3D digitales en tabletas como posibles sustitutos de las piezas utilizadas para el aprendizaje de vistas normalizadas en asignaturas de dibujo técnico. Pero los resultados fueron poco concluyentes: la valoración de los estudiantes fue muy similar en ambos casos al no haber una diferencia significativa entre las preferencias de los estudiantes por los modelos tangibles o por los modelos digitales (de la Torre Cantero, Martín-Dorta, Saorín, Carbonell y Contero, 2013).

2.3 Precio, accesibilidad y disponibilidad

El modelado, escaneo y la impresión 3D hasta hace aproximadamente ocho años eran tecnologías reservadas para expertos en la materia y requerían un largo y costoso aprendizaje, además se precisaba un equipo técnico avanzado y el precio de los programas era muy elevado y sólo accesible para grandes centros, empresas o universidades (Caño, de la Cruz, & Solano, 2007). Este panorama cambia en 2006, con la distribución de forma gratuita del programa SketchUp por parte de Google. Sketchup es un programa multiplataforma (PC y Mac) con una versión gratuita, que ofrece la posibilidad de introducir al usuario en el Modelado 3D con pocos conocimientos y en muy poco tiempo. Este programa se ha utilizado ya en la docencia de materias con contenidos 3D ofreciendo excelentes resultados (de la Torre Cantero, Saorín, Carbonell, de Castillo Cossío y Contero, 2012). Blokify, Pottery (Saorín, de

la Torre-Cantero, Melián, Meier, & Rivero, 2015) y la Suite de Autodesk 123D son otras aplicaciones de modelado 3D con versión gratuita y sencillas de utilizar, con las cuales (123D Catch) se han obtenido, a bajo coste, réplicas digitales de esculturas (de la Torre-Cantero, Saorín, Meier, Melián Díaz, y Alemán, 2015).

En relación al escaneado de objetos, existen periféricos de videojuegos que tienen la posibilidad de detectar el espacio en 3D, lo que ha dado lugar a la aparición de escáneres tridimensionales muy accesibles, aunque de resoluciones no tan buenas como los profesionales. Un ejemplo es la utilización de la Kinect de Microsoft con el programa Skanet, que permite disponer un escáner 3D por menos de 200 euros. Por otro lado, además de la posibilidad de que los alumnos o profesores creen sus propios modelos 3D, existen páginas web especializadas en la difusión gratuita de modelos tridimensionales como Thingiverse, 3D Warehouse o SketchFab. Estos repositorios disponen de recursos especiales con modelos 3D enfocados a la educación y posibilitan la visualización e interacción directa en el entorno online a través del propio navegador, sin necesidad de tener instalada ninguna aplicación de visionado 3D. Los entornos online especializados en modelos 3D para la educación también ofrecen la posibilidad de descargar e imprimir los modelos en una impresora 3D.

Usar modelos digitales e impresos en 3D en educación ha sido posible gracias a la bajada de precio y a los avances tecnológicos que han propiciado la aparición de aplicaciones de bajo costo y/o gratuitas con las que profesores y alumnos trabajan en un entorno tridimensional. Canessa, Fonda, y Zennaro (2013) afirman que es necesario disponer de metodologías y recursos docentes que permitan sacar partido de las impresoras 3D en entornos educativos.

Como ejemplo, en la tabla 1 se describen los tamaños, tiempo, material utilizado y precio para la impresión de las esculturas utilizadas en esta experiencia.

Tabla 1: Ejemplo coste y tiempo de impresión del catálogo de esculturas de 27 piezas. (Fuente: Elaboración propia)

Autor	Escultura	Tamaño impresión (cm)	Tiempo de impresión	Peso (en gramos) de PLA gastado	Precio de PLA (20€/kg)
Amadeo Gabino	Estela espacial	10	51 m	14,80	0,29 €
Andreu Alfaro	Sin Título	10	1h 14 m	23,87	0,47 €
Claude Viseux	Homenaje a Millares	7	1h 50 m	43,26	0,86 €
Eduardo Gregorio	Macla	7	54 m	16,81	0,33 €
Eduardo Paolozzi	Homenaje a Gaudí	15	1h 40 m	30,46	0,60 €
Eusebio Sempere	Móvil	10	2h 42 m	47,34	0,94 €
Federico Assler	Sin Título	10	46 m	14,19	0,28 €
Feliciano Hernández	Sin Título	10	1h 6 m	19,68	0,39 €
Francisco Sobrino	Móvil	10	53 m	10,10	0,20 €
Gottfried Honegger	Homenaje a Pascal	10	52 m	10,14	0,20 €
Gustavo Torner	Laberinto	8	2h 42 m	48,27	0,96 €
Henry Moore	El Guerrero Goslar	10	1h 2 m	21,23	0,42 €
Jaume Cubells	Sin Título	8	1h 21 m	29,47	0,58 €
Joan Miró	Femme Bouteille	10	50 m	13,54	0,27 €
Joaquín Rubio C.	Nivel	15	1h 22 m	25,63	0,51 €
José Abad	Sin Título	14	2h 30 m	45,77	0,91 €
Josep Guimaraes	Lucha de Serpientes	9	59 m	17,44	0,34 €
Josep M. Subirachs	Introversión	8	2h 39 m	62,87	1,25 €
Marcel Martí	Sin Título	10	55 m	18,28	0,36 €
María Simón	Hombre	10	1h 18 m	19,54	0,39 €
Mark Macken	Solidaridad	10	2h 2 m	36,8	0,73 €
Martín Chirino	Lady Tenerife	10	1h 29 m	32,42	0,64 €
Óscar Domínguez	Monumento al Gato	10	1h 19 m	24,22	0,48 €
Pablo Serrano	Homenaje a Canarias	10	1 h 53 m	39,33	0,78 €
Remigio Mendiburu	Dado para 13	6	1h 41 m	33,81	0,67 €
Ricardo Ugarte	Lorea	11	1h 51 m	34,93	0,69 €
Xavier Corberó	Ejecutores y ejecutados	6	1h 54 m	39,85	0,79 €
Total			38h 35 m	774,05 g	15,33 €

La accesibilidad y divulgación de los modelos 3D digitales en el ámbito docente es la misma que cualquier otro archivo digital, pudiendo incluirse en repositorios 3D especializados de manera gratuita (ej. Sketchfab o Thingiverse), en aulas virtuales, o repositorios online como Dropbox, Drive, etc. Así, los objetos tridimensionales pueden ser incluidos con facilidad en presentaciones multimedia o incluso en libros de papel mediante un enlace. Los libros, a pesar de los múltiples formatos de comunicación existentes, siguen siendo en la actualidad un formato de difusión de conocimiento muy extendido en entornos educativos. Existen al menos nueve tecnologías diferentes que permiten incluir objetos tridimensionales en libros digitales y de papel (Carbonell, Saorín, Meier, Melián-Díaz y De-la-Torre-Cantero, 2016).

Para incluir información 3D en un libro impreso se puede indicar una referencia a una página web, que obliga al lector a teclear la dirección URL. Aunque existe la posibilidad de emplear direcciones URL cortas, hay aplicaciones que permiten, mediante un código, acceder a la dirección indicada, como por ejemplo un código QR. Se dispone de generadores de código QR libres y gratuitos en Internet, como por ejemplo el QR Creator, que facilitan su generación y uso. Mediante la combinación de enlaces digitales y códigos QR en un mismo libro se posibilita el acceso a los modelos 3D tanto en el libro en formato digital como en formato impreso.

3. Metodología

3.1 Recurso educativo 3D replicable

Según la recomendación del parlamento europeo y del consejo de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente (2006/962/CE), la competencia digital implica el uso seguro y crítico de la tecnología de la sociedad de la información (IST) para el trabajo, el ocio y la comunicación (de la Unión Europea, 2006).

Los alumnos están acostumbrados fuera del aula a manejar tecnologías 3D, como por ejemplo los videojuegos o aplicaciones en dispositivos móviles. Sin embargo en los entornos educativos es menos frecuente el uso de estas tecnologías.

En este trabajo se describe un recurso educativo para contenidos relacionados con el patrimonio escultórico: un catálogo de esculturas que incorpora modelos tridimensionales replicables. Como hemos visto, el uso y manejo de estos modelos se considera adecuado para el aprendizaje y la mejora de la competencia digital.

Dado el carácter tridimensional de esculturas, su divulgación a través de un recurso plano como las imágenes en un catálogo tradicional hace que se pierda información y se limite la comprensión de las obras (Chamizo, 2010). Una posibilidad de incluir la tridimensionalidad de las esculturas en el aula es mediante enlaces a modelos digitales 3D o réplicas impresas en una impresora 3D, como se ha hecho para este trabajo, en el que se ha creado un catálogo de 27 esculturas públicas de Santa Cruz de Tenerife pertenecientes a la I Exposición Internacional de Esculturas en la Calle disponible en: <http://goo.gl/wD3EwS> (Figura 2, parte izquierda). El catálogo se presenta en formato tradicional de libro donde las esculturas se describen con una ficha técnica (Nombre, descripción, autor, año, materiales, dimensiones y link con información adicional), una o varias imágenes de cada escultura y un mapa esquemático de la ciudad con su ubicación.

La diferencia respecto de un catálogo convencional radica en la incorporación de dos enlaces: uno para acceder a la visualización online del modelo 3D y otro para descargar e imprimir la escultura en una impresora 3D (Fig. 2, derecha). De este modo, si se dispone de la versión electrónica del libro, se puede acceder y visualizar el modelo tridimensional mediante un clic. Si se dispone del libro impreso en papel, se puede acceder y manipular el modelo digital de la escultura mediante un Smartphone o tableta a través del código QR.



Figura 2. Catálogo con enlaces y códigos QR para la visualización y descarga de los modelos

Para organizar todas las obras impresas en 3D, se ha creado a su vez un embalaje (Figura 3). El diseño y las plantillas para fabricar dicho embalaje, compuesto por dos cajas, están incluidos en el catálogo para que cualquier usuario pueda realizar su propia caja de embalaje con cartón, para lo cual solo precisará de una plancha de cartón grande (aproximadamente 130 x 130 cm) y una impresora de papel normal. El diseño de las cajas incluye fichas identificativas de cada obra con un enlace que posibilita volver a descargar e imprimir la obra en caso de pérdida o rotura. Se han impreso réplicas de todas las obras en una impresora 3D Makerbot Replicator 2 en filamento PLA blanco.



Figura 3. Catálogo de esculturas y conjunto de 27 esculturas impresas con su embalaje

Este recurso educativo, por tanto, da acceso a ficheros 3D que permiten la creación de réplicas tangibles mediante impresora 3D de las esculturas contenidas en el mismo. El docente dispone así de un catálogo de esculturas en dos formatos diferenciados: el formato libro con acceso a modelos digitales y el formato caja con los modelos tangibles manipulables (Figura 4).

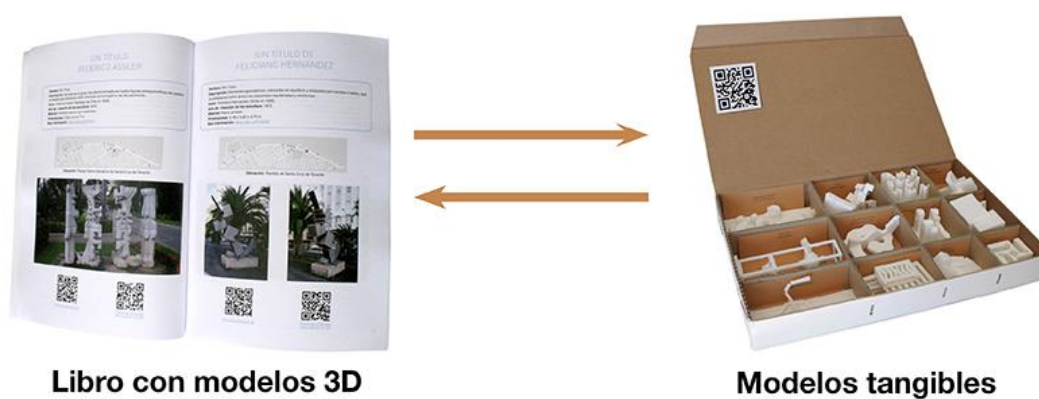


Figura 4. Esquema de relaciones

3.2 Participantes

Se facilitó el catálogo a un grupo de 15 alumnos de la asignatura de Dibujo, Diseño y Artes Plásticas de 1º de Bachillerato del Colegio MM. Dominicas Vistabella de Santa Cruz de Tenerife. Los estudiantes visualizaron las esculturas del catálogo a través de sus Smartphone, disponiendo a su vez de las obras impresas en 3D. Previamente se les hizo una encuesta sobre las tecnologías de visualización e impresión 3D. Al finalizar la clase, respondieron un cuestionario de satisfacción con respuestas en escala de Likert de 5 puntos (1: totalmente en desacuerdo, 5: completamente de acuerdo) al objeto de recoger su valoración. Para estimar la fiabilidad del cuestionario se calcula el coeficiente alfa de Cronbach. El valor obtenido (0,7) es suficiente para garantizar la fiabilidad del cuestionario de satisfacción.

4. Resultados y Discusión

En la encuesta previa, el 93 % de los participantes declara que dispone de Smartphone y ordenador para uso particular y un 60% ya tiene un lector de código QR instalado en su Smartphone. A todos los alumnos les gustaría disponer de material educativo impreso en 3D y el 86 % cree que un objeto 3D les ayuda a estudiar mejor. Un 86 % conoce las impresoras 3D, pero solo un 26 % las ha visto funcionar en directo. Un 93 % de los participantes afirma que les interesa el arte pero solo un 53 % muestra interés en las esculturas o se ha fijado en las esculturas urbanas de Santa Cruz de Tenerife.

Los resultados del cuestionario de satisfacción (Tabla 2) muestran la gran valoración que tiene el uso de una impresora 3D en el aula (4,6 sobre 5). Los estudiantes valoran positivamente conocer el patrimonio a través de modelos (4,8 sobre 5). Las puntuaciones más bajas, aunque positivas (siempre por encima de 2,5), se han obtenido sobre los enlaces a los modelos 3D, ya que, teniendo acceso a los modelos tangibles, los prefieren a visualizar la escultura a través del código QR (3,0 sobre 5), o no le ven gran utilidad a los enlaces a modelos 3D en el libro (3,5 sobre 5).

Tabla 2. Resultados cuestionario de satisfacción. Fuente: Elaboración propia

Pregunta	M./(DT)
He podido visualizar una escultura en 3D a través del código QR	3,0/(1,5)
Me gustaría disponer de una caja de modelos 3D de las esculturas en el aula	4,6/(0,6)
Me gustaría aprender con modelos 3D en otras asignaturas	4,6/(0,5)
Me ha resultado útil disponer de enlaces a modelos 3D en un libro	3,5/(1,3)
Me ha gustado conocer el patrimonio escultórico de Santa Cruz a través de modelos 3D	3,8/(0,9)
Me gustaría tener una impresora 3D en el aula.	4,6/(0,6)

5. Discusión y Conclusiones

La experiencia llevada a cabo con el repositorio de piezas 3D digital y tangible ha sido altamente valorada por los alumnos. La incorporación de modelos 3D digitales e impresos en 3D puede servir para el desarrollo de la competencia digital de los alumnos y profesores.

Con las tecnologías de edición e impresión digital existentes, los docentes pueden disponer de un material educativo replicable que incluye modelos 3D a bajo coste o incluso gratis, con el que facilitar el acceso a contenidos de carácter tridimensional a sus alumnos. Estas tecnologías innovadoras son accesibles y de fácil implantación en la docencia, ofreciendo la posibilidad de introducir nuevos recursos didácticos en los procesos de enseñanza -aprendizaje, y ayudan a incorporar la competencia digital en los centros.

Las versiones digitales en 3D ofrecen la posibilidad de disponer de un gran número de modelos a los que los alumnos tienen acceso desde entornos de docencia virtual como aulas virtuales, o en repositorios gratuitos como Dropbox o Google Drive, lo que facilita su implantación en la docencia reglada.

La problemática de las maquetas tradicionales, en ocasiones caras y difíciles de reemplazar, se puede solventar mediante modelos digitales y en el caso de necesitar maquetas tangibles se puede usar una impresora 3D. Según el informe Horizon, el empleo de impresoras 3D ya es una realidad en las aulas,

por lo que el uso de modelos tangibles impresos deberá ser cada vez más habitual. La impresión en 3D no supone una gran inversión: en la Tabla 2 se puede observar que el material gastado supone unos céntimos para cada modelo, aunque uno de los factores principales a tener en cuenta es el tiempo. En la misma tabla se muestra que una pieza de aproximadamente diez centímetros tarda entre una y dos horas de impresión. En cuanto a la impresora 3D, los precios de estos equipos son cada vez más bajos y es posible adquirirlos desde 500 euros.

El uso de tecnologías y modelos 3D para la divulgación del patrimonio escultórico se conoce desde hace tiempo, pero en los últimos años, gracias a tecnologías más baratas y accesibles como los visualizadores 3D gratuitos online se permite el acceso de la población general a modelos tridimensionales de las esculturas. Las grandes empresas y museos son los primeros interesados y los más avanzados en este sector, como por ejemplo el museo Smithsonian que dispone de algunos modelos 3D gratuitos de su patrimonio para su visualización tridimensional y permite la descarga e impresión 3D de todos los modelos 3D bajo la licencia Creative Commons. Otros proyectos internacionales como por ejemplo 3D Icons (3D ICONS, 2016), procuran establecer una base de datos completa 3D de patrimonio arquitectónico, arqueológico y artístico europeo, permitiendo el acceso del público a los modelos 3D.

La versatilidad que ofrecen las tecnologías innovadoras de edición e impresión digital hacen que el recurso didáctico descrito en este artículo solo sea un ejemplo que se puede hacer extensivo a otras materias que precisen, en sus procesos de enseñanza y aprendizaje, la representación e interpretación tridimensional.

Referencias bibliográficas

3D ICONS. (2016, 11 27). *3D Icons*. Recuperado de 3D ICONS: <http://3dicons-project.eu/>

- ADAMS BECKER, S., FREEMAN, A., GIESINGER HALL, C., CUMMINS, M., y YUHNKE, B. (2016). *NMC/CoSN Horizon Report: 2016 K-12 Edition*. Austin, Texas: The new Media Consortium.
- ÁLVAREZ, F. (2011). Rastrear proyectos, contar historias. *Diagonal*, 28, 10-13.
- BEN-CHAIM, D., LAPPAN, G., & HOUANG, R. (1988). The effect of instruction on spatial visualization skills of middle school boys and girls. *American Educational Research Journal*, 25(1), 51-7.
- BOC. (2016, Julio 13). DISPOSICIONES GENERALES - Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento. *Boletín Oficial de Canarias* núm. 134. Canarias, España. Recueprado de <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2016/134/003.html>
- CANESSA, E., FONDA, C., y ZENNARO, M. (2013). *Low cost 3D printing for science, education and sustainable development*. Trieste: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- CÁNOVAS, G., GARCÍA-DE-PABLO, A., OLIAGA-SAN-ATILANO, A., y ABOY-FERRER, I. (2014). *Menores de edad y conectividad móvil en España: Tablets y Smartphones*. Madrid: Centro de Seguridad en Internet para los Menores en España, PROTEGELES, dependiente del Safer Internet Programme, de la Comisión Europea.
- CAÑO, A. D., DE LA CRUZ, M., y SOLANO, L. (2007). Diseño, ingeniería, fabricación y ejecución asistidos por ordenador en la construcción: evolución y desafíos a futuro. *Informes de la Construcción*, 505, 53-71.,.
- CARAZO LEFORT, E., & GALVÁN DESVAUX, N. (2014). Aprendiendo con Maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura. *Revista de EGA*, 24.62-71, doi:10.4995/ega.2014.1828
- CARBONELL-CARRERA, C., SAORÍN, J.-L., MEIER, C., MELIÁN-DÍAZ, D., y DE-LA-TORRE-CANTERO, J. (2016). Tecnologías para la incorporación de objetos 3D en libros de papel y libros digitales. *El Profesional de la Información*, 25(4), 1699-2407. doi: <http://dx.doi.org/10.3145/epi.2016.jul.16>
- CARTER, G., PATRICK, M., WIEBE, E., PARK, J., y BUTLER, S. (2005). *Middle grade students' interpretation of topographic maps*. NARST. DALLAS, TX.

- CERVERA, M., y MON, F. (2013). Explorando el potencial educativo de los entornos virtuales 3D. *Teoría de la Educación; Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 14(3), 302.
- CERVERA, M., MARTÍNEZ, J., y MON, F. (2015). Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 1 -10.
- CHAMIZO, J. A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1). 26-41.
- DE LA TORRE CANTERO, J., MARTÍN-DORTA, N., SAORÍN, J. L., CARBONELL, C., y CONTERO, M. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *RED. Revista de Educación a Distancia*(37).
- DE LA TORRE CANTERO, J., SAORÍN, J., CARBONELL, C., DE CASTILLO COSSÍO, M., y CONTERO, M. (2012). Modelado 3D como herramienta educativa para el desarrollo de competencias de los nuevos grados de Bellas Artes. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24(2), 179-193.
- DE LA TORRE-CANTERO, J., SAORÍN, J., MEIER, C., MELIÁN DÍAZ, D., y ALEMÁN, M. (2015). Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 27(3), 427-444.
- DE LA UNIÓN EUROPEA, D. O. (2006). *Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente (2006/962/CE)*.
- INSTITUTO DE EDUCACIÓN INTERNACIONAL. (2014). *Annual Report*. USA: Instituto de Educación Internacional.
- JOHNSON, L., ADAMS BECKER, S., CUMMINS, M., ESTRADA, V., FREEMAN, A., y LUDGATE, H. (2013). *NMC Horizon Report: 2013 K-12 Edition*. Austin Texas: The New Media Consortium.
- JOHNSON, L., ADAMS, S., y CUMMINS, M. (2012). *NMC Horizon Report: 2012 K-12 Edition*. Austin Texas: The New Media Consortium.

- MUÑOZ-REPISO, A., y DEL POZO, M. (2016). Análisis de las competencias digitales de los graduados en titulaciones de maestro. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa-RELATEC*, 15(2), 155-168.
- OCDE. (2014). *Panorama de la educación*. Madrid: Ministerio de educación, cultura y deportes.
- RODRÍGUEZ-SAMANIEGO, C. (2013). La educación artística en la Escuela de Bellas Artes de Barcelona durante el siglo XIX. El caso de la escultura. *Arte, Individuo y Sociedad*, 25(3), 495-508.
- SAORÍN, J. L., DE LA TORRE-CANTERO, J., MELIÁN, D., MEIER, C., y RIVERO, D. (2015). Blokify: Juego de modelado e impresión 3D en tableta digital para el aprendizaje de vistas normalizadas y perspectiva. *Digital Education Review*, 27, 105-121.
- SARDÀ, S., y MÁRQUEZ, C. (2008). El uso de maquetas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del sistema nervioso. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 14(58), 67-76.
- UNESCO. (2015). *La Educación para Todos, 2000 - 2015, Logros y Desafíos*. París : UNESCO.
- YI-CHEN, C., HUNG-LIN, C., y WEI-HAN, H.-C. (2011). Use of Tangible and Augmented Reality Models in Engineering Graphics Courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 137(4), 267-276.

Cómo citar este artículo:

Saorín, José Luis, Meier, Cecile, de la Torre-Cantrero, Jorge, Carbonell-Carrera, Carlos, Melián-Díaz, Dámari y Bonnet de León, Alejandro (2017). Competencia Digital: Su relación con el uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 6(2), 27-46. doi: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v6i2.6187>

2.

**Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para
el fomento de la competencia creativa**

Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 29 Nº1 pp 85-100

(enero 2017)

Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS)

Índice de impacto: SJR (2017) = 0,157

José Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero, Carlos Carbonell
Carrera

2.

Arte, Individuo y Sociedad

Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa

• Fuente de impacto: Scopus • Índice de impacto: SJR (0.157) • Posición de publicación: 99	• Categoría: Visual Arts and Performing Arts • Revista dentro del 25%: Si • Núm. revistas en cat.: 413
• Fuente de impacto: Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS)	

also developed by scimago:  SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS

SJR

Scimago Journal & Country Rank

Enter Journal Title, ISSN or Publisher Name 

[Home](#) [Journal Rankings](#) [Country Rankings](#) [Viz Tools](#) [Help](#) [About Us](#)

Arte, Individuo y Sociedad

Country	Spain -  SJR Ranking of Spain
Subject Area and Category	Arts and Humanities Visual Arts and Performing Arts
Publisher	Universidad Complutense de Madrid
Publication type	Journals
ISSN	19882408, 11315598

3

H Index

Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa

Alejandro Bonet¹; Cecile Meier²; J. Luis Saorín³; Jorge de la Torre⁴; Carlos Carbonell⁵

Recibido: 15 de febrero de 2016 / Aceptado: 28 de junio de 2016

Resumen. La aparición de espacios en los que se utilizan técnicas de fabricación digital para convertir ideas en diseños digitales, y éstos en productos reales mediante la impresión 3D ofrecen una gran oportunidad para el desarrollo de la creatividad, competencia contemplada en entornos educativos. Las impresoras 3D se están incorporando en los centros de enseñanza, por lo que es preciso el diseño de actividades en torno a estas tecnologías para el desarrollo de competencias curriculares. La creatividad capacita a las personas a alcanzar distintas soluciones a un mismo problema: en este artículo se propone una actividad didáctica diseñada para el estímulo de la competencia creativa en la que se utilizan tecnologías accesibles y de bajo coste para realizar el diseño personalizado de un objeto articulado, donde los alumnos pueden elegir entre distintas opciones para la consecución del objetivo. Los resultados obtenidos de una experiencia piloto llevada a cabo con un grupo de 44 estudiantes universitarios muestran que actividades con herramientas de edición digital e impresión tridimensional son válidas para el desarrollo de la competencia creativa. **Palabras clave:** Creatividad; competencias; diseño; tecnología educativa; impresión 3D.

[en] Low cost design and digital fabrication technologies to promote creative competence

Abstract. The emergence of spaces where digital fabrication techniques are used to turn ideas into digital designs, and these into tangible products through 3D printing offer a great opportunity to develop creativity, competence included in learning environments. 3D printers are being incorporated into the schools, so it is necessary to design activities around these technologies for the development of curricular competences. Creative competence empowers people to achieve different solutions to the same problem: in this article an educational activity designed to stimulate creative competence is proposed, in which accessible and low cost technologies are used for custom design of an articulated object, where students can choose between various options for achieving the goal. The results of a pilot project conducted with a group of 44 university students show that activities with digital editing tools and three-dimensional printing are valid for the development of creative competence.

Keywords: Creativity, skills; design; educational technology; 3D printing.

² Universidad de La Laguna
E-mail: alu0100394672@ull.edu.es

² Universidad de La Laguna
E-mail: alu0100305944@ull.edu.es

³ Universidad de La Laguna
E-mail: jlsaorin@ull.es

⁴ Universidad de La Laguna
E-mail: jcantero@ull.edu.es

⁵ Universidad de La Laguna
E-mail: ccarbone@ull.e

Sumario. 1. Introducción. 2. Makerspaces y su uso en educación. 3. Creatividad. 3.1. La medida de la creatividad. 4. Tecnologías de fabricación digital accesibles y de bajo coste. 4.1. Hardware. 4.2. Software. 5. Metodología. 5.1. Participantes. 5.2. Materiales y métodos. 6. Diseño de la actividad. 7. Resultados. 8. Conclusiones. 9. Referencias bibliográficas.

Cómo citar: Bonet, A.; Meier, C.; Saorín, J.L.; de la Torre, J.; Carbonell, C. (2017): Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. *Arte, Individuo y Sociedad*, 29(1) 89-104

1. Introducción

La sociedad demanda perfiles que muestren iniciativa, alta inteligencia emocional y con aptitudes creativas ante los retos de un cambio constante (Martin, 1991; Shaw, 2001): en este contexto, la competencia artística y creativa cobra una mayor relevancia y se ha convertido en una competencia transversal en todos los entornos educativos.

Aunque la creatividad no tiene una única definición, existe un acuerdo en que es un proceso que implica la recopilación de cosas (palabras, imágenes,...) de una manera novedosa. También hay consenso en que algunos tipos de creatividad implican la capacidad del pensamiento divergente, es decir, generar múltiples soluciones a un problema, a diferencia de pensamiento convergente, en el que se trabaja con una única solución (Liu & Schonwetter, 2004). Metodologías basadas en el trabajo en grupo y el aprendizaje basado en proyectos (PBL: Project-Based-Learning) como las actividades que se realizan en entornos Makerspaces, permiten explorar múltiples y diferentes soluciones a un mismo problema.

El Informe Horizon (Johnson, Adams Becker, Estrada, & Freeman, 2015) destaca que los centros de enseñanza Primaria y Secundaria están apostando por integrar talleres creativos o Makerspaces en el aprendizaje formal al objeto de poner en práctica ideas de alumnado y docentes, y así explorar su creatividad, destacando que su implantación es ya una realidad: prevé que la generalización de espacios como los Makerspaces se hará en un periodo de tiempo de un año. En el ámbito Universitario el informe Horizon sitúa los Makerspaces como desarrollo importante en tecnología educativa, con un plazo de implantación de dos a tres años. Cita algunos ejemplos como Frysklab, taller creativo de la biblioteca municipal de Fryslan (Holanda), el Makerspace del Centro de Enseñanza Secundaria de Sierra Vista de La Puente, en California, o el del Centro de Enseñanza Secundaria de Monticello, en Charlottesville en Virginia: estos espacios de trabajo para la investigación tecnológica en los que se emplean herramientas de fabricación digital, tales como impresoras 3D, aportan beneficios tangibles como el descenso del absentismo escolar, la mejora en materias como matemáticas o el fomento del interés por carreras de ciencias o ingenierías. El carácter transversal de los Makerspaces los convierte en un elemento estratégico para incluir en entornos educativos la convivencia de ciencia, tecnología y humanidades de forma interdisciplinar, superando la tradicional separación entre estas áreas (Sánchez Ron, 2011).

En un principio la competencia creativa se asociaba exclusivamente a los estudios de arte y humanidades, para después hacerse extensivo a otras disciplinas de carácter más técnico, susceptibles de hacer uso de entornos Makerspace. En concreto, en el ámbito de ingeniería la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos, en su

informe estratégico “El ingeniero de 2020” (National Academy of Engineering, 2004), indica que las humanidades, las ciencias sociales y las habilidades de presentación y comunicación, son al menos tan importantes como los conocimientos técnicos para un profesional de la ingeniería. Es por eso que en las carreras de carácter científico y técnico (STEM en su acrónimo inglés) se debe incluir el Arte y el Diseño para favorecer la creatividad en este tipo de enseñanzas y por lo tanto se tiende hacia un nuevo acrónimo denominado STEAM, donde la “A” se refiere a Arte y Diseño (Boy, 2013).

En este contexto creativo-tecnológico es preciso, por tanto, además de una dotación tecnológica adecuada, el diseño de actividades que permitan aprovechar todo el potencial creativo de los alumnos en su entorno de enseñanza-aprendizaje. En la Universidad de La Laguna, donde se realiza este estudio, ya se ha llevado a cabo un taller (<http://www.anfore3d.com/#!/anfore-stella-3d/c1vil>) de modelado 3D para introducir aspectos del arte y el diseño en carreras técnicas (STEAM), en el ámbito de asignaturas de Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador de grados de Ingeniería (de la Torre-Cantero, Saorín, Melián Díaz, & Meier, 2015).

En este artículo se describe una nueva experiencia piloto de fabricación digital y modelización tridimensional contemplado dentro de las actividades propias de la asignatura (ensamblaje de piezas complejas y/o objetos 3D), consistente en la creación y personalización de un objeto articulado personalizado en el que participan alumnos de la asignatura obligatoria Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador, correspondiente al primer curso del Grado en ingeniería electrónica y automática de la Universidad de La Laguna. Para medir el impacto de la experiencia se aportan resultados de encuestas de satisfacción así como valores de creatividad medidos con el Test de Abreacción de la Creatividad.

2. MakerSpaces y su uso en educación

Los espacios de creación en los que se utilizan máquinas de control digital para construir “casi todo” y donde se intercambia conocimiento entre sus miembros, reciben distintas denominaciones en función del tipo de comunidad en el que están integrados: “Coworking Spaces”, “Laboratorios de innovación”, “Media Labs”, “Fablabs” o “Hacklabs”, por citar algunas. Aunque no existe una denominación genérica para estos espacios, todos ellos tienen en común haberse erigido en auténticos laboratorios de diseño y fabricación digital. En este artículo se empleará el término Makerspaces por ser la designación utilizada en informes educativos como el Horizon Report 2015 Higher Education Edition y el Horizon Report 2015 K-12 Edition.

En estos laboratorios el software de diseño juega un papel relevante dado que ayuda a concretar ideas en prototipos digitales que luego serán materializadas usando maquinaria. Junto con programas profesionales orientados a distintas disciplinas de diseño tales como Rhinoceros, ZBrush y Solidworks han surgido aplicaciones gratuitas como Meshmixer, o 123D Design, para la elaboración de modelos 3D digitales. Éstas aplicaciones optimizan el proceso de conexión con las máquinas para la fabricación de prototipos: disponen de herramientas para la exportación de los modelos a impresoras 3D o herramientas que calculan el recorrido de la fresa (toolpath) que tallará en una máquina CNC en madera, metal, metacrilato o cualquier otro material, para obtener un objeto físico, tangible, del modelo 3D diseñado en el ordenador.

Además de la aparición de una nueva generación software de diseño 3D accesible, para que este fenómeno de los laboratorios de diseño y fabricación digital esté empezando a integrarse en centros educativos, ha sido necesaria la aparición de herramientas y maquinarias de bajo coste que permiten reproducir a pequeña escala los procesos de la industria de fabricación para la materialización física de cualquier diseño digital. Así, en los Makerspaces se cuenta con el concurso de impresoras 3D, fresadoras de corte y grabado por control numérico (CNC), plotters de corte de papel y vinilo y máquinas de grabado y corte láser, entre otros, que permiten trabajar con una amplia variedad de formas y materiales (Smith, Hielsher, Dickel, Söderberg, & van Oost, 2013). Otro de los dispositivos empleados en los Makerspaces son los escáneres 3D para conseguir archivos digitales de objetos existentes o de escenarios físicos.

Como antecedente principal de este tipo de instalaciones y su concepto, destaca el Fab Lab ideado por el físico del MIT, Neil Gershenfield en el año 2000, tras el inesperado interés despertado por su curso “How to Make” en el año 1998 (Walter-Herrmann & Büching, 2013).

Fue a partir de esta fecha cuando investigadores y educadores comenzaron a considerar el uso de la fabricación digital como herramienta docente. Su definitiva implantación se produce en el año 2008: la Universidad de Stanford pone en marcha el proyecto FabLab@School, y comienza la construcción de FabLabs en escuelas de educación primaria y secundaria en todo el mundo. En 2009, el MC2STEM HighSchool de Ohio (EE.UU.) abre su primer laboratorio de fabricación digital. En 2011, Media Maker lanza el proyecto MakerSpace con Financiación de DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). En 2011 y 2012 un gran número de museos, escuelas, comunidades educativas y bibliotecas, anuncian sus planes para construir sus propios Makerspaces (Blikstein, 2013).

En España se han desarrollado experiencias didácticas donde se utiliza la fabricación digital para fomentar la capacidad creativa y la imaginación de niños y jóvenes como el caso de los talleres Fabkids ligados al Fablab de Barcelona o los realizados en el Fab Lab Sevilla. En ellos se potencia el pensamiento reflexivo, analítico y crítico, procurando una alfabetización tecnológica que convierta a los niños en creadores, en lugar de ser usuarios pasivos y consumidores compulsivos de los distintos avances tecnológicos. En este sentido, desde el grupo de investigación DEHAES (Desarrollo de Habilidades Espaciales) de la Universidad de La Laguna se han realizado varias experiencias en centros educativos como el uso del juego Blokify para introducir al alumnado en las competencias que relacionan las figuras tridimensionales con su representación bidimensional mediante las vistas normalizadas y la perspectiva (Saorín, de la Torre-Cantero, Melián, Meier, & Rivero, 2015a), el uso de juegos en tabletas digitales como introducción al modelado e impresión 3D (Saorín, Meier, de la Torre-Cantero, Melián, & Rivero, 2015b) o el uso de tecnologías digitales de bajo coste para la creación de figuras tridimensionales de papel y cartón como alternativa a la impresión 3D (Saorín & Bonnet de León, Tecnologías digitales de bajo coste, para la creación de figuras tridimensionales de papel y cartón, 2014).

3. Creatividad

Las opiniones para definir el concepto de creatividad son dispares, llegando incluso a asumirla como irrealizable (Corbalán et al., 2006). Tatarkievicz (1988) afirma que es a partir del siglo XX cuando el término creatividad se hace extensivo del mundo del arte a cualquier ámbito: ciencias, política, arte, religión, ingeniería, entre otras disciplinas.

Las definiciones sobre creatividad se agrupan en cuatro tipos según el elemento creativo: la persona creativa, el proceso creativo, el producto creativo desarrollado y el clima o contexto en que se crea (Lifante, 2013).

En relación a la persona creativa, Marín y de la Torre (1991) consideran a la persona como núcleo del concepto de creatividad, al definirlo como un potencial humano que se puede definir como la capacidad de tener ideas propias y comunicarlas. Otra definición centrada en el individuo creativo es la de Gardner (1995), pero menciona la influencia del clima o contexto. Así, define como creativo a una persona que resuelve problemas con regularidad, elabora productos o define cuestiones nuevas en un campo de un modo que al principio es considerado nuevo, pero que al final llega a ser aceptado en un contexto cultural concreto.

Basado en el proceso creativo, los mismos autores (Marín & De la Torre, 1991) exponen que en todo acto creativo la persona es capaz de recibir estímulos del medio, transformarlos de modo original o nuevo y comunicarlos; es decir, de tener ideas personales y saber comunicarlas.

En torno al producto creativo, Alonso y Corbalán (1997) definen la creatividad como la capacidad de utilizar la información y los conocimientos de forma nueva, y de encontrar soluciones divergentes para los problemas. Por su parte, Blanco (2009) define la creatividad como la capacidad o aptitud para generar alternativas a partir de una información dada, poniendo el énfasis en la variedad, cantidad y relevancia de los resultados. Se trata de cualquier acto, idea o producto que transforma un campo ya existente en uno nuevo.

La creatividad, por tanto, involucra procesos cognitivos (flexibilidad, fluidez, originalidad y generación de conexiones novedosas), procesos afectivos (tales como la apertura, la inclinación a tomar riesgos, la persistencia, la tolerancia a la ambigüedad y la gestión de las emociones durante el proceso creativo) y procesos neurológicos, sociales y de comunicación, entre otros, por lo que su estudio no puede abordarse desde un solo punto de vista.

En la actualidad las empresas buscan personas creativas e innovadoras para poder resolver de manera eficiente los retos diarios a los que se han de enfrentar (Martin, 1991; Shaw, 2001). Fomentar y proporcionar oportunidades que inciten la creatividad en estudiantes de ingeniería es uno de los retos que se espera hoy en día de instituciones Universitarias (Baillie, 2002). La Agencia Nacional de la Evaluación de la Calidad, en los libros blancos de los Grados adaptados al espacio europeo de educación superior, incluye la creatividad como una competencia genérica en el 84% de las titulaciones (Lifante, 2013). Es preciso, por tanto, el fomento de un modelo de enseñanza en el que se faciliten la adquisición de estrategias y mecanismos innovadores orientados a la resolución de problemas, haciendo valer los esfuerzos creativos (Liu & Schonwetter, 2004). El desarrollo de la competencia creativa capacita a las personas, desde niños, a alcanzar diferentes soluciones a un mismo problema (Saorín, de la Torre, Melian, Meier, & Lifante, 2015).

Sobre el uso de técnicas de motivación de la creatividad del alumnado existe bibliografía con ejercicios que la fomentan desde distintas materias como ciencias, matemáticas o lengua, siendo actividades que impulsan la creatividad, pero sin salirse de los contenidos establecidos en el curriculum oficial (Casas, 2000; 2012)

En este artículo se ha elegido la creación de objetos articulados como experiencia para el fomento de la creatividad. En este entorno, el juego y/o la creación de objetos articulados estimula la creatividad, permitiendo generar entes reales o imaginarios: Morón Macías (2010) afirman que, cuanto más estructurado sea un juguete, el desarrollo creativo del mismo será menor. Por ejemplo, la utilización de elementos del tipo Lego, contribuye a la construcción creativa (Smith & Pellegrini, 2013). El uso de actividades para la personalización de objetos articulados como, por ejemplo, muñecos, se ha utilizado no sólo en entornos docentes, sino también con fines terapéuticos: en el año 2008 se desarrollaron los talleres “Tuning” en el Hospital Gregorio Marañón de Madrid. Dichos talleres, dirigidos a adolescentes hospitalizados, se centraban en el diseño de muñecos para posteriormente ser personalizados mediante el uso de tecnologías digitales (Zapatero Guillén, 2012).

3.1. La medida de la creatividad

Para medir los valores de creatividad se utilizan test de creatividad. Estos test tienen su origen en la Segunda Guerra Mundial, momento en que las fuerzas aéreas encargaron a J.P. Guilford, psicólogo de la Universidad de California, que estudiara la manera de seleccionar pilotos que, ante una situación de emergencia, reaccionaran con una conducta original, con la que el piloto lograra salvar tanto su vida como el avión. Tras la investigación de este autor, se han publicado más de 155 recursos para evaluar la creatividad. En España se utilizan: la batería de la creatividad de Guilford (1967), los Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) (1966), el test CREA de Corbalán et al. (2006) y el test de Abreacción para Evaluar la Creatividad (TAEC) (De la Torre, 1991).

Esta última prueba es un test gráfico-inductivo de compleción de figuras, cercano en su modo de realización al contexto de las asignaturas de Expresión Gráfica en el que se realiza el experimento, razón por la cual es que se ha utilizado para cuantificar los valores de creatividad de los participantes. Se disponen, a su vez, de datos de experiencias anteriores en el mismo grado de ingeniería, que permitirán valorar los resultados (Saorín, de la Torre, Melian, Meier, & Lifante, 2015). El test se compone de 12 figuras geométricas con un total de 36 aberturas, en posiciones y formas diversas, sobre las que el alumno realiza sus dibujos o composición global a través de la combinación de los mismos. Se valoran los rasgos de resistencia al cierre, originalidad, elaboración, fantasía, conectividad (integración creativa), alcance imaginativo, expansión figurativa, riqueza expresiva, habilidad gráfica, morfología de la imagen y estilo creativo, a través del estímulo gráfico.

4. Tecnologías de fabricación digital accesibles y de bajo coste

Las tecnologías de fabricación digital no son recientes, sin embargo es en los últimos años cuando se ha producido un abaratamiento de las mismas que las hacen accesibles en entornos educativos. Este abaratamiento se ha producido tanto en el hardware como

en el software, y la tendencia de grandes compañías de software, como Autodesk o 3DSystems, es proporcionar algunas de sus aplicaciones de forma gratuita. En el caso de los dispositivos más utilizados como impresoras y escáneres 3D, los precios han descendido de forma considerable con la aparición de nuevas empresas que fabrican y distribuyen este tipo de hardware.

4.1. Hardware

Una tecnología característica de un Makerspace es la impresión 3D. Las impresoras 3D son máquinas que, a partir de ficheros digitales, permiten generar objetos mediante adición de material (plástico fundido, resina fotosensible, etc.). A esta tecnología se la conoce también como prototipado rápido (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013). Su continuo abaratamiento en los últimos años permite pensar en su uso para la docencia. Actualmente existen varias marcas como Cube, BQ o Makerbot entre otras, que ofrecen dispositivos de bajo coste y fácil manejo, lo que facilita su inclusión en entornos educativos.

Otra de las herramientas usuales en un Makerspace es un escáner digital que permita capturar la realidad y transformarla en un fichero 3D digital. En los últimos años han aparecido escáneres 3D para la captura de la superficie tridimensional de un objeto con un precio cada vez menor (Winkelbach, Molkenstruck, & Wahl, 2006). En el año 2012 Martin Friess (Friess, 2012) detalla los diferentes rangos de precios y considera en la categoría de bajo coste aquellos que tienen un precio menor de 5000 dólares; cita, entre otros, el escáner láser modelo David 3D y el modelo Nextengine (Lukeneder & Lukeneder, 2011). Ambos modelos se mueven en el entorno de los 2500 euros, un precio que se ha reducido considerablemente con el paso del tiempo hasta el entorno de los 200 euros. La aparición de periféricos de videojuegos que tienen posibilidad de detectar el espacio en 3D ha permitido crear escáneres tridimensionales de muy bajo coste, aunque de resoluciones no tan buenas como los profesionales. Un ejemplo claro es la Kinect de Microsoft con el programa Skanect, que permite crear un escáner 3D por menos de 500 euros. Otro dispositivo es el escáner 3D Sense con un coste de 300 €: conectado al ordenador permite escanear gran variedad de objetos de hasta 25 metros de tamaño. Para el experimento llevado a cabo en este artículo se ha empleado el escáner Structure Sensor que, junto con un iPad, permite disponer de un equipo de captura tridimensional por menos de 1000 euros.

4.2. Software

En estos últimos años han aparecido una gama de programas CAD 3D cuyo objetivo no es modelar sino ensamblar unidades prediseñadas. Dentro de esta nueva generación de programas cabe citar 123D Design, Lego Designer, Leocad o Tinkerplay, con los cuales se pueden crear modelos digitales ensamblados utilizando librerías de piezas que, en algunos casos, permiten su posterior impresión tridimensional. Dentro de estos últimos, destacar el Tinkerplay. Tinkerplay, es un programa de Autodesk disponible de forma gratuita para múltiples plataformas, incluyendo iOS, Android y Windows 10. Permite crear múltiples muñecos articulados a partir de una amplia biblioteca de piezas y accesorios intercambiables entre sí, con los que componer una gran variedad de modelos (Fig 1). La creación de una figura se basa principalmente en añadir distintas piezas como: cuerpo, cadera y cabeza al que se van añadiendo diferentes extremidades

como piernas, manos, patas, armas, tentáculos, etc. Además, se pueden editar cada una de estas piezas con texturas tridimensionales. La gran variedad de piezas existentes (17 cabezas, 10 caderas, 17 torsos, 43 brazos y piernas, 23 manos y pies, 14 alas y tentáculos, 23 armas y 21 uniones) y sus combinaciones da lugar a la creación de millones de muñecos diferentes. Esta variedad de posibles soluciones estimula la creatividad individual y permite crear muñecos únicos y personales.

