



Revista Educación
ISSN: 0379-7082
ISSN: 2215-2644
revedu@gmail.com
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica

Mata Abdelnour, Erick

Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica

Revista Educación, vol. 47, núm. 1, 2023

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44072432031>

DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51675>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Internacional.

Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica

Proposal for the Incorporation of 3D Modeling and Printing for the Teaching of Civil Engineering at the University of Costa Rica

Erick Mata Abdelnour

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

erick.mata.a@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-8592-0671>

DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.15517/revdu.v47i1.51675>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44072432031>

Recepción: 19 Julio 2022

Aprobación: 20 Diciembre 2022

RESUMEN:

El estudiantado de las nuevas generaciones posee un intervalo de atención más corto y preferencia por la tecnología. El objetivo de la investigación fue elaborar una propuesta para la implementación del modelado e impresión 3D en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica (UCR), basada en el uso de impresoras de uso no industrial, para mejorar la retención de conceptos y la comprensión tridimensional. La metodología consistió en una fase de investigación con un enfoque cualitativo sobre los cursos del plan de estudios de ingeniería civil, los objetivos y actividades didácticas. Se revisó el estado del arte en el modelado e impresión 3D, especialmente en cuanto a su uso con fines didácticos y se realizaron entrevistas a profesionales afines. Posteriormente se definieron conceptos clave en diferentes cursos del plan de Ingeniería civil, cuya enseñanza podría mejorarse al utilizar el modelado y la impresión 3D. De esta forma se categorizaron los cursos del plan de acuerdo con su capacidad de implementación. La propuesta expone una vía para aplicar la tecnología a cursos de ingeniería y complementar esta implementación con actividades transversales no vinculadas a los cursos, las cuales promueven la interacción, la unión y la participación entre personas de diferentes niveles de la carrera. La propuesta fue validada con un grupo de profesionales afines y estudiantes de nivel avanzado de la carrera por medio de un cuestionario y sesión de validación, la cual produjo mejoras que fueron incorporadas a la propuesta final. La implementación se conceptualiza en tres etapas: la primera es un proceso de sensibilización, motivación y capacitación; la segunda comprende la implementación de la tecnología a pequeña escala en aulas, laboratorios y proyectos, y, en una tercera fase, la tecnología empieza a usarse a gran escala utilizando materiales regularmente usados en la construcción. Se concluye que es viable y se recomienda la incorporación del modelado e impresión 3D en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil a través de la utilización de los cursos del plan de estudio más afines a dicha tecnología y aplicar la propuesta diseñada.

PALABRAS CLAVE: Modelado e impresión 3D, Innovación, Enseñanza de la ingeniería, Aprendizaje, Constructivismo, Revolución 4.0.

ABSTRACT:

The student body of the new generation has a shorter attention span and a preference for technology. The objective of the research was to elaborate a proposal for the implementation of 3D modeling and printing in the Civil Engineering career of the University of Costa Rica (UCR), based on the use of non-industrial printers, to improve the retention of concepts and three-dimensional understanding. The methodology consisted of a research phase with a qualitative approach to the courses of the civil engineering curriculum, the objectives, and didactic activities. The state of the art in 3D modeling and printing was reviewed, especially regarding its use for educational purposes, and interviews were conducted with related professionals. Subsequently, key concepts were defined in different courses of the Civil Engineering plan, whose teaching could be improved by using 3D modeling and printing. In this way, the courses of the plan were categorized according to their implementation capacity. The proposal exposes a way to apply technology to engineering courses and complement this implementation with transversal activities not linked to the courses, which promote interaction, union, and participation between people from different levels of the career. The proposal was validated with a group of related professionals and advanced-level students of the degree through a questionnaire and validation session, which produced improvements that were incorporated into the final proposal. The implementation is conceptualized in three stages: the first is a process of awareness, motivation and training; the second includes the implementation of the technology on a small scale in classrooms, laboratories and projects, and, in the third phase, the technology begins to be used on a large-scale using materials regularly used in construction. It is concluded that it is feasible and it is recommended to incorporate 3D modeling

and printing in the Civil Engineering curriculum through the use of the study plan courses most related to said technology and apply the designed proposal.

KEYWORDS: 3D Modeling and Printing, Innovation, Engineering Teaching, Learning, Constructivism, Revolution 40.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del estudio es crear una propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica a través del análisis de los 86 cursos del plan de estudios y la selección entre ellos. A los cursos más afines a dicha tecnología se les diseñó una alternativa de método de enseñanza-aprendizaje, así como una inclusión al programa de otras actividades transversales no asociadas a los cursos que podrían facilitar la adopción de la metodología.

Es necesario adaptar las metodologías de los cursos de la carrera a las necesidades de las nuevas generaciones de estudiantes; así como mantener a la escuela posicionada en el mejor y más reciente uso de las tecnologías digitales, tanto en el campo de la enseñanza como en el del ejercicio profesional. El artículo está estructurado como se explica a continuación:

Se inicia haciendo un recuento sobre el contexto del modelado e impresión 3D con énfasis en la cuarta revolución industrial. Se hace mención al modelado, pues la impresión 3D requiere de este proceso previo, y la actividad de diseño de la ingeniería utiliza ambos procesos.

