



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: ccarbhone@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). Tatarkevich (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 (Martín, 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 currículum 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.

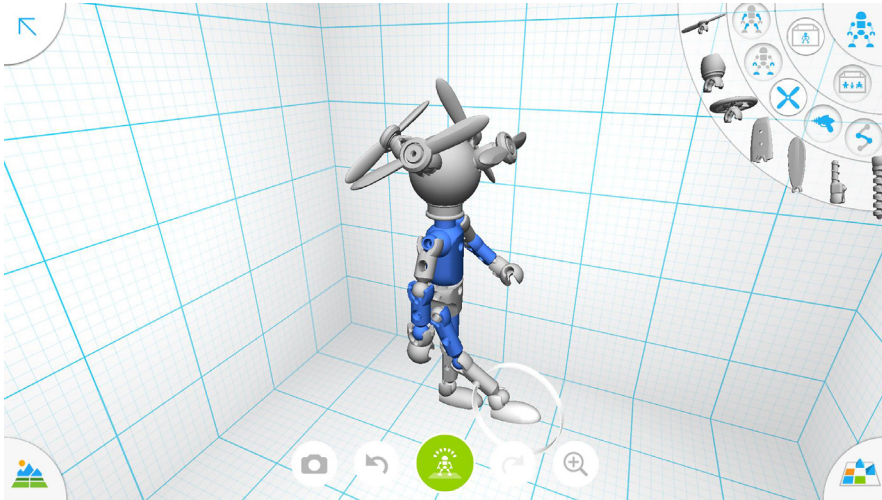


Figura 1. Interface de la aplicación Tinkerplay.

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).

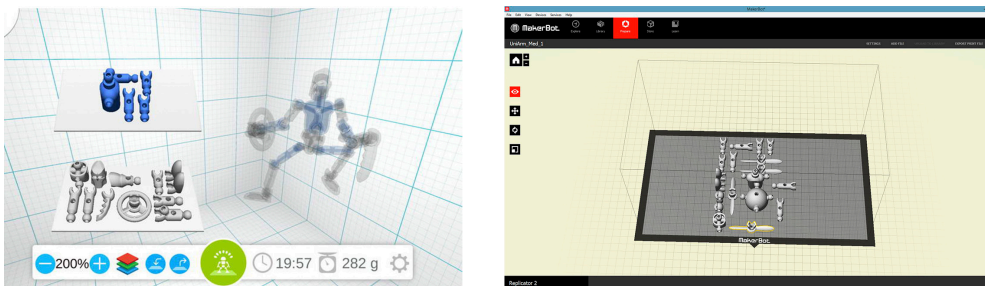


Figura 2. Componentes de un diseño para su impresión 3D.

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 Tinkerplay. 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 escaneo 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).

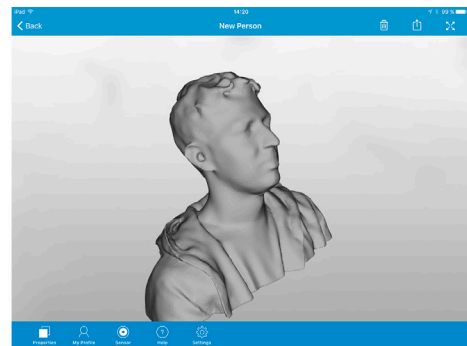


Figura 4. Escaneado y modelo 3D de uno de los participantes. Fotografía del autor.

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.

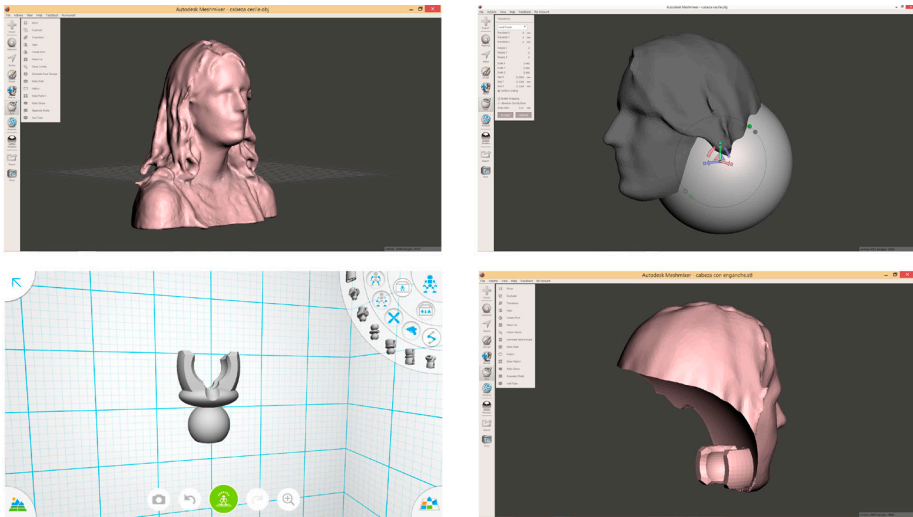


Figura 5. Edición del modelo 3D mediante el programa Meshmixer.

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).

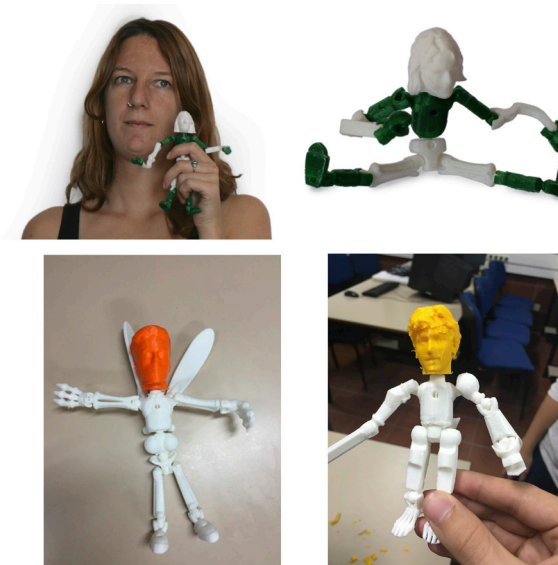


Figura 6. Ejemplos de objetos articulados realizados. Fotografía del autor.

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).