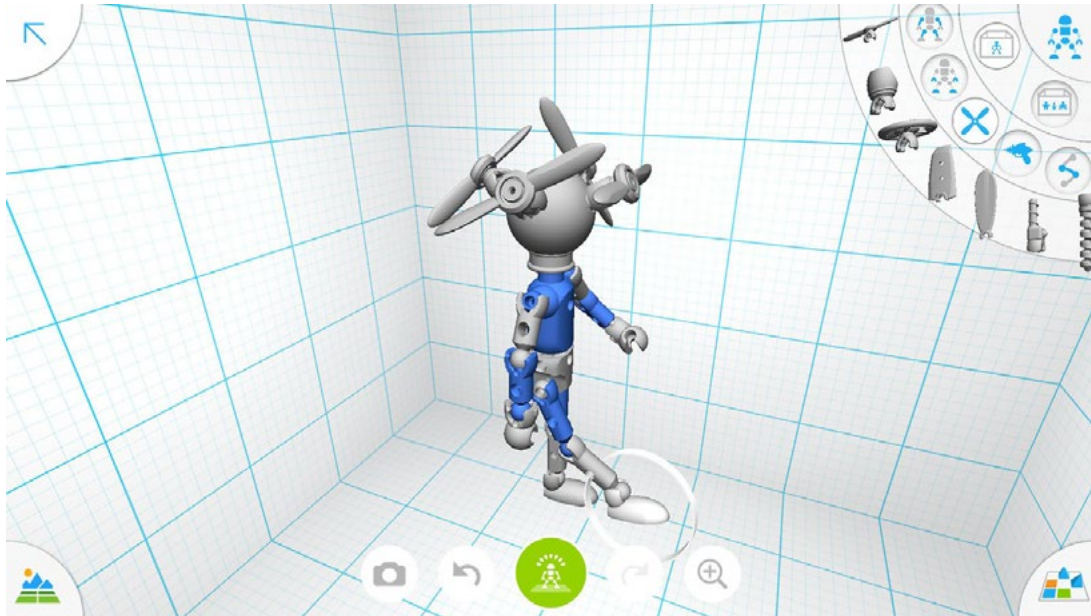


Figura 1. Interface de la aplicación Tinkerplay.

Cabe destacar que una de las características reseñables de Tinkerplay es que una vez creado el objeto articulado digital se puede proceder a fabricarlo en una impresora 3D. El programa dispone de una utilidad que genera un fichero con todas las piezas en formato STL. Dicho formato se puede utilizar en cualquiera de las impresoras 3D del mercado (Fig. 2).

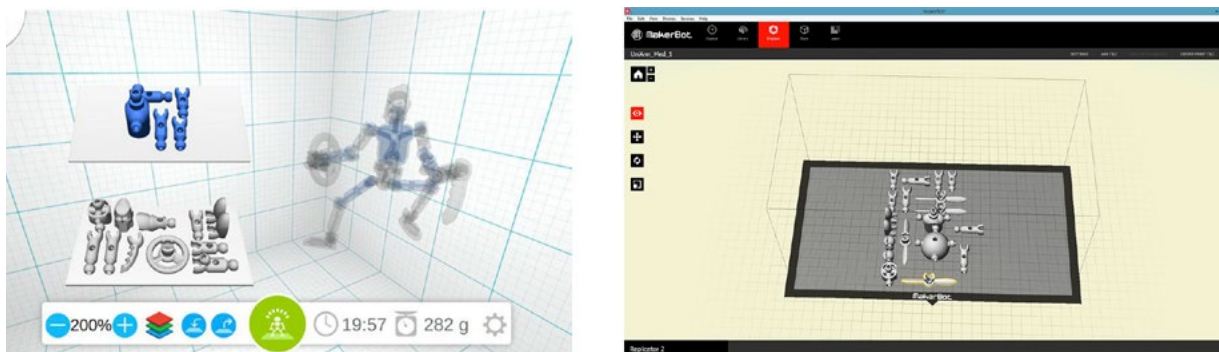


Figura 2. Componentes de un diseño para su impresión 3D.

Una vez obtenidos los archivos de las piezas de Tinkerplay, se pueden editar y personalizarlas a gusto del usuario, utilizando un programa de edición de mallas. Para esto se pueden emplear programas de modelado 3D como 3ds Max, Zbrush, Blender o Meshmixer. En concreto, Meshmixer es una aplicación gratuita creada por Autodesk que se utiliza para mezclar, esculpir, pintar, limpiar y reparar grandes mallas 3D. El objetivo de este programa es facilitar la tarea a aquellos que no son profesionales del modelado 3D: Meshmixer es un software simplificado para editar mallas de modelos tridimensionales (Schmidt & Ratto, 2013).

Meshmixer cuenta con gran variedad de pinceles o herramientas para esculpir las mallas como si fuese barro o plastilina, y tiene herramientas para preparar las mallas para su impresión 3D. Pero, siendo un programa de escultura, no está hecho para tomar medidas exactas, ni para crear piezas mecánicas o modelos arquitectónicos. Tampoco tiene opciones de renderizado de imágenes o videos; sirve de forma genérica para tratar mallas para su impresión 3D: importa mallas en diversos formatos, a su vez, ofrece la posibilidad de importar y combinar cualquier diseño creado con los programas o aplicaciones descritas anteriormente.

5. Metodología

Conforme a las definiciones de creatividad relacionadas con la generación de múltiples soluciones a un mismo problema (Liu & Schonwetter, 2004) en un entorno de juego (Morón Macías, 2010; Smith & Pellegrini, 2013), se presenta un taller que contempla estos dos aspectos.

El taller, por tanto, consiste en la creación y personalización de objetos articulados (muñecos) a partir de una aplicación lúdica, Tinkerplay, el escaneo 3D de la cabeza de los alumnos para su incorporación en el muñeco y su edición posterior utilizando el programa Meshmixer, para, finalmente, proceder a la impresión 3D de las creaciones. Las tecnologías digitales utilizadas son de bajo coste, lo cual facilita su implantación.

5.1. Participantes

La actividad ha sido desarrollada por 44 alumnos de la asignatura obligatoria de Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador de 1º del Grado en Ingeniería electrónica y automática de la Universidad de La Laguna. Para poder realizar la práctica en el tiempo estipulado, los alumnos se dividieron en grupos de 5 integrantes. Previa su participación en el taller respondieron una encuesta en la que el 87 % de ellos afirmaron no conocer el concepto Fablab o Makerspace antes de esta práctica.

5.2. Materiales y métodos

Software y hardware: la prueba se ha realizado en el aula de Expresión Gráfica del Departamento de Técnicas y Proyectos en Arquitectura e Ingeniería de la Universidad de La Laguna, donde se dispone de 10 ordenadores (Windows 7) con los programas Meshmixer y MakerBot Desktop instalados. Se han utilizado el Scanner 3D Structure Sensor acoplado a un iPad Air, dos Impresoras 3D Makerbot Replicator 2 y una caja de piezas de TinkerPlay impresas.

Es importante indicar que, dado que el tiempo necesario para imprimir las piezas necesarias para crear un muñeco completo es bastante elevado, la impresión de estas piezas se realizó con anterioridad a la práctica. De esta manera, se aportó un amplio número de las mismas para facilitar la actividad en el tiempo propuesto (Fig. 3).



Figura 3. Piezas impresas para la realización de la experiencia piloto. Fotografía del autor.

Como herramientas de medida del impacto del taller se realiza, un cuestionario de satisfacción con siete preguntas de acuerdo a la escala Likert: 1 totalmente en desacuerdo, 5 totalmente de acuerdo. Por otro lado y para poder medir los resultados de creatividad los alumnos realizan el Test de Abreacción para evaluar la Creatividad (TAEC), con una puntuación máxima de 320 puntos.

6. Diseño de la actividad

El objetivo es que los alumnos trabajen en un entorno colaborativo que facilite la resolución de un problema aportando distintas soluciones haciendo valer su creatividad, a través del manejo de herramientas de escaneo tridimensional, edición digital de mallas tridimensionales e impresión 3D para el diseño de un objeto articulado personalizado. El objeto que se ha utilizado como prototipo es un muñeco, aprovechando la potencialidad de la aplicación Tinkeplay. Las posibilidades de edición digital que ofrece este programa junto con la opción de poder añadir al muñeco una impresión 3D de la propia cabeza del alumno hacen que el diseño de esta actividad esté orientado hacia el estímulo de su creatividad.

El tiempo de realización de la actividad se planteó en dos horas, dividida en tres fases; la primera de escaneo tridimensional (ingeniería inversa), la segunda en la que conocen la aplicación Tinkerplay para crear el objeto articulado tanto de manera digital como mediante las piezas impresas de la caja aportada a la actividad (Fig. 4). En esta

segunda fase se procede a la edición de la cabeza escaneada para incluirla en el prototipo. La tercera fase corresponde a la de impresión 3D. Debido a que la impresión 3D es un proceso lento, se pretende conseguir que al menos tres grupos puedan imprimir una cabeza personalizada cada uno en el tiempo que dura la actividad. Las cabezas del resto de grupos se imprimirán fuera del horario de la actividad y se entregarán a posteriori.

Fase I: Escaneado (1/2 hora). Los participantes utilizan el escáner 3D Structure Sensor. Éste funciona acoplado a un iPad y utiliza una aplicación gratuita de escaneo 3D denominada ItSeez3D. Esta aplicación genera un modelo 3D mediante el envío de la nube de puntos escaneada a un servidor externo, por lo que necesita wifi para poder funcionar correctamente; así, el tiempo necesario para realizar un escaneado completo oscila entre 2 y 5 minutos, y dependerá de las condiciones de luz y del comportamiento de la red. Cada grupo de alumnos deberá escanearse para obtener el modelo 3D de, al menos, una de sus propias cabezas (Fig. 4).

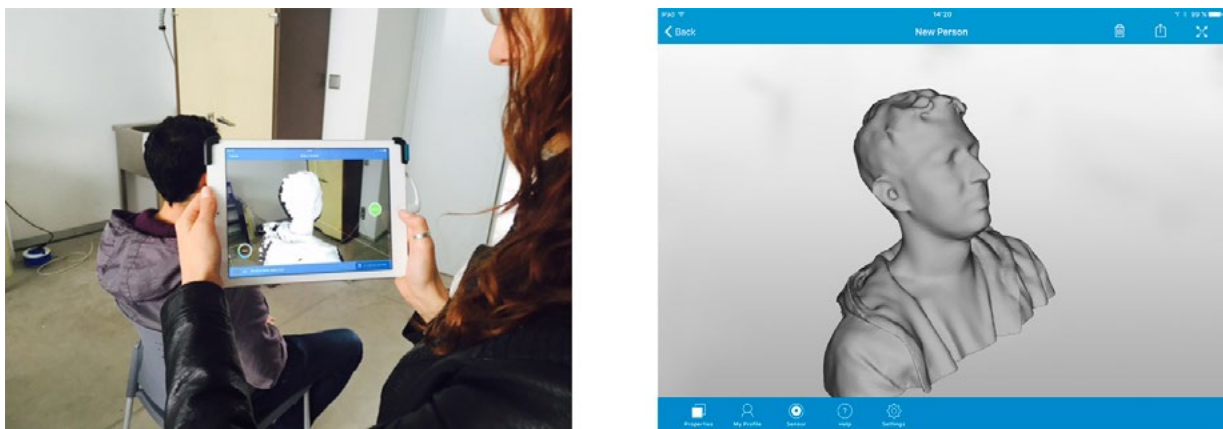


Figura 4. Escaneado y modelo 3D de uno de los participantes. Fotografía del autor.

Fase II: Tinkerplay y Edición de mallas 3D (45 min). Se les muestra a los alumnos la aplicación Tinkerplay y se les deja un tiempo de 10 minutos para familiarizarse con ella y explorar diferentes combinaciones de ensamblaje con los componentes de la aplicación. Posteriormente se les facilita la caja de componentes impresos para la actividad (Fig. 3) para que seleccionen los que emplearán en la construcción de su muñeco articulado.

Para combinar la cabeza escaneada y las piezas de Tinkerplay, es preciso ubicar uno de los conectores que utiliza Tinkerplay en la cabeza escaneada. Para realizar dicha unión, se utilizará el programa Meshmixer, que permite de manera sencilla y mediante operaciones booleanas de unión y sustracción, fusionar ambos archivos, creando una única pieza (Fig. 5). Por último, seleccionando la pieza resultante, y a través de la opción solidificar se podrá exportar el archivo en formato STL para su posterior impresión 3D.

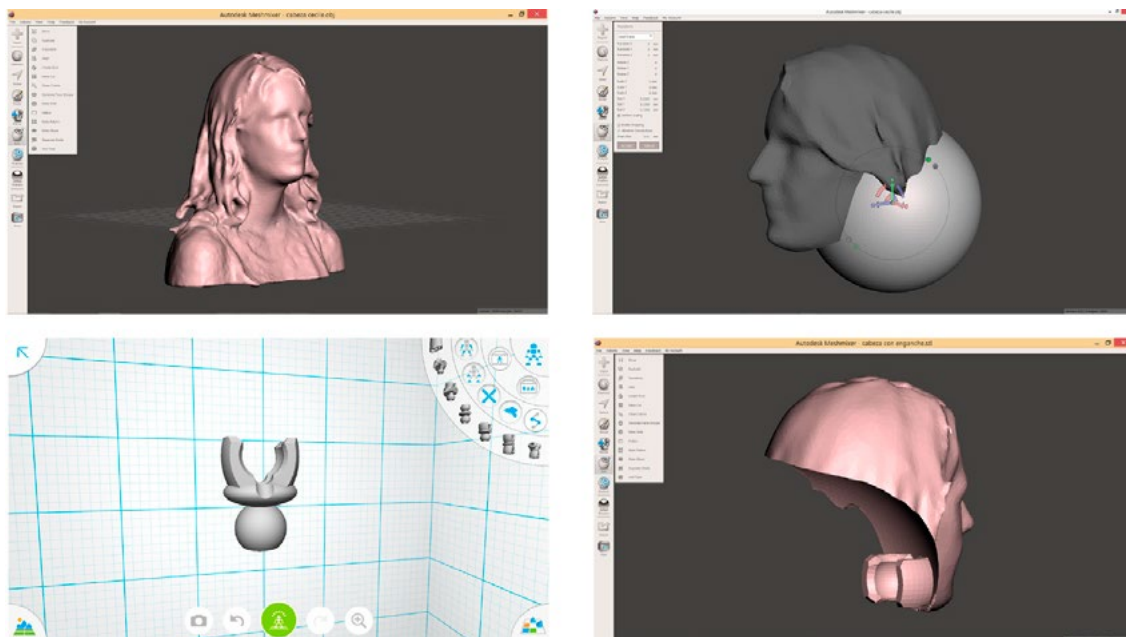


Figura 5. Edición del modelo 3D mediante el programa Meshmixer.

Fase III: Impresión (45 min) Tras la edición de las cabezas escaneadas, se procede a su impresión tridimensional utilizando dos impresoras 3D Makerbot Replicator 2. Mientras tanto, los alumnos van montando el muñeco con las piezas de la aplicación Tinkerplay previamente impresas, para finalmente añadirles las cabezas impresas. (Fig. 6).

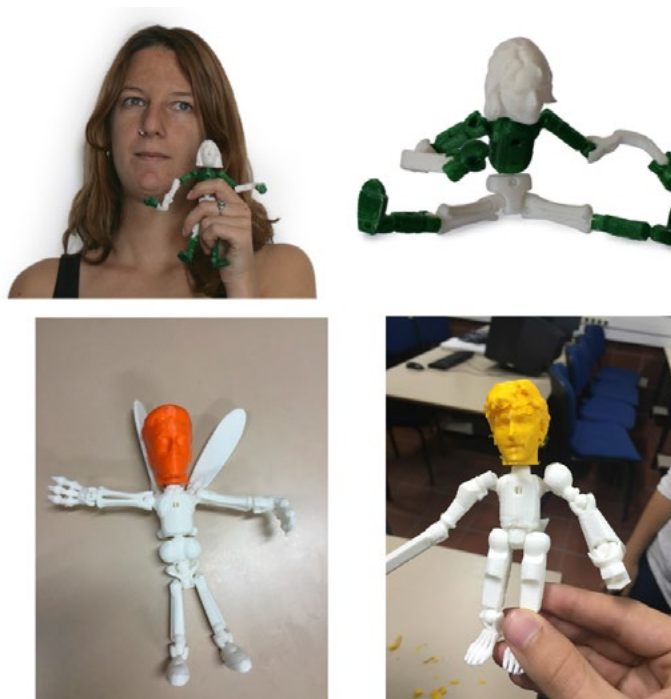


Figura 6. Ejemplos de objetos articulados realizados. Fotografía del autor.

Al finalizar la actividad los alumnos rellenan el cuestionario de satisfacción. El Test de Abreacción para evaluar la Creatividad (TAEC) se realiza en la siguiente clase teórica, ya que tiene una duración aproximada de una hora.

7. Resultados

La práctica propuesta es bastante compleja porque cada una de las fases (escaneado, edición e impresión 3D) podría requerir mucho más tiempo del que se ha empleado en esta actividad. Las limitaciones de tiempo debido al horario de los alumnos condicionaron un tiempo de dos horas para el desarrollo de la actividad. Debido a ello, el número total de alumnos escaneados ha dependido de algunos factores que no se pueden controlar del todo, como puede ser la luz de la habitación, la calidad de la red wifi, los errores en la manipulación del escáner.... Por este motivo se les pidió que se escaneara al menos a una persona de cada grupo, cosa que se realizó sin problemas en el tiempo de la práctica. Así mismo, todos los grupos consiguieron realizar, sin inconvenientes y de manera individual, la edición de la cabeza o cabezas que tenían escaneadas. Finalmente, tres de los grupos pudieron imprimir una cabeza personalizada.

Los resultados del cuestionario (Tabla 1), diseñado para valorar el nivel de satisfacción de los participantes, contempla factores relacionados con la creatividad y el uso de herramientas tecnológicas para su desarrollo. El Alfa de Cronbach obtenido para medir la consistencia del cuestionario ha sido de 0,71 (valores a partir de 0,7 garantizan la fiabilidad del resultado).

Tabla. 1. Resultados cuestionario de satisfacción de la actividad.

Pregunta	Media (1-5) (Desv. Típica)
La actividad de diseñar objetos articulados personalizados utilizando Meshmixer ha sido útil para el desarrollo de mi creatividad	4,4 (0,69)
El diseño y fabricación de objetos personalizados es un campo interesante y de actualidad	4,6 (0,58)
Los entornos tipo makerspace o fablab son útiles para el aprendizaje en centros educativos	4,4 (0,69)
Las impresoras 3D permiten desarrollar mi creatividad	4,4 (0,84)
Disponer de scanner 3D me permite generar mallas tridimensionales y desarrollar sobre ellas mi creatividad	4,5 (0,76)
Me resulta muy interesante poder escanear un objeto o una persona en 3D	4,7 (0,58)
Me resulta fácil enfrentarme al programa de edición de mallas (Meshmixer)	3,8 (1,01)

En el test de Abreacción de la Creatividad (TAEC), se obtiene un valor medio de 139,20 (desviación estándar 31,83). Al objeto de valorar este resultado, se pueden utilizar como referencia los valores obtenidos para el mismo test por alumnos recién ingresados en la Universidad (Saorín, de la Torre, Melian, Meier, & Lifante, 2015): para alumnos del mismo grado de los que han participado en esta experiencia (ingeniería electrónica), los valores fueron 109,0 (desviación estándar 35,70); para alumnos del grado de Bellas Artes los valores fueron 150,1 (desviación estándar 75,1).

8. Conclusiones

El taller se ha podido llevar a cabo y todos los grupos han creado, al menos, la versión digital de un muñeco personalizado. Sin embargo, sólo un tercio de los grupos han podido imprimirlo en 3D en el tiempo estipulado. Sería conveniente realizar el taller en dos sesiones de dos horas cada una; primera sesión para escaneo y edición y segunda sesión para impresión en 3D.

De los resultados de la encuesta destacar que los alumnos valoraron muy positivamente la actividad para el desarrollo de la creatividad (4,4 sobre 5), y que las aplicaciones y dispositivos empleados como las impresoras 3D y los escáneres 3D les ayudan a conseguirlo, con valores de 4,4 y 4,5 sobre 5 respectivamente.

Respecto al entorno de enseñanza-aprendizaje y las herramientas tecnológicas empleadas consideraron que el diseño y fabricación de objetos personalizados es un campo interesante y de actualidad (4,6 sobre 5). Además, pese a no conocer previamente el concepto FabLab, opinan que dichos entornos son útiles para el aprendizaje en centros educativos (4,4 sobre 5). La posibilidad de escanear un objeto o una persona en 3D, les resulta muy interesante (4,7 sobre 5). La valoración sobre la sencillez de uso del programa editor de mallas es también alta (3,8 sobre 5).

En relación al fomento de la competencia creativa, los resultados de creatividad medidos con el test TAEC muestran una mejora de dicha competencia, acercándose a los valores que se observan en alumnos de carreras eminentemente creativas como puede ser Bellas Artes.

Por otro lado, es interesante señalar que aunque la experiencia se ha llevado a cabo con alumnos de ingeniería, esta actividad se puede realizar en todo tipo de estudios para fomentar la creatividad a través de la fabricación digital.

9. Referencias bibliográficas

- Alonso, C., & Corbalán, F. (1997). *Psicología diferencial. Guía de estudio*. Murcia: Diego Martín.
- Baillie, C. (2002). Enhancing creativity in engineering students. *Engineering Science and Education Journal*, 11(5), 185-192.
- Blanco, A. (2009). *Desarrollo y evaluación de competencias en Educación Superior*. Madrid: Narcea S.A.
- Blikstein, P. (2013). Digital Fabrication and 'Making' in Education: The Democratization of Invention. *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, 1 - 21.

- Boy, G. A. (2013). From STEM to STEAM: toward a human-centred education, creativity & learning thinking. *31st European Conference on Cognitive Ergonomics* (p. Article No. 3). New York: ACM.
- Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. Trieste, Italy: ICTP.
- Casas, J. (2000). *La creatividad en educación infantil primaria*. Madrid: EOS.
- Casas, J. (2012). *Aprende y enseña jugando*. Madrid: Absalon.
- Corbalán, F., Martínez, D., Donolo, C., Alonso, M., Tejerina, M., & Limiñana, M. (2006). *CREA. Inteligencia creativa. Una medida cognitiva de la creatividad*. Madrid: TEA Ediciones.
- De la Torre, S. (1991). *Evaluación de la creatividad: TAEC, un instrumento de apoyo a la Reforma*. Escuela Española.
- De la Torre-Cantero, J., Saorín, J. L., Melián Díaz, D., & Meier, C. (2015). STELLA 3D: Introducing Art and Creativity in Engineering Graphics Education. *The International Journal of Engineering Education*, 805–813 (Volume 31 N° 3).
- Friess, M. (2012). Scratching the Surface? The use of surface scanning in physical and paleoanthropology. (I. I. Antropología, Ed.) *Journal of Anthropological Sciences*, 90, 1- 26.
- Gardner, H. (1995). *Inteligencias múltiples: la teoría en la práctica*. Barcelona: Paidós.
- Guilford, J. (1967). *The Nature of Human Intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2015). *The NMC Horizon Report: 2015 K-12 Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Lifante Gil, Y. (2013). *Ingenieros Creativos*. Valencia: ADD editorial.
- Liu, Z., & Schonwetter, D. (2004). Teaching Creativity in Engineering. *International Journal of Engineering Education*, 20 (5), 801-808.
- Lukeneder, S., & Lukeneder, A. (2011). Methods in 3D modelling of Triassic Ammonites from Turkey (Taurus, FWF P22109-B17). *Proceedings IAMG 2011*, (pp. 496-505). Salzburg.
- Marín, R., & De la Torre, S. (1991). *Manual de la creatividad*. Barcelona: Vicens Vives.
- Martin, J. (1991). Engineering Education in a New World Order. *Frontiers in Education Conference, Twenty-First Annual Conference*. (pp. 141 - 144). West Lafayette, IN: IEEE.
- Morón Macías, M. C. (2010). Un principio de intervención educativa: el juego y los juguetes en educación infantil. Temas para la Educación. *Revista Digital para profesionales de la enseñanza*, 1-9 (10).
- National Academy of Engineering. (2004). *The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century*. Washington: The National Academies Press.
- Sánchez Ron, J. (2011). *La nueva ilustración ciencia, tecnología y humanidades en un mundo interdisciplinar*. Oviedo: Nobel.
- Saorín, J. L., & Bonnet de León, A. (2014). Tecnologías digitales de bajo coste, para la creación de figuras tridimensionales de papel y cartón. *Trabajo Final de Máster*. La Laguna, Tenerife, España.
- Saorín, J. L., de la Torre, J., Melian, D., Meier, C., & Lifante, Y. (2015). Competencia Creativa en estudios de grado en Ingeniería. *CINAIC 2015*. Madrid.

- Saorín, J. L., de la Torre-Cantero, J., Melián, D., Meier, C., & Rivero, D. (2015a). Blokify: Juego de modelado e impresión 3D en tableta digital para el aprendizaje de vistas normalizadas y perspectiva. *Digital Education Review*, (27), 105-121.
- Saorín, J. L., Meier, C., de la Torre-Cantero, J. L., Melián, D., & Rivero, D. (2015b). Juegos en tabletas digitales como introducción al modelado y la impresión 3D. *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 16(2), 16 (2), 129.
- Schmidt, R., & Ratto, M. (2013). Design Tools for the Rest of Us: Maker Hardware Requires Maker Software. *Conference Proceedings: FAB at CHI Workshop*.
- Shaw, M. (2001). *Engineering Problem Solving: A Classical Perspective*. Norwich, NY: Noyes Publications.
- Smith, A., Hielsher, S., Dickel, S., Söderberg, J., & van Oost, E. (2013). Grassroots digital fabrication and makerspaces: Reconfiguring, relocating and recalibrating innovation? *University of Sussex, SPRU Working Paper SWPS*, (2) 1 - 23.
- Smith, P. K., & Pellegrini, A. (2013). Learning through play. *Encyclopedia on Early Childhood Development*, 1 - 6.
- Tatarkievicz, W. (1988). *Historia de seis ideas: arte, belleza, forma, creatividad, mimesis, experiencia estética*. Madrid: Tecnos.
- Torrance, E.P. (1966). *Torrance Tests of Creative Thinking*. Lexington, MA: Personnel Press.
- Walter-Herrmann, J., & Büching, C. (2013). *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*. Wetzlar: Majuskel medienproduktion GmbH.
- Winkelbach, S., Molkenstruck, S., & Wahl, F. (2006). Low-cost laser range scanner and fast surface registration approach. *Joint Pattern Recognition Symposium. 4174*, pp. 718 – 728. Berlin Heidelberg: Springer.
- Zapatero Guillén, D. (2012). Creación de juegos personalizados para niños y adolescentes hospitalizados= The creation of personalized toys for children and adolescent hospitalized. *ArDIn. Arte, Diseño e Ingeniería*, 54-62 (1).

3.

Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos

Revista: Arte, Individuo y Sociedad, Vol. 30 Nº2 pp 295-309

(abril 2018)

Base de Datos: Scopus, Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS)
Índice de impacto: SJR (2017) = 0,157

Jose Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero

3.

Arte, Individuo y Sociedad

Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos

• Fuente de impacto: Scopus • Índice de impacto: SJR (0.157) • Posición de publicación: 99	• Categoría: Visual Arts and Performing Arts • Revista dentro del 25%: Si • Núm. revistas en cat.: 413
• Fuente de impacto: Art & Humanity Index incluido en la Web of Science (WOS)	



Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos

Jose L. Saorín¹; Alejandro Bonnet de León²; Cecile Meier³; Jorge de la Torre-Cantero⁴

Recibido: 23 de julio de 2017 / Aceptado: 27 de enero de 2018

Resumen. El estudio y la representación de las formas asociadas al cuerpo humano y al retrato es una parte del currículo de las asignaturas de educación plástica, visual y audiovisual en enseñanza secundaria. Actualmente los ejercicios se realizan utilizando técnicas artísticas tradicionales y en la mayoría de los casos en soportes bidimensionales. Cuando se trata de crear modelos tridimensionales, se suele utilizar barro u otros elementos moldeables y técnicas constructivas tradicionales. Esto supone la necesidad de contar con los materiales y herramientas específicas para elaborarlos. En este artículo, se presenta una actividad para la creación de retratos tridimensionales digitales y físicos, cuyo objetivo es que se pueda realizar en centros de educación secundaria. Para ello se utilizan tecnologías 3D de bajo coste que no requieran una formación específica, es decir, accesibles para profesores y alumnos. Dicha actividad ha sido llevada a cabo con dos grupos de profesores y alumnos durante el curso 2015 - 2016. Los resultados permiten comprobar que dicha actividad es viable en un entorno escolar y que se pueden conseguir retratos 3D a bajo coste.

Palabras clave: Retrato; educación; competencia digital; escáneres 3D.

[en] Three-dimensional portrait through the use of low-cost digital manufacturing technologies in educational environments

Abstract. The study and representation of the shapes associated with the human body and the portrait is a part of the curriculum of the subjects of plastic, visual and audiovisual education in secondary education. Currently, the exercises are performed using traditional artistic techniques and in most cases in two-dimensional supports. When it comes to creating three-dimensional models, often it is used clay or other molding elements and construction techniques. This implies the need to have the specific materials and tools to elaborate them. In this article, an activity is presented for the creation of digital and physical three-dimensional portraits, whose objective is that it can be carried out in secondary education centers. For this, low-cost 3D technologies will be used that do not require specific training, accessible for teachers and students. This activity has been carried out with two groups of teachers and students during the academic year 2015-2016. The results shows that this activity is feasible in a school environment and that 3D portraits can be obtained at low cost.

Keywords: Portrait; education; digital competence; 3D scanners.

¹ Universidad de la Laguna, Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura (España)
E-mail: jlsaorin@ull.es

² Universidad de la Laguna (España)
E-mail: alebonle@hotmail.com

³ Universidad de la Laguna, Departamento de Bellas Artes (España)
E-mail: cemeier@ull.es

⁴ Universidad de la Laguna, Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura (España)
E-mail: jcantero@ull.es

Sumario: 1. Introducción. 2. Antecedentes: el retrato y la fabricación digital. 3. Materiales y métodos. 3.1. Participantes. 3.2. Hardware y Software. 3.3. Instrumentos de medida. 4. Experiencia realizada. 5. Resultados. 6. Conclusiones. Referencias.

Cómo citar: Saorín, J.L.; Bonnet de León, A.; Meier, C.; De la Torre-Cantero, J. (2018) Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad* 30(2), 295-309.

1. Introducción

La creación de bustos o retratos en tres dimensiones, es una actividad habitual en asignaturas como Volumen o Escultura en estudios artísticos. Para modelar o esculpir un busto se necesitan habilidades técnicas, tiempo y un modelo disponible para sacar las medidas a lo largo del proceso. Para ello se utilizan técnicas como el modelado en arcilla o la talla en piedra o madera. Por ello, esta actividad no suele incorporarse en centros de educación secundaria, realizando únicamente en esta etapa, ejercicios bidimensionales para el estudio del retrato o de la forma humana. Es interesante señalar, que a pesar de que en los estudios de Bellas Artes, es habitual realizar esculturas mediante técnicas tradicionales como las mencionadas anteriormente, todavía no es de uso común la utilización de métodos digitales tridimensionales.

Según los currículos educativos vigentes, ya desde primaria, en las asignaturas de expresión artística, se promueve la creación a partir de composiciones utilizando combinaciones de puntos, líneas y/o formas, donde puedan reconocerse manifestaciones artísticas tales como el retrato (Gobierno de Canarias, 2014). Algunos de los ejercicios que se realizan en primaria, son la representación de la figura humana y el autorretrato (Basagoiti, 2010). Estos ejercicios se ejecutan principalmente en formatos bidimensionales empleando materiales tradicionales como ceras, lápices, temperas etc., aunque también se suelen realizar creaciones tridimensionales utilizando arcillas, plastilinas o pastas de modelar.

En enseñanza secundaria, en algunos ejercicios de la materia de educación plástica, visual y audiovisual se emplea el retrato como una manera de reconocer y diferenciar los elementos que intervienen en composiciones básicas, mediante el análisis de las leyes compositivas como el equilibrio, la proporción, el ritmo o la simetría, a partir de la visualización de imágenes como fotografías, ilustraciones, visitas a museos, etc. Para la realización de estos ejercicios se suelen utilizar técnicas tradicionales. Sin embargo, en los propios currículos educativos se indica que los alumnos deben iniciarse en el uso de recursos tales como programas sencillos de diseño para su experimentación en la materia.

Puede verse un ejemplo de un ejercicio de estas características en la Figura 1, extraída de un libro de educación plástica y visual de primer curso de ESO (Rodríguez, Soler, & Basurco, 2007). Este ejercicio consiste en la reproducción de un retrato fotográfico, empleando líneas de simetría y proporción para ayudar al alumno a encajar correctamente los trazos del dibujo que representarán cada una de las partes de la cara. Aunque en este caso se emplean únicamente medios manuales, otra variante de este ejercicio podría añadir la competencia digital si se realizara utilizando programas sencillos de edición fotográfica digital.



Figura 1. Ejercicio de simetría y proporción de 1º de la ESO. (Fuente: Rodríguez, Soler, & Basurco, 2007).

En asignaturas de bachillerato como Dibujo Artístico, el currículo educativo incluye la realización de representaciones de la figura humana a partir de sus relaciones de proporcionalidad, aplicando fundamentos de anatomía a partir de la observación del natural como, por ejemplo, de poses de los propios alumnos (Gobierno de Canarias, 2016). En otras asignaturas como Volumen, se comienza a experimentar con representaciones tridimensionales de distintos objetos y figuras partiendo de modelos físicos en escayola u otros materiales para que el alumnado los reproduzca utilizando materiales como la arcilla. Para realizar correctamente estos ejercicios, es decir que reflejen exactamente las medidas, es necesario la utilización de instrumentos de medición. Estos instrumentos, tales como máquinas de sacar puntos o puntómetros, compases, escuadras y reglas sirven para conseguir la mayor similitud entre la copia y el original, respetando todas sus proporciones.

Las máquinas de sacar puntos (figura 2), no son habituales en centros educativos preuniversitarios, ya que, para su uso, es necesario un espacio adecuado y una formación específica. Debido a ello, en estos niveles educativos, los ejercicios de modelado tridimensional llevados a cabo con materiales como arcilla, plastilina, fimo... no pretenden ser copias fieles de los modelos, sino enseñar a realizar representaciones simples de la forma humana y su volumen.



Figura 2. Máquina de sacar puntos o puntómetro (Fuente: Wikimedia Commons).

Como se ha visto, los currículos de asignaturas de plástica en niveles preuniversitarios, señalan que los alumnos deben iniciarse en el uso de programas sencillos para la experimentación en entornos digitales. Esta competencia digital, se está empezando a incluir en muchos centros educativos, sobre todo cuando se habla de representaciones bidimensionales, mediante el uso de programas sencillos y gratuitos como por ejemplo MyPaint, Gimp o Inkscape (Huelves, Carrasco, & Espinosa, 2014). En el caso de la creación tridimensional, no es habitual, en bachillerato, incluir el modelado o la visualización 3D en estos ejercicios. Sin embargo, en estos últimos años algunos centros empiezan a incluir programas gratuitos de modelado 3D como, por ejemplo, Blender o Sculpttris (Roque & Valverde, 2012).

Existen autores que relacionan la competencia digital con el manejo de modelos 3D, el modelado 3D, entornos virtuales tridimensionales, etc. (Cervera & Mon, 2013; Cervera, Martínez, & Mon, 2016) resaltando además, la importancia de educar a los profesores en la competencia digital y en el uso de entornos 3D (Muñoz-Repiso & del Pozo, 2016). Por ello, esta relación entre objetos 3D y competencia digital está empezado a ser reconocida (Saorín, y otros, 2017).

Así, aunque la competencia digital 3D conlleva el uso y manejo de modelos tridimensionales digitales, no está concebida dentro de la competencia digital de los currículos actuales. Sin embargo, desde organismos internacionales se anima a considerar esta competencia digital 3D. Un ejemplo es el reconocido informe Horizon en el que se identifican y describen las tecnologías emergentes con mayor impacto en la enseñanza. En él, se presenta el uso de impresoras 3D como una realidad dentro de los centros educativos (Adams Becker, Freeman, Giesinger Hall, Cummins, & Yuhnke, 2016), aunque también señala que, si bien muchos centros escolares están adquiriendo estos equipos, su compra se realiza sin tener definida una estrategia educativa que contemple su uso, por lo que terminan siendo infrautilizadas o abandonadas. En este sentido, es importante saber que el uso de impresoras 3D exige disponer de modelos 3D digitales de aquellos objetos que se pretenden materializar. Por lo tanto, la creación, edición y obtención de modelos 3D digitales se considera un paso previo para la utilización de las impresoras 3D.

En la Figura 3 se presenta el esquema de los ejercicios relacionados con la representación de bustos en técnicas tradicionales y digitales.



Figura 3. El retrato o la forma humana 2D y 3D mediante técnicas tradicionales y digitales (Fotografía del autor).

En este artículo, se presenta una actividad para la creación de retratos tridimensionales digitales y físicos, cuyo objetivo es que se pueda realizar en centros de educación secundaria. Para ello se utilizarán tecnologías 3D de bajo coste, que no requieran una formación específica, es decir, accesibles para profesores y alumnos. Se emplearán tecnologías tridimensionales como escáner 3D de bajo coste, ordenador, impresora de papel, tijeras y pegamento, sin necesidad de disponer de tecnologías avanzadas y de precios inaccesibles para entornos escolares. Para validar esta propuesta, se realizan dos experiencias prácticas, para comprobar que dicha actividad se puede realizar (es viable) con profesores y alumnos sin formación específica, empleando un mínimo de tecnología.

Las dos experiencias realizadas son las siguientes: la primera se realizó con alumnos universitarios y la segunda en un curso de formación del profesorado de enseñanza secundaria, ambas realizadas durante el curso 2015/2016. Esta actividad se puede realizar tanto en secundaria, como en bachillerato e incluso en niveles universitarios, ya que no necesita de espacios específicos, ni conocimientos especializados, ni de grandes inversiones.

En las dos experiencias descritas, y para comparar con otros medios de fabricación digital, se han realizado de forma paralela dos bustos 3D adicionales con dos tecnologías diferentes: impresoras 3D y plotter de corte. El objetivo de esta actividad paralela es obtener resultados en cuanto al tiempo empleado por cada una de las tecnologías para que los participantes pudieran valorarlas adecuadamente.

2. Antecedentes: el retrato y la fabricación digital

El retrato es considerado como la imagen de una persona trasladada a la pintura, la escultura, el dibujo o la fotografía, en la que se plasma el aspecto o el carácter del sujeto representado. El retrato ha sido un género de relevancia dentro del estudio de la Historia del Arte, sobre todo en periodos determinados como pueden ser el Renacimiento y a lo largo del siglo XIX. En contextos educativos, el uso del retrato se emplea en asignaturas relacionadas con la plástica y la historia del arte, partiendo de un acercamiento crítico a las obras de arte, contribuyendo así a descifrar el complejo mundo de las imágenes y su valor estético. De igual forma, desde este tipo de prácticas, se potencia a su vez la creatividad (Moreno Vera, Vera Muñoz, Miralles Martínez, & Trigueros Cano, 2013).

Las tecnologías de fabricación digital incluyen el proceso de creación, edición y manejo de ficheros digitales tridimensionales. Hasta hace unos años todos estos procesos necesitaban una formación especializada, habitualmente en el ámbito de la ingeniería y la arquitectura. Sin embargo, con la evolución del software y del hardware, estas tecnologías se han hecho accesibles, tanto en lo económico como en los aspectos formativos, con lo que se pueden realizar todos los procesos ligados a la creación 3D digital de forma sencilla.

Por lo tanto, la incorporación de estas tecnologías en entornos educativos es una opción viable. Para la obtención de contenidos tridimensionales digitales se puede optar por su descarga, accediendo a repositorios online gratuitos como Thingiverse o SketchFab. Otra opción, es la creación de los contenidos mediante el modelado 3D digital empleando alguno de los programas de bajo coste existentes como Tinkercad o SketchUp. Por último, cabe la posibilidad de obtener archivos digitales de nuestros propios modelos, empleando la reconstrucción fotográfica (fotogrametría) o mediante la digitalización de objetos empleando escáneres 3D.

La reconstrucción fotográfica y escáneres 3D, no se ha empleado tradicionalmente por su elevado coste y por la necesidad de una formación específica. Inicialmente, las tecnologías empleadas para conseguir modelos 3D del natural, procedían del mundo de la topografía y estaban basadas en aplicaciones orientadas a la creación de modelos digitales del terreno (MDT). Estas tecnologías se servían de técnicas topográficas para generar los puntos de la malla 3D del territorio; mediante aparatos tradicionales de topografía, a partir de fotografías (fotogrametría) o mediante escáner láser (Gonizzi Barsanti, Remondino, & Visintini, 2012). El uso de estos nuevos métodos, posibilitó la creación de modelos 3D sin necesidad de expertos en modelado 3D, aunque su coste era muy alto.

Sin embargo, en los últimos años y con la aparición de tecnologías de bajo coste, ha sido posible la generación de modelos 3D digitales en los propios centros educativos (Leakey & Dzambazov, 2013). Hoy en día existen programas gratuitos de restitución fotográfica que aprovechan el procesado en la nube (Scann3D, Recap 360...). Estas técnicas, si bien funcionan con objetos inertes, en el caso de seres vivos presentan dificultades a la hora de obtener archivos válidos para trabajar con ellos y materializarlos.

Por otro lado, han aparecido escáneres 3D que permiten capturar la superficie tridimensional de un busto con un precio cada vez menor (Winkelbach, Molkenstruck, & Wahl, 2006). Además, con la aparición de periféricos de videojuegos que posibilitan la captura del espacio en 3D, se ha permitido crear escáneres tridimensionales de

coste accesible, aunque de resoluciones no tan buenas como los profesionales. Un ejemplo de estos dispositivos es la Kinect de la Xbox 360 que, con el programa Scanect, permite disponer de un escáner 3D por menos de 200 euros. Otro ejemplo es el escáner Structure Sensor que, conectado a un iPad, permite tener a disposición uno de estos dispositivos por menos de 1000 euros (Bonnet de León, Meier, Saorín, de la Torre-Cantero, & Carbonell, 2017).

Una vez terminado el proceso de digitalización 3D del objeto, se puede realizar la reproducción física del modelo. Para ello, existen varias tecnologías que permiten crear una réplica física del modelo, unas por adición de material y otras por sustracción.

La impresión 3D es una tecnología aditiva que permite la materialización de archivos digitales 3D en modelos tangibles. Las impresoras 3D posibilitan la fabricación de las reproducciones utilizando materiales termofusibles para la construcción de las réplicas, depositando sucesivas capas de material sobre la superficie de impresión. En 2005, surge el proyecto RepRap en la Universidad de Bath (Reino Unido) con el objetivo de abaratar los costes de la impresión 3D. Esta iniciativa dio lugar a la popularización de dichas máquinas, ya que los precios de las impresoras se redujeron hasta estar en torno a los 1000 dólares. Tras ese momento, las impresoras de bajo coste se popularizaron, surgiendo una nueva industria alrededor de ellas. Así, con la aparición de esta nueva línea de impresoras, se ha facilitado la adquisición de estas tecnologías por parte de los centros educativos e incorporándolas como recurso docente (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013).

Otra tecnología para la creación de réplicas físicas, consiste en la construcción a partir de secciones apiladas. Dichas secciones se pueden crear digitalmente mediante técnicas de modelado 3D o de forma automática con programas específicos de laminado como Slicer for Fusion 360. Con este tipo de programas, un modelo 3D se puede configurar por secciones con un espesor definido. Dichas secciones se pueden exportar posteriormente tanto en formatos digitales para su corte (DXF o SVG) con dispositivos de corte automatizado o bien se pueden exportar en formato PDF para su impresión en papel (figura 4).

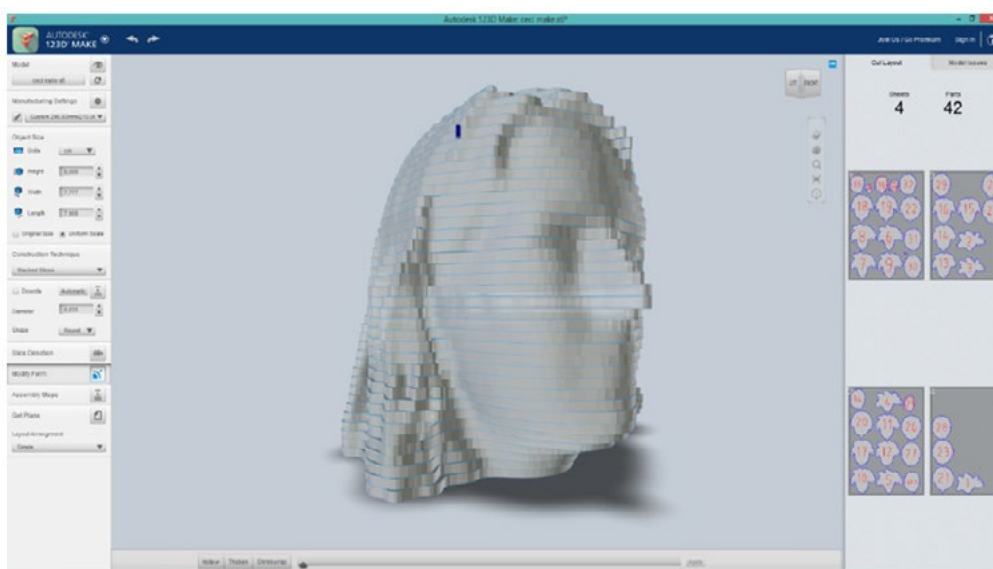


Figura 4. Imagen de interfaz de un programa de laminado, construcción por secciones y plantillas (Fotografía del autor).

Dentro de los dispositivos de corte se encuentran las máquinas de corte láser, las fresadoras por control numérico (CNC) o los plotters de corte. Con estas tecnologías de corte se ha producido una reducción de costes similar a la tecnología de impresión 3D, apareciendo opciones económicas orientadas a usuarios no profesionales que permiten contemplar su integración en contextos educativos. Es más, el interés por estas tecnologías de fabricación digital ha promovido la creación de máquinas didácticas que integran la impresión 3D, el corte CNC, el grabado láser y el corte por cuchillas con un simple cambio de cabezal.

Aunque han surgido opciones económicas de máquinas de corte láser “de escritorio” orientadas a la fabricación personal, su utilización en entornos educativos conlleva ciertos peligros derivados del cabezal láser y de la emanación de gases según el material que se corte, que exigen el uso de un filtro de aire. Sin embargo, algunas de estas máquinas se promocionan para ser utilizadas en espacios como los makerspaces o fab labs que están surgiendo en centros de enseñanza secundaria. Estos laboratorios, con personas formadas en el uso de las tecnologías de fabricación digital tienen la posibilidad de integrar máquinas de corte láser a precios que van de los 600 a 5000 euros, algo impensable hace apenas dos años. Entre estas opciones se encuentran los proyectos “FABOOL Laser Mini”, “Mr Beam”, “Full Spectrum Laser Hobby Series” o “Glowforce”.

La tecnología de fresado CNC también ha experimentado un fenómeno similar, incluso mayor, de aparición de opciones de coste asequible, orientadas a la fabricación personal. Sin embargo, estas máquinas presentan algunos inconvenientes a la hora de introducirlas en entornos educativos, como el elevado nivel de ruido y polvo que producen y la necesidad de una formación específica para el manejo de ficheros digitales y selección de parámetros de corte. A pesar de esto, están surgiendo modelos didácticos y orientados al hobby que están reduciendo cada vez más este tipo de inconvenientes. Entre estos modelos podemos encontrar proyectos como “Carbide 3D”, “Carvey”, “MillRight CNC”, “X-Carve” o “Stepcraft”.