De la misma manera, se analizaron los gustos y características de las nuevas generaciones de estudiantes, haciendo énfasis en los cortos periodos de atención de estas, así como la necesidad de utilizar recursos multimedia con el fin de aumentar el interés y fomentar la creatividad.

Posteriormente, se brinda un resumen sobre las tendencias alternativas para la didáctica en la carrera de Ingeniería Civil. Se hace un recuento sobre experiencias exitosas que utilizan el modelado y la impresión 3D. Adicionalmente se mencionan las formas alternativas del proceso de enseñanza-aprendizaje asociadas al constructivismo y cómo estas se han utilizado.

En los siguientes apartados se aborda la forma tradicional de enseñar en la Escuela de Ingeniería Civil y se analiza su malla curricular. Sobre este diagnóstico, que muestra las metodologías y actividades típicas del plan de estudios, es que se procedió a fundamentar la propuesta. Más adelante se presenta la propuesta y se indican los cursos de la malla curricular que se beneficiarían con el uso de esta tecnología. Para cada curso seleccionado se confeccionó una ficha resumen de implementación que muestra conceptos que se pueden enseñar utilizando la tecnología y las actividades asociadas que se proponen, así como actividades transversales.

Finalmente, se brindan recomendaciones para la implementación en fases y se indican los grupos de cursos en cada una.

1.1 Las nuevas generaciones de estudiantes y sus intereses

Parte del estudiantado que está ingresando a la universidad pertenece a la generación Y o milenial, la cual está compuesta por personas nacidas entre 1980 y el 2000 (Goldman Sachs Group, s.f.). Las personas de estas generaciones acogen cada vez más las tecnologías digitales, prefieren educarse a través de Internet la mayoría del tiempo y demuestran generalmente un intervalo de atención más corto que las generaciones precedentes, lo que las vuelve susceptibles a perder la atención si no se les estimula eficientemente en corto tiempo (Sparks y Honey, 2012). Así también, las generaciones milenial y Z responden mejor a la variedad de la enseñanza, lo cual genera la necesidad de usar la tecnología para satisfacer esa necesidad (Novotney, 2010).

1.2 Las mejores prácticas de educación a nivel mundial

Actualmente, debido a la globalización, la innovación tecnológica, las nuevas generaciones y la transformación del mercado laboral, se están imponiendo formas de enseñanza menos rígidas y más participativas (Cepeda-Minaya, 2017). La enseñanza se está alejando del tradicional método de la clase magistral y enfocándose más en el involucramiento del estudiantado en su aprendizaje. Los nuevos métodos

de aprendizaje fomentan la excelencia académica, las habilidades para resolver problemas complejos, la creatividad, el compromiso con la materia, el trabajo en equipo, el aprendizaje independiente y la capacidad de análisis. Las siguientes son formas de enseñanza que han aparecido en los tiempos actuales:

- El aprendizaje activo: En el aprendizaje activo, el estudiantado deja la pasividad de los antiguos métodos y protagoniza su aprendizaje. Este enfoque integra actividades en las lecciones, tales como la escritura reflexiva, el debate breve de temas en un grupo pequeño de estudiantes o el trabajo de problemas en clase (Moore et al., 2017).

- El aprendizaje basado en problemas: Este es un método de enseñanza-aprendizaje cuya finalidad es la resolución de problemas de la vida real. En este método se utilizan problemas complejos y multidisciplinarios como andamiajes primordiales para el aprendizaje a través del curso (Moore et al., 2017).

- El aprendizaje basado en proyectos: Este es un método de enseñanza en el que el estudiantado adquiere conocimientos y habilidades al trabajar durante un período prolongado de tiempo en la investigación y la respuesta de una pregunta o problema (PBLWorks, s.f.).

- El modelo de la clase invertida: Este modelo promueve el uso de las tecnologías digitales en el trabajo extraclase y el aprendizaje activo (Moore et al., 2017).

Las clases actuales suelen ser más atractivas gracias a la implementación de medios digitales para el aprendizaje (Grupo CMM GT, 2018). El compromiso del estudiantado con la materia puede aumentar al introducir recursos que atraigan la atención del estudiantado en el proceso didáctico (Mongeau, 2019). Conocer las características, los hábitos de aprendizaje y las preferencias de la nueva generación permitirá al personal docente seleccionar las herramientas y los métodos correctos de modo que el contenido llegue eficientemente al estudiantado (Popescu et al., 2019).

1.3 Lo realizado en esta investigación

En esta investigación se desarrolló una propuesta para la incorporación de la manufactura aditiva en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica, para lo que se estudió la malla curricular de la carrera. Como parte del proceso para desarrollar esta propuesta, se obtuvo una lista de los cursos candidatos a tomar provecho de la impresión 3D. Se eligieron cursos con temas de diseño, modelado o cálculos matemáticos que no sean de contabilidad o de costos. Se excluyeron los cursos que no incluyen el entendimiento de objetos físicos reales.