Otra tecnología de fabricación digital es el plotter de corte. Este tipo de máquinas, dispone de un cabezal con una cuchilla que se desplaza por la superficie del material que se desea cortar o troquelar. A nivel profesional se suele utilizar en la industria gráfica y el material con el que se trabaja más habitualmente es el vinilo, aunque existe la posibilidad de hacerlo con gran variedad de materiales. Por un precio comprendido entre 1000 a 2000 euros, se puede adquirir un plotter de corte con características profesionales. Sin embargo, por unos 250 euros, existen plotters de corte que se pueden adquirir en papelerías orientadas al fenómeno mundial del scrapbooking. Estas máquinas no mucho mayores que una impresora de papel, son de sencillo funcionamiento y permiten cortar una amplia variedad de materiales como cartulina, cartón, tela, goma eva... y son perfectamente compatibles con la mayoría de ordenadores y archivos de imágenes con los que se suele trabajar en entornos escolares. Dentro de estos dispositivos podemos encontrar modelos como Cameo y Curio de la empresa Silhouette (figura 5A), la Cricut, la serie Stika de la empresa Roland, o ScanNcut de Brother entre otras.

Pese a existir toda esta gama de dispositivos de corte, se ha de señalar que unas tijeras permitirán ejecutar el trabajo de forma manual con unos resultados aceptables, siempre que el material a cortar sea blando (papel, goma eva, cartón,...). Es importante tener en cuenta este aspecto, ya que en todos los centros escolares es habitual el uso de tijeras y pegamento para las asignaturas de expresión plástica (figura 5B).



Figura 5. A1: Corte automatizado con plotter de corte. A2: Montaje tras corte con plotter. B1: Corte manual con tijeras. B2: Montaje tras corte con tijeras. (Fotografía del autor).

3. Materiales y métodos

3.1 Participantes

La actividad se llevó a cabo con dos grupos distintos, un grupo formado por 15 profesores de secundaria de distintos centros docente de la isla de la Palma (Canarias) y un segundo grupo formado por 13 alumnos del máster en formación del profesorado de la Universidad de la Laguna. A ambos grupos se les pasó un cuestionario de conocimientos previos para valorar sus nociones sobre las tecnologías a emplear.

De dicho cuestionario se extrajeron los siguientes datos:

A) Del grupo de alumnos:

1. El 84,60% no conocía los programas que se emplearon.
2. El 53,84% desconocía la existencia de los plotters de corte de bajo coste.
3. El 69,23% no conocía la existencia de los escáneres 3D de bajo coste.
4. El 84,60% desconocía la existencia de las impresoras 3D.

B) Del grupo de profesores:

1. El 86,6 % no conocía la existencia de los programas empleados,
2. El 66,6 % desconocía la existencia de los plotters de corte de bajo coste.
3. El 46,6 % no conocía la existencia de escáneres 3D de bajo coste.
4. El 66,6% de los profesores no habían utilizado nunca una impresora 3D.

3.2 Hardware y Software

El hardware empleado con ambos grupos fue el siguiente: Escáner 3D Sense para la obtención de los modelos tridimensionales digitales, plotter de corte Curio de Silhouette para el corte automatizado de las piezas de la composición, impresora 3D Makerbot Replicator 2 para la impresión de los bustos en 3D. En cuanto a los programas empleados fueron: 3D Sense para la digitalización con el escáner, Silhouette Studio para insertar los archivos y automatizar el corte en la Curio, Makerbot Desktop para configurar los parámetros de impresión 3D e insertar los archivos en la impresora. Por último, se utilizó el programa 123D Make (actualmente denominado Slicer for Fusion 360) para realizar la división en secciones del modelo 3D de cada participante y obtener así las plantillas de corte a tijera necesarias.

3.3 Instrumentos de medida

Para cuantificar los resultados de la actividad se realizó un cuestionario de conocimientos previos sobre el uso de tecnologías 3D en el que se les pregunta si conocen o han usado una impresora 3D, un escáner 3D, plotters de corte y programas de edición y modelado 3D. Además, se realizó un segundo cuestionario para medir el nivel de satisfacción y viabilidad de la actividad propuesta. Dicho cuestionario estaba compuesto por seis ítems donde se preguntaba a los participantes sobre su opinión de cara a implantar estas tecnologías en un centro educativo, así como su opinión sobre las diferentes tecnologías empleadas en la actividad. Además, en el caso de los alumnos de máster, se realizó un recuento del número de bustos terminados (corte y montaje) durante la actividad, así como el tiempo empleado para realizar cada uno de los retratos 3D.

4. Experiencia realizada

La actividad se ha dividido en tres fases realizadas en dos sesiones con una duración total de 4,5 horas. En la primera sesión se realiza la Fase I de escaneado de los alumnos en 3D y en la segunda sesión se realizan la Fase II y III, que corresponden a la creación de secciones planas y a la construcción del retrato 3D de los alumnos.

4.1 Sesión I (Fase I)

En las dos experiencias realizadas con los grupos anteriormente descritos, profesores y alumnos universitarios, se escaneó a todos los participantes utilizando el escáner portátil 3D Sense. Esta fase se desarrolló en 90 minutos aproximadamente.

4.2 Sesión II (Fase II y III)

En la segunda sesión, utilizando el programa 123D Make, se obtienen a partir de los ficheros digitales en 3D las plantillas de corte necesarias para construir sus propios bustos a mano empleando tijeras y Goma Eva. Dichas plantillas se imprimieron en papel, para posteriormente pegarlas sobre Goma Eva de 2mm e ir recortando con tijeras y ensamblando las distintas piezas. Esta segunda sesión tuvo una duración completa de 180 minutos.

En paralelo a la actividad descrita anteriormente, y para comparar con otros medios de fabricación, se realizaron dos bustos adicionales: Uno de ellos utilizando la impresora 3D y otro empleando el plotter de corte. En el caso del busto impreso en 3D, se imprimió a la mitad del tamaño del que los participantes realizaron en goma Eva, ya que si se hubiera mantenido el mismo tamaño la impresión hubiera necesitado casi 6 horas. Al reducir el tamaño a la mitad, el tiempo empleado en la impresión fue de tan solo 1 hora con 20 minutos. Por otro lado, el corte de las secciones del segundo busto mediante el plotter de corte Curio Silhoutte se realizó al mismo tamaño que el del resto de los participantes y necesitó 72 minutos para completar el proceso de corte (figura 6).

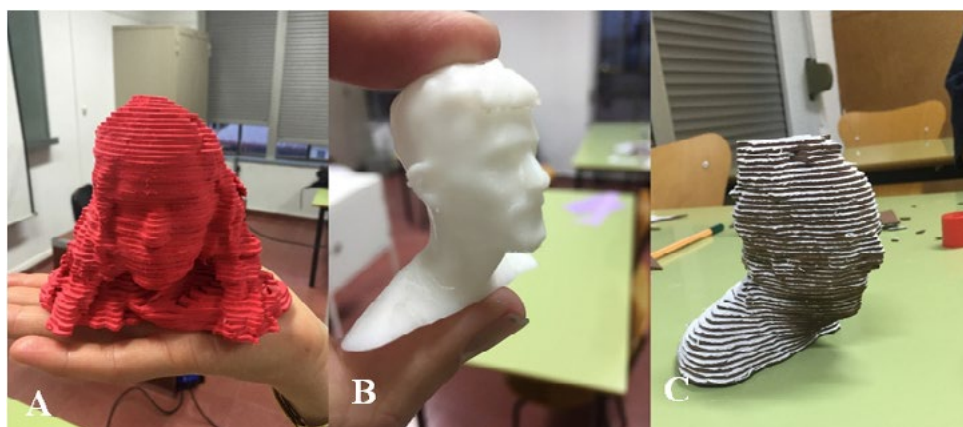


Figura 6. A: Resultado del montaje tras el despiece con Plotter de corte. B: Resultado de la impresión 3D C: Resultado del montaje tras corte manual con tijeras. (Fotografía del autor).

5. Resultados

Los resultados del cuestionario de satisfacción para cada una de las experiencias se reflejan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del cuestionario de satisfacción.

Escala (1-5)		
<i>Pregunta</i>	<i>Alumnos de Máster Media sobre 5 (desv. Est.)</i>	<i>Profesores Media sobre 5 (desv. Est.)</i>
Como docente o futuro docente, me veo capaz de desarrollar esta actividad con mis alumnos	4,15 (1,14)	4,2 (0,77)
Creo que el uso de estas aplicaciones y actividades es posible en un centro educativo	3,92 (1,12)	4,46 (0,63)
He aprendido nuevas formas de creación y manipulación de figuras tridimensionales	4,77 (0,60)	4,13 (0,74)
La práctica y la comparación entre las distintas formas de obtención de modelos tridimensionales me ha resultado muy interesante	4,31 (0,85)	4,4 (0,63)
Pienso que es una actividad que fomenta la creatividad	4,23 (0,93)	4,33 (0,89)
He sido capaz de realizar los pasos necesarios para obtener las plantillas	4,38 (1,12)	4,06 (0,70)

De los resultados en cuanto al número de figuras terminadas y los tiempos empleados para ello se pudieron extraer los siguientes datos:

Del grupo de estudiantes, el 41,66% pudo recortar y ensamblar todas las piezas, obteniendo un busto terminado en un tiempo de 94 minutos. En el caso de los profesores, completo la actividad el 93,33% de ellos. En ambos casos se realizó una impresión 3D de uno de los bustos y se automatizó el corte de las secciones en goma eva utilizando el plotter de corte Curio. En el caso de la impresión 3D, se tuvo que disminuir el tamaño del busto a imprimir a la mitad para que pudiera realizarse en el tiempo que duraba la sesión, es decir, la impresión del busto a la misma escala que los realizados en goma eva, hubiera tardado 5 horas y 53 minutos, mientras que al imprimirlo a la mitad el tiempo empleado fue de 80 minutos. En cuanto al corte automatizado, el tiempo empleado fue de 72 minutos en los que únicamente se realizó el corte de las piezas de un busto, es decir, tras el corte aún quedó realizar el montaje con las piezas obtenidas.

6. Conclusiones

De los resultados obtenidos se pueden resaltar las siguientes conclusiones:

Aunque el 84,6 % de los alumnos y el 86,6 % de los profesores desconocían los programas utilizados en la experiencia, todos fueron capaces de realizar las plantillas de corte necesarias para construir su busto en tres dimensiones empleando goma eva de 2mm. Por lo tanto, el uso del software propuesto, no representa un problema para la realización de los retratos 3D en educación ya que existen recursos gratuitos y accesibles que permiten a cualquier profesor incorporar tecnologías tridimensionales en aula sin necesidad de conocimientos informáticos avanzados.

El 69,23 % de los alumnos y el 46,6 % de los profesores desconocían la existencia de escáneres de bajo coste. La diferencia observada entre ambos grupos se debe a que algunos profesores habían asistido con anterioridad a otros cursos de fabricación digital donde les habían enseñado dichos equipos. Independientemente, estos los datos permiten deducir que este desconocimiento de los medios tecnológicos, propicia que muchos centros no utilicen estos dispositivos a pesar de su bajo coste.

Tanto alumnos como profesores (valores de 4,77 y 4,13 sobre 5) coincidieron en que esta actividad les sirvió para aprender nuevas formas de creación y manipulación de figuras tridimensionales, viéndose capaces de realizar este tipo de actividades con sus futuros alumnos (valores superiores a 4 sobre 5). Los profesores ven factible realizar estas actividades en un centro de secundaria con valores superiores a los obtenidos por los alumnos del master de educación (4,46 frente a 3,92). En ambos casos, los dos grupos han valorado que la actividad propuesta fomenta la creatividad con puntuaciones de 4,23 y 4,33 sobre 5.

Es de reseñar que prácticamente todos los profesores (93,3%) fueron capaces de terminar el busto 3D en el tiempo dedicado a ello (4,5 h), mientras que más de la mitad de los alumnos (58,33%) no fueron capaces de terminar por completo el busto tridimensional. Vistos estos resultados, y dependiendo del grupo de alumnos, sería conveniente aumentar la duración de esta actividad hasta 6 horas, para facilitar que todos los participantes la puedan terminarla.

Por otro lado, tanto los alumnos (4,3 sobre 5) como los profesores (4,4 sobre 5) han considerado que la comparativa entre las distintas tecnologías que nos permiten conseguir modelos físicos tridimensionales ha resultado muy interesante. Los datos obtenidos, nos permiten cuantificar los tiempos necesarios para la realización de esta actividad con impresora 3D y con plotter de corte. De esta manera los participantes han podido comparar distintas alternativas.

Mediante la impresión 3D se ha tardado 80 minutos en obtener un único modelo de la mitad del tamaño que el realizado en goma eva. En este sentido también hay que señalar que, aunque es posible el corte automatizado de las piezas de las figuras, este proceso tarda unos 72 minutos en completarse y aún se tendrán que ensamblar para conseguir el montaje final. Por ello, aunque la tecnología lo permite, en este caso es aconsejable realizar esta actividad realizando el corte de las distintas piezas con tijeras ya que facilita que todos los participantes trabajen a la vez, con lo que cada uno será capaz de obtener su propia réplica al finalizar la actividad.

El uso de escáneres 3D, ha de entenderse como una toma fotográfica en tres dimensiones, es decir, capturar la figura desde todos sus puntos de vista permitiendo obtener una representación 3D digital fiel al original. Dicho esto, cabe señalar que, para la fabricación de réplicas físicas de la figura escaneada, la herramienta que dará

mejores resultados en cuanto a fidelidad con respecto a la original será la impresión 3D. Sin embargo, este método, requiere de maquinaria y de un elevado tiempo de impresión como se puede apreciar en la Tabla 2. Por ello, dado que el objetivo de esta actividad es lograr que cada alumno pueda obtener su busto tridimensional en una misma sesión, será preferible la fabricación de las réplicas empleando el corte con tijeras aunque el resultado final no sea tan preciso como la impresión 3D.

Finalmente es importante señalar, que con esta actividad se incorpora la competencia digital en ejercicios o asignaturas que tradicionalmente no la contemplan, sin necesidad de disponer de aulas específicas y a un coste asequible. De este modo, los alumnos comienzan a familiarizarse con herramientas y dispositivos digitales que cada vez están más presentes en el mundo profesional.

Referencias

- Adams Becker, S., Freeman, A., Giesinger Hall, C., Cummins, M., & Yuhnke, B. (2016). *NMC/CoSN Horizon Report: 2016 K-12 Edition*. Austin, Texas: The new Media Consortium.
- Basagoiti, A. (2010). *Plástica*. Madrid: SM.
- Bonnet de León, A., Meier, C., Saorín, J., de la Torre-Cantero, J., & Carbonell, C. (2017). Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. *Arte, Individuo y Sociedad* (29) 1, 85-100. doi:<http://dx.doi.org/10.5209/ARIS.51886>
- Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low-cost 3D Printing for Science, Education & Sustainable Development*. Trieste, Italy: ICTP.
- Cervera, M. G., Martínez, J. G., & Mon, F. E. (2016). Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa (RIITE)*, pp. 74-83. doi:<http://dx.doi.org/10.6018/riite2016/257631>
- Cervera, M., & Mon, F. (2013). Explorando el potencial educativo de los entornos virtuales 3D. *Teoría de la Educación; Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 14(3), 302.
- Gobierno de Canarias (13 de Agosto de 2014). [gobiernodecanarias.org](http://www.gobiernodecanarias.org). Disponible en: http://www.gobiernodecanarias.org/opencmsweb/export/sites/educacion/web/_galerias/descargas/curriculo-primaria/AnexoII_Primaria_Educacion_Artistica.pdf
- Gobierno de Canarias (15 de Julio de 2016). *Boletín oficial de Canarias*. Disponible en: <https://sede.gobcan.es/cpi/boc>
- Gonizzi Barsanti, S., Remondino, F., & Visintini, D. (2012). Photogrammetry and Laser Scanning for Archaeological Site 3D Modeling - Some Critical Issues . *Proceedings of the 2nd Workshop on The New Technologies for Aquileia*. Aquileia, Italy.
- Huelves, I., Carrasco, V., & Espinosa, J. (2014). Dar a conocer el software libre Gimp en las escuelas de arte. *Infolio* (3). Recuperado el 10 de Julio de 2017, de <http://www.infolio.es/articulos/huelves/software.pdf>
- Leakey, L., & Dzambazov, T. (2013). Prehistoric Collections and 3D Printing for Education. *Low-cost 3d printing for Science, Education and Sustainable Development*. Trieste (Italy).
- Moreno Vera, J. R., Vera Muñoz, M. I., Miralles Martínez, P., & Trigueros Cano, F. J. (2013). El retrato en Educación Infantil: una propuesta didáctica sobre arte. *CLIO & asociados*, 249-266.

- Muñoz-Repiso, A., & del Pozo, M. (2016). Análisis de las competencias digitales de los graduados en titulaciones de maestro. *Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa-RELATEC*, 15(2), 155-168. doi:<http://dx.doi.org/10.17398/1695-288X.15.2.155>
- Rodriguez, I., Soler, I., & Basurco, E. (2007). *Educación Plástica y Visual I*. Madrid: SM.
- Roque, M. Á., & Valverde, R. (2012). La observación y percepción del entorno y modelos en el espacio a través de. *Arte, educación y cultura. Aportaciones desde la periferia*. Jaen.
- Saorín, J., Meier, C., de la Torre-Cantero, J., Carbonell-Carrera, C., Melián-Díaz, D., & Bonnet de León, A. (2017). Competencia Digital: su relación con el uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D. *Edmetec, Revista de Educación Mediática y TIC*, 27-46. doi:<https://doi.org/10.21071/edmetec.v6i2.6187>
- Winkelbach, J. S., Molkenstruck, S., & Wahl, F. (2006). Low-Cost Laser Range Scanner and Fast Surface Registration Approach. *AGM, ser. LNCS*, 4174, (págs. 718-728.). doi:http://dx.doi.org/10.1007/11861898_72

4.

**Makerspaces teaching learning environment to enhance
creative competence in engineering students**

Thinking Skills and Creativity, Vol. 23 pp 188-198

(enero 2017)

Base de Datos: JCR

Índice de impacto: JCR (2017) = 1,33

Jose Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero, Damari Melián
Díaz, Carlos Carbonell Carrera

4.

Thinking Skills and Creativity

Makerspaces teaching learning environment to enhance creative competence in engineering students

• Fuente de impacto: WOS • Índice de impacto: JCR (1.33) • Posición de publicación: 120	• Categoría: Education & Educational Reserch (SSCI) • Revista dentro del 25%: No • Núm. revistas en cat.: 239
• Fuente de impacto: SCOPUS • Índice de impacto: SJR (0.617) • Posición de publicación: 282	• Categoría: Education • Revista dentro del 25%: No • Núm. revistas en cat.: 1025

Web of Science
InCites
Journal Citation Reports
Essential Science Indicators
EndNote
Publons
Sign In
Help
English

InCites Journal Citation Reports
Clarivate Analytics

Home
Journal Profile

Thinking Skills and Creativity
ISSN: 1871-1871
ELSEVIER SCI LTD
THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND
ENGLAND
[Go to Journal Table of Contents](#)
[Go to Ulrich's](#)

Titles
ISO: Think. Skills Creat.
JCR Abbrev: THINK SKILLS CREAT
Categories
EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH - SSCI
Languages
English
3 Issues/Year;

JCR Impact Factor			
JCR Year ▼	EDUCATION & EDUCATIONAL RESEARCH		
	Rank	Quartile	JIF Percentile
2017	120/239	Q3	50.000
2016	57/235	Q1	75.957
2015	99/231	Q2	57.359
2014	35/224	Q1	84.598
2013	33/219	Q1	85.160
2012	59/219	Q2	73.288
2011	76/206	Q2	63.350
2010	21/184	Q1	88.859





Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students



José Luís Saorín*, Dámari Melian-Díaz, Alejandro Bonnet, Carlos Carbonell Carrera, Cecile Meier, Jorge De La Torre-Cantero

Departament of Technics and Projects in Engineering and Architecture, Universidad de La Laguna, Avenida Ángel Guimerá Jorge s/n, 38204 La Laguna, Tenerife, Islas Canarias, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 July 2016

Received in revised form

22 December 2016

Accepted 3 January 2017

Available online 10 January 2017

Keywords:

3D modeling

Creativity

Makerspaces

STEM

STEAM

ABSTRACT

Engineers need creativity to achieve different solutions to the same problem. Creative competence has become a cross competence in engineering studies. In this research an educational activity with 44 engineering students from La Laguna University is designed for stimulating creative competence. The emergence of new teaching-learning environments, in which digital fabrication techniques are used to turn ideas into digital designs, and these into tangible products through 3D printing offer an opportunity for the development of creativity. The Abreaction Test of Creativity is used to measure the creativity value at the beginning and the end of the experiment, and a survey is conducted to know the students' perception of the influence in the development of their creativity. The results show that activities with digital editing tools and three-dimensional printing are valid for the development of creative competence: participants who performed the activity improved their creativity ability in 24,04 points. The perception of students about the impact of these activities on their creativity is high, with values above 3.5 out of 5.

© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Engineers must be people with the ability to solve problems in an original and creative way, who need to have critical thinking, both individually and collectively. They require a creative mind to design products or to improve existing ones. Thus, the ability to engage in a creative process so as to define or solve a problem, or to design a product, is essential to engineering as a profession, and especially to future engineers (Prahald & Ramaswamy, 2003). In this context, the creative competence has become relevant and a cross-curricular competence in the engineering studies, to respond to a society that demands creative skills profiles, to the challenges of a constantly changing environment (Boy, 2013; Shaw, 2001) encourage and provide opportunities that stimulate creativity in engineering students is a challenge for university institutions (Baillie, 2002). Some researchers have indicated the need to assess creativity in engineering classes (Cropley & Cropley, 2005; Charyton & Merrill, 2009; Felder, Woods, Stice, & Rugarcia, 2000; National Academy of Engineering, 2005; Sheppard, Macatangay, Colby, & Sullivan, 2009). It is necessary, therefore, to promote a model of teaching strategies and

* Corresponding author.

E-mail addresses: jlsaorin@ull.edu.es (J.L. Saorín), alu0100796810@ull.edu.es (D. Melian-Díaz), alu0100394672@ull.edu.es (A. Bonnet), ccarbonell@ull.edu.es (C. Carbonell Carrera), alu0100305944@ull.edu.es (C. Meier), jcantero@ull.edu.es (J. De La Torre-Cantero).

innovative methodologies oriented to problem-solving between engineering students. In this way, it is possible to help students to learn more about their creative abilities (Liu & Schonwetter, 2004).

In regards to motivational techniques of creativity among students, some experiences promote this competence from different subjects like Science, Maths or Language (Casas, 2000, 2012). On the other hand, little has been done in many Engineering Studies to place teaching emphasis in developing and facilitating creativity in their students (Cromptley & Cromptley, 1999; Charyton & Merrill, 2009; Dewulf & Baillie, 1999; Kazerounian & Foley, 2007; Stouffer, Russel, & Oliva, 2004). Saorín, de la Torre-Cantero, Melián-Díaz, Meier, and Lifante (2015), in their research on creative competence in Bachelor Studies of Engineering, suggested that there is room for the significant improvement of the creative ability and, therefore, it is proposed as future work, to develop activities aimed at enhancing creativity in engineering.

Some types of creativity include the ability of divergent thinking (generating multiple solutions to a problem), as opposed to convergent thinking (one solution) (Liu, 2004). Methodologies based on team work and on the Project/problem-Based-Learning (PBL) (Prince & Felder, 2006) like those activities which are carried out in Makerspaces environments, allow for the exploration of a large quantity and different solutions to the same problem: divergent thinking. Makerspaces are spaces for creation where digitally controlled machines are used to build “practically everything” and where knowledge is interchanged among their members. Although a generic denomination for this space does not exist, terminology such as “Coworking Spaces”, “innovation laboratories”, “Media Labs”, “Fablabs” or “Hacklabs” have one aspect in common. That is, the fact that they all came to be as authentic laboratories in design and digital fabrication, where students have the opportunity of developing their creative competence through innovation, a process which puts new ideas into practice where creativity acts as a vital tool (Thompson & Lordan, 1999). The context of this experiment is a reduced Makerspace composed by portable 3D scanners, 3D printers and computers with 3D software, a configuration that allows to design and to build.

This paper describes a pilot experiment with 90 first year engineering students, within the engineering graphics subject at University of La Laguna (Spain), in a teaching-learning environment to promote their creativity. This experiment is a 3D creativity workshop, which consists in the creation and individualization of an articulated object with 3D design and manufacturing tools. The values of creativity are measured with the Abreaction Test for Evaluating Creativity, and so are the students’ perceptions on their influence/impact on the development of their creative competence.

2. Creativity as an engineering competence

The design of curricula adapted to the European Higher Education Area is based on the acquisition of skills. The European Commission defines the term competence as the proven capacity to use knowledge and skills. The definition and classification of these capabilities in the European Higher Education Area are based on the Tuning project (Project, 2016). This project includes, as a generic one, the ability to generate new ideas, such as creativity, and solve problems creatively. It is a generic competence that appears in engineering careers. In Spain, the National Agency for Quality Assessment in the white papers of degrees adapted to the European Higher Education Area includes creativity as a generic competence in 84% of the degrees (Lifante Gil, 2011; Blancos, 2016).

Furthermore, institutions such as The National Academy of Engineering in the U.S.A, in its strategic report *The Engineer of 2020* (Engineering 2004, 2005), says that Arts disciplines and Social Sciences, Communication and Presentation skills are more, or at least as important as the technical knowledge of a professional engineer. The Council of Graduate Schools (Bell, 2009) reported that the need to improve creativity and innovation in graduate students has been specifically of national importance in the United States. Engineering students recognize that creativity is essential to learn (Charyton, Jagacinski, Merrill, Clifton, & DeDios, 2011). In a survey conducted by Zampetakis, Tsironis, and Moustakis (2007), 87% of current engineering students agreed that creativity was a skill that is necessary for engineering. Furthermore, 77% of engineering students stated that they would like to take a course in creativity and creative problem solving. A university course can improve students’ creative skills by aligning course content, instruction, assessments, and the environment towards creativity-focused learning goals (Daly, Mosyjowski, & Seifert, 2014).

In this context, therefore, teaching should move towards a model based on the human being, different from the current model, based on isolated disciplines. Thus, the studies of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) should include Art and Design to promote creativity together with the reasoning, and therefore, move towards a new acronym called STEAM, that is, Science, Technology, Engineering, Mathematics, Arts & Design. There is a growing interest in education as a means to enhance the creativity of STEM students and broaden interest in STEM fields (Sochacka, Kelly, Guyotte, & Walther, 2016). This new concept emphasizes the long-term thinking for engineering professionals because the world is moving into a phase of continuous change where engineers have to adapt continuously to new realities of work (Boy, 2013). Their decisions about design and innovation have important economic implications, as the future success of the economy is assured through the promise of art and design-inspired innovation (Maeda, 2013).

In this research, the creation of articulated and personalized objects as an experience towards the fostering of creativity have been chosen. In this environment, playing, or the creation of articulated objects, stimulates creativity, allowing for the generation of real or imaginary entities. Macías and Carmen (2010) state that, the more organized is a toy, the smaller it will be the creative development of the toy. For instance, the usage of elements like Lego pieces, where the user has the freedom to build different objects and structures, with multiple play options and changeable rules, though various combinations of the pieces, colors, and even textures, contributes to the creative construction (Smith & Pellegrini, 2013). The use of activities for the individualization of articulated objects like dolls has been used not only in teaching environments, but also for

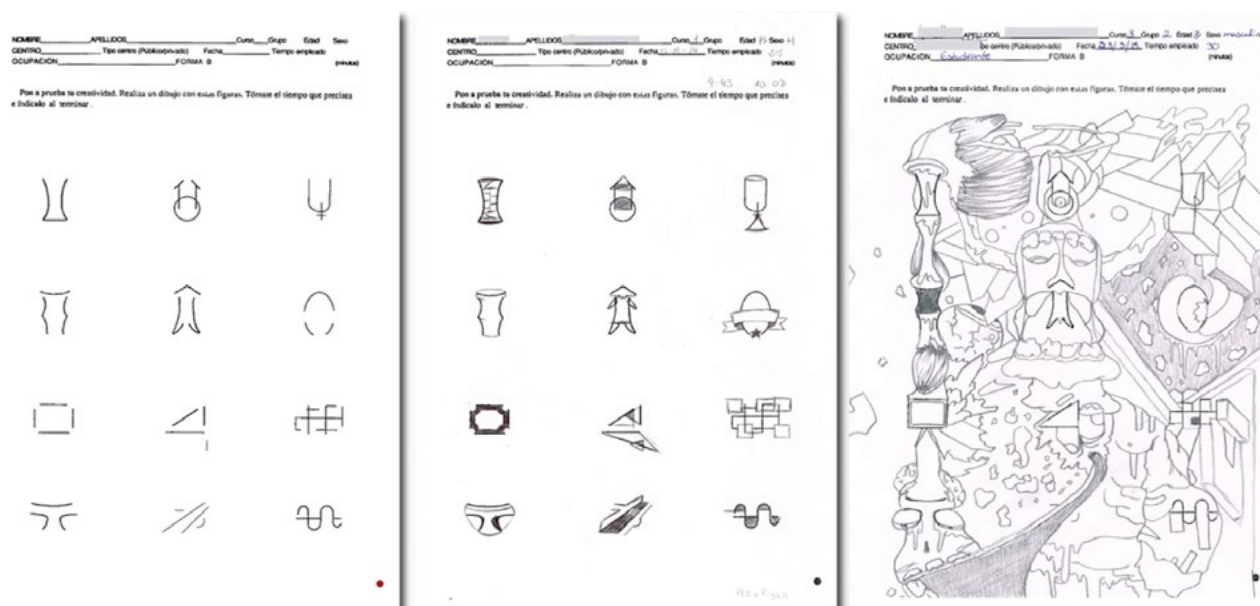


Fig. 1. Abreaction Test of Creativity: A Empty test; B Low creativity; C High creativity.

therapeutic purposes. In 2008, the “Tuning workshops” in the Hospital Gregorio Marañón in Madrid were developed. Such seminars were run for teenagers who were hospitalized, and their aim was to accomplish the design of dolls, which would be individualized later through the usage of digital technology (Guillén & Daniel, 2012).

2.1. Instruments for measuring creativity

The test of creativity arises from the Second World War, when the Air Force commissioned J.P. Guilford, a psychologist at the University of California, to study how to select pilots that, in an emergency situation, would react in an original way allowing the pilot to save both his life and the plane. After the investigation by this author, over 155 resources to assess creativity have been published.

Among the many existing test in the European context, four measuring instruments have been used to assess creativity in Spain. The first one is known as Battery Creativity Test of Guilford (1967): valued traits fluency, flexibility, originality, elaboration and sensitivity. It analyses the fundamental factors for the divergent thinking, as this is the one that usually is related to creativity. The second one is called Torrance Test of Creative Thinking (TTCT) (Ema et al., 2009). The test assesses the characteristics of fluency, flexibility, originality, elaboration, inventiveness and penetration. Thirdly, the CREA Test (Corbalán et al., 2003) is useful in the clinical, educational and organizational fields, and in the practice of the arts, design and advertising. Unlike Guilford test, which takes into consideration the five factors mentioned above, the CREA Test proposes a single measure of creativity, as it is studied as a psychological style. The CREA test used as a method for measuring creativity, the subject’s ability to develop questions, which serve as an indicator. Finally, the Abreaction Test for Evaluating Creativity (de la Torre, 1991). This test involves drawing about twelve unfinished geometric figures. These twelve figures show a total of 36 openings in various positions and shapes. It evaluates traits resistance to closure, originality, elaboration, fantasy, connectivity (creative integration), imaginative scope, figurative expansion expressive richness, graphic skill, image morphology, creative style through drawing encouragement and time (every student scores runtime). It is an inductive graph test, and it is chosen for this experiment, being the closest to the subject issued by the participants, that is, engineering graphics. The evaluation results are communicated to those who are participating in the experiment: an appropriate assessment of creativity is needed so as to provide a complete learning experience because assessments play a significant role in students’ motivation to learning and omitting creative skill assessments from courses may limit the effect of instruction that it actually occurs (Daly et al., 2014).

The Abreaction test for Evaluating Creativity is shown to the participant as a sheet of paper with twelve geometric figures unfinished. The students have complete freedom to draw whatever they want on the sheet, based on the 12 incomplete geometric figures, and they can make a drawing with each of the 12 figures or combination of them as the overall composition. The student can employ any of the following drawing tools: pencil, pen, markers, crayons or whatever they wish. Fig. 1 shows examples of this test made by the students. The Test score ranges from 0 to 324 points.

3. MakerSpaces and their use in education

Makerspaces are open-access workshops devoted to creative and technical work for individual tinkering, social learning, and group collaboration on innovative and technological projects (Schrock, 2014). In this paper the term makerspaces is

chosen as it is the designation used in educational reports like the Horizon Report 2015 Higher Education Edition and the Horizon Report 2015 K-12 Edition.

The Horizon report ([Johnson, Becker, Estrada, & Freeman, 2015](#)) highlights the fact that the centers for primary and secondary education support the integration of creative workshops or makerspaces in the formal learning, with the aim of putting into practice students' and teachers' ideas. By doing this, their creativity can be examined, highlighting the fact that its implementation is already a fact, foreseeing that the generalization of spaces such as the Makerspaces will be made in a year. In the University environment, the Horizon report places the Makerspaces as an essential educational technology development, within a deadline for its implementation of two to three years. It mentions a few references like Fryskslab, the Creative Workshop of the Local Library of Fryskslan (Holanda), the Makerspace of the High School of Sierra Vista de La Puente, in California, or the high school of Monticello, in Charlottesville, Virginia. These spaces of work for the technological research in which digitally fabricated tools are employed, such as 3D printers, contribute to the decrease of school absenteeism and the improvement in the performance of subjects such as mathematics or the fostering of a greater interest in Science and Engineering degrees. The transversal character of the Maker spaces renders them into a strategic element towards the inclusion in an educational environment the co-existence of Science, Technology and Arts in an interdisciplinary manner, overcoming the traditional gap between these areas ([Sánchez & José, 2011](#)).

In these laboratories, designed software plays a relevant role because it helps to achieve the realization of ideas in digital prototypes that afterwards will be materialized using machines. Together with professional programs targeted to different disciplines of design such as Rhinoceros, ZBrush y Solidworks, free applications have aroused like Meshmixer, or 123D Design, so as to elaborate 3D digital models. These applications optimize the process of connection with the machines which fabricate the prototypes. They are equipped with tools used for the exportation of models to 3D printers or with tools which can calculate the tool path which will be engraved in a CNC machine in wood, metal, methacrylate or any other material, so as to obtain a physical and tangible object of the 3D model designed by the computer.

Although there has been an emergence of an accessible new generation of 3D design software, the need for the creation of low-cost tools and machines, has been necessary so as to start to integrate this new phenomenon of design laboratories and digital fabrication in educational centers. These low-cost tools would allow for the reproduction on a small scale of the industrial processes of manufacturing for the physical materialization of any digital design. In this manner, in the Makerspaces we rely on 3D printers, cutting and engraving by numerical control (CNC), paper and vinyl cut plotters and engraving and laser cut machines, among others, which allows us to work with a broad range of shapes and materials ([Smith, Hielsher, Dickel, Söderberg, & van Oost, 2013](#)). Another device used in the Makerspaces is the 3D scanner, used to obtain digital documents of existing objects or physical scenarios.

As the main precedent for this type of installations and their concept, it should be mentioned the Fab Lab created by the physicist from MIT, Neil Gershenfeld in 2000, after the unexpected interest raised by his course on "How to Make" in 1998 ([Walter-Herrmann & Büching, 2013](#)).

It was after this date when researcher and educators started to consider the use of digital fabrication as a teaching tool. Its full implementation occurred in 2008 when Stanford University launch the project FabLab@School and starts the building of FabLabs in primary and secondary schools all over the world. In 2009, the MC2STEM High School of Ohio (EE.UU.) opened its first laboratory of digital fabrication. In 2011, Media Maker launched a project MakerSpace with the funding of DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). In 2011 and 2012 a large number of museums, schools, educational communities and libraries, announced their plans to build their own Makerspaces ([Blikstein, 2013](#)).

In Spanish context, at the University of La Laguna, there have been some experiences accomplished in educative centers. One example is the use of the game Blokify to introduce the competences, which related the three-dimensional shapes with their two-dimensional representation through the normalized views and the perspective ([Saorin, de la Torre-Cantero, Melian, Meier & Rivero, 2015](#)), another one, the 3D generation and printing of digital model to improve the visualization and interpretation of the relief ([Carbonell & Bermejo, 2016](#)).

4. Accessible and low-cost technologies of editing and digital construction

The technologies of digital construction are not recent. However, it is in the last few years when a lowering of the cost of these has occurred rendering their accessibility to educational environment possible. This cost reduction has been applied not only to the hardware but also to the software, and the tendency of big software companies, such as Autodesk o 3DSystems, is to supply some of their application free. In the case of more frequently used devices such as 3D printers and scanners, the prices have been lower considerably with the birth of new companies, which make and distribute this hardware. The technologies used in the 3D creativity workshop have been:

4.1. Hardware

A characteristic technology of a Makerspace is the 3D printing. The 3D printers are machines that, based on digital files, allow the creation of objects through the addition of diverse material. For instance, material such as plastic filament ([Straub & Kerlin, 2014](#)) PLA or AB, like the approach used by Makerbot replication model, the 3D printer used in the workshop presented in this research. Other materials are plastic powder, ceramic, nanocomposites, microfluidics, biodegradable scaffold units, which guide and stimulate tissue regeneration, pharmaceuticals and even high-density imaging apertures. All of these

can be produced using 3D printing technology. Berman (2012) proffers that 3D printing is the new industrial revolution. Its continuous lowering cost in the last few years, leads us to think that its usage in teaching environments is possible. Nowadays, several brands such as BQ or Makerbot can be found among others, which offer low-cost devices user-friendly allowing for its inclusion in educational environments.

Digital scanners are becoming a frequent technological tool in a Makerspace environment. These devices allow capturing reality and transforming it into a 3D digital file. The quantity of dots, which are capable of achieving, together with their accuracy, makes possible its usage in the reverse engineering field (Javed, Won, Khamesee, Melek, & Owen, 2013; Page, Koschan, & Mongi 2008). The scanning process can capture greater detail than it would be practical with a manual measuring process, i.e., a 3D scanner's point cloud can contain thousands of points corresponding to hundreds of manual measurements. It is of course much faster because it is based on comparing the 3D scanner's 1–2 s speed with 20–30 s or more, per manual measurement (Straub & Kerlin, 2014).

In general, low-cost 3D scanners can be classified as handheld and desktop. Handheld scanners such as the Structure Sensor or the Sense 3D scanner are a fast and portable device that can digitize objects in a matter of minutes. The Structure Sensor (less than 300 euros) is a device that attaches to an iPad. Free scanning software such as ItSeez3D can be used. This application requires an internet connection, as an external server is used to process the point clouds generated by the scanner. Similarly, the Sense 3D scanner is a handheld device that needs to be connected to a PC to operate. It can scan objects up to 75 ft tall. The device includes custom software that is intuitive and easy to use. However, it is not suitable for objects smaller than a foot. Desktop 3D scanners are devices designed to sit on a desk, so there are inherent limitations in terms of size and weight. A turntable is usually integrated in the scanner. The object to be scanned is placed on the rotating turntable surface, which is automatically digitized by the device. Examples of this type of scanners include the MakerBot Digitizer and the Ciclop BQ. A comparative list of the 3D scanners is shown in Table 1.

The arousal of peripherals of video games which have the capability of detecting space in 3D, has allowed for the creation of three-dimensional scanners of very low-cost, although their resolution is not as good as the professional scanners. One example of this is the Microsoft Kinect with the program Skanect, which permits the creation of a 3D scanner at a lower price than 500 euros. For the accomplishment of the experiment for this report, a Structure Sensor scanner has been used, which, together with an iPad, enables us to have a three-dimensional capture equipment for less than 1000 euros.

4.2. Software

In the last few years, a range of programs CAD 3D has emerged, whose aim is not other but to construct pre-designed units. Within this new program generation aim, we should mention the 123D Design, Lego Designer, Leocad or Tinkerplay, with which assembled digital models can be created, using bookcases with parts, which afterwards, in some cases, enable us to obtain a three-dimensional printing. In this group, the Tinkerplay plays an important role, as an Autodesk program available for free in many operating systems including, iOS, Android y Windows 10. It allows creating multiple articulated dolls from a library with a broad range of pieces and accessories, which are interchangeable among them, enabling us to produce a great variety of models (Fig. 2). The creation of a particular shape is mainly based on the addition of the different parts of the body, such as the body, head and hips, and limbs such as legs, hands, tentacles, paws etc. Besides, each of these parts can be edited with three-dimensional textures.

It should be pointed out that one of the worth mentioning characteristics of Tinkerplay is that, once the digitally articulated object is created we can proceed to the fabrication on a 3D printer. The program can generate a file with all the pieces in STL format, which can be used in any of the 3D printer in the market (Fig. 3).

Once the Tinkerplay pieces files have been obtained, they can be edited and individualised according to the users taste, using mesh-editing programs. To do this 3D modelling programs such as 3ds Max, Zbrush, Blender or Meshmixer can be employed. In particular, Meshmixer is a free application created by Autodesk, which is used to mix, sculpt, paint and clean

Table 1
Comparison of low-cost 3d scanners.

Device	Type	Software	Object Size	Resolution	Observations
Kinect Xbox 360	Handheld (adapted)	ReconstructMe Skanect Pro	>7.5 cm	0.9 mm	It requires external power supply. Not ergonomic, but handles and tripods can be purchased separately.
Structure Sensor + iPad Sense 3D	Handheld	ItSeez 3D Skanect Pro	>40 cm and <3.5 m	0.9 mm	Portable and compact. iPad required.
	Handheld	Sense 3D	>35 cm and <3.5 m	0.9 mm	Simple and easy to use. PC connection. Powerful editing software. No post-production needed.
Ciclop BQ	Desktop	Horus	<25 cm diameter and <20 cm tall	0.5 mm	Open Source project. Needs assembly. Auto-calibrating software. Large or heavy objects not supported.
Makerbot Digitizer	Desktop	MakerWare	<20.3 cm	0.5 mm	One of the first low-cost scanners. Large or heavy objects not supported.



Fig. 2. The interface of the application Tinkerplay.

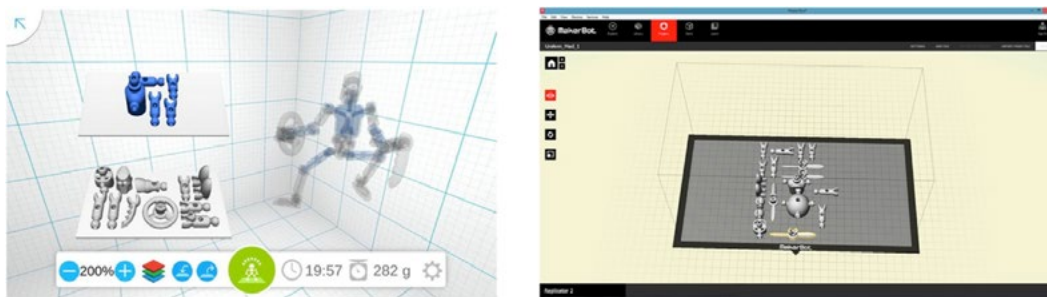


Fig. 3. Components of a design ready for it 3D printing.

and repair 3D meshes. The aim of this program is to facilitate the task to those who are not professionals of 3D modelling. Meshmixer is a simplified software used to edit nets of three-dimensional models (Schmidt & Ratto, 2013).

Mesmixer has a great variety of paintbrushes and tools available, to sculpt the mesh as if they were clay or plasticine, and it has tools to prepare it for their 3D impression. However, even though it is an excellent sculpturing program, it is not made for taking the exact measures nor for creating the mechanic pieces nor the architectonic models. It does not have either any options for rendering images or videos. It is useful just on a generic basis to process meshes, imported from several formats, for 3D printers, and at the same time, offering the possibility of introducing and combining any created design with the programs and applications previously mentioned above.

5. Methodology

This paper introduces a workshop, which was made at University of La Laguna with the aim of promoting creativity in students through the use of three-dimensional scanning tools, digital edition of three-dimensional meshes and 3D printers. The aim of our research is to determine the combined effect of these three technologies in the creative competence, encouraging student to work in a cooperative environment. The activity consists on the creation and individualization of articulated objects such as dolls from the Tinkerplay application and the 3D scanning of the pupils' head so as to assemble it on the doll and to edit it later, using the Meshmixer program, and finally proceed to print the creations in 3D. This activity would facilitate problem solving by suggesting different solutions to the problem.

The start data for the creativity values is 115,16 (45, 28). This start data come from the results of a previous experiment. This previous experiment was done in the academic year 2014–15 (Saorín et al., 2015), with 90 students from three different first-year Bachelor of Engineering, who applied the Abreaction test for Evaluating Creativity at the beginning of the year, with the aim of obtaining starting point values for creative competence of Engineering students. Thus, it was verified that the students belonging to engineering degrees obtained similar creativity values with an average value of 115,16. Another Test was performed on students from the first year of Fine Arts, who have previously taken an Arts High school so as to verify if they had a higher scoring in the test.

Besides, in 2014–15 experiment, the students answered a questionnaire about the general aspects of creativity. They considered that, “as a future engineer, it was important for their profession to develop their creativity” giving a score of 4,43 (0,71) on a five-point Likert scale (1 strongly disagrees, 5 strongly agree). Then “they thought that creativity could be developed through exercises” giving a rating of 3,73 (0,88). The 87% of the students surveyed, stated that they did not know the concept of Makerspace.



Fig. 4. Printed pieces for the accomplishment of the pilot experiment.

5.1. Participants

The experiment took place at University of La Laguna during the 2015–2016 academic course with 44 first-year engineering students of engineering graphics subject. So as to be able to do the practical in a time scheduled, the students made groups of five members each. All participants gave their consent, and all of them had been previously informed.

5.2. Materials and methods

Software y Hardware: the experiment was done in the Graphic Expression classroom in the Engineering and Architectural Projects and Techniques Department at the University of La Laguna, where there are 10 computers (Windows 7) at our disposal, which contain the Meshmixer and MakerBot Desktop programs installed in them. Scanner 3D Structure Sensor connected to an iPad Air, two 3D Makerbot Replicator 2 printers and a box of printed TinkerPlay have been used.

It is important to emphasize, that because the time needed for the printing of the necessary pieces to create a complete doll (each piece of a doll need between 10 and 20 min to be printed) is too long the impression of these pieces was made before the practical workshop. Therefore, a significant number of these was provided so as to facilitate the running of the activity within the time scheduled (Fig. 4).

5.3. Instruction

The time employed for the running of the activity was two hours, which as divided into three phases (Fig. 5). The first one was for the three-dimensional scanning. In the second one, the students became acquainted with the Tinkerplay application, used for the creation of an articulate object both in a digital fashion and through printed pieces from the box given in the activity (Fig. 4). In this second phase, the editing of the scanned head was done so as to include it in the prototype. The third phase corresponds to the 3D impression. Due to the fact that this is a slow process, and not all prototypes can be finished on time, the aim of the workshop is to achieve the finalisation of one individualised head by at least three groups within the scheduled time for the activity. The rest of the groups will print the heads of their prototypes outside the workshop hours, and they will be submitted later. Taking advantage of the digital editing possibilities that the Tinnkerplay application offers, together with the option to individualised a creation through a 3D printing of the pupil's head, we can conclude that the layout of this workshop renders it as a great instrument to stimulate the students creativity.

5.3.1. Phase I

Scanning (30 min). Participants used the 3D Structure Sensor Scanner. This one works connected to an iPad, and it uses a free application for the 3D scanning known as ItSeez3D. This application generates a 3D model through the delivery of the dot cloud scanned in an external proxy server, and therefore it needs wifi to work properly. Thus, the necessary time to accomplish a complete scanning ranges from 2 to 5 min, and it will also depend on the light conditions and on the web response. Each group of students will have to scan themselves to obtain a 3D model of, at least, one head of a group member.

5.3.2. Phase II

Tinkerplay 3D Mesh Edition (45 min). Students are shown the Tinkerplay application, and they have ten minutes to familiarise themselves with it. Later on, a box with printed components for the workshop is provided for them (Fig. 3) so as to make a selection of the parts that they will use in the construction of their articulated doll. For the combination of the scanned head and the Tinkerplay pieces, it is necessary to locate one of the connectors that the Tinkerplay uses on the scanned head. With the aim of making such joint, the Meshmixer programs will be employed, which allows, in a simple

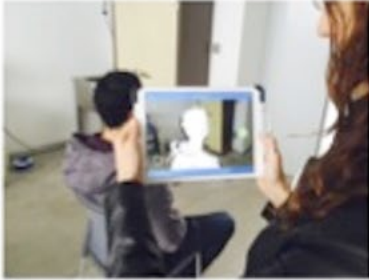
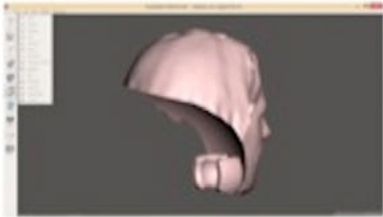
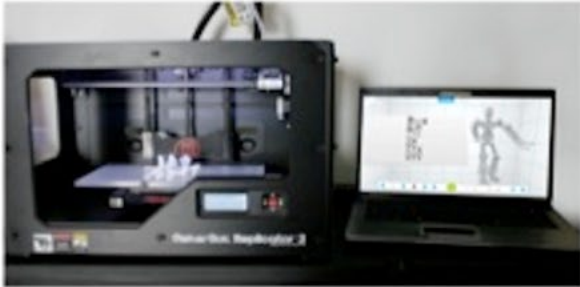
Creativity 3D workshop		
Phase 1: 30 min.	Scanner 3D Structure Sensor	 
Phase 2: 45 min.	Tinkerplay 3D Mesh Edition	   
Phase 3: 45 min.	3D printing	  

Fig. 5. Creativity 3D Workshop phases.

manner and through booleans adding and subtraction operations, to merge both files, creating an only piece. Lastly, by selecting the resulting piece, and through the solidifying option, the exportation of the file in SLT format so as to proceed to its 3D impression will be possible.

5.3.3. Phase III

3D-printing (45 min). After the editing of the scanned heads, we proceed to its three-dimensional impression using two 3D Makerbot Replicator 2 printers. In the meantime, the students assemble the doll with the pieces from the Tinkerplay application previously printed, so as to, finally, add the printed heads on them. At the end of the workshop, the participants will have to answer a satisfaction survey.

Table 2
Results of Abreaction Test of Creativity.

Abreaction Test of Creativity Average Values			
WorkshopPre-Post average values	Pre-testN = 90(s.d.) 115,16 (45,28)	Post-testN = 44(s.d.) 139,2 (31,83)	p-value 0,0011<0,01

Table 3
Students' perceptions of the experience questionnaire.

Scope	Question	Average value (s.d.)
Creativity	To have 3D scanners available enables me to generate three-dimensional mesh and to develop from them my creativity.	4,5 (0,76)
	3D printers allow me to develop my creativity as an engineer.	4,36 (0,84)
	The activity suggested to be carried out with Meshmixer seems very creative to me.	4,32 (0,71)
	The activity of designing dolls with individualised face has been very useful for the development of my creativity using meshmixer	4,36 (0,69)
Teaching-learning	The environments like Makerspace or fablab are useful for learning in educational centers.	4,41 (0,69)
Environment	To become acquainted with the different techniques of digital construction has been useful within graphics engineering subject.	4,61 (0,66)
	I think that having a scanner in an educational environment is very appropriate for the engineering graphics subject.	4,77 (0,42)
Future professional considerations	The design and construction of individualised objects is an interesting and up-to-date field in engineering.	4,61 (0,58)
	Becoming acquainted with different construction digital techniques is useful for my work as an engineer.	4,64 (0,53)
	Working with dot clouds can contribute accuracy through digital measurement when existing installations have to be constructed.	4,20 (0,77)
	The use of a mobile 3D scanner (Structure sensor) seems useful to me for my work as an engineer.	4,68 (0,52)
	The 3D printers allow for the fabrication with little effort, of complex engineering prototypes.	4,30 (0,82)

6. Results

Creative competence improvement: with the aim of measuring the improvement in creative competence, the results of the Abreaction Test for Evaluating Creativity are compared. As pre-test, the value adopted is 115,16 (45,28 sd.), obtained in the previous research in the 2014-15 course for first-year engineering graphics subject (Saorín et al., 2015). The post-test value is the result of the Abreaction Test for Evaluating Creativity made after performing the workshop (Table 2).

For statistical analysis, the starting point was a null hypothesis (H0): 'Competence average value has not changed after the course'. A t-Student unpaired series test was applied such as test results before and after the course, so p-values representing truth probability for that hypothesis were obtained.

The significance level (p-value) does not reach 1%, therefore, the null hypothesis is rejected, and it can be stated, that reaching a significance level above 99.9%, the average variation has experienced a statistically significant increase in the whole population.

Perception of students in the accomplished experiment: At the end of the course, a questionnaire was conducted to know the students' perceptions of the experience. The participants respond questions about their opinion on the impact of the 3D creativity workshop with three steps to cover: creativity, teaching learning environment and future professional considerations. A five-point Likert scale is used: one strongly disagrees, five strongly agree. The results of the survey are in Table 3. To estimate the reliability of the questionnaires, the Cronbach alpha coefficient was calculated. The value obtained was 0,71, enough to ensure the reliability of the questionnaire (alpha values above 0.7 are sufficient to ensure reliability).

7. Conclusions and future work

The creative competence can be improved through specific activities in a teaching-learning environment composed by 3D scanners, 3D printers and computers with 3D software: participants enhance their creative competence in 24,04 points, measured with Abreaction Test of Creativity. This improvement is due to the combined effect of the three technologies: it would be interesting as a future work to determine the effect of each one separately.

Before this work was done, research about creativity had been conducted (Saorín et al., 2015) with college freshmen, in which they compared the values of creativity of engineering students with art students. The values had been obtained with the same test. In this research, it is concluded that the average values of abreaction test of creativity in art students (150,1, s.d. 75,1) are higher than that engineering students who participated in this experiment (115,16; s.d. 45,29).

If these values are compared with the values obtained in the experiment carried out in this paper it can be seen that, the value obtained by engineering students, that is, 139,20; s.d. 31,83 post- test, tends to reach the value achieved by students of Fine Arts, that is, 150,1, s.d. 75,1. The engineering students' results were obtained after having taken the course and the activities designed to stimulate creativity were done. Thus, it is ensured that engineering students reach similar levels to those of Fine Arts, a discipline which has been proven to have one of the highest levels of creative competence.

From the survey results, it can be concluded that the experience has been highly valued by students with values above 4,20 (out of 5) on all issues raised.

As regards the encouragement of creative competence, the results of the survey show that the students value positively the activity towards the development of creativity (4,36 over 5). They also say that the applications and devices used, such as 3D printers and 3D scanners, help them to achieve this with values of 4,36 and 4,5 over five respectively.

On the other hand, in the case of the learning- teaching environment, their opinion about its usefulness for the learning process was 4,41, while the opportunities offered by these devices, such as the 3D scanner, was 4,77, and the different techniques of digital construction were 4,61. In the engineering graphics subject environment we deduced that there is a change in paradigm in the teaching of these disciplines, implementing the Makerspaces teaching-learning environments in formal education.

About the implications of the different accomplished activities on the future practice of the engineering profession, the students consider, that the activities carried out in the workshop on digital design and construction, dot cloud work and 3D scanning and printing are relevant for the future practice of their profession giving values above 4,20 in all cases.

Workshop structure: the proposed practical is quite complicated because each one of the phases, (3D scanning, editing and printing), could require more time than the one applied in this activity, even though the limitations of time within the students' timetable for its accomplishment, conditioned the time to a two-hour activity. Due to this factor, the total number of scanned pupils has been determined by a few factor which is out of our control, as for instance, the light in the room, the quality of the wifi, the errors in the handling of the scanner, etc. For this reasons, students were asked to scan at least one person for each group, which was done successfully within the practical time limit. In a similar fashion, all the groups were able to accomplish, without any inconveniences and on an individual basis, the editing of the head or heads, which had scanned. Finally, three groups were able to print an individualized head.

All the groups have created, at least, a digital version of an individualised doll. However, only one-third of the group has been able to print it in 3D during the practical session. It would be convenient to do this practical in two sessions of two hours each, the first one for scanning and editing and the second session for the 3D printing, so as to have a better time distribution.

Measuring creativity would not only facilitate the identification of talented individuals, but also it would allow the measurement of baseline information necessary to track the progress of educational and training programs aimed at enhancing creativity (Treffinger, 2003). Thus, the obtained results in the experiment have led to a change in the design of the engineering graphic subject for the academic year 2016–2017. A model of reduced Makerspace teaching learning environment is going to be implemented using free applications, where students will apply 3D photographic reconstruction techniques (Auto desk 123 Catch app) and 3D rotative and mobile scanning with the 3D Makerbot Digitizer and Structure Sensor scans, where traditional methods of inverse engineering will be compared. Three-dimensional modelling of digital tablets (Auto desk Formit app) and the creation and editing of 3D mesh (123 Sculpt+ & Meshmixer apps) will be done. Games will be used (Blokify, Minecraft) as an introduction of 3D modelling. The students will work, at the same time, with digital construction tools such as 123Make, Pepakura Designer, Pop-Up Card Designer, PopUp Card Studio, using a Silhouette Cameo Cutting Plotter, and a 3D MakerBot printer replicates, and even with on-line services for digital construction.

Because the students didn't have any prior experience with the technologies used, the results (or at least a portion of them) could be attributed to the novelty effect. It would be interesting, as a future work, to determine the influence of the novelty effect and to measure the impact that this new format has on the engineering graphic subject in terms of academic improvement. Other future works could be to study the possible relation with other disciplines, where design, editing and 3D construction may have an influence.

References

- Baillie, C. (2002). Enhancing creativity in engineering students. *Engineering Science Education Journal*, 185–192.
- Bell, Nathan E., (2009). Council of Graduate Schools, research report.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: the new industrial revolution. *Business Horizons*, 55, 155–162.
- Blancos, Libros. Libros Blancos. 23 de February de, (2016).
<http://www.aneca.es/Documentos-y-publicaciones/Otros-documentos-de-interes/Libros-Blancos>.
- Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and 'making' in education: the democratization of invention. *FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors*, 4.
- Boy, G. A. (2013). From STEM to STEAM: Toward a human-centered education. *Proceeding of the 31st European conference on cognitive ergonomics*.
- Carbonell Carrera, C., & Alberto Bermejo Asensio, L. (2016). Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and Geographic Information Science*, <http://dx.doi.org/10.1080/15230406.2016.1145556>
- Casas, J. (2000). *La creatividad en educación infantil primaria y secundaria*. Madrid: Editorial EOS.
- Casas, J. (2012). *Aprende y enseña jugando*. Sevilla: Editorial Absalon.
- Charyton, C., & Merrill, J. A. (2009). Assessing general creativity and creative engineering design in first year engineering students. *Journal of Engineering Education*, 98(2), 145–156.
- Charyton, C., Jagacinski, R. J., Merrill, J. A., Clifton, W., & DeDios, S. (2011). Assessing creativity specific to engineering with the revised creative engineering design assessment. *Journal of Engineering Education*, 100, 778–799.

- Corbalán, F. J., Martínez, F. A., Donolo, D., Alonso, C., Tejerina, M., & Limiñana, M. (2003). *CREA. Inteligencia creativa. Una medida cognitiva de la creatividad*. Madrid: TEA Ediciones.
- Cropley, D. H., & Copley, A. J. (1999). Creativity and innovation in systems engineering. In *Systems engineering test and evaluation conference: conceiving, producing and guaranteeing quality systems*. Adelaide, Australia: Systems Engineering Society of Australia.
- Cropley, D. H., & Copley, A. J. (2005). Engineering creativity: A systems concept of functional creativity. In C. K. de James (Ed.), *Creativity across domains: faces of the muse* (pp. 169–185). London: Lawrence Erlbaum Associates Publisher.
- Daly, S. R., Mosyjowski, E. A., & Seifert, C. M. (2014). Teaching creativity in engineering courses. *Journal of Engineering Education*, 103, 417–449. <http://dx.doi.org/10.1002/jee.20048>
- de la Torre, S., (1991). Evaluación de la creatividad. TAEC, Un instrumento de apoyo a la reforma. Madrid: Editorial Escuela Española, S.A.
- Dewulf, S., & Baillie, C. (1999). *CASE: How to foster creativity*. London: UK: Department for Education and Employment.
- Ema, O., Leandro, A., Ferrándiz, F. C., Mercedes, F., Marta, S., & Prieto María, D. (2009). Tests de pensamiento creativo de Torrance (TTCT): elementos para la validez de constructo en adolescentes portugueses. *Psicothema*, 21(4), 562–567.
- The Engineer of 2020. (2004). *Visions of engineering in the new century*. Washington: The National Academy Press.
- Felder, R. M., Woods, D. R., Stice, J. E., & Rugarcia, A. (2000). The future of engineering education II. Teaching methods that work. *Chemical Engineering Education*, 34(1), 26–39.
- Guillén, Zapatero, y Daniel, (2012). Creación de juegos personalizados para niños y adolescentes hospitalizados., *ArDIn. Arte, Diseño e Ingeniería*, 54–62.
- Javed, M. A., Won, S.-P., Khamesee, M. B., Melek, W. W., & Owen, W. (2013). A laser scanning based reverse engineering system for 3D model generation. In *Proceedings of the 39th, Annual conference of IEEE industrial electronics society* (pp. 4334–4339).
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2015). *The NMC horizon report: 2015 (K-12 Edition)*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Kazerounian, K., & Foley, S. (2007). Barriers to creativity in engineering education: A study of instructors and students perceptions. *Journal of Mechanical Design*, 129, 761–768.
- Lifante Gil, Y. (2011). *Ingenieros creativos*. Valencia: Editorial Alfa Delta Digita.
- Liu, Z., & Schonwetter, D. J. (2004). Teaching creativity in engineering. *International Journal of Engineering Education*, 20(5), 801–808.
- Liu, Z. E. (2004). Teaching creativity in engineering. *International Journal of Engineering Education*, 20(5), 801–808.
- Macías M., y M. Carmen. (2010). Un principio de intervención educativa: el juego y los juguetes en educación infantil., *Temas para la Educación*.
- Maeda, J. (2013). *STEM I art 5 STEAM. The STEAM Journal*, 1(1) [article 34].
- National Academy of Engineering. (2005). *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. Washington: The National Academies Press.
- Page, D., Koschan, A., & Mongi, A. (2008). Reverse engineering. In V. Raja, & K. Fernandes (Eds.), *Methodologies and techniques for reverse engineering—the potential for automation with 3-D laser scanners (chapter 2)* (pp. 11–32). University of Tennessee.
- Prahalad, C. K., & Ramaswamy, V. (2003). The new frontier of experience innovation. *MIT Sloan Management Review*, 44(4), 12–18.
- Prince, M. J., & Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.
- Project, Competences Tuning. 23 de February de, (2016). <http://www.unideusto.org/tuningeu/home.html>.
- Sánchez Ron, José Manuel, (2011). *La Nueva Ilustración*. Edited by Ediciones Nobel.
- Saorín, J. L., de la Torre-Cantero, J., Melián-Díaz, D., Meier, C., & Lifante, Y. (2015). Competencia creativa en estudios de grado de ingeniería. In *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015)* (pp. 40–44).
- Saorín, José Luis, Jorge de la Torre-Cantero, Damari Melián, Cecile Meier, and David Rivero, (2015). Blokify: Juego de modelado e impresión 3D en tableta digital para el aprendizaje de vistas normalizadas y perspectiva. *Digital Education Review*.
- Schmidt, R., & Ratto, M. (2013). Design tools for the rest of us: Maker hardware requires maker software. *Conference proceedings: FAB at CHI workshop*.
- Schrock, A. R. (2014). Education in disguise: culture of a hacker and maker space. *InterActions: UCLA Journal of Education and Information Studies*, 10(1).
- Shaw, M. C. (2001). *Engineering problem solving: A classical perspective*. Norwich: Noyes Publications.
- Sheppard, S., Macatangay, K., Colby, A., & Sullivan, W. (2009). Educating engineers. Design for the future of the field San Francisco. In *Carnegie foundation for the advancement of teaching*. CA: Jossey-Bass.
- Smith, P. K., & Pellegrini, A. (2013). Learning through play. In *Encyclopedia on Early Childhood Development*. pp. 1–5. Montreal QC: Centre of Excellence for Childhood Development. Available at <http://www.child-encyclopedia.com/sites/default/files/textes-experts/en/774/learning-through-play.pdf> Accessed 01.10.16.
- Smith, Adrian, Sabine Hielsher, Sascha Dickel, Johan Söderberg, y Ellen van Oost, (2013). Grassroots digital fabrication and makerspaces: reconfiguring, relocating an recalibrating innovation?, En *Science an Technology Policy Research*, de University of Sussex, 3,4. Sussex : SPRU orking Paper Series.
- Sochacka, N. W., Guyotte, K. W., & Walther, J. (2016). Learning together: a collaborative autoethnographic exploration of STEAM (STEM + the arts) education. *Journal of Engineering Education*, 105(1), 15–42.
- Stouffer, W. B., Russel, J., & Oliva, M. G. (2004). Making the strange familiar: Creativity and the future of engineering education. In *Proceedings of the 2004 ASEE annual conference and exposition*.
- Straub, J., & Kerlin, S. (2014). Development of a large, low-cost, instant 3D scanner. *Technologies*, 2, 76–95.
- Thompson, G., & Lordan, M. (1999). Review of creativity principles applied to engineering design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 213(1), 17–31.
- Walter-Herrmann, Julia, & Büching, Corinne. (2013). *FabLab: Of machines, makers and inventors*. Wetzlar: Majuskel medienproduktion GmbH.
- Zampetakis, L. A., Tsironis, L., & Moustakis, V. (2007). Creativity development in engineering education: The case of mind mapping. *Journal of Management Development*, 26(4), 370–380.

5.

Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos

Comunicación y Pedagogía 291-292. Movimiento maker y Educación. pp. 18 - 23.

(diciembre 2016)

Sistema de evaluación: Journal Sholar Metrics

José Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero

5.

Comunicación y Pedagogía

Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fuente de impacto: Journal Sholar Metrics • Índice de impacto: H5- Index (3) • Posición de publicación: 943 | <ul style="list-style-type: none"> • Categoría: education • Revista dentro del 25%: No • Núm. revistas en cat.: 1077 |
|---|---|






JOURNAL SCHOLAR METRICS

ARTS, HUMANITIES, AND SOCIAL SCIENCES

[HOME](#)
[ABOUT](#)
[METHODOLOGY](#)
[OUR TEAM](#)
[OTHER PROJECTS](#)
[FAQ](#)

Comunicación y Pedagogía: Nuevas Tecnologías y Recursos Didácticos



IMPACT INDICATORS

Period	Totals			Without journal self citations		
	H5-Index	H5-Median	H Citations	H5-Index	H Citations	%
2010-2014	3	6	18	3	18	

SUBJECT CATEGORIES AND RANKINGS

Subject Category	Ranking	Position	Quartile
 Communication	Only core journals	223rd (of 287)	Q4
	All journals	247th (of 311)	Q4
 Education	Only core journals	943rd (of 1077)	Q4
	All journals	978th (of 1115)	Q4

INDEXED IN

This journal has only been found on Google Scholar Metrics



Movimiento maker y Educación

COORDINADO POR SUSANNA TESCONI

MIQUEL CARRERAS:

**"Los FabLabs,
la robótica educativa
no son un fin en sí mismos,
son vehículos, son excusas
para que el alumno
pueda hacer un recorrido
sintiéndose protagonista"**

SaludenCurso

PROGRAMA ONLINE / PRESENCIAL DE EDUCACIÓN PARA LA SALUD



Nuevo pack Salud en Curso

Nuevo pack para el profesorado, los AMPAs, Consejos de la Juventud y otras instituciones, entidades y organizaciones socioculturales. Incluye todo lo necesario para la realización de actividades Cine / Educación: películas DVD, con autorización para el visionado público, guías didácticas y otros materiales para la Educación en Valores, Educación para la Salud y Prevención de las Drogodependencias.



Asociación de Prensa Juvenil
C/ General Weyler, 128-130. 08912 Badalona (Barcelona). Tel. 932075052.
E-mail: info@prensajuvenil.org

saludencurso.prensajuvenil.org

Pack 1
Half Nelson,
Cobardes, Mi patito feo y yo



Pack 2
Corazón rebelde,
Gracias por fumar



Pack 3
Thirteen, Traffic



Pack 4
Unidos por un sueño,
Hossiers: más que ídolos



Pack 5
La guerra de los botones,
Tom Sawyer



Pack 6
El vuelo, Hancock



Pack 7
Peter Pan, la gran aventura
28 días



ES UN PROGRAMA DE



COLABORA



FINANCIADO POR





DIRECTOR

Alejandro Aliaga Alcolea

CENTRO
DE COMUNICACIÓN
Y PEDAGOGÍA

Director

José D. Aliaga Serrano

CONSEJO
DE REDACCIÓNJ. Ignacio Aguaded Gómez
Universidad de HuelvaCarmen Alba
Universidad Complutense
de MadridFco. Javier Ballesta Pagán
Universidad de MurciaIsabel Cantón Mayo
Universidad de LeónDonaciano Bartolomé Crespo
Universidad Complutense
de MadridCarlos Dorado
Universidad Autónoma
de BarcelonaMaría Isabel Doval Ruiz
E.U. Formación
del Profesorado (Ourense)Pere Marquès Graells
Universidad Autónoma
de BarcelonaEsther del Moral Pérez
Universidad de OviedoJuan de Pablos Pons
Universidad de SevillaFrancisco Pavón Rabasco
Universidad de CádizManuela Raposo Rivas
Universidad de VigoCarmen Salgado Santamaría
Universidad Complutense
de MadridJosé Sánchez Rodríguez
Universidad de MálagaJosefina Santibáñez
Universidad de La RiojaMaría Luisa Sevillano García
UNEDCoordinador
de este número:

Susanna Tesconi

Imagen de portada:

Diseñada por Harryarts
Freepik.com

Las implicaciones del *maker movement* afectan a diferentes ámbitos de la sociedad y están modificando la forma que tenemos de producir artefactos, emprender negocios y las dinámicas de creación de conocimiento compartido. De las prácticas del movimiento *maker*, entendido como dinámica educativa basada en la indagación, y de las experiencias generadas por la difusión de *makerspaces* y FabLabs en contextos educativos, se pueden extraer elementos muy valiosos a la hora de pensar en formas de empoderamiento a través de usos educativos de las nuevas herramientas de fabricación y prototipado, entre ellas el uso de tecnología y su modelo de aprendizaje, así como el concepto de *digital fluency*, competencia digital profunda, o sea la capacidad de crear artefactos significativos, físicos o digitales, a través del uso creativo de las herramientas tecnológicas.

El modelo de aprendizaje propuesto por el *maker movement* es experiencial, horizontal, está basado en proyectos y está enfocado a la generación de conocimiento compartido. Las implicaciones educativas del *making* son numerosas y valiosas sobre todo en relación a la expresión personal. La cultura *maker*, sus herramientas y su modelo de aprendizaje han generado un gran interés en la comunidad educativa. Se cree que la fabricación digital y la cultura *maker* pueden contribuir a la construcción de un enfoque alrededor de los procesos de adquisición de las competencias tecnológico-científicas que sea más participativo, transdisciplinar y crítico, erigiéndose en una aproximación que crea caminos experienciales y significativos para los estudiantes.

El *making*, como conjunto de herramientas, físicas y formativas, tiene un potencial transformador de las prácticas educativas relacionadas con los usos creativos de la tecnología, pero su potencial es nulo si su implementación no viene acompañada de una acción de acompañamiento educativo compatible con su filosofía. Es el docente quien, en base a su estilo de enseñanza, a su competencia digital y a su actitud hacia la tecnología, determina el tipo de experiencia que ofrece al alumnado, independientemente de la herramienta tecnológica que esté utilizando. El *making* es una práctica innovadora y muy reciente que ha sido utilizada en un número bastante limitado de experiencias. En muchos casos las prácticas de *making* educativo proceden directamente de la iniciativa personal de algún docente que, en base a un interés personal y gracias al contacto con comunidades virtuales, decide introducirlas en el trabajo de aula en términos de búsqueda de recursos, investigación, realización, reflexión y documentación.

En este número especial, por un lado, se ha tratado de acceder al conocimiento de aquellos sujetos que han sido pioneros y que han podido experimentar y reflexionar sobre la implementación del *making* en educación en primera persona. Por otro lado se ha tratado de observar y analizar el *making* en acción en contextos educativos formales e informales. El resultado es un cuadro lleno de matices y formas diferentes que tienen en común la intención de aprovechar el potencial emancipador de la cultura *maker* para generar prácticas educativas y entornos de aprendizaje basados en la participación, la inclusión y el uso crítico y creativo de la tecnología.

Director: Alejandro Aliaga. Director del CC&P: José D. Aliaga Serrano. Director técnico: Israel Aliaga. Centros Escolares: Ángela Alcolea. Publicidad: M^a Angeles López. Administración: Aurora Ibáñez y Ramon Pla. Coordinación: Susanna Tesconi. Redacción: Raúl Mercadal Orfila. Maquetación: Raúl Mercadal Orfila. Colaboradores: Javier Bermejo Fernández-Nieto, Ignacio Donoso Aparicio, Jorge L. Valero Rodríguez, José Luis Saorín, Jorge de la Torre Cantero, Alejandro Bonnet de León, Cecile Meier, José M. Bautista-Vallejo, Manuel J. Espigares Pinazo, Rafael M. Hernández Carrera, Laura Arbona, Diana Marín, César García Sáez, Karim Asry, Óscar Martínez Ciuró, Diana Franco, Josian Llorente, Cristina Simarro, Digna Couso, Fernando Raúl Alfredo Bordignon, Alejandro Adrián Iglesias, Ángela Hahn, Jokin Lacalle Usabiaga, Ana Rodera. Edita: Fin Ediciones para el Centro de Comunicación y Pedagogía. C/ General Weyler, 128, 08912 Badalona. Tel. (93) 207 50 52. E-mail: info@centrocp.com. Depósito Legal B41.822/1997. ISSN: 1989-5623.



General Weyler, 128-130 08912 - Badalona
Tel. 932 075 052 info@bdnlab.org



QUÉ ES UN FABLAB

Un fablab es un laboratorio de fabricación digital que reúne todo tipo de tecnología y maquinaria avanzada para la creación de variados objetos, dispositivos y prototipos. Cada fablab tiene su propia naturaleza y características, con la tecnología adecuada para permitir la creación y fabricación de "casi cualquier cosa".

El BDN Lab es un centro de fabricación digital al servicio de la comunidad educativa, emprendedores, artistas y makers, en general, donde se fomenta el aprendizaje en el uso de la tecnología avanzada, la experimentación y la innovación.

El fablab del BDN Lab agrupa en un entorno muy creativo, impresoras 3D, fresadoras controladas por ordenador, máquinas de corte láser, plotter de corte de vinilo, placas Arduino y Raspberry Pi, escáneres 3D y una impresora digital de alta capacidad.

BDN Lab, muy cerca de ti

El BDN Lab está muy cerca del centro de Badalona y del puerto. A diez minutos de la estación de Renfe y justo entre las estaciones de metro de Gorg (L2 y L10) y Pep Ventura (L2).



Año 2016

Nº 291-292

Movimiento maker y Educación



06

Información

Nuestra red

- 11 **Producción digital descontrolada**
Javier Bermejo Fernández-Nieto, Ignacio Donoso Aparicio y Jorge L. Valero Rodríguez
- 18 **Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos**
José Luis Saorín, Jorge de la Torre Cantero, Alejandro Bonnet de León y Cecile Meier
- 24 **Multi-agentes de Software Inteligentes y el futuro de la mente, un reto para la educación**
José M. Bautista-Vallejo, Manuel J. Espigares Pinazo y Rafael M. Hernández Carrera
- 29 **La fotografía como recurso didáctico: un taller para compensar desigualdades**
Laura Arbona y Diana Marín

Movimiento maker y Educación

- 33 **Entrevista: Miquel Carreras**
Director del proyecto FabLab@School del Liceu Politécnic de Rubí (Barcelona)
- 36 **Educación en entornos Maker**
César García Sáez
- 42 **Entornos de aprendizaje en una Antigua Fábrica de Galletas. El caso del Espacio Open de Bilbao**
Karim Asry
- 49 **MakerConvent: espacio de aprendizaje STEAM**
Óscar Martínez Ciuró
- 55 **Tiempos de híbridos**
Diana Franco
- 58 **BauLab, un laboratorio de Fabricación digital en BAU**
Josian Llorente
- 65 **Análisis de una actividad tinkering en el marco de la educación STEM**
Cristina Simarro y Digna Couso
- 72 **Prácticas maker en la Escuela Secundaria**
Fernando Raúl Alfredo Bordignon, Alejandro Adrián Iglesias y Ángela Hahn
- 80 **Metamorfosis de un profe maker**
Jokin Lacalle Usabiaga
- 88 **Yo Edu-Maker**
Ana Rodera
- 94 **FabLearn 2016: sexta conferencia anual sobre creatividad, making y fabricación digital en educación**
Susanna Tesconi

Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos

José Luis Saorín, Jorge de la Torre Cantero, Alejandro Bonnet de León y Cecile Meier

Comparación de la creación de objetos tridimensionales mediante cartón y goma eva, frente al uso de una impresora 3D. Se han realizado tres experiencias en el curso 2014 / 2015 en las que se han puesto a prueba ambas formas de reproducción, permitiéndonos valorar las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos.

El informe Horizon, documento elaborado por el NMC (New Media Consortium) que identifica y describe las tecnologías emergentes con mayor impacto en la enseñanza, ha pronosticado que en un plazo de 2 a 3 años las impresoras 3D estarán presentes en las aulas (Johnson et al., 2013). Algunos centros escolares están adquiriendo estos equipos, pero en muchos casos la compra se realiza sin tener definida una estrategia educativa que contemple el uso de estas impresoras 3D, por lo que, a veces, terminan siendo infrautilizadas o abandonadas. Por otro lado, el uso de impresoras 3D exige disponer de modelos 3D digitales de aquellos objetos que queremos materializar. Por lo tanto, la creación, edición y obtención de modelos 3D digitales se considera un paso previo para la utilización de las impresoras 3D. Es en esta fase, en el manejo de modelos tridimensionales, donde quizás es más fácil empezar a trabajar en los centros escolares. En la actualidad, existen software de modelado tridimensional, muy accesibles para entornos educativos. Un ejemplo de estas aplicaciones son SketchUp y 123D Sculpt+, ambos programas gratuitos (Schmidt y Ratto, 2013). Por otro lado, también se pueden obtener archivos de modelos 3D, a través de la descarga en galerías y repositorios, disponibles en la Red y gratuitos. Un ejemplo de estas galerías es www.thingiverse.com.

Una tercera vía para la obtención de archivos digitales de modelos tridimensionales consiste en la digitalización a partir del escaneado o la fotogrametría (Barsanti, Remondino y Visintini; 2012).

Materializar un objeto tridimensional mediante una impresora 3D tiene la ventaja de convertir en real, prácticamente cualquier modelo 3D digital. Esta conversión es un proceso "casi mágico" que los alumnos

disfrutan, pero que sin embargo, no está exento de problemas (Domínguez, Romero, Espinosa y Domínguez; 2013). Por ello, es importante conocer alternativas que permitan materializar objetos, a partir de ficheros 3D digitales, aportando a su vez, otra serie de ventajas y desventajas.

En este artículo, se presenta la creación de objetos tridimensionales de cartón, partiendo del modelo 3D digital, utilizando tecnologías de bajo coste accesibles a entornos escolares. Para valorar esta alternativa frente a las impresoras 3D, en el curso 2014-2015 se han realizado tres experiencias en entornos educativos, que nos permiten valorar y comparar las posibilidades de cada uno de los procesos.

ANTECEDENTES

La impresión 3D existe desde los años 70, sin embargo no se introdujo en el ámbito educativo hasta el año 2000, a través de centros de Educación Superior, los únicos que podían pagar los altos precios de dichas máquinas en esa época. Una de las pioneras fue la Universidad de Illinois, en 2002 utilizó la tecnología de prototipado rápido para realizar un estudio experimental sobre la mejora de las capacidades espaciales de los estudiantes (Czapka, 2002). En entornos preuniversitarios, destaca el proyecto KIDE iniciado por Dejan Mitrovic en Londres en el año 2009. Fue diseñado para los niños de las escuelas primarias y desde entonces ha realizado su actividad en varios países de todo el mundo. El Departamento de Educación de Reino Unido, ha incluido este tipo de tecnologías en el currículo, para que los alumnos las conozcan desde muy jóvenes (Department for Education of United Kingdom, 2013).

En España existen pocas referencias bibliográficas sobre la inclusión de estas tecnologías en ámbitos educativos. En Tenerife, el grupo de investigación DEHAES ha realizado algunas experiencias (figura 1), como por ejemplo el Proyecto de Innovación Docente de la Universidad de La Laguna denominado "Transformación de diseños virtuales 3D en maquetas reales mediante el uso de impresoras 3D de bajo coste" (Saorín, de la Torre-Cantero, Zanardi Maffiote, Martín Dorta y Carbonell Carrera; 2013). También en esta misma isla, surge una interesante iniciativa de divulgación de estas tecnologías en centros escolares de Secundaria, promovida desde el Cabildo de Tenerife denominada MoveFab (Proyecto MoveFab-FGULL, 2014). Como resultado de dicha divulgación se han diseñado una serie de talleres para promover su utilización en centros educativos (de la Torre Cantero, Saorín y Martín Dorta; 2014).

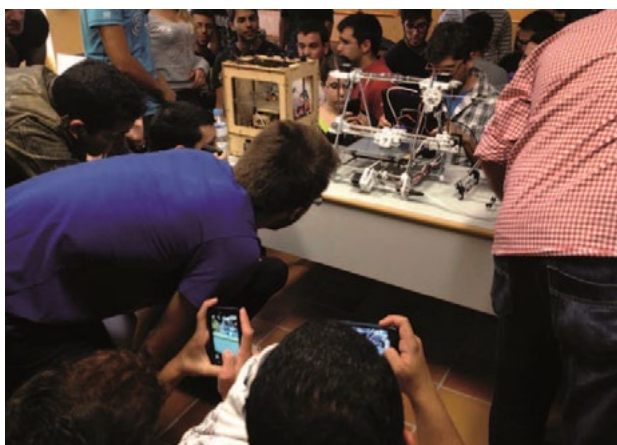


Figura 1. Proyecto de innovación docente en la Universidad de La Laguna, 2013.

Una de las primeras referencias bibliográficas de utilización de impresoras 3D en centros escolares españoles de educación preuniversitaria, es la llevada a cabo en el curso 2013-2014 en el colegio concertado Nuryana de San Cristóbal de La Laguna (Saorín, de la Torre-Cantero, Meier, Melián Díaz y Rivero Trujillo; 2015). En dicha experiencia, realizada en Primaria y Secundaria, se pretendía que los alumnos modelaran en 3D, una serie de figuras geométricas habitualmente utilizadas en la enseñanza del dibujo técnico, utilizando la aplicación gratuita para tabletas Blokify. Una vez modeladas las figuras, la aplicación permitía generar los ficheros STL para ser impresos por cualquier impresora 3D (figura 2).



Figura 2. Ejercicios tradicionales, aplicación Blokify y resultado impreso en 3D.

Las conclusiones obtenidas de la actividad mostraron unos resultados muy satisfactorios que permiten avanzar que el modelado 3D, las tabletas digitales y las impresoras 3D tienen un gran futuro en educación. Sin embargo, si analizamos los resultados y focalizamos nuestra atención en la impresora 3D, podemos ver que, a pesar de crear gran cantidad de modelos 3D, en cada una de las

tres sesiones de trabajo, no pudieron imprimirse más de tres piezas. En concreto, las piezas se imprimían con unas dimensiones de 3 x 3 x 3 cm y cada una de ellas tardaba alrededor de 20 minutos en imprimirse. Podemos ver los resultados en la siguiente tabla.

Nivel	Duración de la actividad (minutos)	Grupos de trabajo / Alumnos	Total de piezas modeladas en 3D	Piezas impresas en 3D
4º ESO	55	8 grupos (16 alumnos)	136	3
5º Primaria	55	8 grupos (26 alumnos)	81	3
3º Primaria	55	9 grupos (28 alumnos)	87	3

El número de piezas modeladas durante la sesión de trabajo en cada uno de los niveles era claramente superior al número de piezas que se pudieron imprimir. Por otro lado, puesto que las piezas se imprimían a un tamaño constante, el tiempo empleado para imprimirlas no variaba por lo que en todas las experiencias sólo se pudieron imprimir 3 ejemplos, un número claramente inferior al número de grupos que realizaba la experiencia (aproximadamente 8) y por supuesto muy inferior al número de niños que participaba en la misma (alrededor de 25 alumnos por sesión).

En esta experiencia, se detectó que uno de los problemas de las impresoras 3D en el aula es el tiempo que necesitan para generar una figura. En este caso, a pesar de que las figuras eran bastante pequeñas (3 x 3 x 3 cm) se necesitaba casi media hora para cada una de ellas. Es importante observar que si se quiere imprimir la figura al doble de su tamaño, el tiempo de impresión se multiplica por cuatro, es decir la misma figura en 6 x 6 x 6 cm tardaría alrededor de 2 horas. Por otro lado, si se decide hacer la figura a la mitad de tamaño, el tiempo se reduce por cuatro, pero en este caso la figura de 1,5 x 1,5 x 1,5 cm se queda tan pequeña que pierde los detalles.

Una variable fundamental a la hora de imprimir un objeto 3D es el tamaño del objeto. Sin embargo existen otros parámetros que también hay que tener en cuenta y que condicionan los tiempos de impresión como la altura de la capa, el detalle de la figura, la necesidad de soportes de impresión añadidos, y la cantidad de relleno seleccionado. En el caso descrito anteriormente la altura de capa estaba definida en 0,2 mm. Dicha variable nos permite modificar el acabado de la pieza final, ya que a menor altura de capa mejor resolución. La altura de capa tiene un valor máximo que viene condicionado por el propio extrusor de la impresora. Habitualmente no se suele utilizar más de 0,2 mm ya que puede perder adherencia entre capas. Reducir la altura de capa implica aumentar de manera proporcional el tiempo de impresión. Es decir, en el caso anterior, si ponemos 0,1 mm cada una de las piezas habría doblado el tiempo de impresión sin variar el tamaño de las mismas.

Otra variable a tener en cuenta es la necesidad o no de soportes (figura 3). Las impresoras 3D no pueden imprimir ángulos menores de 45 grados. Por ello muchas figuras necesitan soportes para poder ser impresas. Los soportes dependen de cada una de las piezas, pero siempre que sean necesarios aumentan el tiempo de impresión de la misma. En el caso anterior las piezas que los alumnos tenían que modelar e imprimir estaban pensadas para no necesitar soportes. Esto no siempre es así, sobre todo en piezas de carácter orgánico, donde la existencia de brazos y piernas hace casi imposible la impresión de la misma sin soportes.

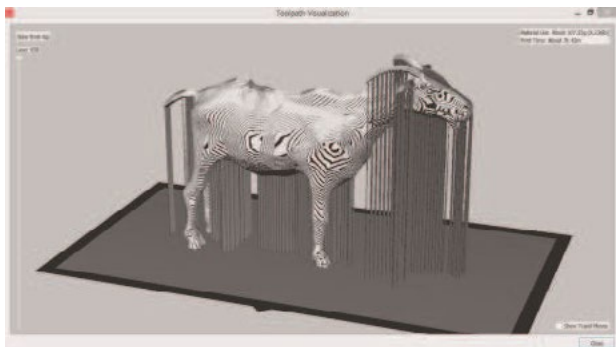


Figura 3. Soportes necesarios para la impresión.

Como última variable a tener en cuenta, es importante denotar que las impresoras 3D suelen tener una superficie de trabajo muy limitada. En el caso de la experiencia anterior, la impresora 3D era una Makerbot Replicator 2, cuya superficie máxima de impresión es de 28,5 x 15,3 x 15,5 cm. Eso quiere decir que en ningún caso podemos pensar en realizar piezas con un tamaño superior a ese, salvo que las diseñemos por partes para ser ensambladas posteriormente.

Una vez conocidos los problemas asociados a las impresoras 3D, se ha procurado buscar alternativas que permitan obtener réplicas físicas de modelo 3D digitales solventando dichos problemas. En concreto, poder aumentar el número de figuras que se realizan en el mismo tiempo, así como la posibilidad de realizar figuras de gran tamaño.

CREACIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES DE CARTÓN Y GOMA EVA

Una de las aplicaciones disponibles de forma gratuita, que permiten la construcción de plantillas bidimensionales para crear objetos tridimensionales en papel y cartón, a partir de modelos 3D digitales, es Autodesk 123D Make. Esta aplicación surgió en el 2012, como parte de la Suite 123D de la empresa Autodesk. 123D Make es un programa que convierte modelos 3D virtuales en plantillas imprimibles en impresoras de papel o exportables a dispositivos como plotters de corte o cortadoras láser. Para realizar las plantillas o patrones, el programa divide los objetos en secciones del grosor precisado, permitiendo adaptarlas a multitud de materiales como papel, cartón, goma eva, madera, etc.

Autodesk 123D Make emplea modelos 3D digitales (en formato STL u OBJ), y permite seleccionar distintas formas de montaje: la composición por capas apiladas, ensamblaje de piezas horizontales y verticales, por intersecciones radiales, etc. (figura 4). Su adaptabilidad en cuanto a materiales, tamaños y complejidad de las piezas a reproducir, facilita su uso en entornos educativos.



Figura 4. Posibilidades de construcción del programa 123D Make.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

Para poder valorar la obtención de figuras tridimensionales en cartón a partir de la aplicación 123D Make, se han realizado tres experiencias en dos entornos educativos distintos. Además, para poder comparar esta forma de obtención de réplicas físicas a partir de modelos digitales, con la obtención de reproducciones a partir de impresoras 3D, se ha realizado una simulación de impresión, de los mismos modelos.

La primera práctica, consistió en que los alumnos, a partir de la digitalización de un modelo cerámico, generaran las plantillas necesarias para reproducir dicho objeto en goma eva.

Para la digitalización se utilizó la aplicación gratuita 123D Catch de reconstrucción fotográfica. 123D Catch, es una aplicación Online de la suite de Autodesk, que permite generar archivos de modelos tridimensionales a partir de fotografías de las distintas vistas de un objeto. Como complemento se empleó el escáner Makerbot Digitalizer. Un escáner láser de plato giratorio cuyo precio asciende a unos 800 € y también permite obtener archivos de modelos tridimensionales propios.

Posteriormente los modelos obtenidos fueron editados con el programa gratuito Meshmixer, para eliminar las partes residuales surgidas durante la digitalización. Meshmixer, es un programa que permite la edición de modelos 3D y su preparación para la impresión 3D. Para la creación de las plantillas se empleó el programa 123D Make descrito con anterioridad.

Finalmente se imprimieron las plantillas en una impresora de papel común y se pasaron a goma eva para recortarlas (figura 5).



Figura 5. Pieza real, edición en Meshmixer, despiece en plantillas y resultado final.

Este ejercicio fue llevado a cabo con los grupos de primero y segundo del Ciclo Superior de Cerámica Artística en La Escuela De Arte Y Superior De Diseño Fernando Estévez durante el mes de abril de 2015. Para realizar esta actividad se empleó una sesión de dos horas de duración.

A pesar de que el 90,5% de los alumnos desconocían la existencia de las tecnologías y programas de bajo coste para la elaboración de figuras tridimensionales, ambos grupos consiguieron realizar todas las actividades necesarias para obtener una reproducción en goma eva por persona.

Al realizar la simulación de la impresión 3D, podemos ver que la vasija tardaría unas 4 horas en imprimirse por lo que sería inviable obtener al menos una réplica, en la sesión de dos horas en la que se ha realizado la práctica (figura 6).



Figura 6. Simulación de tiempos y peso de impresión 3D.

En la segunda práctica se empleó un modelo 3D digital de una cabra, descargado de la galería online Thingiverse.com.

Utilizando el programa 123D Make se generaron las plantillas de la figura, y para la impresión se utilizó una impresora de tinta común.

Las piezas finales se realizaron en goma eva. Para trasladar las plantillas de papel a dicho material, primero se recortaron en un vinilo rígido de 3 mm de grosor para facilitar el proceso.

La experiencia se realizó con un grupo de usuarios del Taller De Arte Y Manualidades de un Centro Psicopedagógico en Tenerife, utilizando para ello dos sesiones de dos horas de duración.

La actividad consistió en repartir las plantillas y planchas de goma eva a los usuarios para que dibujaran y recortaran las distintas piezas en dicho material. Finalmente ensamblaron todas las piezas formando la figura (figura 7).

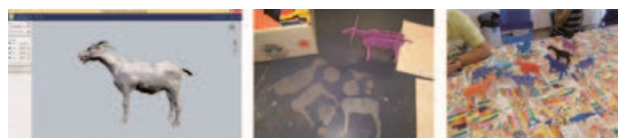


Figura 7. Modelo digital, plantillas realizadas con 123D Make y figuras terminadas.

Aunque ninguno de los participantes había realizado actividades de construcción tridimensional con materiales de este tipo, los 9 usuarios participaron activamente en la actividad y se lograron crear 18 figuras en goma Eva.

El tamaño de la figura de la cabra (22 x 5 x 12 cm) permitía su reproducción en una impresora 3D. Si realizamos una simulación de dicho proceso, podemos ver que la figura tardaría unas 7 horas y 42 minutos en imprimirse (figura 8) por lo que sería inviable obtener al menos una réplica de la figura en las sesiones propuestas.

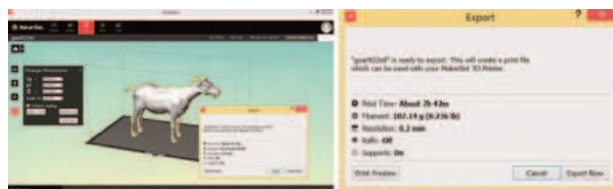


Figura 8. Simulación de tiempos y peso de impresión 3D.

En la tercera experiencia se utilizaron las mismas plantillas creadas para la actividad anterior, pero a una escala mayor. Se construyeron las cabras con una dimensión aproximada de (176 x 40 x 96 cm). Esta experiencia se realizó con un grupo de 7 usuarios del Taller De Arte Y Manualidades de un Centro Psicopedagógico en Tenerife, empleándose tres sesiones de dos horas de trabajo.

Una vez escaladas las plantillas al tamaño deseado, los participantes trasladaron las plantillas a cajas de cartón recicladas para posteriormente repartírselas y recortar cada una de las piezas. Posteriormente las ensamblaron y las reforzaron con bolas de papel de periódico arrugadas. Finalmente se cubrieron con bolsas de plástico y telas de saco sucesivamente y se pintaron (figura 9).



Figura 9. Plantillas de cartón, figura ensamblada y resultado final.

Todos los usuarios participaron activamente de la actividad y se lograron crear 5 figuras en cartón en las sesiones programadas, a pesar de que ninguno de ellos había realizado actividades de construcción tridimensional con materiales de este tipo con anterioridad.

En este caso y dadas las dimensiones de la figura a reproducir, no sería posible realizarla a partir de la impresión 3D con las impresoras de bajo coste que hemos utilizado en esta comparativa.

CONCLUSIONES

De esta investigación podemos concluir que existen tecnologías digitales, accesibles a los centros educativos, que permiten generar figuras tridimensionales en cartón y goma Eva, partiendo de ficheros 3D digitales.

Como se puede observar en la siguiente tabla, el número de piezas obtenidas durante las prácticas, es significativamente mayor al que permitiría la impresión 3D.

La comparativa realizada ha demostrado que los tiempos de impresión de las impresoras 3D de bajo coste no permitirían obtener al menos una reproducción de las figuras propuestas en el tiempo disponible para cada actividad.

Nivel	Duración de la actividad (minutos)	Alumnos	Piezas obtenidas en Cartón y Goma Eva	Piezas que se habrían obtenido con la impresora 3D
1º y 2º del Ciclo Superior de Cerámica artística	120	11	11	0 (tiempo mínimo necesario 4 horas)
Grupo 1 Goma Eva	240	9	18	0 (tiempo mínimo necesario 7 h y 42 min)
Grupo 2 Cartón	360	7	5	0 Pieza demasiado grande para la impresora 3D

A pesar de que el 90% de los participantes desconocían la existencia de estas tecnologías y sus posibilidades de construcción tridimensional, en las pruebas realizadas se obtuvieron unos resultados positivos ya que, en todos los casos, los participantes fueron capaces de realizar el ejercicio en el tiempo y forma estipulado.

Es importante indicar que la construcción de modelos 3D mediante técnicas de secciones bidimensionales no ofrece el mismo resultado final que la impresora 3D.

La impresora 3D reproduce fielmente el modelo digital, mientras que la construcción por secciones simplifica la forma.

Sin embargo tal y como hemos visto en las experiencias detalladas, esta técnica nos permite soslayar los problemas de tiempo y de tamaño que tienen las impresoras 3D actuales obteniendo unos resultados muy satisfactorios para los alumnos.

Bibliografía

BARSANTI, S.; REMONDINO, F. y VISINTINI, D. (Junio de 2012). "Photogrammetry and Laser Scanning for archaeological site 3D modeling—Some critical issues". En *Proceedings of the 2nd Workshop on The New Technologies for Aquileia (Italia)*. Disponible en: ceur-ws.org/Vol-948/paper2.pdf.

CZAPKA, J.T. (2002). "Application of Rapid Prototyping Technology to Improve Spatial Visualization in an Introductory Engineering Graphics Course". Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

DE LA TORRE CANTERO, J.; SAORÍN, J. y MARTÍN DORTA, N. (2014). "Prototipado Digital, Fabricación e Impresión 3D. Talleres Prácticos". La Laguna: Bubok.

DEPARTMENT FOR EDUCATION OF UNITED KINGDOM (2013). "3D printers in schools: uses in the curriculum. Enriching the teaching of STEM and design subjects". Department for Education (DfE) of United Kingdom. Disponible en: www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/251439/3D_printers_in_schools.pdf.

DOMÍNGUEZ, I.; ROMERO, L.; ESPINOSA, M. y DOMÍNGUEZ, M. (2013). "Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción". En *Revista de la construcción*, Vol. 12 (nº 2), pp. 39-53. Disponible en: www.redalyc.org/articulo.oa?id=127629284004.

JOHNSON, L.; ADAMS BECKER, S.; CUMMINS, M.; ESTRADA, V.; FREEMAN, A. y LUDGAT, H. (2013). "NMC Horizon Report: Edición sobre Educación Superior 2013". Austin, TX (EE.UU.): The New Media Consortium. Disponible en: www.nmc.org/pdf/2013-Horizon-Report-HE-ES.pdf.

PROYECTO MOVEFAB-FGULL (2014). "Proyecto Movefab". Disponible en: www.fg.ull.es/movefab.

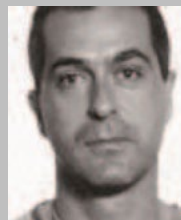
SAORÍN, J.; DE LA TORRE-CANTERO, J.; MEIER, C.; MELIÁN DÍAZ, D. y RIVERO TRUJILLO, D. (2015). "Blokify: Juego de modelado e impresión 3D en tableta digital para el aprendizaje de vistas normalizadas y perspectiva". En *Digital Education Review*, nº 27, pp. 105-121. Disponible en: revistes.ub.edu/index.php/der/article/viewFile/11651/pdf.

SAORÍN, J.; DE LA TORRE-CANTERO, J.; ZANARDI MAFFIOTE, E.; MARTÍN DORTA, N. y CARBONELL CARRERA, C. (2013). "Transformación de diseños virtuales 3D en maquetas reales mediante el uso de impresoras 3D de bajo coste". Proyecto de Innovación Docente. Universidad de La Laguna (ULL). Disponible en: goo.gl/Tw5vS1.

SCHMIDT, R. y RATTO, M. (2013). "Design-to-fabricate: Maker hardware requires maker software". En *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 33 (nº 6), pp. 26-34. Disponible en: www.autodeskresearch.com/publications/makersoftware.

José Luis Saorín

Profesor contratado en la Universidad de La Laguna (ULL). Doctor en Ingeniería (2006) por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Es coordinador del grupo DEHAES y sus principales líneas de investigación son las Tecnologías gráficas Avanzadas en la enseñanza del Dibujo, así como las impresoras 3D en educación.

Jorge de la Torre Cantero

Profesor asociado en la Universidad de La Laguna (ULL). Doctor en Ingeniería (2013) por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Sus principales líneas de investigación son: Influencia del Arte y el diseño en las disciplinas científico-tecnológicas, Tecnologías Gráficas Avanzadas (Realidad Aumentada, Dispositivos Móviles, etc.

Alejandro Bonnet de León

Estudiante de Máster de Formación del Profesorado en la Universidad de La Laguna (ULL). Licenciado en Bellas Artes por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), con un Máster en producción artística, de la misma Universidad.

Cecile Meier

Estudiante de Doctorado de Educación en la Universidad de La Laguna (ULL). Licenciada en Bellas Artes por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), especializada en Diseño Gráfico.

SaludenCurso

SEMINARIOS / JORNADAS DE FORMACIÓN SOBRE PREVENCIÓN DE LAS DROGODEPENDENCIAS A TRAVÉS DEL CINE
PROGRAMA ONLINE / PRESENCIAL DE EDUCACIÓN PARA LA SALUD



ES UN PROGRAMA



COLABORA



Más información:

saludencurso.prensajuvenil.org

FINANCIADO POR



6.

**Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital
fabrication of 3D Typography
(*En revision*)**

International Journal of Technology and Design Education

Base de Datos: JCR

Índice de impacto: 1.339 Journal Citation Reports (2017)

José Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero, María Cabrera
Pardo

6.

International Journal of Technology and Design Education

Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography
(En revision)

• Fuente de impacto: WOS • Índice de impacto: JCR 2017 (1.339) • Posición de publicación: 26	• Categoría: Education, Scientific Disciplines y Engineering, Multidisciplinary (SCIE) • Revista dentro del 25%: No • Núm. revistas en cat.: 41
• Fuente de impacto: SCOPUS • Índice de impacto: SJR (0.702) • Posición de publicación: 228	• Categoría: • Revista dentro del 25%: Si • Núm. revistas en cat.: 1025

Web of Science
InCites
Journal Citation Reports
Essential Science Indicators
EndNote
Publons
Help
English

InCites Journal Citation Reports
Clarivate Analytics

Home > Journal Profile

INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND DESIGN EDUCATION

ISSN: 0957-7572
eISSN: 1573-1804
SPRINGER
VAN GODEWIJCKSTRAAT 30, 3311 GZ DORDRECHT, NETHERLANDS
NETHERLANDS

Go to Journal Table of Contents
Printable Version

TITLES
ISO: Int. J. Technol. Des. Educ.
JCR Abbrev: INT J TECHNOL DES ED

LANGUAGES
English

PUBLICATION FREQUENCY
4 issues/year

CATEGORIES
EDUCATION, SCIENTIFIC DISCIPLINES - SCIE
ENGINEERING, MULTIDISCIPLINARY - SCIE

JCR Impact Factor						
JCR Year	EDUCATION, SCIENTIFIC DISCIPLINES			ENGINEERING, MULTIDISCIPLINARY		
	Rank	Quartile	JIF Percentile	Rank	Quartile	JIF Percentile
2017	26/41	Q3	37.805	41/86	Q2	52.907
2016	30/41	Q3	28.049	58/85	Q3	32.353
2015	37/40	Q4	8.750	72/85	Q4	15.882
2014	31/37	Q4	17.568	70/85	Q4	18.235
2013	27/36	Q3	26.389	51/87	Q3	41.954
2012	28/34	Q4	19.118	73/90	Q4	19.444
2011	26/33	Q4	22.727	61/90	Q3	32.778
2010	29/33	Q4	13.636	66/87	Q4	24.713
2009	21/27	Q4	24.074	60/79	Q4	24.684
2008	19/24	Q4	22.917	50/67	Q3	26.119
2007	20/23	Q4	15.217	53/67	Q4	21.642
2006	18/22	Q4	20.455	56/67	Q4	17.164
2005	21/21	Q4	2.381	61/65	Q4	6.923
2004	13/20	Q3	37.500	42/61	Q3	31.967
2003	9/18	Q2	52.778	21/63	Q2	67.460
2002	12/16	Q3	28.125	34/61	Q3	45.082



International Journal of Technology and Design Education

Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography
Article Type:	Original Research Article
Keywords:	3D printers; Filaflex; flexible mold; typography; education
Corresponding Author:	Cecile Meier, Ph.D Universidad de La Laguna La Laguna, Islas Canarias SPAIN
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universidad de La Laguna
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Jose Luis Saorin
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Jose Luis Saorin
	Alejandro Bonnet de León
	Jorge de la Torre-Cantero
	Cecile Meier, Ph.D
	María Cabrara-Pardo
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	
Abstract:	One of the drawbacks of using 3D printers in educational environments is that the creation time of each piece is high and therefore it is difficult to manufacture at least one piece for each student. This aspect is important so that each student can feel part of the manufacturing process. To achieve this, 3D printers can be used, not to make pieces, but to make the molds that students use to create replicas. On the other hand, for a mold to be used to make several pieces, it is convenient to make it with flexible material. However, most used material for 3D printers (PLA) is very rigid. To solve this problem, this article designs a methodology that allows the use of low-cost 3D printers (most common in school environments) with flexible material so that each mold can be used to manufacture parts for several students. To print flexible material with low-cost printers, it is necessary to adapt the machine and the print parameters to work properly. This article analyzes the changes to be made with a low cost 3D printer and validates the use of molds in school environments. A pilot test has been carried out with 8 students of the subject of Typography, in the School of Art and Superior of Design of Tenerife. During the activity, the students carried out the process of designing a typography and creating digital molds for 3D printing with flexible material. The designs were made using free 3D modeling programs and low-cost technologies.

Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography

Jose Luis Saorin; senior profesor in the area of engineering graphics at University of La Laguna; Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3240-3317>

Alejandro Bonnet de León; PhD candidate in the department of education at the University of La Laguna, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7992-545X>

Jorge de la Torre-Cantero; Assistant Profesor at University of La Laguna in the area of engineering graphics; Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5516-0456>

Cecile Meier; Assistant Profesor at University of La Laguna at the department of fine arts, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain; Tel: 0034 699 013 502; e-mail: cemeier@ull.edu.es. (**corresponding Author*); Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7160-2154>

María Cabrara-Pardo; Master Student at the department of education at the University of La Laguna, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. Tel: 0034 650 905 317; e-mail: mariacabrarapardo@gmail.com.

Corresponding Author

Cecile Meier; Assistant Profesor at University of La Laguna at the department of fine arts, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain; Tel: 0034 699 013 502; e-mail: cemeier@ull.edu.es; Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7160-2154>

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Flexible 3D Printed Molds for educational use. Digital fabrication of 3D Typography

Abstract

One of the drawbacks of using 3D printers in educational environments is that the creation time of each piece is high and therefore it is difficult to manufacture at least one piece for each student. This aspect is important so that each student can feel part of the manufacturing process. To achieve this, 3D printers can be used, not to make pieces, but to make the molds that students use to create replicas. On the other hand, for a mold to be used to make several pieces, it is convenient to make it with flexible material. However, most used material for 3D printers (PLA) is very rigid. To solve this problem, this article designs a methodology that allows the use of low-cost 3D printers (most common in school environments) with flexible material so that each mold can be used to manufacture parts for several students. To print flexible material with low-cost printers, it is necessary to adapt the machine and the print parameters to work properly. This article analyzes the changes to be made with a low cost 3D printer and validates the use of molds in school environments. A pilot test has been carried out with 8 students of the subject of Typography, in the School of Art and Superior of Design of Tenerife. During the activity, the students carried out the process of designing a typography and creating digital molds for 3D printing with flexible material. The designs were made using free 3D modeling programs and low-cost technologies.

Keywords: 3D printers, Filaflex, flexible mold, typography, education.

Introduction

3D printing is being used in many school environments, however printing times are slow, making it difficult to manufacture parts for each student in a class, and therefore can generate frustration (Nemorin, 2017). A previous research has shown that in a traditional classroom it is possible for each participant to produce their three-dimensional portrait with digital cutting manufacturing techniques in three hours. However, it would take six hours to print each of the pieces in 3D (Saorin, Bonnet de León, Meier, & de la Torre-Cantero, 2018; Saorín, de la Torre-Cantero, Bonnet de León, & Meier, 2016). In addition, it is important that each student is able to participate in the manufacturing process (Himmele & Himmele, 2017) and take home at least one piece made in the classroom. To involve students, digital manufacturing technologies such as cutting machines or printers can be used to make molds of the parts, which allows several replicas of the same model to be obtained. There is a long history of using low-cost 3D printers in educational environments to make parts (Santos, Ali, & Areepattamannil, 2018), but it is rare to find literature on the use of 3D printers in education to print molds. In order for a mold to be used to make multiple parts, it is best to be made of flexible material. However, the filament used by most 3D printers in education is rigid. This article describes the process that allows to print using flexible material in low-cost 3D printers, and thus make flexible molds that can make several reproductions.

In the industry today, digital modeling and manufacturing technologies (digital modeling and creation programs, milling machines, laser cutting, 3D printers, etc.) are widely used in the manufacture of models and molds (Hakimian & Sulong, 2012) (Mitchell, 1996). Computerized processes save time, improve detail and accuracy, although they require machinery that can be more expensive. One of the digital manufacturing technologies that has been booming in recent years is 3D printing (Noble, Walczak, & Dornfeld, 2014; Suárez Castrillón, Tafur Preciado, & Calderón Nieves, 2015). There are many types of 3D printers, from industrial printers to low-cost printers designed for individual and educational use. Low-cost printers are designed to print on rigid material such as ABS (acrylonitrile butadiene styrene) or PLA (lactic polyacid). There is the possibility of printing on flexible materials, but to ensure proper operation with this material must make adjustments in the machine (speed, temperature, height of layers, etc.).

Several types of flexible filaments can be found (Impresora3D, 2019), but in this work we are going to use one of them called filaflex. Filaflex is a thermoplastic elastomer (TPE) based on polyurethane and certain additives to make it printable in a 3D printer. Usually 3D printers work with rigid materials such as PLA. There are several studies on moulds created using low-cost 3D printers for the manufacture of plastic injection parts (Noble, Walczak, & Dornfeld, 2014; Suárez Castrillón, Tafur Preciado, & Calderón Nieves,

2015; Rodrigue, Bhandari, Wang, & Sung-Hoon, 2015; Chung, y otros, 2014), they conclude that 3D printed molds, using rigid materials, are a good tool for creating prototypes of the parts to be studied or tested in a fast, efficient and economically more viable way, being able to adapt the digital 3D design later to make definitive molds. In previous studies the flexible filament has been used, as for example Filaflex, to print unions of the phalanges of the fingers of a prosthetic hand (Negrete, Achinelli, & Pfanner, 2017), it is used to create orthopedic insoles (Yarwindran, Azwani Sa'aban, Ibrahim, & Periyasamy, 2016; Krassenstein, 2019). To create textile products (Lehmann, Ehrmann, & Finsterbusch, 2017; Arruda & Carvalho, 2018; Martens & Ehrmann, 2017) or for practice mannequins (Thielen & Delbressine, 2016). It has also recently been used to create flexible molds in the design of custom prostheses for neurosurgery (Figari Bizzotto, Craiem, & Corti, 2018) and for the reconstruction of an ancient anatomical model (Hernández-Muñoz & Sánchez-Ortiz, 2019).

In school environments, molds are usually made in the fields of artistic education, design, restoration, sculpture, engineering, architecture, etc. at both, pre-university and higher levels (BOE, 2015; Turner, 2011; Cummins, 1980; Goodship, 2004; Rich, 1914). The use of traditional materials implies the use of specific classrooms prepared for working with clay, plaster, resin or silicone. The introduction of digital manufacturing technologies such as 3D printing in this educational process allows the creation of molds in classrooms that do not necessarily require specific spaces to work with these materials, and can also save time and expenses. It is important to bear in mind that in school environments, especially pre-university, available 3D printers are usually low cost. In order to be able to create flexible molds, i.e. print with flexible Filaflex type material, it is necessary to adapt the machine and the printing parameters.

Although it is necessary to have a 3D printer and adapt it, in this work it has been decided to incorporate digital manufacturing in the classroom to make the molds and to promote digital competence (Saorin, y otros, 2017; Cervera & Mon, *Explorando el potencial educativo de los entornos virtuales 3D*, 2013; Cervera, Martínez, & Mon. , *Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión*, 2015). In addition, making molds using traditional tools, such as modelling a piece in clay, making a silicone mold and reproducing letters using resin would take more time due to manual work and drying of materials, would be more expensive in terms of material expenditure and specific classrooms as well as additional disposable resources are needed to create formwork, gloves, containers or mixing tools (Barrie, 1992; Langland, 1999; Barrie, 1992).

In this article, on the one hand, we have analyzed the changes to be made with a low-cost printer (Legio3D) to be able to print with flexible materials and on the other hand, a pilot test has been carried out with 8 students of Typography, in the Higher Education of Graphic Design of the School of Art and Higher Education of Design of Tenerife to validate the use of 3D printed molds in educational environments. This subject has a part dedicated to experimental typography, where it makes sense to incorporate three-dimensional creation and work with molds. In the process, the students selected the local expression "Chos" as the starting point for creating 3D typographies using flexible 3D printed molds.

Materials and Methods

Adaptation of a low-cost printer for the creation of moulds with Filaflex

Low-cost FDM (Fused Deposition Modeling) printers often operate in a similar manner. Generally, gears and wheels push the filament yarn towards the extruder (hotend), which ends in a calibrated tip that melts the plastic and deposits it layer by layer to create the final part (Canessa, Fonda, & Zennaro, 2013). This operation is suitable for all types of filaments, except flexible filaments (Lehmann, Ehrmann, & Finsterbusch, 2017), because when a flexible thread is pushed, it bends and often obstructs the machine. To avoid this, the extrusion part must be replaced. It is also necessary to adjust the filament pressure thread and increase the distance between the extruder and the extrusion platform. It is also required to take into account print speed and fill speed parameters among others (Adrian, Jurado, Cárdenas, & Feito, 2017). The study carried out to enable the creation of flexible molds printed on Filaflex by means of a low-cost printer is detailed below. This printer is the Legio3D (549,00€) of the spanish brand Leon3D.

In this case, in order to be able to print with flexible filaments, an update of the extrusion part has been downloaded from the manufacturer's page, which avoids the blockages of this type of filaments. The digital file of this part can be downloaded in STL format from Leon3D's own page in the updates section (<https://www.leon-3d.es/actualizaciones-legio/>). This adaptation will have to be printed in 3D with PLA and will replace the part that is distributed with the factory printer. The design of this part presents a channel

for the tightest filament that allows the material to be guided in a more efficient way, preventing the flexible filaments from overflowing from the extruder (fig 1).

Fig 1a Original part that comes from the factory with the printer to print PLA
Fig 1b Parts printed with white PLA for adapting flexible filament printing

Another adaptation to take into account for printing with flexible filaments is the pressure exerted on the filament. To avoid clogging, it is necessary to leave the pressure thread completely free and insert the filament manually until it begins to extrude. After this, it is convenient to adjust the thread until you notice a minimum pressure on the filament. Although for rigid filaments, it is advisable to tighten firmly, flexible filaments require less pressure.

It is advisable to adjust the height of the extruder with respect to the printing platform, because while printing with materials such as PLA requires a closer proximity, in the case of flexible filaments need more space between the extrusion nozzle and the printing platform. This distance should therefore be calibrated using the printer's own adjustment tools. Approximately 3 sheets of 80gr. can be used as thickness between the extrusion platform and the extruder. Compared to leaving a distance of one sheet when it comes to printing on rigid materials such as PLA.

The free software used to make the three-dimensional prints was Ultimaker Cura. This program has a multitude of printing profiles according to the desired quality and the type of material used. These profiles also can be edited using different parameters to adjust the print to the specific needs of the material and the model to be printed. Different tests have been carried out in order to achieve homogeneous impressions, taking into account the main function of these impressions, which is to be used as flexible moulds. For this reason, the prints were made to a good quality, assigning a layer height value of 0.1 mm.

From these tests, different parameters were varied and adjusted to achieve optimum print quality in the shortest possible time. It should be noted that, in general, the print speed and the speed at which the filling with the flexible filament is constructed must be lower than that used with PLA filaments, increasing the printing time, as shown in the table below:

Table 1: Comparison of printing parameters between PLA material and Filaflex using Ultimaker Cura

Parameters	PLA filament	Flexible filament
Size of the object to be printed	55 x 45 x 15 cm	55 x 45 x 15 cm
Print speed	60 mm/s	25 mm/s
Infill speed	60mm/s	25 mm/s
Travel speed	120 mm/s	130 mm/s
Printing time	2 h 14 min	4 h 17 min
Worn filament weight	14 gr	20 gr
Price of the filament	0,28 €	0,80 €

In addition to varying print parameters, flexible filaments require not less than 20% infill for small parts and around 30% infill for larger parts, compared to 10% commonly used for PLA printed parts. Furthermore, as the size of the printed molds increases, the thickness of the top layers must be increased to obtain a homogeneous surface without holes. In figure 2 you can see the appearance of holes by increasing the size of the piece and its solution by increasing the infill from 20% to 30% and the top layer from 0.8 mm to 1 mm.

Fig 2 appearance of holes when increasing the size of the piece and its solution by increasing the filling from 20% to 30% and the top layer from 0.8 to 1 mm.

The creation of flexible molds with the indicated specifications are suitable for robust pieces, however the creation of molds for more fragile or narrow pieces such as fine typographies need a greater flexibility of

the mold. The printing parameters and the design of the moulds have been adapted to facilitate the demoulding of more fragile pieces, reducing the relative rigidity of the mold as well as reducing printing times. For this purpose, the density of the internal filling of the mold was reduced, using the five-step infill option. It means that the filling of the mould is carried out with a minimum infill in most of the piece, dividing the upper part in five different steps, each one more dense, making the layers with more filling until reaching the chosen filling density in the programme settings (30%) as it reaches the highest point, where it finally closes the piece with layers higher than 100% of a millimetre thick in total (fig 3a).

This modification in the parameters of the print fill that creates a progressive fill, existing in the Ultimaker Cura program, allows a print with more empty space inside the mold favoring its flexibility. In addition, it reduces printing times and saves material. On the other hand, the shape of the mould was modified, cutting the excess walls to the minimum possible (fig. 3b). This step was carried out in the free program Meshmixer with plane cutting tools and subtraction Boolean operations, cutting the silhouette around the letter, leaving the walls of 3-10 millimeters approximately, improving the flexibility of the mold.

Fig 3a Cura Ultimaker program cutout: Density of the mold interior fill, using the five-step fill option.

Fig 3b Square and modified mold with the trimming of the walls around the silhouette to 3-10 millimeters.

Case Study: Flexible molds to create 3D fonts in the classroom

A pilot test has been carried out on a typography subject in order to introduce flexible molds in educational environments, obtain a first assessment by the participants and check the viability of the activity in the classroom. The pilot test was carried out with 8 students in the subject of Typography and Communication, which is taught in the Higher Artistic Teaching of Design, offered at the Fernando Estévez School of Art. Once the changes to be made to the 3D printer have been determined and the printing parameters have been adjusted, the aim is to validate the use of the molds in educational environments. It is also intended that, by using molds, all participants can be part of the manufacturing process and take the four letters of the word “Chos” at the end of the activity. It took two days of class, a total of four hours to make all the reproductions, once the molds were printed. The time needed to print the entire word in 3D would be approximately 190 minutes, a total of 25 hours and 20 minutes if you want to print the full word for each of the 8 students, compared to 9 hours and 25 minutes needed to print the four molds.

Description of the activity

The incorporation of digital manufacturing, in this case the creation of flexible moulds, in the classroom makes sense in the subject of typography, because it has a part dedicated to experimental typography. Although it is necessary to have a 3D printer and adapt it, in this work it has been decided to incorporate the digital creation of molds in the classroom to promote digital competence and digital manufacturing. It was also feasible to carry out the activity using 3D printing as it saves time and costs in the execution of the molds and does not require specific classrooms.

The software and hardware used for the activity, from the design of the typography to obtaining a 3D reproduction, was developed in the typography course over ten sessions of two hours each. The participants begin with the design of the typography in sketch mode with paper and pencil. Then the entire alphabet is created following a homogeneous design. At the end it is transferred to millimetric paper to obtain a more exact drawing. This drawing is then digitized with an Illustrator-type vector drawing program. The professional font editor FontLab (fig. 4a) is used to convert the letters into a usable font. Finally, we work with the online application Lithophane, a web application that transforms a black and white photo into a three-dimensional mold in the format “.STL” printable by any 3D printer (fig. 4b). This allows us to transform one of the designed letters into a mold without the need for 3D modelling knowledge. But the letter must be inverted horizontally in order to make the mold. Finally, the free program Meshmixer was used to trim the edges and make the mould more flexible as well as saving time and printing material.

Fig 4a Hand sketching process, transfer to millimetre paper, digitisation with the vector drawing program Illustrator and font creation with FontLab.

Fig 4b Transforming a black and white sketch into a 3D mould using the online program Litophane.

For the 3D printing of the model, the free Ultimaker Cura program is used, in which the printing parameters are entered. The low-cost printer "Legio3D" and flexible filament of the Filaflex brand are used to manufacture the molds. In this case, the molds were printed with the specific characteristics for molds, according to the research carried out in the first phase.

Finally, the molds were used to create 3D pieces of the typefaces designed with the Acrylic resin Jesmonite AC300-AC100 (fig. 5). It is an acrylic composite material supplied in two parts, a powder and a liquid. Due to its solvent-free formulation, it can be cast without damaging the moulds and without volume restriction. It is dimensionally stable thanks to its low exothermic reaction and presents a very reduced expansion (1mm/meter linear). This resin is non-toxic and easy to clean. The drying time of the resin, once mixed both parts is about twenty minutes so it was possible to make eight copies of each letter in two educational sessions of two hours each.

Fig 5 Work process and result with acrylic resin to create 3D replicas of the designed fonts.

Results

Regarding the pieces created in the 3D typography workshop, we can see that each student has been able to generate in two sessions the four letters that made up the word "Chos". In total, 32 pieces have been produced. If these pieces had been printed in 3D, a total of 25 hours and 20 minutes would have been needed to carry out the activity and the students would not be able to participate in the manufacture process. However, it took 9 hours and 25 minutes to print the four molds using Filaflex plus four hours of class to create the copies using the resin.

The changes made to the low-cost 3D printer to enable printing with flexible filament (Filaflex) were as follows:

- Print in 3D with PLA filament the piece of special extrusion for the printer legio3D of the brand Leon3D that allows to work with flexible filament. This part is available at <https://www.leon-3d.es/actualizaciones-legio/>.
- Adjust the pressure thread. To begin with, the pressure thread must be left completely free and the filament must be inserted manually until it begins to extrude, then the thread is adjusted until a minimum pressure is felt on the filament.
- Adjust the height of the extruder in relation to the printing platform. A distance of approximately 3 sheets of 80gr. should be left as thickness between the printing platform and the extruder.

For the correct printing of the molds, in order to obtain a homogeneous surface without holes, flexible enough to demould the pieces easily and which adjusts the material consumption and the investment time, the following parameters must be taken into account:

- Perimeter: Upper thickness: 1mm. Lower thickness 0.8 mm
- Infill: Filler density: 30% Required filling steps: 5
- Printing temperature: 245 °C (as recommended by the manufacturer)
- Printing speed: 25 mm/s
- Infill speed: 25 mm/s
- Travel speed: 130 mm/s
- Mold shape: Cut out the silhouette around the letter, leaving the walls of 3-10 millimetres.

From the satisfaction questionnaire that has been given to the students, the results shown in the following table have been obtained.

Table 2: Results of the satisfaction questionnaire

	Question	Mean about 5
1	Digital manufacturing is useful for 3D typography	4,6
2	Flexible moulds are a good tool for experimental typeface design	3,8
3	It is easy to switch from 2D model in Illustrator to 3D using the online program Lithophane	4
4	Before this activity I did not know these technologies	2,8
5	I think it is an interesting activity within the subject of typography	4
6	I found the workshop amusing	4,4
7	I was already familiar with filaflex (flexible material) for digital printing of moulds or flexible parts	3
8	My level of satisfaction with the activity is high	4,6

Conclusions

As conclusions of the first phase of adaptation of low-cost 3D printers for the use of flexible material Filaflex we can highlight that:

It is possible to design and print flexible molds using low-cost 3D printers, which are common in school environments. Many of the manufacturers themselves provide users with the parts (in STL format) needed to adapt the machine to print flexible filaments. Therefore, with the results of our work, it is possible to consider the implementation of printed molds in flexible material in the educational field.

By changing the infill speed and printing speed parameters, parts can be printed correctly and without holes using filaflex. By changing the filling parameters to a five-step progressive fill and minimizing mold walls to 3 - 10 millimeters, it improved flexibility and ease of demoulding, being suitable for delicate parts such as typographies, as well as reducing printing time and material expense.

Although the 3D printing of flexible material such as Filaflex is more complex than the usual material such as PLA, this research work details the adjustments needed to use this material in low-cost printers. The values described in this work are for the Legio3D printer, however, these settings should be compatible with most printers available in educational environments.

As conclusions of the second phase of the educational implementation of flexible molds for the creation of typographic pieces we can highlight that:

Regarding the activity developed in the subject, we can conclude that the introduction of flexible molds in the classroom is feasible. The students followed the usual process of designing fonts in the classroom, but they were also able to transfer some letters to a 3D mould using a simple and free program such as Litophane. Each student was able to work with the molds and obtain several pieces, participating actively in the manufacturing process. In this case it was successful to create flexible molds and not directly the printed letters and thus obtain several pieces of the same model in less time, without the need for specific classrooms and additional tools as well as saving costs.

On the other hand, carrying out the activity using traditional materials means greater expenditure on disposable and fungible material such as silicone, formwork, glasses and mixing tools, as well as requiring a specific classroom. More time is also needed to carry out the activity as it is more laborious to prepare the three-dimensional pieces, create the mould and have the mould drying time (24-48 hours). Moreover, once the process is finished, if you want to make changes it is necessary to start with all the work from the beginning, when in a digital mold it is easy to make changes.

Regarding the satisfaction questionnaire, all the participants managed to carry out the activity correctly with the proposed means, materials and times. The students saw usefulness in the use of new technologies (4.6/5) and found it simple (4/5). They also found the workshop interesting and enjoyable (4 and 4.4 / 5) and found that the molds were a good tool for experimental typography (3.8/5). With a high degree of satisfaction at the end (4.6/5). Prior to the activity, many of the participants were not very familiar with these digital manufacturing technologies, some had heard of Filaflex but had not used it (2,8 and 3 respectively out of 5).

By introducing the new digital manufacturing technologies into the classroom using flexible moulds, the student perceives more possibilities in the world of experimental typography. In addition, it should be noted that many of the students, although they were aware of the existence of low-cost technologies, had not considered the possibility of implementing them in the study of experimental typography.

References

- Suárez Castrillón, A., Tafur Preciado, W., & Calderón Nieves, P. (2015). Aplicación de herramientas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prototipos de moldes de inyección de plásticos. *Tecnura*, 19(46), 115-121. doi: doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a09
- Adrian, L., Jurado, J., Cárdenas, J., & Feito, F. (2017). Advances for 3D printing: Remote control system and multi-material solutions. *Conference: 26. International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision* (págs. 160-163). Czech Republic: WSCG. doi:DOI: 10.24132/CSRN.2018.2802.20
- Arruda, L., & Carvalho, H. (2018). 3D Printing as a Design Tool for Wearables: Case Study of a Printed Glove. En J. Machado, F. Soares, & G. Veiga, *Innovation, Engineering and Entrepreneurship* (pág. 1). Helix: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-91334-6_27
- Barrie, B. (1992). *Mold Making, Casting and Patina: For the Student Sculptor*. Michigan: Thomson-Shore, Incorporated.
- BOE. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *I. Disposiciones generales*. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- Canessa, E., Fonda, C., & Zennaro, M. (2013). *Low cost 3D printing for science, education and sustainable development*. Trieste: ICTP—The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics.
- Cervera, M., & Mon, F. (2013). Explorando el potencial educativo de los entornos virtuales 3D. *Teoría de la Educación; Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 14(3), 302.
- Cervera, M., Martínez, J., & Mon, F. (2015). Competencia digital y competencia digital docente: una panorámica sobre el estado de la cuestión. *Revista Interuniversitaria de Investigación en Tecnología Educativa*, 1 -10.
- Chung, P., Heller, J., Etemadir, M., Ottoson, P., Liu, J., Rand, L., & Roy, S. (2014). Prototipado rápido y económico de dispositivos médicos utilizando moldes impresos en 3D para moldeo por inyección de líquidos. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 88(51745). doi:10.3791 / 51745
- Cummins, P. (1980). *Industrial Education, Volumen 69*. Michigan: Cummins Publishing Company. Obtenido de <https://books.google.es/books?id=A4neAAAAMAAJ>
- Figari Bizzotto, S., Craiem, D., & Corti, G. (2018). Manufacturing of customized prostheses for neurosurgery based on 3D printing technology: first steps. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 22(2), 24-27.
- Goodship, V. (2004). *Practical Guide to Injection Moulding*. Shawbury: iSmithers Rapra Publishing.
- Hakimian, E., & Sulong, A. (2012). Analysis of warpage and shrinkage properties of injection-molded micro gears polymer composites using numerical simulations assisted by the Taguchi method. *Materials & Design*(42), 62-71. doi:https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.04.058
- Hernández-Muñoz, Ó., & Sánchez-Ortiz, A. (2019). Hernández-Muñoz, Ó., & Sánchez-Ortiz, A. (2019). Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII. *Conservar Patrimonio*, 30, 59-72. doi:https://doi.org/10.14568/cp2018003

- Himmele, P., & Himmele, W. (2017). *Total participation techniques: Making every student an active learner*. Virginia: ASCD.
- Impresora3D. (11 de 1 de 2019). *Impresoras 3D.com*. Obtenido de ¿Que filamento flexible deberíamos elegir?: <https://www.impresoras3d.com/que-filamento-flexible-deberiamos-elegir/>
- Krassenstein, E. (21 de 1 de 2019). *3Dprint.com*. Obtenido de Gyrobot and Filaflex Introduce 3D Printed Insoles that Podiatrists Can Customize and Print: <https://3dprint.com/22255/3d-printed-insoles-gyrobot/>
- Langland, T. (1999). *From Clay to Bronze. A studio guide to figurative sculpture*. New York: Watson-Guptill Publications.
- Lehmann, A., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2017). Optimization of 3d printing with flexible materials. *International Textile Conference* (págs. 1-6). Stuttgart: RWTH Aachen University.
- Martens, Y., & Ehrmann, A. (2017). Composites of 3D-Printed Polymers and Textile Fabrics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, págs. 1-6. San Francisco: IOP Publishing. doi:doi:10.1088/1757-899X/225/1/012292
- Midgley, B. (1993). *Guía completa de escultura, modelado y cerámica: técnicas y materiales*. Madrid: Tursen S.A.
- Mitchell, P. (1996). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook: Volume VIII: Plastic Part Manufacturing*. Michigan: SME.
- Negrete, A., Achinelli, A., & Pfanner, F. (2017). Electronic Hand Prótesis. *Universidad Blas Pascal; 21º Olimpiadas Nacionales de Informática, Electrónica y Telecomunicaciones*. Río Gallegos. Obtenido de <http://oniet.develgroup.com/wp-content/uploads/2017/informes/Hardware%20Nivel%201/Industrial%20N%C2%B0%206%20%20-%20InformeTecnicoEHP.pdf>
- Nemorin, S. (2017). The frustrations of digital fabrication: an auto/ethnographic exploration of ‘3D Making’in school. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(4), 517-535.
- Noble, J., Walczak, K., & Dornfeld, D. (2014). Rapid Tooling Injection Molded Prototypes: A Case Study in Artificial Photosynthesis Technology. *6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC2014*, 14, págs. 251-256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.035>
- Rich, J. C. (1914). *The materials and methods of sculpture*. New York: Dover Publications Inc.
- Rodrigue, H., Bhandari, B., Wang, W., & Sung-Hoon, A. (2015). 3D soft lithography: A fabrication process for thermocurable polymers. *Journal of Materials Processing Technology*, 217, 302-309. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.11.005>
- Santos, I., Ali, N., & Areepattamannil, S. (2018). *Interdisciplinary and International Perspectives on 3D Printing in Education*. IGI Global. USA: IGI Global.
- Saorin, J., Bonnet de León, A., Meier, C., & de la Torre-Cantero, J. (2018). Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 295-309. doi:<http://dx.doi.org/10.5209/ARIS.56796>
- Saorin, J., de la Torre-Cantero, J., Bonnet de León, A., & Meier, C. (2016). Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos. *Comunicación y Pedagogía. Movimiento maker y Educación*, 291-292, 18 - 23.
- Saorin, J., Meier, C., de la Torre-Cantero, J., Carbonell-Carrera, C., Melián-Díaz, D., & Bonnet de León, A. (2017). Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D. *EDMETIC*, 6(2), 27-46.

- Thielen, M., & Delbressine, F. (2016). Rib cage recreation : towards realistic neonatal manikin construction using MRI scanning and 3D printing. *Shape Modeling International (SMI 2016): Fabrication and Sculpting Event (FASE)* (págs. 41-40). Berlin: ISAMA. Obtenido de <https://research.tue.nl/en/publications/rib-cage-recreation-towards-realistic-neonatal-manikin-constructi>
- Turner, A. (2011). *Extruder, Mold & Tile: Forming Techniques*. Cleveland: The american Ceramic Society.
- Yarwindran, M., Azwani Sa'aban, N., Ibrahim, M., & Periyasamy, R. (2016). Thermoplastic elastomer infill pattern impact on mechanical properties 3D printed customized orthotic insole. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(10), 6519-6524. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(10), 6519-6524.

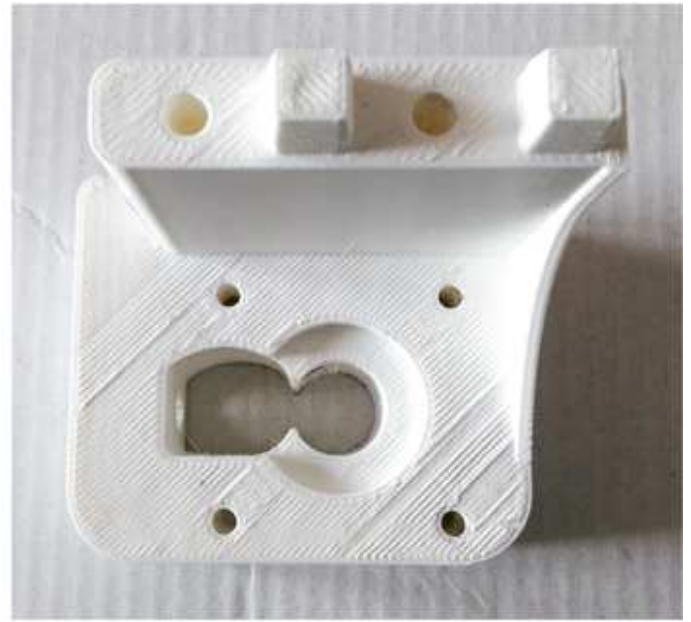
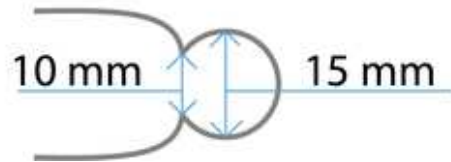




Figure 3

[Click here to access/download;Figure;SaorinFig3 copia.jpg](#)

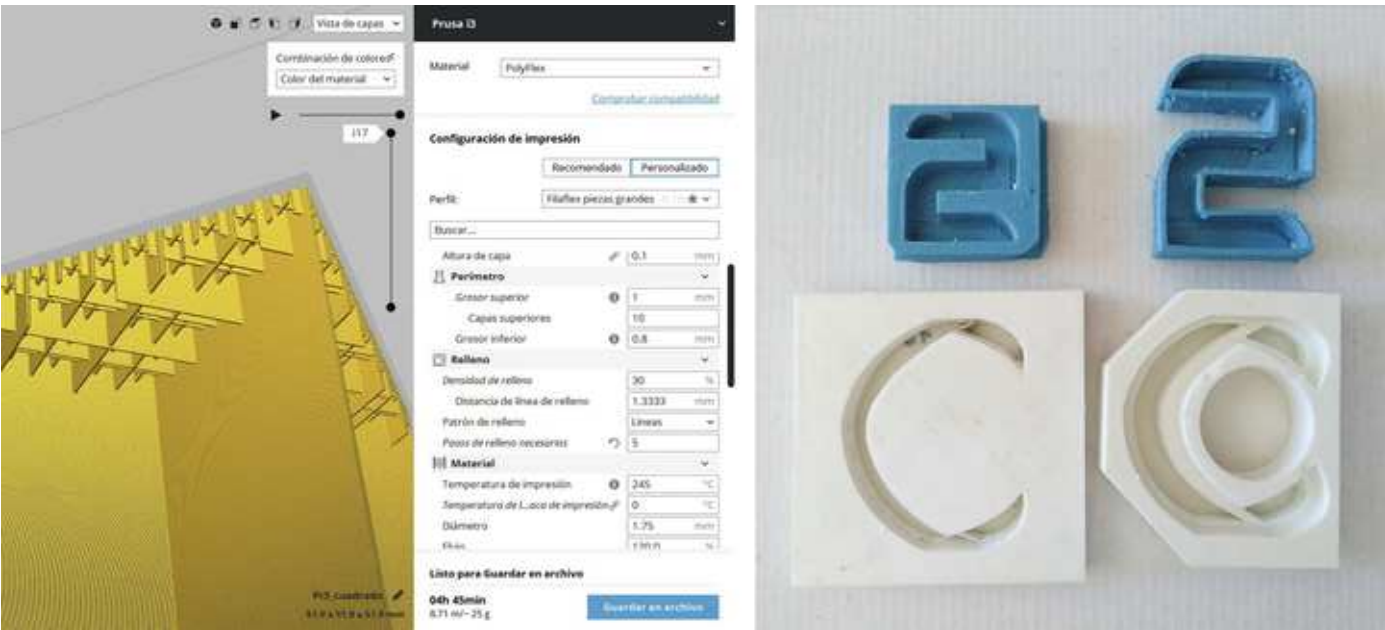


Figure 4

[Click here to access/download;Figure;SaorinFig4 copia.jpg](#)

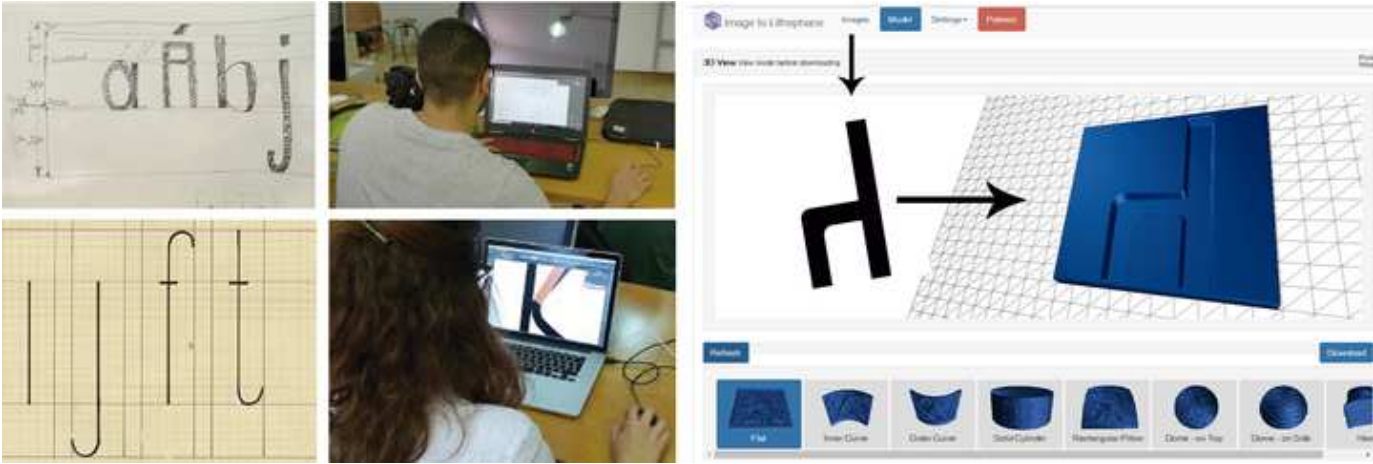




Table 1: Comparison of printing parameters between PLA material and Filaflex using Ultimaker Cura

Parameters	PLA filament	Flexible filament
Size of the object to be printed	55 x 45 x 15 cm	55 x 45 x 15 cm
Print speed	60 mm/s	25 mm/s
Infill speed	60mm/s	25 mm/s
Travel speed	120 mm/s	130 mm/s
Printing time	2 h 14 min	4 h 17 min
Worn filament weight	14 gr	20 gr
Price of the filament	0,28 €	0,80 €

Table 2: Results of the satisfaction questionnaire

	Question	Mean about 5
1	Digital manufacturing is useful for 3D typography	4,6
2	Flexible moulds are a good tool for experimental typeface design	3,8
3	It is easy to switch from 2D model in Illustrator to 3D using the online program Lithophane	4
4	Before this activity I did not know these technologies	2,8
5	I think it is an interesting activity within the subject of typography	4
6	I found the workshop amusing	4,4
7	I was already familiar with filaflex (flexible material) for digital printing of moulds or flexible parts	3
8	My level of satisfaction with the activity is high	4,6

7.

Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste
(Aceptado, pendiente de publicación)

EduTec: Revista electrónica de tecnología educativa

Base de Datos: Latindex, DICE

Jose Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero, Eliseo García Marrero

7.

Edutec: Revista electrónica de tecnología educativa

Diseño y Fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste

(Aceptado, pendiente de publicación)

Fuente de impacto: Latindex

latindex
Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

¿QUÉ ES? ORGANIZACIÓN SOCIOS EDITORES BIBLIOTECA DEL EDITOR DOCUMENTOS NOTICIAS IDIOMA
ISSN: 2310-2795

Directorio
Catálogo 2.0
Revistas en línea

Título, ISSN o término

Búsqueda exacta

Búsqueda avanzada

Índices

Gráficas

Edutec-e, Revista Electrónica de Tecnología Educativa, edita resultados de investigación, estudios, experiencias, ensayos y reseñas relacionados con la tecnología educativa, medios y recursos didácticos, medios de comunicación y procesos de enseñanza y aprendizaje con tecnologías de la información y la comunicación. Edutec-e tiene como principales objetivos difundir trabajos de investigación y experiencias de nuestro entorno profesional y servir de plataforma para el diálogo, el intercambio de ideas y la participación en la lista de distribución edutec-e.

Edutec-e publish research results, studies, experiments, essays and book reviews related to educational technology, didactic media and resources, mass media and learning and teaching processes with information and communication technologies.

Catálogo v2.0 (2018 -)
✓ Características cumplidas: 31
✗ Características no cumplidas: 7

Título	Edutec. Revista electrónica de tecnología educativa
Título Abreviado	Edutec.
País	España
Situación	Vigente
Año de inicio	1995
Frecuencia	Irregular
Tipo de publicación	Publicación periódica
Soporte	En línea
Idioma	Español
ISSN	1135-9250
Temas	Ciencias Sociales
Subtemas	Educación
Clasificación Decimal	37
Editorial	Universidad de las Islas Baleares, Grupo de Tecnología Educativa, Departamento de Ciencias de la Educación
Naturaleza de la publicación	Revista de divulgación científica y cultural
Naturaleza de la organización	Institución educativa
Revista arbitrada	Si

Texto completo

www.edutec.es/revista/index.php/edutec-e

Cobertura

Temporal

1995-

Formato de

Salida

HTML

Acceso

Gratuito



DISEÑO Y FABRICACIÓN DIGITAL DE TARJETAS POP-UPS EN ENTORNOS EDUCATIVOS MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE BAJO COSTE

DESIGN AND DIGITAL MANUFACTURE OF POP-UP CARDS IN EDUCATIONAL ENVIRONMENTS USING LOW-COST TECHNOLOGIES.

Alejandro Bonnet de León; alebonle@hotmail.com;  orcid.org/0000-0001-7992-545X

Jose Luis Saorin; jlsaorin@ull.edu.es;  orcid.org/0000-0003-3240-3317

Jorge de la Torre-Cantero; jcantero@ull.edu.es;  orcid.org/0000-0001-5516-0456

Cecile Meier; cemeier@ull.edu.es;  orcid.org/0000-0001-7160-2154

Eliseo García Marrero; eliseogarmar@gmail.com;  orcid.org/0000-0002-7576-019X

Universidad de la Laguna (España)

Resumen

La implantación de tecnologías de fabricación digital en centros escolares requiere habitualmente la creación de espacios específicos (Makerspaces, Fab labs, etc.). Sin embargo resulta interesante la introducción de estas tecnologías en aulas tradicionales. En este artículo se describe una experiencia llevada a cabo en el Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife en 4º curso de secundaria en la asignatura de expresión plástica, visual y audiovisual, en el que se ha realizado una actividad de diseño y creación de tarjetas pop-up. La realización de esta actividad implica el corte y doblado de papel que habitualmente se realiza mediante tijeras o *cutter*. Sin embargo, con la aparición de técnicas de fabricación digital de bajo coste, este proceso puede ser automatizado e introducido en cualquier aula.

Palabras clave: Fabricación digital, educación, pop-up, plotter de corte, vectorización.

Abstract

The implementation of digital manufacturing technologies in schools usually requires the creation of specific spaces (Makerspaces, Fab labs, etc.). However, it is interesting to introduce these technologies in traditional classrooms. This article describes an experience carried out at Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife in the 4th year of secondary school in the subject of plastic, visual and audiovisual expression, in which an activity of design and creation of pop-up cards has been carried out. This activity involves cutting and folding paper, which is usually done with scissors or a cutter. However, with the emergence of low-cost digital manufacturing techniques, this process can be automated and introduced into any classroom.

Keywords: Digital manufacturing, education, pop-up, cutting plotter, vectorize.



1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de fabricación digital incluyen el proceso de creación, edición y manejo de ficheros digitales (Alvarado, 2012). Hasta hace unos años todos estos procesos necesitaban una formación especializada, habitualmente en el ámbito de la ingeniería y la arquitectura. Sin embargo, con la evolución del software y del hardware, estas tecnologías se han hecho accesibles, tanto en lo económico como en los aspectos formativos, con lo que se pueden realizar los procesos ligados a la fabricación digital de forma sencilla (Bonnet de León, Meier, Saorín, de la Torre-Cantero, & Carbonell, 2017). Por lo tanto, la incorporación de estas tecnologías en entornos educativos es una opción viable.

Dentro de los distintos informes internacionales sobre educación existe uno específico sobre tecnologías que se ha convertido en un referente: el “Informe Horizon”. En este informe, concretamente el que analiza las nuevas tecnologías en secundaria y Bachillerato, la creación de laboratorios de fabricación digital (llamados también Fablabs o Makerspaces) se incluye desde el año 2015 y se prevé que sea una realidad menos de un año (Freeman, Becker, & Cummins, 2017). Como también señala dicho informe, su implantación en centros de enseñanza primaria y secundaria, es ya una realidad en casos como el Frysklab, el taller creativo de la biblioteca municipal de Fryslan (Holanda), el Makerspace del Centro de Enseñanza Secundaria de Sierra Vista de La Puente, en California, o en el Centro de Enseñanza Secundaria de Monticello, en Charlottesville en Virginia, aportando espacios de trabajo para la investigación tecnológica con beneficios tangibles como el descenso del ausentismo escolar, la mejora en materias como matemáticas o su interés por carreras de ciencias o ingenierías, a partir del uso de herramientas de fabricación digital. En España, Galicia implantará el próximo año el primer Bachillerato STEMBach (de excelencia en ciencias y tecnologías) que incluyen espacios Maker (Europa Press, 2018).

El aprendizaje del diseño y la fabricación digital también está empezado a ser reconocida en organismos oficiales. Por ejemplo, a nivel local, la Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento del Gobierno de Canarias, en julio de 2016, en su convocatoria de subvenciones orientadas a la mejora de las competencias digitales de la población residente en Canarias, incluye diseño, modelado y fabricación digital entre las tres temáticas de la convocatoria (BOC, 2016). Como consecuencia de esta iniciativa la Consejería de Educación en Canaria ha creado el programa “STEAM de fomento de vocaciones científicas y creatividad”. Dicho programa incluye actividades formativas, ligadas al diseño y la fabricación digital, dirigida a educación secundaria y bachillerato. En concreto en el año 2018 se han creado dos Fab Labs, uno en el Centro de Profesorado de La Laguna y otro en el de Las Palmas de Gran Canaria y se pretenden crear otros ocho, repartidos en las siete islas. Además, este programa está apoyando la creación de Aulas Maker en los centros de secundaria. Para llevar a cabo proyectos educativos, en estos laboratorios se dispone de maquinaria de fabricación, como impresoras 3D y máquinas de corte láser (Gobierno de Canarias, 2018).

Sin embargo a pesar de estos avances, todavía resulta difícil disponer de un laboratorio de fabricación digital o aula maker en el propio centro escolar. Debido a esto, es interesante



plantear actividades que introduzcan la fabricación digital en cualquier aula. En el entorno educativo, hay centros que han implementado impresoras 3D en el aula y realizan investigaciones acerca del alcance que esta herramienta de fabricación digital tiene en los alumnos (Saorín, de la Torre-Cantero, Bonnet de León, & Meier, 2016; de la Torre-Cantero, Saorín, Meier, Melián Díaz, & Alemán, 2015). A pesar de que los resultados son aceptables, los tiempos de trabajos de las impresoras 3D suelen sobrepasar el tiempo disponible en sesiones ordinarias dentro del horario lectivo.

En este sentido, la fabricación mediante máquinas de corte, puede ser una alternativa para evitar los problemas del excesivo tiempo que requieren las impresoras 3D. Este proceso de fabricación si bien no es exactamente igual que la impresión 3D, puede ser una opción más factible en tanto a los tiempos necesarios para realizar piezas de gran tamaño o un mayor número de ellas.

La construcción de piezas mediante máquinas de corte (fresadora, máquina de corte láser y plotter de corte) es mucho más rápida pero no existen muchos antecedentes de su uso en entornos educativos como por ejemplo en secundaria y bachillerato. Esto es debido principalmente a su alto coste, ruido o peligrosidad. Sin embargo, los avances tecnológicos están permitiendo resolver estos inconvenientes y por lo tanto, se pueden empezar a diseñar actividades de fabricación por corte automatizado en aulas tradicionales con estas herramientas. En este artículo se plantea una actividad de diseño y fabricación digital de bajo coste que utiliza programas gratuitos y un plotter de corte portátil de bajo coste, que permiten transferir las experiencias de los laboratorios de fabricación digital a cualquier centro educativo.

La actividad propuesta consiste en la elaboración de tarjetas pop-up por parte del alumnado, mediante un plotter de corte y programas de dibujo vectorial online. El objetivo de la investigación es comprobar si para impartir los contenidos de forma y color, se pueden implementar el uso de programas vectoriales y herramientas de fabricación digital en el aula. Para validar este objetivo, Se ha desarrollado una prueba piloto con 63 alumnos de 4º de la ESO del Colegio San Isidro, Salesianos en La Orotava, en el marco de la asignatura de expresión plástica, visual y audiovisual, en la que se han incorporado estas tecnologías. Se ha recurrido a una metodología cuasi-experimental donde se ha utilizado como grupo experimental los alumnos que cursaban el cuarto curso de secundaria en la asignatura de expresión plástica, visual y audiovisual en el momento de la experiencia. Los resultados en la experiencia demuestran que la fabricación digital mediante plotter de corte y el diseño vectorial mediante programas digitales online resultan viables en educación secundaria y se valoran de forma positiva por parte de los alumnos.



2. ANTECEDENTES

2.1 Actividades Papel recortado (kirigami) en entornos escolares

La creación de tarjetas pop-up entra en el campo del kirigami. El término kirigami deriva de las palabras japonesas KIRU (cortar) y KAMI (papel). Hay muchas formas de kirigami, pero el más extendido es aquel que se dobla un papel por la mitad, se corta una forma y se genera una pieza tridimensional al abrirse (Temko, 1962). Dicha técnica también se conoce como pop-up (Carter & Díaz, 1999; Washington Patente nº 5,450,680, 1995).

Al igual que el papel, se estima que el Kirigami nació en China y fueron usados en la vida cotidiana como decoraciones festivas o como motivos religiosos, pero también se usaban algunos de estos diseños como patrones para realizar decoraciones en tejidos y cerámicas expresando principios morales, filosofías e ideales estéticos (Jablonski, 1976). El ejemplo más antiguo de esta actividad que sobrevive, es un círculo simétrico, encontrado en Xinjiang, China, datado en el siglo XI (McCormick & White, 2011). Este también fue inicialmente un conocimiento que se transmitió de forma oral hasta que en 1721, aparece la primera referencia publicada sobre plegado y corte de papel, en un libro japonés de Kan Chu Sen (Sen, 1721).

El kirigami se ha usado tradicionalmente como técnica de decoración o entretenimiento lúdico. Sin embargo también se utiliza en diseño arquitectónico (Vyzoviti, 2006), se han encontrado aplicaciones del kirigami en la creación de estructuras sólidas a microescala y metamateriales con grapheno (Blees, y otros, 2015). En otras investigaciones se fabrican nanocompuestos de kirigami como electrodos de plasma que abren una amplia gama de soluciones tecnológicas para dispositivos electrónicos (Shyu, y otros, 2015). También se testea la elasticidad de los materiales como por ejemplo en baterías, aplicando técnicas de kirigami (Isobe & Okumura, 2016). Incluso se crean músculos artificiales mediante el diseño de Kirigami (Sareh & Rossiter, 2012).

En el contexto educativo se usa el corte y doblado de papel de manera habitual. Kobayashi y Yamada (2013) presentan el uso del origami y kirigami en un curso que tuvo como objetivo emplear estas técnicas como recurso lúdico y educativo, al mismo tiempo que se buscó introducir aspectos culturales del arte de doblado y corte de papel. En otras investigaciones se propone aumentar las habilidades de visualización espacial a través del origami, el kirigami y la arquitectura origámica (Nogueira Valente & Yukari Ota, 2015). También se utiliza para el aprendizaje de los fractales (fig. 1) en las matemáticas (García Cuéllar, Flores Salazar, & Martínez Miraval, 2017), para mejorar las habilidades creativas (Castillo Cordova, 2016), para incentivar el pensamiento creativo (Romero Velasco & Tovar Cifuentes, 2018), para enseñar sistemas micro electromecánicos (Liang, 2013), etc.





Figura 1: Matemáticas fractales en papel

Fuente: <https://profmate.wordpress.com/fractales-en-papel/>

En los últimos años han surgido múltiples aplicaciones y programas que crean los pop-ups de forma automática mediante herramientas informáticas (Harquail, Allen, & Whiting, 2016) (Glassner, 2002) (Okamura & Igarashi, 2009), sin embargo en la actividad descrita en este artículo se realizaron los diseños de las tarjetas sin utilizar procesos de composición automatizada, para que los alumnos comprendieran los principios del pop-up.

2.2. Máquinas de corte en entornos escolares

Tradicionalmente, para la realización de las figuras pop-up, se usan papeles de colores, plantillas, huesos de plegado y herramientas de corte como por ejemplo: tijeras, cúter, cuchillas, cizallas de corte, bases de corte magnético, cuchillos especiales, guillotinas, etc. Actualmente existen máquinas de corte digitales que pueden sustituir esas herramientas. Dentro de la fabricación digital existen dos formas constructivas: mediante la adición de material, conocida como fabricación aditiva y la segunda mediante la supresión del material o fabricación sustractiva. Cada una de las dos tiene diferentes formas y variantes, según el trabajo que se realice. En entornos educativos, la forma más conocida de la fabricación digital, son las impresoras 3D. Sin embargo, existen técnicas de fabricación digital sustractivas que emplean máquinas de corte. Dentro de los dispositivos de corte se encuentran las máquinas de corte láser, las fresadoras por control numérico (CNC) o los plotters de corte. Estas tecnologías se han abaratado en los últimos años, apareciendo opciones económicas orientadas a usuarios no profesionales que permiten contemplar su integración en contextos educativos (Saorín, Bonnet de León, Meier, & de la Torre-Cantero, 2018).

Respecto a la primera de estas tecnologías, aunque, existen máquinas de corte láser “de escritorio” orientadas a la fabricación personal, su utilización en entornos educativos conlleva ciertos peligros derivados del cabezal láser y de la emanación de gases según el material que se corte, que exigen el uso de un filtro de aire. Sin embargo, algunas de estas máquinas se utilizan en centros de enseñanza secundaria en aulas específicas tipo makerspaces o fab labs. Estos laboratorios, con personas formadas en el uso de las tecnologías de fabricación digital tienen la posibilidad de integrar máquinas de corte láser a precios que van de los 600 a 5000

euros, algo impensable hace apenas dos años. En este rango de precios se encuentran las siguientes herramientas “FABOOL Laser Mini” (fig. 2), “Mr Beam”, “Full Spectrum Laser Hobby Series” o “Glowforce”.



Figura 2: Máquina de corte láser: FABOOL Laser Mini

Fuente: <https://www.smartdiys.cc/products/fabool-laser-mini>

La segunda de las tecnologías de corte, las fresadoras, son máquinas que trabajan de forma mecanizada, tallando el material mediante el movimiento y rotación de una fresa. Tiene capacidad para cortar, desbastar, limar y afilar materiales de grandes grosores y durezas como maderas, metales, etc., en función de las especificaciones de cada marca. La tecnología de fresado y corte por control numérico también ha experimentado un fenómeno similar al de las herramientas de corte láser con la aparición de opciones de coste asequible, orientadas a la fabricación personal. Sin embargo, estas máquinas presentan algunos inconvenientes a la hora de introducirlas en entornos educativos, como el elevado nivel de ruido y polvo que producen además de la necesidad de una formación específica para el manejo de ficheros digitales y selección de parámetros de corte. A pesar de esto, están surgiendo modelos didácticos y orientados al hobby que están reduciendo cada vez más este tipo de inconvenientes. Entre estos modelos podemos encontrar propuestas como “Carbide 3D”, “Carvey”, “MillRight CNC”, “X-Carve” o “Stepcraft” (fig. 3).



Figura 3: Fresadora: Stepcraft 420

Otra tecnología de fabricación digital es el plotter de corte. Este tipo de máquinas, dispone de un cabezal con una cuchilla que se desplaza por la superficie del material que se desea cortar o troquelar. A nivel profesional se suele utilizar en la industria gráfica y el material con el que

se trabaja más habitualmente es el vinilo, aunque existe la posibilidad de hacerlo con gran variedad de materiales. Por un precio comprendido entre 1000 a 2000 euros, se puede adquirir un plotter de corte con características profesionales. Sin embargo, por unos 250 euros, existen plotters de corte que se pueden adquirir en papelerías orientadas al fenómeno del scrapbooking (personalización de álbumes mediante recortes). Estas máquinas no mucho mayores que una impresora de papel, son de sencillo funcionamiento y permiten cortar una amplia variedad de materiales como cartulina, cartón, tela, goma eva, etc. y son perfectamente compatibles con la mayoría de ordenadores y archivos de imágenes con los que se suele trabajar en entornos escolares. Dentro de estos dispositivos podemos encontrar modelos como Cameo y Curio (fig. 4) de la empresa Silhouette, la Cricut, la serie Stika de la empresa Roland, o ScanNcut de Brother entre otras. Algunas de ellas se venden con una bolsa de transporte con ruedas que permite desplazarlas con mucha comodidad.



Figura 4: Curio de la empresa Silhouette

En el ámbito educativo, se valoran las herramientas de funcionamiento simple, que no requieran de una instalación compleja, que se pueda transportar con facilidad, que no produzcan residuos y que sea asequible. En este sentido, tal y como hemos visto, la mejor alternativa entre las máquinas de corte, es el plotter de corte de bajo coste. Esta herramienta es útil para cortar elementos de pequeño y medio grosor, desde papel, cartulina, goma eva, acetato, etc. Corta a una velocidad mayor que a mano, genera poco ruido, no suelta restos de material en forma de residuos u humos tóxicos y no es peligroso de usar. Teniendo en cuenta estas características, se postula como una herramienta adecuada para su utilización en entornos escolares. Los cortes que se producen con el plotter, se relacionan con los mismos procesos que se pueden realizar con cutter o tijera, pero el resultado digital suele ser más preciso y rápido.

Antes de la experiencia descrita en este trabajo, el plotter de corte se ha utilizado en el curso 2015-2016 en otro trabajo de investigación para la realización de retratos tridimensionales en entornos educativos. En esta experiencia los participantes confirmaban el interés de este tipo de actividades para la docencia de contenidos de asignaturas de expresión plástica y visual e indicaban que habían aprendido nuevas formas de construcción de figuras tridimensionales (Saorín, Bonnet de León, Meier, & de la Torre-Cantero, 2018). El resultado de este trabajo ha

servido para continuar la investigación sobre nuevas formas de utilizar esta herramienta de fabricación digital en entornos educativos.

2.3 Diseño digital de las tarjetas Pop-up

Para poder cortar con un plotter de corte, cortadora láser o fresadora es necesario disponer de un archivo digital que puede ser interpretado por la máquina. Estos archivos son generalmente conocidos como dibujos vectoriales. Éstos están formados por objetos geométricos como puntos, segmentos, polígonos, arcos o líneas. Cada uno de ellos tiene propiedades matemáticas de forma, posición, etc. que pueden ser leídas por máquinas de control numérico (Kalpakjian & Schmid, 2002). Los formatos habituales de gráficos vectoriales son el svg (scalable vector graphic) o dxf (Drawing Exchange Format), por lo que al exportarlo se utilizará esas extensiones.

Algunos programas o aplicaciones no permiten la exportación en estos formatos por lo que es necesario utilizar un programa para cambiarlo. Actualmente existen diversos recursos online gratuitos para realizar esta acción, como por ejemplo convertio, cloudconvert, aconvert, etc.

La vectorización se trabaja en muchas disciplinas artísticas como el diseño o la ilustración. Existen una serie de programas, aplicaciones, etc. que permiten el dibujo vectorial. Se dividen en programas para ordenador, en aplicaciones para dispositivos como tabletas o móviles y programas online que normalmente funcionan en diversos dispositivos. Algunos programas permiten realizar la vectorización de forma manual y otros la realizan de forma automática a partir de una imagen o fotografía. Los programas que son para descargar e instalar en ordenadores como por ejemplo Illustrator o Autocad suelen ser los más potentes para trabajar, sin embargo son complicados de aprender, requieren una instalación y pueden entrañar un desembolso importante. Las aplicaciones para tabletas o móviles como Skedio, Vector Art Studio o Imaengine Vector deben descargarse en los dispositivos y permiten trabajar la vectorización de forma eficiente, siendo una alternativa interesante a los programas de ordenador.

Existe otra opción de programas de vectorización que minimizan algunos de los problemas vistos anteriormente. Dichos programas no requieren instalación ya que funcionan online, y aunque no tienen todas las funciones de programas profesionales como Illustrator, permiten realizar un vectorizado básico de manera muy sencilla e intuitiva. Entre estos programas online, podemos destacar Gravit designer, Vecteezy Editor o Vectr. Estos programas, al ser online, requieren conexión a internet, pero son una opción viable y gratuita, muy interesante, sobre todo en entornos educativos, donde normalmente es complicado instalar un programa sin el permiso de los administradores. En este trabajo se ha utilizado Gravit designer como programa de vectorización.

3. MATERIALES Y MÉTODOS



3.1 Participantes

La actividad se ha llevado a cabo en el Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife en 4º de la ESO en la asignatura de expresión plástica y visual. Han participado un total de 63 alumnos. Dichos alumnos rellenaron un cuestionario de conocimientos previos para valorar sus nociones sobre las tecnologías a emplear y su conocimiento sobre las tarjetas pop-up. De dicho cuestionario se extrajeron los siguientes datos:

- El 76,19% de los participantes no tiene conocimientos de diseño vectorial.
- El 92,96% no ha utilizado nunca un plotter de corte.
- El 77,77 % no sabe lo que es una tarjeta Popup.

3.2. Hardware y software

Se facilitaron cartulinas blancas, lápices de colores y rotuladores para todo el grupo. El software y el hardware utilizado para la prueba piloto fue el siguiente: Como programa de vectorización, la aplicación gratuita online Gravit designer (<https://designer.gravit.io/>) (fig. 5). Dicha aplicación se utilizó en una sala de ordenadores del instituto con conexión a internet.

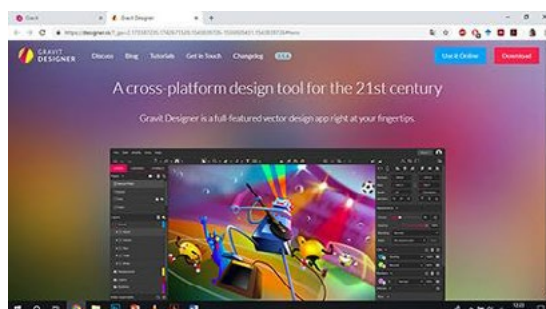


Figura 5: aplicación online Gravit
Fuente: <https://designer.gravit.io/>

Como herramienta digital para automatizar el corte de las cartulinas, se utilizó un plotter de corte de bajo coste de la marca Silhouette Cameo (300 €) con sus accesorios (fig. 6) y el programa gratuito Silhouette Studio 4.1 Basic Edition.



Figura 6: Plotter de corte de bajo coste de la marca Silhouette Studio

3.3 Experiencia realizada

La experiencia realizada consistió en generar tarjetas pop-up de figuras de las películas de Pixar de Toy Story. Esta actividad se enmarca dentro de la asignatura de Educación Plástica, Visual y Audiovisual ya que trabaja los contenidos propios de esta asignatura de acuerdo al currículo de 4º de la ESO. Entre los contenidos de esta asignatura destacan la elaboración imágenes digitales utilizando distintos programas de dibujo por ordenador, el uso de las TIC como medio de ayuda a la creación de proyectos y la utilización de diferentes soportes, materiales y técnicas analógicas y digitales. (Gobierno de Canarias, 2018).

Para la realización de la misma, los participantes, primero buscaban imágenes en internet de Toy Story, vectorizaban los perfiles de las figuras para poder generar una tarjeta pop-up y cortaban la misma mediante el plotter de corte (fig. 7). Por último también se animó a los alumnos a pintar las tarjetas con lápices o rotuladores de colores. La actividad se desarrolló en el colegio durante 4 sesiones lectivas de 55 minutos cada una.

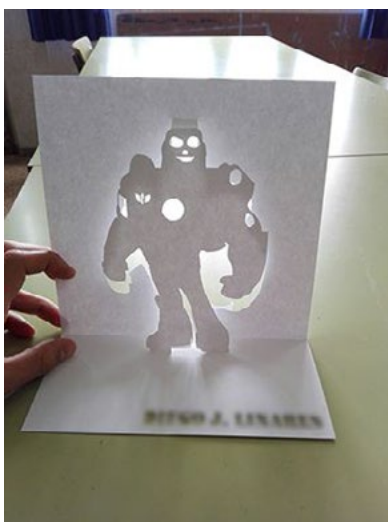


Figura 7: Ejemplo del ejercicio terminado

Para realizar dicha actividad los alumnos eligen una imagen en internet que esté relacionada con el mundo de “Toy Story” y que quieren convertir en una tarjeta pop-up. Trabajando en una sala de ordenadores se conectan al programa online Gravit para vectorizar la imagen elegida. La vectorización consiste en redibujar con la herramienta Path o pluma el contorno de la imagen elegida incluyendo también detalles como ojos, boca, etc. para que el dibujo sea reconocible. Una vez realizado todo el contorno y los detalles se exporta el archivo en formato svg.

A continuación debemos convertir el archivo .svg, en un formato dxf para poder trabajar con él en el plotter de corte. Para este paso se utilizó el programa online y gratuito [convertio vector](https://convertio.co/es/vector-convert/).

Una vez que disponemos del dibujo vectorizado en formato dxf, pasamos ese archivo al ordenador que está conectado al plotter de corte Silhouette. Se importa en el programa Silhouette Studio o se arrastra el archivo a la interfaz del programa. La interfaz del programa muestra el tapete situado sobre una cuadrícula, lo que simula el espacio de corte con dicho tapete. Cuando esté la imagen del vector situada en la interfaz, se modifica el tamaño, se realizan los arreglos necesarios, añadiendo las solapas para convertir el dibujo en un pop-up y se convierten las líneas en líneas punteadas de aquellas partes del vector que no queremos que recorte el plotter porque es donde se realizarán los pliegues. Dichos pliegues permiten luego sacar la tercera dimensión al doblar la tarjeta. Por otro lado, en la actividad, cada alumno añadió su nombre a su tarjeta. Para ello existe la herramienta de texto en el programa, cuyo símbolo es una A mayúscula.

Antes de cortar es necesario preparar los ajustes de corte de la máquina Silhouette Studio 4.1 Basic Edition. En el mismo programa modifican los parámetros necesarios de corte según el material, en este caso, será cartulina. Este material aparece en los parámetros predeterminados de corte y nos indica a qué altura debe estar la cuchilla.

A continuación solo hay que cargar el material en el plotter y enviar el archivo para su corte (fig 8). Para terminar el alumno realiza los dobleces correctos en la cartulina cortada para que sobresalga la forma tridimensional del pop-up.

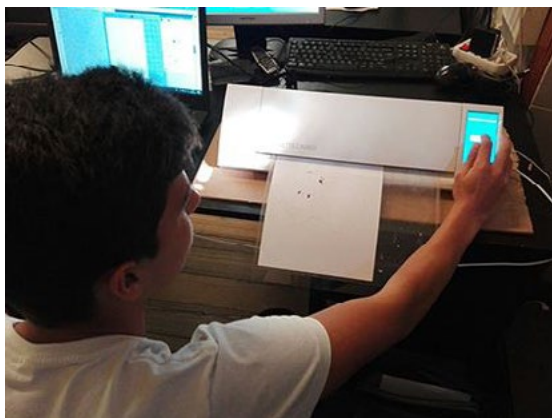


Figura 8: Alumno preparando el plotter de corte para realizar su tarjeta

Por último se realizan los dobleces en las tarjetas pop-up para conseguir la tercera dimensión (fig. 9).



Figura 9: Resultados obtenidos por los alumnos

3.4. Instrumentos de medida

Como instrumento de medida se han utilizado dos cuestionarios de satisfacción. Dichos cuestionarios han sido revisados y validados por cuatro expertos en el campo de las tecnologías de fabricación digital en educación. Se ha utilizado un cuestionario previo a la actividad para valorar la idea inicial que tenían los alumnos sobre la actividad y otro cuestionario posterior para valorar la aceptación de la actividad por parte del alumno. Ambos cuestionarios se valoran según la escala Likert, donde hay cinco opciones de respuesta: nada de acuerdo, poco de acuerdo, de acuerdo, bastante de acuerdo y totalmente de acuerdo. En cada uno de los cuestionarios, y para ver el efecto que tiene la actividad en el aprendizaje de los elementos básicos de esta actividad, se les pregunta si conocen las tecnologías de vectorización, el plotter de corte y las tarjetas pop-up. Dichas preguntas se responden con sí o no.

Las preguntas del Cuestionario previo a la actividad son las siguientes:

- Creo que la vectorización y corte a través de máquinas tiene sentido dentro de mi formación estudiantil.
- Creo que crear tarjetas pop-up en 3D es difícil.
- Prefiero el aprendizaje con medios tradicionales frente a los digitales.
- Los materiales digitales son un buen complemento para mi formación.
- Creo que tengo los conocimientos necesarios para vectorizar.
- El uso de tecnologías de fabricación digital aumenta mi motivación.

Las preguntas del cuestionario posterior a la actividad son las siguientes:

- Me resultó fácil vectorizar imágenes:
- Me siento satisfecho con el resultado obtenido (tarjeta pop-up):
- He aprendido a utilizar nuevas herramientas digitales:
- Prefiero realizar pop-ups utilizando herramientas digitales frente a tradicionales.
- He obtenido la información necesaria para realizar pop-up por cuenta propia.

- Recomendaría la actividad a otras personas.
- Creo que el plotter de corte es muy interesante para realizar trabajos propios.
- Creo que otras asignaturas podrían utilizar las máquinas de corte.

4. RESULTADOS

Cuestionario inicial

De dicho cuestionario se extrajeron los siguientes datos sobre los elementos básicos de esta actividad:

- El 76,19% de los participantes no tiene conocimientos de diseño vectorial.
- El 92,96% no ha utilizado nunca un plotter de corte.
- El 77,77 % no sabe lo que es una tarjeta Popup.

En la tabla 1 se muestran los resultados del cuestionario de satisfacción previo a la actividad:

Tabla 1: Resultados del cuestionario de satisfacción previo

	Pregunta	Media (Des est.)
1	Creo que la vectorización y corte a través de máquinas tiene sentido dentro de mi formación.	2,33 (1,28)
2	Creo que crear tarjetas pop-up en 3D es difícil.	3,95 (0,89)
3	Prefiero el aprendizaje con medios tradicionales frente a los digitales	2,33 (1,06)
4	Los materiales digitales son un buen complemento para mi formación.	3,29 (1,11)
5	Creo que tengo los conocimientos necesarios para vectorizar.	3,63 (1,05)
6	El uso de tecnologías de fabricación digital aumenta mi motivación.	3,52 (1,03)

Cuestionario posterior

De dicho cuestionario se extrajeron los siguientes datos sobre los elementos básicos posteriores a la realización de esta actividad:

- El 96.80% de los participantes ha aprendido a realizar diseño vectorial.
- El 87,50% ha aprendido a manejar el plotter de corte.
- El 87,50 % ha aprendido el concepto y a crear una tarjeta Popup.

En la tabla 2 se muestran los resultados del cuestionario de satisfacción después de realizar la actividad:

Tabla 2: Resultados del cuestionario de satisfacción posterior

Pregunta	Media (Des est.)
1 Me resultó fácil vectorizar imágenes	3,84 (1,05)
2 Me siento satisfecho con el resultado obtenido (tarjeta pop-up).	3,84 (1,02)
3 He aprendido a utilizar nuevas herramientas digitales	4,00 (0,84)
4 Prefiero realizar pop-ups utilizando herramientas digitales frente a tradicionales	3,97 (0,86)
5 He obtenido la información necesaria para realizar pop-up por cuenta propia	4,13 (0,71)
6 Recomendaría la actividad a otras personas	4,13 (0,71)
7 Creo que el plotter de corte es muy interesante para realizar trabajos propios	3,75 (0,88)
8 Creo que otras asignaturas podrían utilizar las máquinas de corte	3,59 (0,98)

5. CONCLUSIONES

Los resultados en la experiencia demuestran que la fabricación digital mediante plotter de corte y el diseño vectorial mediante programas digitales online resultan viables en educación secundaria sin necesidad de crear un Fab Lab (laboratorio de fabricación digital) en el centro educativo. El plotter utilizado que dispone de un maletín con ruedas resulta muy cómodo para desplazarse. Por otro lado, respecto a la dificultad y fiabilidad de esta herramienta, podemos afirmar que el plotter de corte de la marca Silhouette Cameo 2 ha funcionado correctamente sin generar problemas ni a los alumnos ni al profesor, ya que en torno a las 100 cortes realizadas (entre pruebas previas, ejercicio y errores), no produjo ningún fallo propio de la máquina. Los problemas que se detectaron estaban relacionados con los materiales adicionales, como el tapete y el desgaste de la cuchilla. Por lo tanto, tanto su precio como su funcionamiento es óptimo para el trabajo en centros educativos.

La actividad realizada en el marco de la asignatura de Educación Plástica, Visual y Audiovisual trabaja los contenidos propios de esta asignatura como por ejemplo el uso de las TIC como medio de ayuda a la creación de proyectos. La utilización de diferentes soportes, materiales y técnicas analógicas y digitales. Y la elaboración imágenes digitales utilizando distintos programas de dibujo por ordenador. Por lo tanto es una actividad que encaja a la perfección en la asignatura y trabaja varios contenidos.

Aunque la actividad se puede desarrollar también con herramientas manuales como tijeras y cutter, destacamos el uso de las nuevas tecnologías en el aula para fomentar la competencia digital entre los alumnos.



De acuerdo a los resultados del cuestionario previo y posterior, podemos concluir que introducir la vectorización y corte permite trabajar las competencias digitales en la asignatura de expresión plástica y visual y genera satisfacción entre los participantes. Los estudiantes manifiestan no solo que han aprendido nuevas herramientas digitales (4/5) sino que se recomendarían las tecnologías de corte para otras asignaturas (3,59/5). Además, los alumnos manifiestan que se sientan satisfechos con el resultado obtenido (3,84/5).

Al comparar los resultados del cuestionario inicial con el posterior a la actividad podemos concluir que los participantes han aprendido a realizar dibujos vectoriales y manifiestan que además han aprendido a manejar el plotter de corte. Para ello han aprendido el concepto de tarjeta pop-up y así como su proceso de creación.

Respecto al uso de tecnologías digitales, se observa que entre los estudiantes aumentó la preferencia de aprender con métodos digitales frente a los tradicionales (2,33 en el cuestionario inicial frente a 3,97 en el posterior). Además los alumnos opinan que han recibido los conocimientos necesarios para realizar un trabajo de vectorización de forma autónoma (4,13 sobre 5) y además recomendarían la actividad a otras personas (4,13 sobre 5).

El trabajo de las tarjetas pop-up ofrece múltiples opciones y temáticas. En este trabajo se ha restringido la forma y el pliegue frontal para cada uno, variando solo el contenido o la imagen de la tarjeta. Para futuras actividades, los pliegues pueden variar al igual que el tipo de corte. También se propone ampliar las líneas temáticas para usar la creación de pop-ups mediante plotter de corte en ámbitos de patrimonio, realizando el trabajo sobre diferentes edificios relevantes, realizar trabajos sobre esculturas, etc. Por otro lado se plantea estudiar, si este tipo de ejercicios estimula la creatividad y la motivación de los participantes.

6. REFERENCIAS

- Alvarado, R. G. (2012). Fabricación digital de modelos constructivos: análisis de equipos y procesos. *Revista Facultad de Ingeniería*(59), 145-157.
- Blees, M., Barnard, A., Rose, P., Roberts, S., McGill, K., Huang, P., . . . McEuen, P. (2015). Graphene kirigami. *Nature*(524(7564)), 204–207. doi:<https://doi.org/10.1038/nature14588>
- BOC. (13 de Julio de 2016). DISPOSICIONES GENERALES - Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento. *Boletín Oficial de Canarias núm. 134*. Canarias, España. Obtenido de <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2016/134/003.html>
- Bonnet de León, A., Meier, C., Saorín, J., de la Torre-Cantero, J., & Carbonell, C. (2017). Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa. *Arte, Individuo y Sociedad*, 29(1), 85-100. doi:<http://dx.doi.org/10.5209/ARIS.51886>



- Bromberg, H. M. (1995). *Washington Patente nº 5,450,680*.
- Carter, D., & Díaz, J. (1999). *The elements of pop-up: A pop-up book for aspiring paper engineers*. United States: Little Simon.
- Castillo Cordova, L. (2016). Kirigami y habilidades creativas en estudiantes de las facultades de educación. *tesis*. Huancayo, Perú: Universidad nacional del centro de Perú.
- de la Torre-Cantero, J., Saorín, J., Meier, C., Melián Díaz, D., & Alemán, M. (2015). Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 27(3), 427-444.
- Europa Press. (30 de 11 de 2018). *Los centros gallegos contarán el curso que viene con un Bachillerato de excelencia en ciencias y tecnologías*. Obtenido de <https://www.europapress.es/galicia/noticia-centros-gallegos-contaran-curso-viene-bachillerato-excelencia-ciencias-tecnologias-20180611164944.html>
- Freeman, A., Becker, S., & Cummins, M. (2017). *NMC/CoSN Horizon Report: K-12 Edition*. United States: The New Media Consortium.
- García Cuéllar, D. J., Flores Salazar, J. V., & Martínez Miraval, M. (2017). Génesis instrumental de la noción de fractal en docentes de matemáticas de nivel secundario. *VIII CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA. LIBRO DE ACTAS* (págs. 455-463). Madrid: FESPM.
- Glassner, A. (2002). Interactive pop-up card design. *IEEE Computer Graphics and Applications* (págs. 22(1), 79-86). IEEE. doi:DOI: 10.1109/38.974521
- Gobierno de Canarias. (30 de 11 de 2018). *Consejería de Educación y Universidades*. Obtenido de Programa STEAM: Fomento de Vocaciones Científicas y Creatividad: <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/web/programas-redes-educativas/programas-educativos/steam/>
- Gobierno de Canarias. (2018). *Currículos de las materias de la Educación Secundaria Obligatoria*. Canarias: Consejería de educación y Universidades. Obtenido de http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/web/secundaria/informacion/ordenacion-curriculo/curriculos_eso_lomce.html
- Harquail, N., Allen, M., & Whiting, E. (2016). Foldlings: a tool for interactive pop-up card design. *Eurographics Workshop on Graphics for Digital Fabrication* (págs. 31-38). Lisbon: Eurographics Association.
- Isobe, M., & Okumura, K. (2016). Initial rigid response and softening transition of highly stretchable kirigami sheet materials. *Scientific reports*(6, 24758). doi:<https://doi.org/10.1038/srep24758>



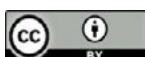
- Jablonski, R. (1976). *The paper cut-out design book: a sourcebook for creating and adapting the heritage of American folk art, Polish wycinanki, Chinese hua yang, Japanese kirigami, German Scherenschnitte, and others*. Owings Mills: Stemmer House.
- Kalpajian, S., & Schmid, S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación.
- Liang, Y. (2013). Applying kirigami models in teaching micro-electro-mechanical systems. *3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference* (págs. 83-86). Santa Clara, California: IEEE. doi:<https://doi.org/10.1109/IEDEC.2013.6526765>
- McCormick, C., & White, K. (2011). *Folklore: EL (Vol. 2)*. California: ABC-CLIO.
- Monteiro Kobayashi, M., & Ueno Yamada, T. (2013). Origami e kirigami: arte e cultura como recurso lúdico e educativo. *Revista Ciência em Extensão*, 9(3), 148-158.
- Nogueira Valente, V., & Yukari Ota, C. (2015). The art of origami, kirigami and origamic architecture helping improve the spatial abilities. *VIII World Congress on Communication and Arts* (págs. 279-283). Salvador, Brasil: COPEC.
- Okamura, S., & Igarashi, T. (2009). An interface for assisting the design and production of pop-up card. *International Symposium on Smart Graphics* (págs. 68-78). Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-02115-2_6
- Romero Velasco, O., & Tovar Cifuentes, A. (2018). Herramienta Didáctica Basada en Kirigami para Contribuir en el Desarrollo del Pensamiento Creativo, Implementada en Estudiantes de Grado Décimo de una Institución Educativa Distrital. *Tesis*. Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas.
- Saorín, J., Bonnet de León, A., Meier, C., & de la Torre-Cantero, J. (2018). Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 30(2), 295-309. doi:<http://dx.doi.org/10.5209/ARIS.56796>
- Saorín, J., de la Torre-Cantero, J., Bonnet de León, A., & Meier, C. (2016). Creación de objetos tridimensionales de cartón mediante tecnologías de bajo coste como alternativa a la impresión 3D en entornos educativos. *Comunicación y pedagogía: Nuevas tecnologías y recursos didácticos*, (291), 18-23.
- Sareh, S., & Rossiter, J. (2012). Kirigami artificial muscles with complex biologically inspired morphologies. *Smart Materials and Structures*, 22(1)(014004). doi:<https://doi.org/10.1088/0964-1726/22/1/014004>
- Sen, K. C. (1721). *Wakoku Chiyekurabe (Mathematical Contests)*. Japan: http://theory.lcs.mit.edu/~edemaine/foldcut/sen_book.html.



- Shyu, T., Damasceno, P., Dodd, P., Lamoureux, A., Xu, L., Shlian, M., . . . Kotov, N. (2015). A kirigami approach to engineering elasticity in nanocomposites through patterned defects. *Nature Materials*, 14, 785–789. doi:<https://doi.org/10.1038/nmat4327>
- Temko, F. (1962). *Kirigami: The Creative Art of Paper Cutting*. New York: Platt & Munk.
- Vyzoviti, S. (2006). *Supersurfaces: Folding as a method of generating forms for architecture, products and fashion*. Bis Pub.

Para referenciar este artículo:

Bonnet de León, A., Saorin, J., de la Torre-Cantero, J., Meier, C., & García Marrero, E. (2019). Diseño y fabricación digital de tarjetas pop-ups en entornos educativos mediante tecnologías de bajo coste. *EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa*, (67), 48-65. <https://doi.org/10.21556/edutec.2019.67.1261>



8.

**The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting
plotter to create pop-up cards in educational environments**
(Aceptado, pendiente de publicación)

International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)

Base de Datos: Scopus, Emerging source Citation Index incluido en la Web of Science (WOS)
Indice de Impacto: SJR (2017): 0,218

José Luis Saorín, Cecile Meier, Alejandro Bonnet de León, Jorge de la Torre Cantero, Eliseo García
Marrero

8.

International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)

The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments

(Aceptado, pendiente de publicación)

- Fuente de impacto: [Scopus](#)
- Índice de impacto: SJR (0.218)
- Posición de publicación: 691

- Categoría: Education
- Revista dentro del 25%: No
- Núm. revistas en cat.: 1025



The classroom as a makerspace: Use of tablets and cutting plotter to create pop-up cards in educational environments

Things You Need to Know for the Preparation of Your Paper for One of Our Journals

<https://doi.org/10.3991/ijxx.vx.ix.xxxx>

Alejandro Bonnet de León
Department of education

Jose Luis Saorin
Area of engineering graphics

Jorge de la Torre-Cantero
Area of engineering graphics

Cecile Meier (✉)
Department of fine Arts
cemeier@ull.edu.es

Eliseo García Marrero
Department of education

University of La Laguna, Tenerife, Spain

Abstract—In some classrooms the use of digital tablets for students is already standardized and is integrated into the teaching-learning process of the school. On the other hand, the use of cutting plotters is not common, although they are low-cost, easy to use and transportable devices. These machines are usually found in digital fabrication spaces such as Makerspaces, Fab labs, etc. However, it is interesting to introduce these technologies in traditional classrooms. This article describes an experience carried out at Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife in the 3rd year of secondary school in the subject of plastic, visual and audiovisual expression, in which an activity of design and creation of pop-up cards has been carried out. This activity is made in many subjects in order to develop creativity or to understand three-dimensional concepts (mathematics, plastic, etc.). This activity involves cutting and folding paper that is usually done with scissors or cutter. It is proposed to digitalize this activity by means of digital tablets and portable cutting plotters. At the end of the activity, all the students were able to make their pop-up card using the proposed technologies and felt able to carry out the work autonomously.

Keywords—Makerspace, education, pop-up, cutting plotter, vectorization

1 Introduction

From 2013 it is already indicated that digital tablets will be technologies that will have an impact on education in the coming years. Digital tablets and mobile devices are used by 83 % of children at the age of 14 [1]. One of the most extensive tablet studies "The iPad as a tool for education - a case study" [2] demonstrates the significant and very positive impact on students' teaching and learning. Digital tablets, due to their portability and autonomy, allow any classroom to be converted into a digital space and are positively accepted by actual students (digital natives) without any problem [3].

Digital manufacturing technologies include the process of creating, editing and managing digital files [4]. Until a few years ago, all these processes required specialized training, usually in the fields of engineering and architecture. However, with the evolution of software and hardware, these technologies have become accessible, both economically and in terms of training, so that processes linked to digital manufacturing can be carried out easily [5]. Therefore, the incorporation of these technologies in educational environments is a viable option [6].

Within the different international reports on education there is a specific one on technologies that has become a reference: the "Horizon Report". In this report, specifically the one analyzing new technologies in secondary and high school, the creation of digital manufacturing laboratories (also known as Fablabs or Makerspaces) has been included since 2015 and is expected to be a reality for less than a year [7]. As the report also points out, its implementation in primary and secondary schools is already a reality in cases such as Frysklab, the creative workshop of the Fryslan municipal library (Holland), the Makerspace of the Sierra Vista Secondary School of La Puente, in California, or the Secondary School of Monticello, in Charlottesville, Virginia, providing workspaces for technological research with tangible benefits such as reduced absenteeism from school, improvement in subjects such as mathematics or interest in science or engineering careers, based on the use of digital manufacturing tools. In Spain, Galicia will implement next year the first Bachillerato STEMBach (of excellence in sciences and technologies) that include Maker spaces [8].

The learning of digital design and manufacturing is also beginning to be recognized in official bodies. For example, at a local level, the Department of Economy, Industry, Commerce and Knowledge of the Canary Islands Government, in July 2016, in its call for grants aimed at improving the digital skills of the population living in the Canary Islands, includes design, modelling and digital manufacturing among the three themes of the call [9]. As a result of this initiative, the Ministry of Education in the Canary Islands has created the program "STEAM for the promotion of scientific vocations and creativity". This program includes training activities, linked to design and digital manufacturing, aimed at secondary and high school education. Specifically, two Fab Labs have been created in 2018, one in the Teacher Training Centre in La Laguna and the other in Las Palmas de Gran Canaria, and the intention is to create another eight, spread

over the seven islands. In addition, this program is supporting the creation of Makerspaces in secondary schools. To carry out educational projects, manufacturing machinery such as 3D printers and laser cutting machines are available in these laboratories [10]. They are equipped with tools used for the exportation of models to 3D printers or with tools which can calculate the tool path which will be engraved in a CNC machine in wood, metal, methacrylate or any other material, so as to obtain a physical and tangible object of the 3D model designed by the computer [11].

However, despite these advances, it is still difficult to have a digital manufacturing laboratory or maker classroom in the school itself [12]. Due to this, it is interesting to propose activities that introduce digital manufacturing in any space. In the educational environment, there are centers that have implemented 3D printers in the classroom and research into the scope that this digital manufacturing tool has on students [13]. Although the results are acceptable, the work times of 3D printers tend to exceed the time available in ordinary sessions during school hours.

In this sense, manufacturing using cutting machines can be an alternative to avoid the problems of excessive time required by 3D printers. Although this manufacturing process is not exactly the same as 3D printing, it may be a more feasible option in terms of the time needed to make large pieces or a larger number of them.

The construction of parts using cutting machines (milling machine, laser cutting machine and cutting plotter) is much faster but there is not much history of its use in educational environments such as high school. This is mainly due to its high cost, noise or dangerousness. However, the technological advances are allowing to solve these inconveniences and therefore, you can begin to design automated manufacturing activities by cutting in traditional classrooms with these tools. This article discusses a low-cost digital design and manufacturing activity that uses free applications on mobile devices to facilitate ubiquitous learning and a low-cost portable cutting plotter that allows the experiences of digital manufacturing labs to be transferred to any educational space.

The proposed activity consists of the production of pop-up cards by students, using a cutting plotter and vector drawing applications for digital tablets. Pop-up cards are foldable cards that generate three-dimensional shapes when opened. A pilot test has been developed with 72 students from the 3rd year of Secondary school of the Colegio San Isidro, Salesianos in La Orotava, within the framework of the subject of plastic, visual and audiovisual expression, in which these technologies have been incorporated. The results in the experience show that the digital manufacture by cutting plotter and the vectorial design by means of applications in digital tablets are viable in secondary education and are valued in a positive way by the students.

2 Background

2.1 Activities Trimmed paper (kirigami) in school environments

The creation of pop-up cards enters the field of kirigami. The term kirigami derives from the Japanese words KIRU (cut) and KAMI (paper). There are many forms of kirigami, but the most widespread is the one that folds a paper in half, cuts a shape and

generates a three-dimensional piece when opened [14]. This technique is also known as pop-up [15, 16].

Like paper, it is estimated that Kirigami was born in China and was used in everyday life as festive decorations or as religious motifs, but some of these designs were also used as patterns to make decorations in fabrics and ceramics expressing moral principles, philosophies and aesthetic ideals [17]. The oldest example of this surviving activity is a symmetrical circle, found in Xinjiang, China, dating from the 11th century [18]. This was also initially a knowledge that was transmitted orally until, in 1721, the first published reference on folding and cutting paper appears in a Japanese book by Kan Chu Sen [19].

Kirigami has traditionally been used as a decorative or entertainment technique. However, it is also used in architectural design [20], applications of kirigami have been found in the creation of solid structures at the micro-scale and metamaterials with graphene [21]. Other researches produce kirigami nanocomposites as plasma electrodes that open up a wide range of technological solutions for electronic devices [22]. The elasticity of materials is also tested, for example in batteries, using Kirigami techniques [23]. Even artificial muscles are created by the Kirigami design [24].

In the educational context, paper is cut and folded as usual. Monteiro Kobayashi and Ueno Yamada [25] present the use of origami and kirigami in a course that aimed to use these techniques as a recreational and educational resource, while seeking to introduce cultural aspects of the art of folding and cutting paper. Other research aims to increase spatial visualization skills through origami, kirigami and origamic architecture [26]. It is also used to learn fractals (fig. 1) in mathematics [27], to improve creative skills [28], to encourage creative thinking [29], to teach micro electromechanical systems [30], etc.

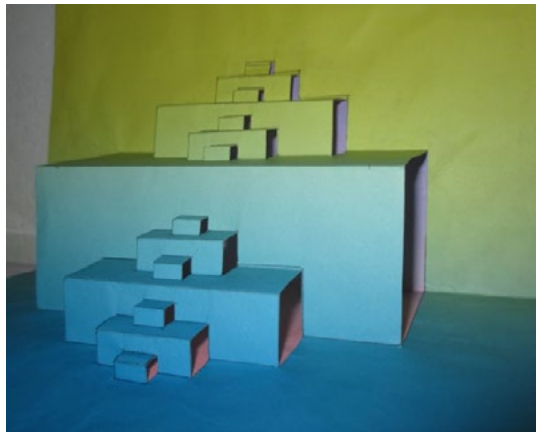


Figure 1: Fractal Kirigami
Source: Wikimedia commons

In recent years there have been multiple applications and programs that create pop-ups automatically using computer tools [31, 32, 33], however, in the activity described

in this article the card designs were made without using automated composition processes, so that students would understand the principles of pop-up. For this purpose, vector drawing applications are used on mobile devices. Vector drawing is a format that is compatible with cutting machines.

2.2 Cutting machines in school environments

Traditionally, colored papers, templates, folding bones and cutting tools such as scissors, cutters, knives, cutting shears, magnetic cutting bases, special knives, guillotines, etc. are used to make pop-up figures. Today there are digital cutting machines that can replace these tools. Within digital manufacturing there are two constructive forms: through the addition of material, known as additive manufacturing and the second through the suppression of the material or subtractive manufacturing. Each of the two has different shapes and variants, depending on the work being done. In educational environments, the best-known form of digital manufacturing are 3D printers. However, there are subtractive digital manufacturing techniques using cutting machines. Among the cutting devices are laser cutting machines, CNC milling machines or cutting plotters. These technologies have become cheaper in recent years, appearing economic options aimed at non-professional users that allow their integration in educational contexts [34].

With respect to the first of the cutting technologies, the milling machines, are machines that work in a mechanized way, cutting the material by means of the movement and rotation of a milling cutter. It has the capacity to cut, rough, file and sharpen materials of great thickness and hardness such as wood, metals, etc., depending on the specifications of each brand. Numerical control milling and cutting technology has also experienced a phenomenon similar to laser cutting tools with the emergence of affordable, personal fabrication oriented options. However, these machines have some drawbacks when it comes to introducing them in educational environments, such as the high level of noise and dust they produce as well as the need for specific training for handling digital files and selection of cutting parameters. In spite of this, didactic and hobby-oriented models are emerging that are increasingly reducing this type of inconvenience. Among these models we can find proposals such as "Carbide 3D", "Carvey", "Mill-Right CNC", "X-Carve" or "Stepcraft" (fig. 2a).

The second of these technologies, although there are "desktop" laser cutting machines aimed at personal manufacture, their use in educational environments involves certain dangers arising from the laser head and the emanation of gases depending on the material being cut, which require the use of an air filter. However, some of these machines are used in secondary schools in specific makerspaces or fab labs. These laboratories, with people trained in the use of digital manufacturing technologies have the ability to integrate laser cutting machines at prices ranging from 600 to 5000 euros, something unthinkable just two years ago. In this price range are the following tools "FABOOL Laser Mini" (fig. 2b), "Mr Beam", "Full Spectrum Laser Hobby Series" or "Glowforce".



Figure 2a: Hobby-oriented milling machine: Stepcraft 420

Figure 2b: Desktop laser cutting machine: FABOOL Laser Mini

Source: <https://www.smartdiys.cc/products/fabool-laser-mini>

Another digital manufacturing technology is the cutting plotter. This type of machine has a head with a blade that moves over the surface of the material to be cut or die-cut. On a professional level it is usually used in the graphic industry and the material most commonly used is vinyl, although there is the possibility of doing so with a wide variety of materials. For a price between 1000 and 2000 euros, you can buy a cutting plotter with professional characteristics. However, for about 250 euros, there are cutting plotters that can be purchased in paper shops oriented to the phenomenon of scrapbooking (personalization of albums by cut-outs). These machines, not much larger than a paper printer, are easy to operate and can cut a wide variety of materials such as paper, cardboard, cloth, eva rubber, etc. and are perfectly compatible with most computers and image files with which you usually work in school environments. Among these devices we can find models such as Cameo and Curio from the company Silhouette, the Cricut, the Stika series from the company Roland, or ScanNcut from Brother among others. Some of them are sold with a transport bag with wheels that allows you to move them very comfortably (fig. 3).



Figure 3: Portable Cutting plotter

In the field of education, tools are valued that are simple to operate, do not require a complex installation, can be transported easily, do not produce waste and are affordable. In this sense, as we have seen, the best alternative among cutting machines is the low-cost cutting plotter. This tool is useful for cutting elements of small and medium thickness, from paper, cardboard, eva foam, acetate, etc. It cuts at a higher speed than by hand, generates little noise, does not release traces of material in the form of toxic waste or fumes and is not dangerous to use. Taking into account these characteristics, it is postulated as a suitable tool for use in school environments. The cuts produced with the plotter are related to the same processes that can be carried out with a cutter or scissors, but the digital result is usually more precise and faster.

2.3 Digital design of the Pop-up cards

To be able to cut with a cutting plotter, laser cutter or milling machine it is necessary to have a digital file that can be interpreted by the machine. These files are generally known as vector drawings. These are formed by geometric objects such as points, segments, polygons, arcs or lines. Each of them has mathematical properties of form, position, etc. that can be read by numerical control machines [35]. The usual vector graphics formats are svg (scalable vector graphic) or dxf (Drawing Exchange Format), so when exporting a file these extensions will be used. Some programs or applications do not allow export in these formats so it is necessary to use a program to change it. Currently there are several free online resources to perform this action, such as *convertio*, *cloudconvert*, *aconvert*, etc.

Vectorization is worked in many artistic disciplines such as design or illustration. There are a series of programs, applications, etc. that allow vector drawing. They are divided into computer programs, applications for devices such as tablets or mobiles and online programs that normally work on various devices. Some programs allow manual vectorization and others do it automatically from an image or photograph. The programs that are to download and install on computers such as *Illustrator* or *Autocad* are usually the most powerful to work, but are complicated to learn, require an installation and can involve a large cost.

Another option are online programs, which minimize some of the problems seen above. These programs do not require installation since they work online, and although they do not have all the functions of professional programs such as *Illustrator*, they allow a basic vectorization in a very simple and intuitive way. Among these online programs, we can highlight *Gravit designer*, *Vecteezy Editor* or *Vectr*. Being online, they require continuous connection to the Internet, but are a viable and free option, very interesting, especially in educational environments, where it is usually difficult to install a program without the permission of administrators. However, you usually need a computer room to work with these programs because on mobile devices they work with difficulty.

To work with mobile devices such as Smartphones or digital tablets there are applications such as Skedio, Vector Art Studio or Imaengine Vector that are free and downloadable. They allow to work the vectorization in an efficient way, being an interesting alternative to the online or computer programs, since they do not need a continuous connection to Internet and they are very suitable for beginners.

3 Materials and methods

3.1 Participants

The activity has been carried out at Colegio San Isidro, Los Salesianos de la Orotava, Tenerife in 3rd year of secondary school in the subject of plastic and visual expression. A total of 72 students participated. These students completed a previous knowledge questionnaire to assess their notions about the technologies to be used and their knowledge about pop-up cards. The following data were extracted from this questionnaire:

- 87.50% of the participants had no knowledge of vector design.
- 97.22% have never used a cutting plotter.
- 79.17% do not know what a Pop-up card is.

3.2 Hardware and Software

This activity was performed with ipads and two vector drawing apps. Because the center distributes a tablet for each student, and its use is integrated into the learning and teaching process of the center, the realization of this practice was possible in a classroom without computer equipment.

Coloured cards were provided for the whole group. The software and hardware used for the pilot test was as follows: For the vector drawing the Adobe Draw application was used and the Imaengine Vector application for Ipad and Iphone, which allows the possibility of importing images in various image formats, such as jpg. and export in svg. Which is compatible with the cutting plotter. The main tool that interests us for the activity is the vector pen and this app has it, its operation is simple and functional. It allows to make straight lines and vectorized curves, making use of fingers or a specific stylus.

A low-cost portable Silhouette Cameo cutting plotter (300 €) with its accessories and the free Silhouette Studio 4.1 Basic Edition were used as a digital tool to automate the cutting of cardboards (fig. 4).



Figura 4: Low-cost portable cutting plotte from Silhouette Cameo

3.3 Experience carried out

The experience consisted of generating pop-up cards related to the color learning situation, in the part of the representation of symbols with colors. To do this, each student chooses a color and then searches for an image of an object that represents that color.

The experience consisted in generating pop-up cards related to the chromatic circle and the symbols that represent the different colors using the new technologies. This activity is framed within the subject of Plastic, Visual and Audiovisual Education since it works with the contents of this subject according to the curriculum of the 3rd year of secondary education. Among the contents of this subject stands out the accomplishment of compositions, abstract or figurative, with different graphical techniques and with the use of the TIC when it is necessary, to express sensations by means of the use of the color, valuing the expressive capacity of these elements (Government of Canary Islands, 2018).

In order to carry out the activity, the image chosen by each student must be simplified. To do this, it is imported into the Adobe Draw application and modified to obtain a simple symbol. This symbol is saved and imported into the Imaegine Vector application where the pen tool is selected to automatically vectorize the image (fig. 5).

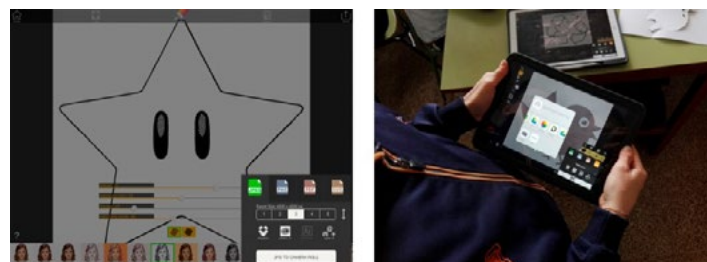


Figure 5: Application Imaegine Vector for vectorize an image

Once all the outline and details are done, the file is exported in .svg format. Next, we must convert the .svg file into a dxf format in order to be able to work with it in the cutting plotter. For this step we used the program online and free convertio vector <https://convertio.co/es/vector-converter/>.

Once we have the vector drawing in dxf format, we pass that file to the computer that is connected to the Silhouette cutting plotter. Import it into the Silhouette Studio program or drag the file into the program's interface. The program interface shows the mat located on a grid, which simulates the cutting space with that mat. When the image of the vector is located in the interface, the size is modified, the necessary arrangements are made, adding the flaps to turn the drawing into a pop-up and the lines are converted into dotted lines of those parts of the vector that we don't want the plotter to cut because that's where the folds will be made (fig 6a). These folds allow the third dimension to be taken out when folding the card.

Before cutting it is necessary to prepare the cutting settings of the Silhouette Studio 4.1 Basic Edition machine. In the same program they modify the necessary parameters of cut according to the material, in this case, it will be cardboard. This material appears in the predetermined cutting parameters and tells us at what height the blade should be. Then you just have to load the material into the plotter and send the file for cutting (fig 6b). To finish, the student makes the correct folds in the cut cardboard so that the three-dimensional shape of the pop-up stands out.

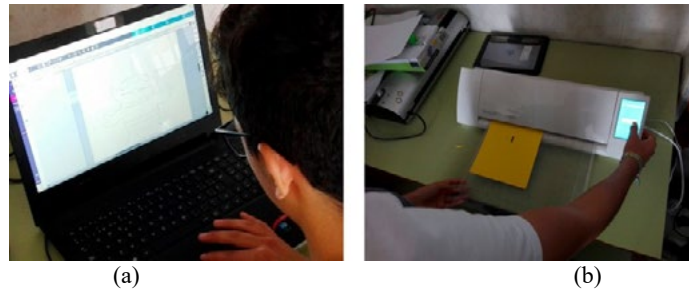


Figure 6a: Student preparing the cutting settings of the Silhouette Studio 4.1 Basic Edition
Figure 6b: Student loading the material into the plotter and send the file for cutting

Finally, the pop-up cards are folded to achieve the third dimension (fig. 7).

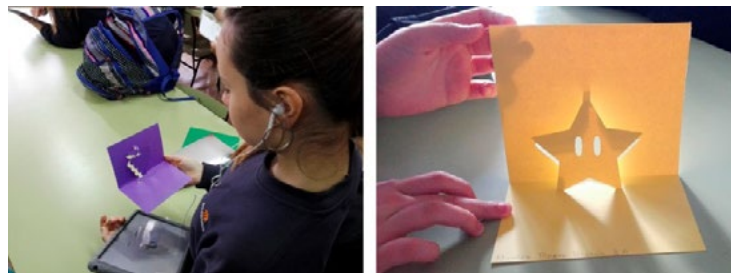


Figure 7: Results obtained by the students

3.4 Measuring instruments

Two satisfaction questionnaires were used as a measuring instrument. A questionnaire prior to the activity to assess the initial idea that the students had about the activity and a subsequent questionnaire to assess the acceptance of the activity on the part of the student. Both questionnaires are valued according to the Likert scale, where there are five answer options: no agreement, little agreement, agreement, agreement enough, agreement enough and total agreement. In each of the questionnaires, and in order to see the effect that the activity has on the learning of the basic elements of this activity, they are asked if they know the vectorisation technologies, the cutting plotter and the pop-up cards. These questions are answered with yes or no.

The pre-activity Questionnaire questions are as follows:

- I believe that vectorization and cutting through machines makes sense within my student training.
- I think creating 3D pop-up cards is difficult.
- I prefer learning with traditional media over digital ones.
- Digital materials are a good complement to my training.
- I think I have the knowledge to vectorize.
- The use of digital manufacturing technologies increases my motivation.

The questions in the post-activity questionnaire are as follows:

- I found it easy to vectorize images:
- I am satisfied with the result (pop-up card):
- I learned to use new digital tools:
- I prefer to make pop-ups using digital tools rather than traditional ones.
- I have obtained the necessary information to make pop-up on my own.
- I would recommend the activity to others.
- I think the cutter is very interesting for my own work.
- I think that other subjects could use the cutting machines

4 RESULTS

Initial Questionnaire:

The following data on the basic elements of this activity were extracted from this questionnaire:

- 87.50% of the participants have no knowledge of vector design.
- 97.22% have never used a cutting plotter.
- 79.17% do not know what a Pop-up card is.

Table 1 shows the results of the pre-activity satisfaction questionnaire:

Table 1: Results of the previous satisfaction questionnaire		
	Question	Mean (St.dev)
1	I believe that vectorization and cutting through machines makes sense within my training.	2.97 (0.60)
2	I think creating 3D pop-up cards is difficult.	3.03 (0.77)
3	prefer traditional to digital learning	2.53 (1.19)
4	Digital materials are a good complement to my training.	3.79 (0.92)
5	I think I have the necessary knowledge to vectorize.	2.32 (0.95)
6	The use of digital manufacturing technologies increases my motivation.	3.78 (0.86)

Post Questionnaire:

From this questionnaire, the following data were extracted on the basic elements subsequent to the carrying out of this activity:

- 100% of the participants have learned to carry out vector design. They know how to handle the cutting plotter and have learned the concept and how to create a pop-up card.

Table 2 shows the results of the satisfaction questionnaire after the activity:

Table 2: Results of the post satisfaction questionnaire		
	Question	Mean (St.dev)
1	I found it easy to vectorize images	4.03 (1.02)
2	I am satisfied with the result obtained (pop-up card).	4.55 (0.83)
3	I have learned to use new digital tools	4.48 (0.63)
4	I prefer to make pop-ups using digital tools as opposed to traditional	4.03 (0.87)
5	I have obtained the necessary information to perform pop-up on my own	3.93 (0.88)
6	I would recommend the activity to others	4.28 (0.84)
7	I think the cutting plotter is very interesting to make your own work	4.38 (0.82)
8	I think other subjects could use the cutting machines	4.31 (0.60)

5 Conclusions

The results in experience show that digital manufacturing using cutting plotter and vector design using applications on mobile devices are feasible in secondary education without the need to create a Fab Lab (digital manufacturing laboratory) in the school. Therefore, it may be a good strategy to create some well-equipped regional fablabs and to complement each school with digital manufacturing activities with portable machines such as tablets and cutting plotters.

The plotter used that has a case with wheels is very comfortable to move. On the other hand, regarding the difficulty and reliability of this tool, we can say that the cutting plotter Silhouette Cameo 2 brand has worked properly without causing problems to students or teacher, because around 100 cuts made (between previous tests, exercise and errors), did not produce any failure of the machine itself. The problems detected were related to the additional materials, such as the mat and the wear of the blade. Therefore, both its price and its operation is optimal for work in schools.

The activity carried out within the framework of the subject of Plastic, Visual and Audiovisual Education works with the contents of this subject such as the making of compositions, abstract or figurative, with different graphic techniques and with the use of ICT when necessary, to express sensations through the use of color, valuing the expressive capacity of these elements. Therefore, it is an activity that fits perfectly in the subject and works several contents.

Before carrying out the activity, the students did not associate this type of exercise (vectorization and cutting) with the contents of the subject (2.97/5). However, once the activity was finished, the students not only stated that they had learned new digital tools (4.48/5) but also that they would recommend cutting technologies for other subjects (4.31/5). In addition, students reported that they were very satisfied with the result obtained (4.55/5).

When comparing the results of the initial questionnaire with the post-activity questionnaire on the basic elements following the completion of this activity, the following is obtained:

Although 87.50% of the participants had no knowledge of vector design, 100% learned to make vector drawings at the end of the activity. 97.22% of the students had never used a cutting plotter, however at the end of the activity 100% of the participants said that they had learned to use the cutting plotter. Although 79.17% of the participants did not know what a pop-up card was, 100% learned the concept and how to create a Pop-up card.

Regarding the use of digital technologies, it is observed that among the students the preference for learning with digital methods increased over traditional methods (2.53 in the initial questionnaire versus 4.03 in the later one). In addition, the students think that they have received the necessary knowledge to carry out the work autonomously (3.93 out of 5) and would also recommend the activity to other people (4.28 out of 5).

The work of the pop-up cards offers multiple options and themes. In this work, the form and the front fold for each one has been restricted, varying only the content or the image of the card. For future activities, the folds may vary as well as the type of cut.

6 References

- [1] G. Cánovas, A. García de Pablo, A. Oliaga San Atilano y I. Aboy Ferrer, «Menores de Edad y Conectividad Móvil en España: Tablets y Smartphones,» Protegeles, España, 2014.
- [2] P. Heinrich, *The iPad as a tool for education*, Kent: Naace, 2012.
- [3] M. S. Rosli, N. S. Saleh, B. Aris, M. H. Ahmad y S. M. Salleh, «Ubiquitous Hub for Digital Natives,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, vol. 11, nº 2, pp. 29-34, 2016.
- [4] X. Wang, «Multimedia Teaching Platform for Urban Planning utilizing 3D Technology,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, vol. 13, nº 4, pp. 187-199, 2018.
- [5] A. Bonnet de León, C. Meier, J. L. Saorín, J. de la Torre-Cantero y C. Carbonell, «Tecnologías de diseño y fabricación digital de bajo coste para el fomento de la competencia creativa,» *Arte, Individuo y Sociedad*, vol. 29, nº 1, pp. 85-100, 2017.
- [6] M. Bond, V. I. Marín, C. Dolch, S. Bedenlier y O. Zawacki-Richter, «Digital transformation in German higher education: student and teacher perceptions and usage of digital media,» *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, pp. 1-20, 2018.
- [7] A. Freeman, S. A. Becker y M. Cummins, «NMC/CoSN Horizon Report: K-12 Edition,» The New Media Consortium, United States, 2017.
- [8] Europa Press, «Los centros gallegos contarán el curso que viene con un Bachillerato de excelencia en ciencias y tecnologías,» 30 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/galicia/noticia-centros-gallegos-contaran-curso-viene-bachillerato-excelencia-ciencias-tecnologias-20180611164944.html>.
- [9] BOC, DISPOSICIONES GENERALES - Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento, Canarias, 2016.
- [10] Gobierno de Canarias, «Consejería de Educación y Universidades,» 30 11 2018. [En línea]. Available: <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/web/programas-redes-educativas/programas-educativos/steam/>.
- [11] G. Licks, A. Teixeira y K. Luyten, «Smart Makerspace. A Web Platform Implementation,» *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, vol. 13, nº 2, pp. 140-156, 2018.
- [12] H. Moorefield-Lang, «When makerspaces go mobile: Case studies of transportable maker locations,» *Library Hi Tech*, vol. 33, nº 4, pp. 462-471, 2015.
- [13] J. de la Torre-Cantero, J. L. Saorín, C. Meier, D. Melián Díaz y M. D. D. Alemán, «Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos,» *Arte, Individuo y Sociedad*, pp. 27(3), 427-444, 2015.
- [14] F. Temko, *Kirigami: The Creative Art of Paper Cutting*, New York: Platt & Munk, 1962.
- [15] D. A. Carter y J. Díaz, *The elements of pop-up: A pop-up book for aspiring paper engineers*, United States: Little Simon., 1999.
- [16] H. M. Bromberg, «Pop-up card and method of making same». Washington Patente 5,450,680, 1995.

- [17] R. Jablonski, *The paper cut-out design book: a sourcebook for creating and adapting the heritage of American folk art*, Polish wycinanki, Chinese hua yang, Japanese kirigami, German Scherenschnitte, and others, Owings Mills: Stemmer House., 1976.
- [18] C. T. McCormick y K. K. White, *Folklore: EL (Vol. 2)*, California: ABC-CLIO, 2011.
- [19] K. C. Sen, *Wakoku Chiyekurabe (Mathematical Contests)*, Japan: http://theory.lcs.mit.edu/~edemaine/foldcut/sen_book.html, 1721.
- [20] S. Vyzoviti, *Supersurfaces: Folding as a method of generating forms for architecture, products and fashion*, Bis Pub, 2006.
- [21] M. K. Blees, A. W. Barnard, P. A. Rose, S. P. Roberts, K. L. McGill, P. Y. Huang, A. R. Ruyack, J. W. Kevek, B. Kobrin, D. A. Muller y P. L. McEuen, «Graphene kirigami,» *Nature*, n° 524(7564), p. 204–207, 2015.
- [22] T. C. Shyu, P. F. Damasceno, P. M. Dodd, A. Lamoureux, L. Xu, M. Shlian, M. Shtein, S. C. Glotzer y N. A. Kotov, «A kirigami approach to engineering elasticity in nanocomposites through patterned defects,» *Nature Materials*, vol. 14, p. 785–789, 2015.
- [23] M. Isobe y K. Okumura, «Initial rigid response and softening transition of highly stretchable kirigami sheet materials,» *Scientific reports*, n° 6, 24758, 2016.
- [24] S. Sareh y J. Rossiter, «Kirigami artificial muscles with complex biologically inspired morphologies,» *Smart Materials and Structures*, vol. 22(1), n° 014004, 2012.
- [25] M. d. C. Monteiro Kobayashi y T. R. Ueno Yamada, «Origami e kirigami: arte e cultura como recurso lúdico e educativo,» *Revista Ciência em Extensão*, vol. 9, n° 3, pp. 148–158, 2013.
- [26] V. C. P. Nogueira Valente y C. Yukari Ota, «The art of origami, kirigami and origamic architecture helping improve the spatial abilities,» de VIII World Congress on Communication and Arts, Salvador, Brasil, 2015.
- [27] D. J. García Cuéllar, J. V. Flores Salazar y M. Martínez Miraval, «Génesis instrumental de la noción de fractal en docentes de matemáticas de nivel secundario,» de VIII CONGRESO IBEROAMERICANO DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA. LIBRO DE ACTAS, Madrid, 2017.
- [28] L. L. Castillo Cordova, *Kirigami y habilidades creativas en estudiantes de las facultades de educación*, Huancayo: Universidad nacional del centro de Perú, 2016.
- [29] O. F. Romero Velasco y A. Tovar Cifuentes, *Herramienta Didáctica Basada en Kirigami para Contribuir en el Desarrollo del Pensamiento Creativo, Implementada en Estudiantes de Grado Décimo de una Institución Educativa Distrital.*, Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [30] Y. C. Liang, «Applying kirigami models in teaching micro-electro-mechanical systems,» de 3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference, Santa Clara, California, 2013.
- [31] N. Harquail, M. Allen y E. Whiting, «Foldlings: a tool for interactive pop-up card design,» de Eurographics Workshop on Graphics for Digital Fabrication, Lisbon, 2016.
- [32] A. Glassner, «Interactive pop-up card design,» de IEEE Computer Graphics and Applications, 2002.
- [33] S. Okamura y T. Igarashi, «An interface for assisting the design and production of pop-up card,» de International Symposium on Smart Graphics, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [34] J. L. Saorin, A. Bonnet de León, C. Meier y J. de la Torre-Cantero, «Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos,» *Arte, Individuo y Sociedad*, pp. 295–309, 2018.

- [35] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, México: Pearson Educación, 2002.

7 Authors

Alejandro Bonnet de León is PhD candidate in the department of education at the University of La Laguna, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. His research interest lie in the fields of creating learning activities using Makerspaces in secondary education.

Jose Luis Saorin is senior professor in the area of engineering graphics at University of La Laguna and funder of the FabLab in Tenerife, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. His research is about new interactive tecnologies and digital fabrication.

Jorge de la Torre-Cantero is Assistant Professor at University of La Laguna in the area of engineering graphics and founder of the FabLab Tenerife, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. He is specialised in advanced graphic tecnologies and digital fabrication.

Cecile Meier is an Assistant Professor at University of La Laguna at the department of fine arts, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. Her research is specialised in use of new tecnologies and digital fabrication in classroom.

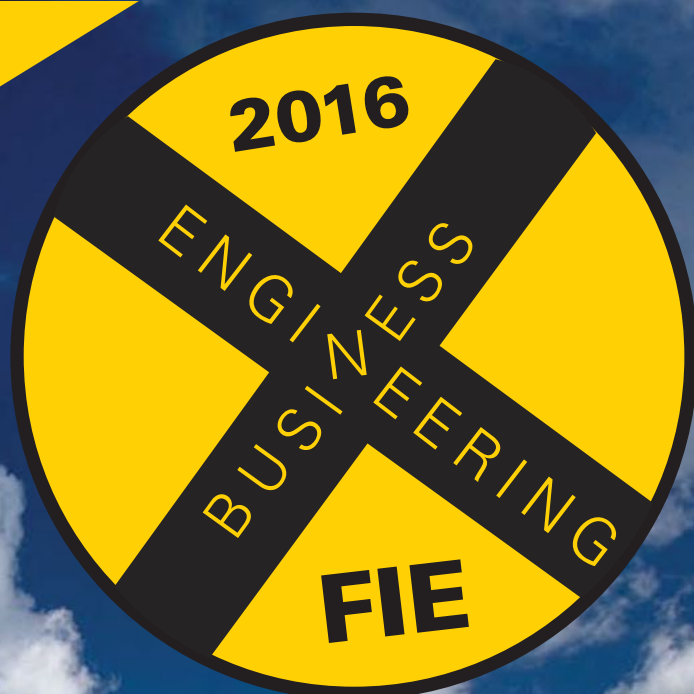
Eiseo García Marrero is a Master student in the department of education at the University of La Laguna, Calle Radio Aficionados, s/n, 38320 Santa Cruz de Tenerife, Spain. His research is about the implementation of cutting machines in preuniversity levels of education.

9.

Application of low-cost 3D scanning technologies to the development of educational augmented reality content

2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)

Jorge D. Camba, Alejandro Bonnet De León, Jorge de la Torre- Cantero, Jose Luis Saorín, Manuel Contero



Frontiers in Education 2016

The Crossroads of Engineering and Business

October 12-15, 2016 | Bayfront Convention Center | Erie, PA

**Table of
Contents**

**Welcome
Message**

Awards

Workshops

**Conference
Sponsors**

**Technical
Sessions**

**Author
Index**

**Plenary
Sessions**



IEEE



Search

Help

IEEE  computer society

IEEE Catalog Number: CFP16FIE-US
ISBN: 978-1-5090-1789-

© 2016 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to use any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Technical Support
Conference Catalysts, LLC
Phone: +1 352 872 554
cdyer@conferencecatalysts.com

2016 IEEE Frontiers in Education Conference Proceedings

To obtain copies of the USB version of the proceedings, please contact:

Mail IEEE Customer Service Department
445 Hoes Lane
PO Box 1331
Piscataway, NJ 08855-1331 USA

Phone Toll-free 800-678-IEEE (4333) or 732-981-0060

USB Version of Proceedings IEEE Catalog Number and ISBN

IEEE Catalog Number: CFP16FIE-ART
USB version, IEEE Catalog Number: CFP16FIE-USB
ISBN: 978-1-5090-1790-4

©2016 IEEE

Copyright and Reprint Permission:

Unless otherwise noted on the first page of each paper, IEEE copyrights all papers.

©IEEE 2016

Copyright and Reprint Permission: Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy beyond the limit of U.S. copyright law for private use of patrons those articles in this volume that carry a code at the bottom of the first page, provided the per-copy fee indicated in the code is paid through Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. For other copying, reprint or republication permission, write to IEEE Copyrights Manager, IEEE Operations Center, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854. All rights reserved. Copyright ©2016 by IEEE.

Application of Low-Cost 3D Scanning Technologies to the Development of Educational Augmented Reality Content

Jorge D. Camba
Gerald D. Hines College of
Architecture and Design
University of Houston
Houston, TX
jdorribo@uh.edu

Alejandro Bonnet De Leon
Facultad de Educación
Universidad de La Laguna,
Spain
alebonle@hotmail.com

Jorge de la Torre,
José Luis Saorín
Depto. de Expresión Gráfica
en Arquitectura e Ingeniería
Universidad de La Laguna,
Spain
{jcantero, jlsaorin}@ull.es

Manuel Contero
I3BH
Universidad Politécnica de
Valencia
Valencia, Spain
mcontero@upv.es

Abstract— This paper builds on the authors' previous work with Augmented Reality (AR) technology as a tool to enhance traditional visualizations and facilitate the understanding of complex information. In this paper, we expand our previous work with AR technology by focusing on the process of creating custom content. Based on users' feedback, we describe and compare various strategies to create 3D models from real objects that can be subsequently integrated into augmented reality scenes. Specifically, we evaluate current 3D scanning technologies that are affordable and suitable for educational applications. We present a comparative analysis of low-cost 3D scanning technologies, its use, integration with AR, and implementation as educational tools. Factors considered in our study include portability, model size, resolution, and post-production requirements.

Keywords— *augmented reality; 3D scanning; 3D content creation; visualization*

I. INTRODUCTION

Although lectures and traditional teaching practices remain the primary method of instruction for most educators in their respective disciplines, research shows that these approaches do not necessarily succeed at eliciting comprehension of complex concepts [1]. Furthermore, many scholars have suggested that learning becomes more effective when it is interactive, student-centered, and technology-driven [2-4]. In this context, Augmented Reality (AR) technology has been shown to be an effective resource to complement traditional instructional materials, which are typically based on printed media, while promoting the development of self-assessment and self-directed learning skills [5, 6].

The beginnings of AR date back to the late 1960s, when Sutherland developed a see-through head-worn device to display 3D graphics [7]. Today, AR is a well-established research field, with applications in many disciplines.

Augmented Reality (AR) refers to the real-time visualization of a physical environment whose elements are enhanced by computer-generated imagery [8]. Ideally,

from the user's standpoint, it would appear that the virtual and real objects coexist in the same space, so the combined environment is perceived as a whole. AR can be experienced directly (through the use of see-through displays such as AR glasses and head-mounted displays, or the application of projection techniques [9]), or indirectly by using "magic mirror" implementations (where the user sees herself in an augmented world that is displayed in a computer screen) or "magic window" (also called "magic lens") applications (such as mobile augmented reality tools where overlaying digital information onto the real world is viewed through a camera phone) [10].

In educational environments, AR has been used successfully in many disciplines such as engineering design graphics [11-13], architecture [14], medicine [15, 16], and repair and manufacturing training [17]. In addition, AR technology has been consistently listed by the Horizon Report [18] as a tool that will be widespread in both K-12 and higher education in the near future. The potential of AR for learning and assessment allows students to build new knowledge based on interactions with virtual models that bring the underlying data to life [18].

In terms of practical implementations, however, many problems exist beyond merely cost and technical considerations that prevent AR technology from fully and effectively entering educational arenas. For example, many existing educational AR applications provide predefined content with limited or no customization options. Therefore, it is difficult for instructors to create their own materials. Authors Kerawalla et al. [19] reported that teachers value the potential of AR technology as an educational resource, but demand more control of the assets, so they can adapt them to the specific needs of their students.

In our previous study [20], we described an image-based modeling strategy to rapidly create custom augmented reality content by using three-dimensional data from real objects and an authoring tool developed in-house. In this paper, we expand the modeling aspect of this methodology by evaluating

alternative 3D scanning technologies that are affordable and suitable for education. We present a comparative study of current low-cost 3D scanning technologies, its use, integration with AR, and implementation as educational tools. Factors considered include portability, model size, resolution, scene preparation, and post-production requirements.

II. 3D CONTENT CREATION

The development of high quality 3D content is a fundamental component of the augmented reality experience. 3D computer modeling refers to the process of developing a three dimensional representation of an object in the computer. Requirements and strategies for 3D modeling depend on many factors such as the level of detail, reliability, accuracy, costs, and operational aspects, among others [21].

While 3D modeling software packages allow full control of the geometry during the modeling process and provide powerful tools to build highly realistic, accurate, and sophisticated shapes, they typically require a high level of proficiency, training, and skill, which beginners typically do not possess [22]. Additionally, 3D modeling can be a tedious and time consuming activity, which can easily discourage educators from creating custom materials.

In addition to the numerous 3D repositories currently available online (which can certainly be an affordable option when generic 3D models are needed), automatic or semi-automatic methods such as 3D scanning or photogrammetry exist to rapidly reconstruct 3D models from acquired data. These techniques have been successfully applied in areas where large volumes of three-dimensional information are commonplace. Examples include ancient architecture and cultural heritage [23-25] and large-scale urban scenes [26]. In this regard, approaches to AR content development that require no 3D modeling skills or CAD expertise are more suitable for novice users. Techniques that automatically create models from real objects provide a powerful resource for custom content creation.

As discussed in our previous paper [20], photogrammetry allows content designers to set up AR experiences in a few minutes by automatically generating 3D content from a series of photographs of an object acquired from different viewpoints. The manner in which photographs are acquired largely impacts the overall quality of the resulting reconstruction [27].

Recent advancements in specialized hardware have made

3D reconstruction accessible to non-expert users. Although these tools have traditionally been costly and not portable or scalable, modern digital cameras and smartphones combined with the appropriate software (both commercial and free/open source) are starting to provide attractive alternatives to more expensive systems [21].

In this paper, we explore various 3D scanning technologies, its advantages, limitations, and costs in order to accelerate the first step of our original AR content creation method [20]. From a user's standpoint, the method requires no 3D modeling skills and no expertise with CAD packages. Only basic post-processing operations are required. The conversion of the model to an interactive AR element is performed by a custom authoring application which links the scanned 3D model to a two dimensional monochromatic image that can be physically manipulated by the user, and sets up a software viewer to visualize the augmented content. To interact with the model, a computer with the proper software and a web camera are required. A mobile version is also available. When the user's web camera or tablet is pointed at the 2D marker, it is immediately recognized by the augmented reality software viewer and the 3D model is displayed on the user's screen. The marks can be seamlessly integrated within printed lecture notes and assignments descriptions, allowing instructors to enrich their educational resources, and students to truly visualize the objects being described on paper in full 3D.

III. LOW-COST 3D SCANNING

In 2012, Friess described 3D scanning technology and its application to paleo-anthropology [28]. In his paper, the author classified 3D scanners by price range and considered only those below \$5,000 to be "low-cost." Some of the scanners in his classification include the David 3D scanner and the Nextengine, which cost around \$2,500. Modern personal scanners, however, cost significantly less.

The advent of videogame peripherals that can detect depth in 3D space has facilitated the emergence of low-cost scanners. For example, when the Microsoft Kinect is used in conjunction with scanning software, a functional and inexpensive 3D scanner can be built, as shown in Fig. 1. Although many low-cost scanners provide a reasonable model quality, resolutions are naturally not as high as those created by professional devices. Nevertheless, the quality is sufficient for most educational AR applications.

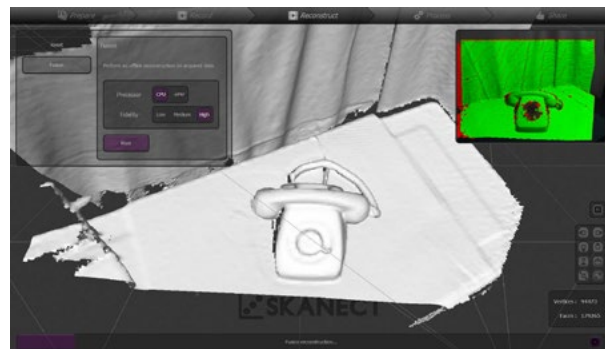


Fig. 1. Scanning process using Kinect Xbox 360 (left) and software Skanect Pro (right)

Most handheld scanners use laser scanning technology. These scanners project a laser line or dot onto the object or environment and a sensor measures the distance to the surface based on the reflected laser beam, which can then be translated into coordinates of a 3D mesh.

In this section, we describe and evaluate different 3D scanning technologies and its application to the creation of augmented reality experiences. Some factors that were considered in our study include:

- Type of connection: most devices must be permanently connected to a computer or tablet. Some also require an external power supply.
- Object size: for small objects, turntable scanners are generally preferred. For larger objects or a person, handheld devices work best.
- Lighting requirements: most scanners for personal use require good illumination so that sensors and cameras can capture the spatial information accurately.
- Scene background: in most cases, unwanted artifacts of the environment appear in a model when a scan is performed. Thus, certain software parameters such as size and depth need to be adjusted.
- Post-production: once a scan is complete, the resulting 3D model needs to be digitally edited prior to the creation of the AR scene.

In general, low-cost scanners can be classified as handheld and desktop. Handheld scanners such as the Structure Sensor or the Sense 3D scanner are fast and portable devices that can digitize objects in a matter of minutes.

The Structure Sensor is a device that attaches to an iPad, which increases the overall cost of the system (see Fig. 2). Free scanning software such as ItSeez3D can be used. This application requires an internet connection, as an external server is used to process the point clouds generated by the scanner. Similarly, the Sense 3D scanner is a handheld device that needs to be connected to a PC to operate. It can scan objects up to 75 feet tall. The device includes custom software that is intuitive and easy to use. However, it is not suitable for objects smaller than a foot (see Fig. 3).

Desktop 3D scanners are devices designed to sit on a desk, so there are inherent limitations in terms of size and weight. A turntable is usually integrated in the scanner. The object to be scanned is placed on the rotating turntable surface, which is automatically digitized by the device. Examples of this type of scanners include the MakerBot Digitizer (Fig. 4) and the Ciclop BQ (Fig. 5).

A comparative list of the 3D scanners tested for this study is shown in Table 1.



Fig. 2 Scanning process using Structure Sensor for iPad and software ItSeez3D

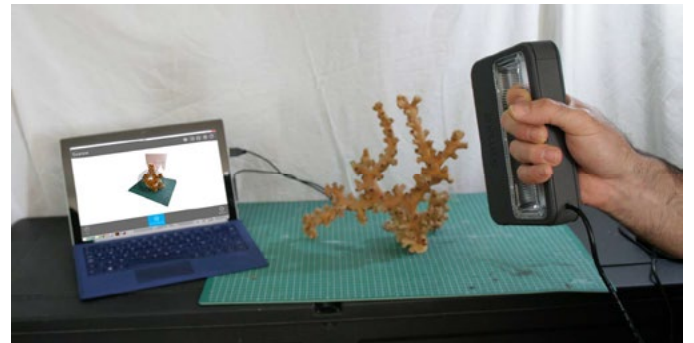


Fig. 3. Scanning process of a coral using Sense 3D scanner



Fig. 4. Scanning process of a fossil using MakerBot Digitizer



Fig. 5. Scanning process using Ciclop BQ

TABLE I. COMPARISON OF LOW-COST 3D SCANNERS

Device	Type	Device Cost	Software	Software Cost	Object Size	Resolution	Observations
Kinect Xbox 360	Handheld (adapted)	\$	ReconstructMe Skanect Pro	Free \$\$	> 7.5 cm	0.9 mm	It requires external power supply. Not ergonomic, but handles and tripods can be purchased separately.
Structure Sensor + iPad	Handheld	\$\$	ItSeez 3D Skanect Pro	Free \$\$	> 40cm and < 3.5 m	0.9 mm	Portable and compact. iPad required.
Sense 3D	Handheld	\$\$	Sense 3D	Included with Hardware	> 35 cm and < 3.5 m	0.9 mm	Simple and easy to use. PC connection. Powerful editing software. No post-production needed.
Ciclop BQ	Desktop	\$\$	Horus	Free and Open Source	< 25 cm diameter and < 20 cm tall	0.5 mm	Open Source project. Needs assembly. Auto-calibrating software. Large or heavy objects not supported.
Makerbot Digitizer	Desktop	\$\$\$	MakerWare	Included with Hardware	< 20.3 cm	0.5 mm	One of the first low-cost scanners. Large or heavy objects not supported.

The maximum diameter of the Makerbot Digitizer is 20 cm. Maximum and minimum height is 20.3 cm and 2 cm, respectively, with a precision of 0.5 cm. The device is designed for beginners, as the scanning process is completely automatic. The Ciclop BQ is a device that is ideal for scanning small objects. Both the software and the mechanical and electrical designs are available to users as open source projects.

Because of the nature of 3D scanning technology, objects must be set up in a certain manner prior to scanning. In order to obtain an optimal 3D reconstruction, the following factors that might influence the result must be taken into consideration: (1) ambient light; (2) object characteristics such as material, color, and shape; and (3) the scene background.

For example, when conducting our study, objects with shiny, glossy, or reflective surfaces did not scan properly. Similar problems occurred with transparent or translucent materials, and objects with completely black or very dark surfaces. Nevertheless, our team was able to successfully scan objects with these types of surfaces by simply spraying the object with a white coating prior to scanning. The white coat was removed from the object after finishing the scan.

In terms of shape, special attention must be given to areas of the object with hidden faces, folds, or undercuts. It is also important that the object does not move during the scanning process. Otherwise, missing parts and other artifacts may appear in the resulting model.

It is recommended to have a controlled environment and set up the scene with a medium intensity ambient light that does not point directly to the object or the 3D scanner. In our tests, models with missing parts and holes were occasionally obtained because of poor lighting conditions. Additional artifacts were obtained when the background has a color that is similar to the object. In most cases, however, basic editing tools can be used to remove these elements.

Finally, the scanned 3D model needs to be exported and processed by the AR authoring tool, so the AR scene can be created. Several formats such as OBJ, STL, PLY, and FBX are available depending on the scanning software. Because of the formats supported by our AR authoring tool, we exported our models to FBX so they can be easily processed.

IV. CREATION OF THE MARKER-BASED AUGMENTED REALITY SCENE

The models obtained through 3D scanning processes can be converted to and experienced as AR scenes by importing them to the authoring software (*Aumentaty Author*) and using the techniques described in [20]. The authoring tool is available at <http://author.aumentaty.com>.

The tool provides an intuitive system to create AR content without any technical or programming skills by linking the scanned 3D model to a two dimensional tangible marker which is used to interact with the scene. The most basic and common type of markers take the form of black and white patterns, which allow the AR software to identify the proper AR content that is linked to that particular marker.

AR scenes created with *Aumentaty Author* can be experienced through a desktop PC with a webcam or via a mobile device. The device camera captures real world footage and the AR viewer software generates the augmented content in real time, which is automatically positioned and oriented with respect to the real footage on the screen (see Fig. 6). From an educational standpoint, fiducial AR markers can be easily integrated into traditional notes and printed materials [11].

Aumentaty Author uses tracking algorithms to determine the position and orientation of the marker with respect to the camera and render the 3D content in real time. The creation process is visual and user friendly. First, scanned 3D models need to be imported into the software library. Supported formats include FBX, DAE, and OBJ. Textures and animations, if any, need to be embedded in the 3D file. Imported 3D models are then linked to a specific marker by simple drag-and-drop actions of the icons over the markers. A visual cue in the software interface will indicate whether a marker has attached information.

A preliminary view of the AR scene can be displayed in the graphics area. Parameters such as scale, orientation, and position of the 3D model with respect to the marker can be adjusted, if necessary, via the main panel by using the available controllers.

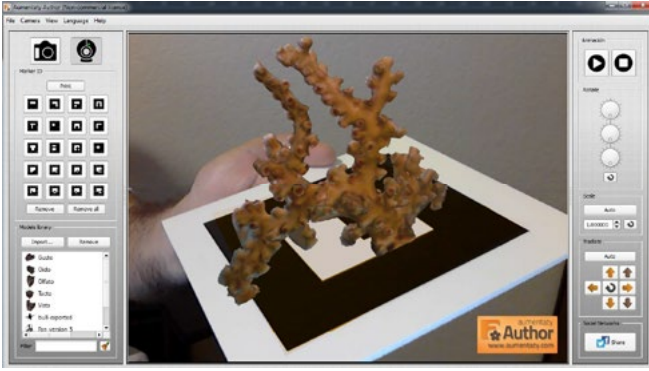


Fig. 6. AR coral scene from scanned 3D model

V. PRELIMINARY STUDY

A pilot study was conducted with a group of 44 freshman engineering students at Universidad de la Laguna, Spain to determine the adequacy of 3D scanning technologies as an educational resource in the classroom. The study ran as part of a digital fabrication workshop that emphasized original design and the introduction of “real world” issues to expose students to a variety of technologies, such as 3D scanning, rapid prototyping, and digital sculpting. The “independent project method” described by Lee [29] was used. As described by Bell et al. [30], a well-designed scenario has the potential to: (1) “create opportunities to integrate the learning outcomes from lectures and laboratory-based teaching sessions,” (2) “enhance teamwork, problem solving, and communication,” and (3) “extend knowledge using some of the principles of Project-Based Learning.” Throughout the workshop, students worked in groups of five to complete a series of hands-on activities that emphasized the use of a specific technology. A total of 87% of the participants had no previous experience with 3D scanning.

The first activity involved building a custom articulated toy. Students were asked to model and 3D print various parts of the toy such as the torso and limbs, and 3D scan their own heads so it could be attached to the printed parts. The activity required significant editing of the model to correctly design the neck joint of the figure. In a second activity, students scanned an object and physically recreated it using stacked layers of EVA foam. Finally, students scanned a section of the classroom to perform measurements on the digital file and compare them with the real values. All models were later converted to augmented reality content.

A psychometrically validated satisfaction questionnaire was distributed at the end of the workshop to capture the students’ opinions, views, and reactions to the technologies and their use as educational materials. A set of questions were presented to participants using a standard five-point Likert scale: Strongly Disagree, Disagree, Neutral, Agree, and Strongly Agree. To assign a quantitative value to these Likert items, progressive positive integer values from 1 (Strongly Disagree) to 5 (Strongly Agree) were used, which allows the use of mean and standard deviation to quantify the parameters of interest. The questions relevant to the use of 3D scanning technologies in educational environments as well as the statistical measures used to analyze the results are shown in Table II.

TABLE II. SURVEY RESULTS (N=44)

Question	Mean	Std. Dev.
The use of the 3D scanner (Structure sensor) is useful in engineering	4.68	0.52
Working with 3D scanned meshes boosts creativity.	4.50	0.76
Having a 3D scanner in a educational environment is important for design disciplines.	4.77	0.42
Being able to 3D scan an object or a person is interesting and exciting.	4.75	0.57
I prefer to determine the dimensions of an object by using traditional methods as opposed to 3D scanning.	2.63	1.28
Point clouds provide accuracy (digital measurements) for reconstructing existing geometry.	4.20	0.76
Reverse engineering techniques with 3D scanning tools are useful in engineering.	4.56	0.58
Custom design and fabrication is an interesting and relevant field in engineering.	4.61	0.58
There is a clear relationship between 3D models and digital scanning and fabrication technologies.	4.45	0.69

All aspects of 3D scanning scored notably high. The vast majority of participants considered the technology both appropriate and useful in a classroom environment, particularly for engineering. They also reported that the technology is intuitive and easy to use. All participants seemed engaged from the beginning and completed the assignments successfully. None of them experienced significant difficulties using the scanners. Excitement could be observed during the exercise, although this could be attributed to the novelty effect, as many participants had never used or experienced 3D scanning technology before.

VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

As augmented reality technology continues to evolve and more powerful and affordable hardware is developed, the demand for content will continue to increase. In educational environments, both content and tools need to be flexible and adaptable, so educators can accommodate the technology to serve the specific needs of their students.

In our previous research, we proposed a strategy for developing 3D content for augmented reality experiences from real objects. The method is based on image-based modeling techniques and significantly reduces the time required to build a 3D model. It also eliminates the need for modeling skills and technical expertise.

In this paper, we extended our work by introducing and demonstrating an alternative approach to our original method that uses low-cost 3D scanning techniques to generate 3D models. In general, the method is faster and more direct, especially if desktop 3D scanners are used. All the scanners tested have resolutions that are appropriate for the development of augmented reality scenes.

Although certain parameters such as lighting conditions and scene background need to be carefully considered to avoid scanning errors and guarantee the accuracy and consistency of the geometry, the low-cost and ease of use of these devices and

techniques facilitate and accelerate the creation of high quality augmented reality experiences for education.

The new methodology (a variation of our image-based modeling technique) provides similar results in terms of resolution as the original method, and still relies on users having access to real objects (so they can be 3D scanned). However, the time involved in reconstructing a scanned 3D mesh is significant less than the time required to process the source images in the original method. In this regard, the use of scanning devices (both handheld and desktop) simplifies the process and reduces the workload. We are preparing a usability study with a group of engineering educators to formally validate both the new methodology and the scanners used.

In the future, we are interested in collaborating with K-12 educators in the creation and integration of custom AR materials. Current efforts include the application of AR technology in classrooms with special needs students. As a technical challenge, we are interested in exploring methods for capturing animations and objects in motion, which can be useful in a wide variety of applications, such as visualizing engineering mechanisms or simulating physical systems.

REFERENCES

- [1] Terenzini, P.T., and Pascarell, E.T. Living with myths: Undergraduate education in America. *Change*, 1994, 26(1), pp. 28-32.
- [2] Levin, D. and S. Arafeh, *The Digital Disconnect: The Widening Gap between Internet-Savvy Students and Their Schools*. 2002.
- [3] Kolb, D.A., *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Vol. 1. 1984: Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- [4] Millar, S. B. Effecting faculty change by starting with effective faculty: Characteristics of successful STEM education innovators. In *National Research Council, Improving Undergraduate instruction in science, technology, engineering, and mathematics: Report of a workshop*, 2003, pp. 101-117.
- [5] Chen, Y., et al., Use of Tangible and Augmented Reality Models in Engineering Graphics Courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 2011. 137(4): p. 267-276.
- [6] Martín-Gutiérrez, J., M. Contero, and M. Alcáñiz, Evaluating the Usability of an Augmented Reality Based Educational Application, in *Intelligent Tutoring Systems*, V. Aleven, J. Kay, and J. Mostow, Editors. 2010, Springer Berlin Heidelberg. p. 296-306
- [7] Sutherland, I., 1968. "A Head-Mounted Three-Dimensional Display," Fall Joint Computer Conf., Am. Federation of Information Processing Soc. (AFIPS) Conf. Proc. 33, Thompson Books, Washington, D.C., 1968, pp. 757-764.
- [8] Azuma, R.T., A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 1997. 6(4): p. 355-385.
- [9] Reed, S., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L., Schladow, G., Yikilmaz, M.B., Segale, H., Silverman, J., Yalowitz, S., and Sato, E., *Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education*, American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2014, Abstract no. ED34A-01.
- [10] Rohs, M. Oulasvitra.A. Target acquisition with camera phones when used as magic lens. In *Proceedings of the 26th International Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '08, pp. 1409-1418. ACM, 2008.
- [11] Camba, J., Contero, M., and Salvador-Herranz, G. Desktop vs. mobile: A comparative study of augmented reality systems for engineering visualizations in education. 2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 1-8.
- [12] Dorribo-Camba, J., Contero, M., Incorporating augmented reality content in Engineering Design Graphics materials, 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 35-40.
- [13] Dünser, A., et al. Virtual and augmented reality as spatial ability training tools. in *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI New Zealand chapter's international conference on Computer-human interaction: design centered HCI*. 2006. ACM.
- [14] Webster, A., et al. Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation. in *Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*. 1996.
- [15] Sielhorst, T., et al. An augmented reality delivery simulator for medical training. in *International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop*. 2004.
- [16] Tang, S.-L., et al., Augmented reality systems for medical applications. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, 1998. 17(3): p. 49-58.
- [17] Feiner, S., MacIntyre, B., & Seligmann, D. (1993a). Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, 36 (7), 52-62.
- [18] Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., and Hall, C. (2016). *NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- [19] Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., and Woolard, A. "Making it real": exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 2006, vol. 10, pp. 163-174.
- [20] Camba, J. D., & Contero, M. (2015). From reality to augmented reality: Rapid strategies for developing marker-based AR content using image capturing and authoring tools. In *Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2015. 32614 2015. IEEE (pp. 1-6). IEEE.
- [21] Kersten, T.P., and Lindstaedt, M. Potential of automatic 3D object reconstruction from multiple images for applications in architecture, cultural heritage and archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2012. 1(3), pp. 399-420.
- [22] Nguyen, M.H., Wunsche, B.C., Delmas, P., and Lutteroth, C. 3D models from the black box: Investigating the current state of image-based modeling. *Communication Proceedings, Pilsen, Czech Republic, Union Agency*, pages 25--28, 2012.
- [23] Gaiani, M., Gamberini, E. and Tonelli, G. VR as work tool for architectural & archaeological restoration: the ancient Appian way 3D web virtual GIS, *Proceedings of Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 2001. pp. 86.
- [24] Lu, S.Z. Virtual Reconstruction of FouGuang Temple Based on Virtual Reality, *International Conference on Management of e-Commerce and e-Government ICMECG '08*, 2008.
- [25] Yao, J., Zhang, H. and She, F. Research on Method of 3D Reconstruction of Ancient Architecture (Nanputuo Temple), *International Conference on Cyberworlds*, 2008.
- [26] Yao, J., Ruggeri, M.R., Taddei, P., Sequeira, V. Automatic Scan Registration Using 3D Linear and Planar Features, *3D Research*, 2010, Vol. 1, No. 3, pp. 2-18.
- [27] Butnariu, S., Gîrbacia, F., and Orman, A. Methodology for 3D reconstruction of objects for teaching virtual restoration. *International Journal of Computer Science*, 2013, 3(01), 16-21.
- [28] Friess, M. (2012). Scratching the surface? The use of surface scanning in physical and paleoanthropology. *Journal of Anthropological Sciences*, 90, 1-25.
- [29] Lee, N. Project methods as the vehicle for learning in undergraduate design education: a typology. *Design Studies*, 30, pp. 541-560, 2009.
- [30] Bell, S., Galilea, P., and Tolouei, R. Student Experience of a Scenario-Centered Curriculum. *European Journal of Engineering Education*, 35, pp. 235-245, 2010.

10.

Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías

*II Congreso Internacional Tecnología y Turismo, accesibilidad 4.0 para todas las personas,
DRT4ALL. pp 5-10.*

Alejandro Bonnet de León, José Luis Saorín Pérez, María de la Rosa Pérez, Carmen Carolina Pérez
Méndez, Dámari Melián Díaz

II CONGRESO INTERNACIONAL TECNOLOGÍA Y TURISMO ACCESIBILIDAD 4.0 PARA TODAS LAS PERSONAS



ORGANIZADOR



COLABORADORES



PATROCINADORES



Contenido

- Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías
Alejandro Bonnet de León, José Luis Saorín Pérez, María de la Rosa Pérez, Carmen Carolina Pérez Méndez y Dámari Melián Díaz
- Context-Aware Personalization: Adding environment awareness to applications integrated in GPII
Andrés Iglesias-Pérez, Colin Clark y Manuel Ortega-Moral
- Sistema de inmersión virtual para desempeño funcional: evaluación en niños con Síndrome de Down
Nicolas Valencia, Dayse Santos, Mariane Souza, Teodiano Freire Bastos y Anselmo Frizera Neto
- Smart Assist: Teleasistencia avanzada e interoperable para todos
Javier Augusto, Manuel Ramos, Modesto Gómez, Sara Rodríguez, Sergio Bello, Estibaliz Ochoa, Mari Satur Torre, Ana Isabel Arroyo, Miguel Rodríguez, Carlos Capataz, Carlos Palau y Matilde Julián
- Lazzus – el Asistente de Movilidad para las Personas con Discapacidad Visual
Francisco Pérez Alonso
- Orientatech: A social technologies orientator
Álvaro Sánchez García y Julián Andújar Pérez
- Diccionario Fácil: Solución Inclusiva y Colaborativa a través de la Tecnología
Ana Gallardo Rayado y Óscar García Muñoz
- Plataforma de Turismo Accesible TUR4all (App y página web)
Tatiana Alemán Selva
- Creación y evaluación de Pictogramas para Señalización
Cristina Larraz Istúriz, Dimas García Moreno y Rosa Regatos Soriano
- A Vision of a Smart City Addressing the Needs of Disabled Citizens
Nataša Rebernik, Alfonso Bahillo, Eneko Osaba y Delfín Montero
- La impresión 3D de modelos táctiles para apoyo del aprendizaje personalizado, abierto, a distancia y su uso combinado con otras herramientas accesibles
Rosa Torregrosa Maciá, Domingo Martínez Maciá, Miguel Molina Sabio, José María Fernández Gil, María Ángeles Lillo Ródenas, Joaquín Silvestre Alberó, Isidro Martínez Mira, Eduardo Vilaplana Ortego, Olga Cornejo Navarro, Ángel Berenguer Murcia, Francisco Martínez Ferreras y José María Villar Pérez

- Sistema Versátil de Comunicación para Sordociegos: TactileCom
Alonso Alonso Alonso, Ramón de la Rosa Steinz, Andrea Marín Brezmes y Albano Carrera González
- Actuaciones del Plan Estratégico de Turismo Accesible de la Comunitat Valenciana para facilitar la planificación del viaje
Ada García-Quismondo Cartes
- EmoPLAY: aprendizaje de emociones en niños con Trastorno del Espectro Autista mediante una herramienta informatizada
Jimena Pascual¹, María Saornil, Jaime Menéndez, Sonia García, Pilar Chanca Zardaín, M^a Ángeles Alcedo, Laura E. Gómez, Yolanda Fontanil y Asunción Monsalve
- Propuesta para una silla de ruedas inteligente destinada a complejos turísticos
Leopoldo Acosta, Jonay Toledo, Rafael Arnay, Javier Hernández-Aceituno, Alberto Hamilton, Evelio González, José Ignacio Estévez y José D. Piñeiro
- Robotic system to improve volitional control of movement during gait
Ana Cecilia Villa-Parra, Mario Jimenez, Jessica Lima, Thomaz Botelho, Anselmo Frizera-Neto y Teodiano Freire Bastos
- Sistema para identificar déficit de atención compartida en niños con trastorno del espectro autista a partir de la estimación del foco de atención visual por red de sensores RGB y RGBd
Andrés Alberto Ramírez-Duque, Anselmo Frizera-Neto y Teodiano Freire Bastos
- Canal Fundación ONCE en UNED
Alejandro Rodríguez-Ascaso, Cecile Finat, Miguel Ángel Córdova y Amparo Prior
- Ability Connect. Herramienta para el aula, dirigida a estudiantes con discapacidades diversas, especialmente discapacidades que afectan al aprendizaje
Domingo Martínez Maciá y José María Fernández Gil
- Sistema de comunicación y reconocimiento de señalética en entornos cerrados y abiertos para personas ciegas
Larisa Dunai Dunai, Ismael Lengua Lengua, Guillermo Peris Fajarnés y Beatriz Defez García
- Improving interaction in inclusive mobile collaborative learning tools: Synchronous Chat Applications
Rocío Calvo, Ana Iglesias y Lourdes Moreno

- Módulo de reconocimiento gestual para control de robot en tareas de asistencia
[Edwin D. Oña, David Velasco, Alberto Jardón y Carlos Balaguer](#)
- Turismo Accesible en Vías Verdes Europeas: Vías Verdes para Todos (Greenways4ALL)
[Arantxa Hernández Colorado](#)
- Evolución del turismo para todos: De una accesibilidad de mínimos por derecho a una accesibilidad de excelencia con la personalización. Análisis de ejemplos de adaptación de producto en hoteles.
[Delfín Jiménez Martín](#)
- Bauhaus for all
[Erich Thurner](#)
- Uso de la Actividad Electrodermal de la piel (EDA) junto con Entornos Virtuales Inmersivos (EVI) como medida objetiva para el diagnóstico del TEA en niños
[E. Olmos-Raya, A. Cascales Martinez, J.L. Higuera Trujillo y M. Alcañiz Raya](#)

Descubriendo artistas: Arte y Nuevas tecnologías

Alejandro Bonnet de León

Universidad de La Laguna

Maestro de Taller del Centro Psicopedagógico de San Juan de Dios

alebonle@hotmail.com

José Luis Saorín Pérez

Universidad de La Laguna

jlsaorin@ull.edu.es

María de la Rosa Pérez

Directora Psicopedagógica del Centro Psicopedagógico de San Juan de Dios

Maria.delarosa@sjd.es

Carmen Carolina Pérez Méndez

Coordinadora y Psicóloga del Centro Psicopedagógico de San Juan de Dios

Carolina.Perez@sjd.es

Dámari Melián Díaz

Universidad de La Laguna

damarimd@gmail.com

Resumen

En este artículo se exponen los resultados obtenidos en la primera fase del proyecto Descubriendo Artistas: Arte y Nuevas tecnologías, desarrollado en el centro psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife que atiende a usuarios con distintos grados de discapacidad y graves trastornos de conducta, y pretende incorporar las nuevas tecnologías como elemento de apoyo en el aprendizaje, estimulando las capacidades cognitivas (memoria, creatividad, concentración...) y la capacidad psicomotriz de manera lúdica a través del uso de aplicaciones Android digitales en dispositivos con pantallas táctiles de gran formato y tabletas. De esta primera fase de la investigación se desprenden datos positivos que evidencian una mejora tanto en conocimientos, felicidad y creatividad, a pesar de haber transcurrido tan solo veinte sesiones.

Abstract

This article presents the results obtained in the first phase of the project Discovering Artists: Art and New Technologies, developed in the

psychopedagogical center of the San Juan de Dios Order in Tenerife that serves users with different degrees of disability and serious behavior disorders , And aims to incorporate new technologies as an element of support in learning, stimulating cognitive abilities (memory, creativity, concentration ...) and psychomotor ability in a playful way through the use of digital Android applications in devices large-format touch screens and tablets. From this first phase of the research, positive data emerge that show an improvement in knowledge, happiness and creativity, despite the fact that only twenty sessions have elapsed.

1. Introducción

El arte satisface el impulso creativo presente en cada persona; el arte, asimismo ayuda a las personas a desarrollarse mental y físicamente. Su confianza aumenta a medida que van experimentando el éxito en el arte. Las actividades artísticas le brindan a una persona con discapacidad una gama de posibilidades similares a las del juego para enriquecer su mundo, tanto interno como externo, permitiéndole expresar sus fantasías inconscientes y sus emociones [1]. Para el desarrollo de las capacidades creativas y artísticas,

en la actualidad, existe una gran variedad de aplicaciones y tecnologías adaptadas a las necesidades de apoyo especiales.

Es preciso entender el Arte y la Cultura centrado en la persona y en sus capacidades, ofreciendo a la persona con discapacidad la oportunidad de aprender técnicas artísticas a través de su propia experimentación, con el apoyo de las nuevas tecnologías y con el asesoramiento de profesionales expertos. Por otra parte, el proceso creativo ha de verse como un continuo que se nutre de los demás y de la cultura en general, por lo que es necesario disponer de los medios para acercar a dichas personas al patrimonio cultural y artístico, y facilitar que el proceso creativo sea un medio de comunicación y expresión que mejore su integración en el entorno socio comunitario [2]. De igual manera el uso de los nuevos medios tecnológicos como tabletas o pantallas táctiles con conexión a internet, permiten el acceso a contenidos educativos de nueva generación. Sin embargo, uno de los principales escollos con los que nos encontramos a la hora de trabajar con estos medios tecnológicos, es el escaso o nulo conocimiento del uso de estos dispositivos por parte de las personas con discapacidad.

Por ello, en este trabajo desarrollado en el centro psicopedagógico de la Orden de San Juan de Dios en Tenerife, se está buscando que los participantes del taller se familiaricen con este tipo de tecnologías (tabletas digitales, pantallas táctiles y dispositivos de fabricación digital). También se pretende evaluar el impacto en la creatividad, la satisfacción y la felicidad de los participantes, a partir del uso de estos medios.

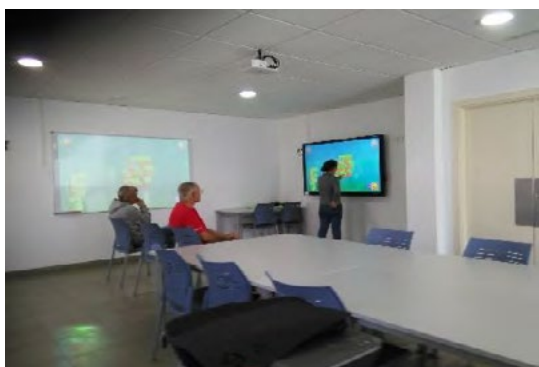


Imagen 1: Taller de nuevas tecnologías

2. Antecedentes

Desde el año 2009, dentro del marco de actividades programadas del centro, se realiza un taller con grupos reducidos, de elaboración de manualidades. Su principal actividad era la replicación de modelos mediante moldes de silicona en los que se vertían materiales como resinas poliméricas o escayola. Este taller adquiere cada vez

mayor importancia para los usuarios haciéndose necesaria la incorporación de innovaciones.

Por ello, en el año 2015, en el marco de la Convocatoria Autonómica de la Obra Social de la Caixa [3] se presentó un proyecto con el objetivo de promover la autonomía de las personas con discapacidad y se plantea la necesidad de incluir en el proceso de aprendizaje de nuestros usuarios nuevas tecnologías (aula multimedia con pantallas táctiles, tabletas, impresoras 3D...) que favorezcan su desarrollo. Este proyecto está estructurado en dos fases cuya duración estimada es un año. En la primera fase (20 semanas) se utilizan las tecnologías táctiles para familiarizar a los alumnos con estas nuevas tecnologías y en la segunda fase se utilizarán impresoras 3D para crear objetos tridimensionales de diseño propio.

El objetivo general del proyecto es, mediante la realización de talleres basados en nuevas tecnologías, mejorar la calidad de vida de los usuarios del centro a través de la creación artística y la creatividad, promoviendo la expresión de sentimientos y emociones para así favorecer la disminución de los trastornos de conducta, además de contribuir a la inclusión de las personas con discapacidad intelectual, facilitando su accesibilidad al arte y la cultura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Incorporar las nuevas tecnologías como elemento de apoyo en el aprendizaje de técnicas artísticas.
- Estimular las capacidades cognitivas (memoria, concentración...) y la capacidad psicomotriz de manera lúdica a través del uso de la tecnología (tabletas, pantallas táctiles, impresoras 3D móviles, etc.).
- Ofrecer a las personas con discapacidad la oportunidad de descubrir toda la gama de posibilidades creativas y estimular sus capacidades artísticas.
- Mejora de la autoestima y de la autopercepción de la felicidad.
- Favorecer la coordinación viso-motora, la atención, la memoria.

Los talleres de nuevas tecnologías propuestos están divididos en dos apartados diferenciados: Adquisición de habilidades básicas para el uso de los medios tecnológicos propuestos y familiarización con aplicaciones bidimensionales, y una segunda parte de creación tridimensional y fabricación digital. En este artículo se describen los talleres realizados en la primera fase del proyecto, relativos al primer apartado, desarrollados durante los primeros seis meses de proyecto.

3. Materiales y Métodos

3.1. Participantes

Estos talleres se llevan a cabo en el Centro Psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife que atiende a usuarios con distintos grados de discapacidad intelectual (DI) y graves trastornos de conducta (TC). Para poder impartir dichos talleres de una forma eficiente, inicialmente se han seleccionado a ocho usuarios, divididos en dos grupos de cuatro.

Además de las características asociadas a la DI y los TC de los 8 participantes, 4 presentan dificultades en lectoescritura, 1 presenta problemas de lateralidad y otro padece una discapacidad sensorial auditiva sin aprendizaje de lenguaje alternativo.

3.2. Herramientas de medición

En este trabajo se pretende cuantificar los valores de creatividad, felicidad, motivación y conocimiento. Para ello se han utilizado tres herramientas de medición:

Para determinar la motivación y los conocimientos, se han utilizado cuestionarios que constan de seis preguntas, agrupadas en: Preguntas de conocimientos y preguntas de motivación. Para facilitar la comprensión de las respuestas a las distintas cuestiones, estos cuestionarios se hicieron en base a la escala de Likert de tal manera que 1 es nada de acuerdo y 5 muy de acuerdo.

Para determinar los valores de creatividad, se ha utilizado el Test TAEC, Test de Abreacción para la Evaluación de la Creatividad [4]. Este es un test gráfico-inductivo de complejidad de figuras, cuyo objetivo es valorar la creatividad desde diversos ángulos, proponiendo categorías que permitan diferenciar a los sujetos. Los resultados obtenidos por cada usuario se miden en una escala del 1 al 324.

Para determinar el índice de felicidad se ha utilizado el Test PHI (Pemberton Happiness Index), adaptado por la organización Plena Inclusión, en la que los resultados se miden en una escala del 0 al 4.

4. Metodología

En primer lugar, los participantes rellenan un cuestionario para conocer el nivel de conocimiento sobre el uso de los medios tecnológicos propuestos y su nivel de motivación.

De este cuestionario inicial, se desprende que, a pesar de que un 87,5% conocía la existencia de los dispositivos táctiles y el 50% había trabajado con anterioridad con algún tipo de dispositivo digital, un 75% de los usuarios no sabía manejar las aplicaciones que tenía en las tabletas gráficas, y al

100% de los usuarios les gustaría disponer de la Tablet para utilizarlas en su tiempo libre.

Por otro lado, en cuanto a su nivel de motivación, aunque el 75% no se encontraba nada o casi nada cómodo utilizando los medios propuestos, entre el 87,5% y el 100% estaban motivados con la posibilidad de aprender a utilizar dichos dispositivos y tenían predisposición a pasarlo bien aprendiendo, creyéndose capaces de realizar las actividades.

Para determinar el nivel de creatividad de los participantes, antes de realizar los talleres, se realiza el test de creatividad TAEC a los grupos de control y experimental. Después de realizar los talleres (cinco meses después) se comprueban los niveles de creatividad con el mismo test.

Por otro lado, los participantes realizaron antes y después de la actividad el test PHI o Pemberton Happiness Index, para comprobar si el uso y aprendizaje con los medios propuestos, ejercía un efecto positivo en su nivel de felicidad. El test tiene como objetivo medir el bienestar a partir de once variables que aluden al llamado “bienestar recordado”, relacionado estrechamente con las emociones, así como otras diez que se refieren al “bienestar vivido”, que hace referencia a esos sucesos ocurridos el día anterior. Estos acontecimientos, pueden influir de manera positiva o negativa a la felicidad de la persona [5].

4.1. Descripción de los talleres

Durante las 20 primeras sesiones de trabajo (20 semanas), se ha procurado que los usuarios del taller aprendan nociones básicas del uso y funcionamiento de los dispositivos digitales táctiles (tabletas Android y pantallas táctiles de gran formato). En el caso de la pantalla táctil de gran formato, se ha tenido que utilizar un emulador de Android para Windows y así poder lanzar las mismas apps que empleamos en las tablets. Para facilitar la visualización de la actividad que se está realizando en la pantalla táctil, también se proyecta la misma imagen en otra de las paredes del aula.

Dentro del catálogo de aplicaciones seleccionadas para esta primera fase del taller, se han de destacar algunos juegos sencillos como puzles y laberintos para que, a la vez que ejercitan habilidades como la capacidad de análisis y síntesis, la coordinación óculo-manual, la visión espacial, la motricidad o el pensamiento lógico y la creatividad, se familiaricen además con los gestos táctiles básicos para el manejo de las tabletas y pantallas táctiles.

Entre las aplicaciones utilizadas destaca: 384 Puzzles for Kids, Maze Puzzle Deluxe, Cubos mágicos, Logic Free, Sketch Book de Autodesk o Castle Blocks entre otras.

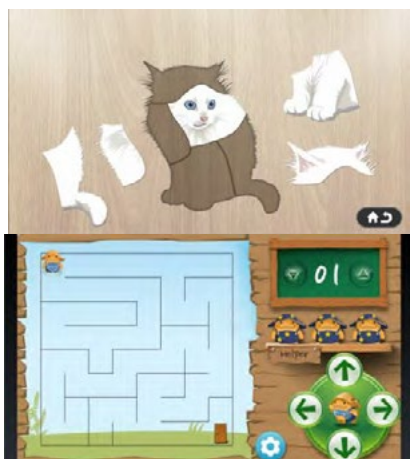


Imagen 2: 384 Puzzles for Kids y Maze Puzzle Deluxe son algunas de las aplicaciones empleadas para adquirir destrezas básicas.

Posteriormente, cuando los usuarios adquirieron las destrezas básicas para interactuar realizando actividades sencillas, pasamos a realizar ejercicios con aplicaciones de mayor complejidad cognitiva como sudokus con imágenes o descubrir las secuencias, actividades que fomentan el razonamiento lógico y la capacidad para resolver problemas con un pensamiento crítico. Algunos de los programas empleados en este caso fueron Logic Free y Castle Blocks.

De igual manera se fueron introduciendo aplicaciones en entornos tridimensionales, como por ejemplo Cubos Mágicos, con el fin de estimular las habilidades espaciales. Esta habilidad está directamente involucrada en la resolución de problemas espaciales, ya sean reales o imaginarios. Así mismo estas actividades nos sirvieron para iniciar a los usuarios en el uso de aplicaciones en entornos tridimensionales.



Imagen 3: Aplicaciones para fomentar el razonamiento lógico y las habilidades espaciales. Logic Free arriba, Cubos Mágicos abajo.

Además, se han trabajado con otro tipo de programas más creativos con el fin de fomentar dicha habilidad, a partir de dibujos y construcción de historias a partir de juegos bidimensionales. Inicialmente se emplearon aplicaciones de dibujo como Autodesk SketchBook y se les pidió que hicieran autorretratos o retratos de personas cercanas con el fin de que el resto de compañeros pudieran identificarlos.



Imagen 4: Autorretratos realizados con SketchBook de Autodesk

También se utilizó la aplicación Castle Blocks, una app para crear construcciones bidimensionales de castillos y fortalezas que además permite generar historias a partir de la propia construcción. Utilizándola, los usuarios del taller creaban espacios imaginarios y contaban la historia que sucedía en ellos.



Imagen 5: Ejercicio realizados con la aplicación Castle Blocks

5. Resultados

Después de los primeras 20 sesiones, que corresponden aproximadamente con la mitad del proyecto se obtienen los primeros resultados. Para valorar los progresos en motivación y conocimiento, se les volvieron a pasar los cuestionarios, de los cuales con los siguientes resultados (ver Tabla 1)

Tabla 1: Resultados del cuestionario de conocimiento y motivación		
Pregunta	(Escala 1-5)	
	Pre	Post
Se utilizar los dispositivos táctiles de forma autónoma	1,75	4,75
Se utilizar la mayoría de aplicaciones	1,62	4,62
Me siento cómodo utilizando los dispositivos táctiles	2,12	4,42
Me gustaría aprender a utilizar nuevas aplicaciones	4,87	4,75
La posibilidad de aprender a hacer cosas nuevas me motiva	4,62	4,75
Lo paso bien aprendiendo	4,87	4,75

Los resultados de creatividad medidos con el test TAEC son los siguientes:

Tabla 2: Resultados del test TAEC			
	Pre-Test (max 324)	Post Test (max 324)	Ganancia
Media	42,37	61,4	19
Desviación estándar	29,86	33,8	3,9

Los resultados del Test PHI, obtenidos tras 20 sesiones son los siguientes:

Tabla 3: Resultados del Test PHI			
	Pre-Test (Max 4)	Post Test (Max 4)	Ganancia
Medias	2,83	3,53	0,7
Desviación estándar	0,34	0,19	0,43

6. Conclusiones

De acuerdo a los cuestionarios, el uso de estas tecnologías ha servido para familiarizar a los usuarios con el funcionamiento básico de las pantallas táctiles. Además, los usuarios, independientemente de su grado de discapacidad, no han tenido problemas a la hora de realizar actividades de lógica o visión espacial.

El 100% de los usuarios ha aprendido a utilizar bien a muy bien las pantallas táctiles, estando de acuerdo en que saben emplear la mayoría de las aplicaciones propuestas, y un 87% ha aprendido a realizar correctamente los ejercicios utilizando dichas aplicaciones. En preguntas sobre motivación, el 100% de los usuarios se sienten cómodos o muy

cómodos utilizando las pantallas táctiles y su nivel de motivación sigue presentando altos valores porcentuales.

6.1. Conclusiones de creatividad a partir del test TAEC

Los valores medios de creatividad del grupo han aumentado en 19 puntos, lo cual nos permite pensar que al final del proyecto se podrán obtener incrementos significativos de la creatividad, teniendo en cuenta, que es en la segunda fase del proyecto, en la que se desarrollarán actividades para estimular la creatividad.

6.2. Conclusiones de felicidad a partir del test PHI

Por otro lado, en cuanto a la felicidad, podemos observar que a esta altura del proyecto los valores obtenidos han aumentado frente a los iniciales en 0,7 puntos sobre 4. Pudiendo concluir que el uso de las tecnologías propuestas ha contribuido a mejorar su índice de felicidad. Sin embargo, habrá de tenerse en cuenta, que estos valores (3,53 sobre 4) permiten poca mejora en el resto del proyecto.

6.3. Observaciones generales

Paralelamente, se están recopilando datos de la incidencia de los trastornos graves de conducta. Los registros de estos trastornos, se obtendrán al final del proyecto, por lo que, al final del proyecto, se podrá determinar si existe mejora en el número de incidencias graves detectadas.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la participación de los usuarios del Centro Psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife.

Se agradece la colaboración con la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios, así como al personal del Centro Psicopedagógico de la Orden San Juan de Dios en Tenerife. También se agradece la financiación a la Fundación Obra Social La Caixa y a Aguas de Firgas.

También damos las gracias a otros colaboradores que de forma altruista han contribuido en los distintos mercadillos y exposiciones realizadas.

8. Referencias

[1] M. J. Lobato Suero, M. Martinez Pecino and I. Molinos Lara, "El desarrollo de habilidades en las personas con necesidades educativas especiales a

través de la expresión plástica," *Aula Abierta*, pp. 47-70, 2003.

[2] FEAPS Madrid & Fundación Repsol, "Manifiesto de Cultura Inclusiva," Fundación Repsol, Madrid, 2014.

[3] La Caixa, "obrasociallacaixa.org," 2015. [Online]. Available: https://obrasociallacaixa.org/documents/10280/663466/bases+canarias_es.pdf/c2200823-b2f8-4f17-81bc-9816eca93570.

[4] S. De la Torre, Evaluación de la creatividad.: TAEC, un instrumento de apoyo a la Reforma, Madrid: Editorial Escuela Española S.A., 2015.

[5] G. Hervás and C. Vázquez, "Construction and validation of a measure of integrative well-being in seven languages: The Pemberton Happiness Index," *BioMed Central, Health and Quality of Life Outcomes*, 2013.

11.

Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje

Bubok Publishing S.L.

ISBN eBook en PDF: 978-84-685-3550-0

ISBN Libro en papel: 978-84-685-3549-4

Alejandro Bonnet de León, José Luis Saorín Pérez, Jorge de la Torre-Cantero, Cecile Meier, Dámari Melián Díaz

Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje



Alejandro Bonnet de León
Jose Luis Saorín Pérez
Jorge de la Torre Cantero
Cecile Meier
Dámari Melián Díaz

© Laboratorios de fabricación digital en la
enseñanza secundaria: Actividades de aprendizaje

© Alejandro Bonnet de León

© Jose Luis Saorín Pérez

© Jorge de la Torre Cantero

© Cecile Meier

© Dámari Melián Díaz

© Laboratorios de fabricación digital en la enseñanza secundaria:
Actividades de aprendizaje

ISBN papel: 978-84-685-3549-4

ISBN digital: 978-84-685-3550-0

Impreso en España

Editado por Bubok Publishing S.L,

Febrero 2019



El presente monográfico se publica bajo una licencia
Creative Commons del tipo:
Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
Apartado 1: Introducción a la fabricación digital mediante tecnologías de papel.....	5
ACTIVIDAD 1: CREACIÓN DE MUÑECOS DE PAPEL.....	6
ACTIVIDAD 2: CREACIÓN DE TARJETAS DESPLEGABLES O POP UP.....	11
1. Ejercicio: Creación de una tarjeta con una figura geométrica.....	13
2. Ejercicio: Creación de una tarjeta con texto.....	16
3. Ejercicio: Creación de una tarjeta a partir de un Skyline.....	18
ACTIVIDAD 3: CORTE AUTOMATIZADO CON PLOTTER DE CORTE.....	20
ACTIVIDAD 4: CREACIÓN DE PLANTILLAS PARA MONTAR FIGURAS TRIDIMENSIONALES.....	25
1. ejercicio 123D Make. Construcción 3D con corte a mano.....	26
2. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Curio.....	29
3. ejercicio 123D Make. Construcción 3D usando la Silhouette Cameo.....	33
Apartado 2: Obtención de archivos tridimensionales.....	38
ACTIVIDAD 6: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D A PARTIR DE FOTOGRAMETRÍA.....	39
ACTIVIDAD 7: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D EN GALERÍAS ONLINE.....	45
ACTIVIDAD 8: OBTENCIÓN DE MODELOS 3D A PARTIR DE ESCANEOS 3D.....	47
Apartado 3: Edición de modelos 3D digitales.....	51
ACTIVIDAD 9: EDICIÓN DE MODELOS 3D DIGITALES.....	52
ACTIVIDAD 10: LÁMPARA PERSONALIZADA.....	57
ACTIVIDAD 11: PERSONALIZACIÓN DE MUÑECOS ARTICULADOS CON TINKERPLAY.....	63
ACTIVIDAD 12: PERSONALIZACIÓN DE LA CABEZA DE UN MUÑECO DE LEGO.....	69
Apartado 4: Modelado y creación de archivos 3D	76
ACTIVIDAD 13: CREACIÓN DE MOLDES DE GALLETAS.....	77
ACTIVIDAD 14: CREACIÓN DE MODELOS 3D CON TINKERCAD.....	81
ACTIVIDAD 15: CREACIÓN DE UN CUÑO.....	86
ACTIVIDAD 16: CREACIÓN DE TEXTOS PERSONALIZADOS EN 3D.....	90
ACTIVIDAD 17: PERSONALIZACIÓN DE UN LLAVERO.....	93
ACTIVIDAD 18: CREACIÓN DE UNA CASA.....	96
Apartado 5: Maquinarias opcionales para otros materiales.....	102
ACTIVIDAD 19: CREACIÓN DE TRAZADOS PARA CORTE AUTOMATIZADO EN CNC.....	103
ACTIVIDAD 20: CREACIÓN DE TRAZADOS PARA CORTE AUTOMATIZADO EN CNC.....	109

ACTIVIDAD 10:

LÁMPARA PERSONALIZADA



DIFICULTAD:



Tiempo de la actividad: 50 minutos edición
50 minutos impresión
50 minutos instalación eléctrica

Maquinaria: Ordenador

Software: Meshmixer <http://www.meshmixer.com/>

Materiales: Led de 5mm, porta pilas de clip para pilas de botón Standard CR2032, pila de botón de 3V, interruptor de corte, cable de 1mm y soldador de estaño.

Modelo 3D Básico: <https://goo.gl/8wNTOQ>

Herramientas: Escáner 3D e impresora 3D

Wifi: SI

Requerimientos:

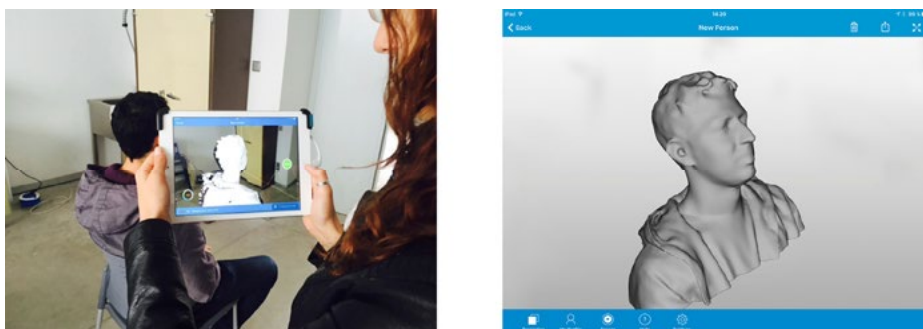
Se recomienda realizar esta actividad en distintas sesiones e imprimir los modelos entre estas.

En esta actividad se propone la personalización de una pequeña lámpara led, utilizando la cabeza escaneada de los alumnos como tulipa de la misma.

Realización de la actividad en el aula:

Esta actividad tal y como se propone, cuenta de dos fases, el escaneo de las cabezas de los alumnos y su edición para incorporarla como parte de la lámpara diseñada.

1º) Se muestra a los alumnos la forma de escanear utilizando algunos de los dispositivos disponibles: Kinect 360, 3D Sense o Isense para Ipad, para posteriormente permitir que ellos se escaneen de forma autónoma y en parejas. Una vez realizada la digitalización, se exportan los archivos resultantes al ordenador en el que vayan a editar.

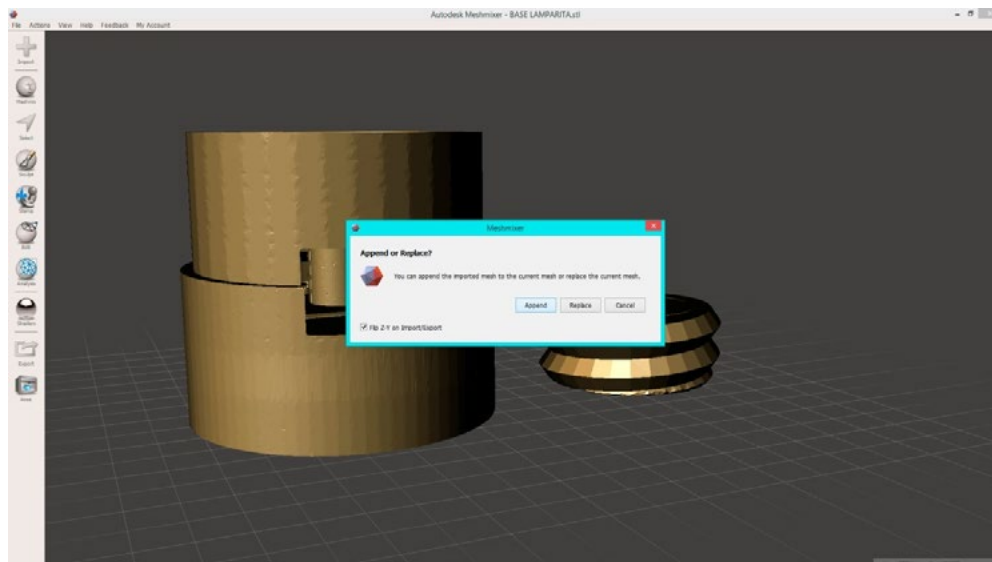


Escaneo de la cabeza de un alumno

2º) Para la edición del archivo escaneado se utilizará el programa editor de mallas gratuito Meshmixer. En primer lugar importaremos los archivos de la base y la rosca de la carpeta de Drive que se muestra a continuación: <https://goo.gl/8wNTOQ>

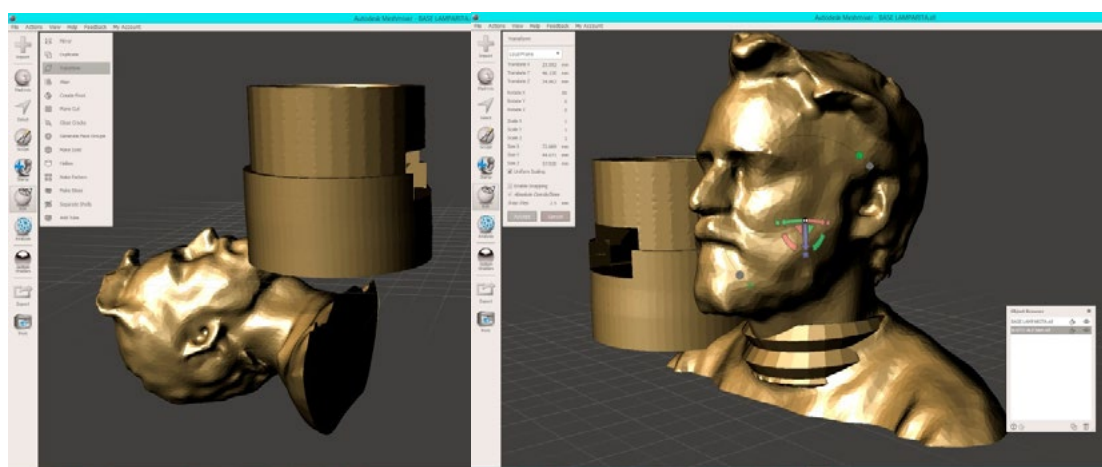
En esta carpeta se encuentra tanto el archivo digital de la base de la lámpara como la rosca para acoplarla a la cabeza escaneada. Así, se abrirá el programa Meshmixer y se importará el archivo de la lámpara señalado, y a continuación, el archivo de la cabeza escaneada siguiendo los siguientes pasos:

Abrir el archivo de la base e importar el escaneo utilizando las opciones Import y seguidamente Append.



Pasos de importación de archivos

A continuación utilizando la opción Edit y seguidamente la herramienta Transform sobre la digitalización de la cabeza, se situará sobre la rosca de la lámpara, de tal forma que tanto la escala como la posición sean las correctas. Es importante no utilizar la herramienta Transform sobre la rosca ya que se podrían cambiar las escalas de la misma sin querer y después no encajaría en la base.



Ubicación de la cabeza sobre la rosca y escalado.

Es imprescindible ajustar el tamaño de la cabeza para que la rosca encaje bien en el cuello de la pieza escaneada.

El siguiente paso consiste en eliminar la parte de los hombros de la figura de la cabeza. Para ello se empleará de nuevo la opción Edit de la barra lateral de herramientas seleccionando Plane Cut. Al seleccionar esta opción aparecerá un plano de corte horizontal con el que se podrán seccionar de forma rápida las partes que no interesen como los hombros y parte del cuello. Una vez situado el plano de corte en el lugar deseado, se clicará en Accept.



Lámpara personalizada terminada



Detalle de los componentes electrónicos