Se propuso la clasificación de los cursos seleccionados en grupos de acuerdo con la facilidad de implementar el modelado e impresión 3D y a la prontitud con que puede ser aplicada la nueva tecnología. Para cada curso y cada grupo se propusieron acciones para incorporar el modelado e impresión 3D, así como un cronograma para la implementación.

De forma adicional, en la propuesta se incorporó un conjunto de actividades transversales, las cuales no forman parte de los cursos. Estas consisten en una variedad de actividades, tales como cursos complementarios, cursos en línea con otras universidades, foros anuales o semestrales, charlas y conferencias durante el semestre, un blog intra o interuniversitario, concursos, etc.

La propuesta también presenta un estimado temporal y económico para su implementación en fases.

2 Contexto actual del modelado e impresión 3D

2.1 Contexto de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0

La tecnología está transformando profundamente la vida del ser humano. Diversas tecnologías en conjunto con una mayor capacidad informática y una mayor cantidad de datos están alterando la sociedad actual. El mundo incursiona en la fase de una expansión tecnológica drástica llamada la Cuarta Revolución Industrial (Salesforce, 2018). También llamada la Industria 4.0, la Cuarta Revolución Industrial está modificando la forma en que el ser humano vive, trabaja y se relaciona con los demás (Schwab, 2016). La Cuarta Revolución Industrial constituye una de las revoluciones humanas más profundas a partir de la digitalización y virtualización de los procesos industriales y de gestión de información (Levy-Bravo, 2020). La Industria 4.0

se está construyendo en este preciso momento al lado de cualquier persona y está creando un mundo más inteligente y más conectado (Salesforce, 2018).

La Cuarta Revolución Industrial comenzó a principios de este siglo. Cuenta “con un internet más global y móvil, sensores más pequeños y potentes, así como inteligencia artificial y aprendizaje automático” (Coolhunting Group, 2018, p. 5). Se caracteriza por una fusión de tecnologías que borrarán las líneas entre lo físico, lo digital y lo biológico (Schwab, 2016).

La velocidad de los avances actuales de la Industria 4.0 no tiene precedentes. Esta etapa presente y futura está alterando casi todas las industrias de todos los países y transformará completamente los sistemas de producción, administración y gobernanza (Schwab, 2016) (CEPAL, 2021). Además, la Industria 4.0 ha traído el costo decreciente de la computación y los dispositivos conectados y la facilidad de implementación de algoritmos de inteligencia artificial (Salesforce, 2018).

Una de las tecnologías propias de la Cuarta Revolución Industrial es la impresión 3D, la cual está cambiando y cambiará a innumerables industrias incluyendo al sector de la ingeniería y la construcción. Esta nueva tecnología permitirá también una mejor comprensión de la materia por parte del estudiantado en los centros educativos.

2.2 Modelado e impresión 3D

La impresión 3D es la técnica que permite la creación de objetos tridimensionales a partir de la colocación sucesiva de capas de material, a la que se le conoce como proceso aditivo. Cada una de las capas puede verse como un corte transversal del objeto (Aula21, s.f.).

De acuerdo con Aula21 (s.f.), los plásticos, tanto los termoplásticos como termoestables, son los materiales empleados más comunes en el proceso aditivo, seguidos por los metales. Adicionalmente, se pueden usar polvos, materiales compuestos, biomateriales y cerámicos para la impresión. La rigidez, el color y el material pueden variar en una impresión 3D. Una impresión usualmente tarda entre 4 y 18 horas en completarse. El tiempo durado en la impresión dependerá del tamaño de la pieza y del tipo de impresora.

La tecnología aditiva impacta en varios campos, tales como el de la automoción, el aeronáutico, el aeroespacial, el sanitario, el de los equipos industriales, el de la educación, el constructivo y el de los productos de consumo. Los centros educativos de todo el mundo están llevando a las aulas un aprendizaje más práctico al utilizar la tecnología para imprimir en tres dimensiones huesos de dinosaurio y piezas de robótica. La impresión 3D en la educación facilita el entendimiento tridimensional del contenido estudiado. Con esta tecnología el estudiantado puede imprimir piezas mecánicas, maquetas arquitectónicas, arte o inclusive prototipos (Aula21, s.f.). Se piensa que esta tecnología aumentará la productividad en usos como: industrias aeroespaciales, manufactura, productos de consumo, productos electrónicos y construcción; asimismo, reducirá el desperdicio de materiales y el tiempo de fabricación a través de la incorporación de innovación de los procesos de las organizaciones (Candi, 2018).

Las personas fabricantes y usuarias de impresoras 3D indican que la transformación digital en las actividades públicas y privadas aprovechan la revolución originada por la Industria 4.0 para conseguir ganancias en productividad y competitividad (CEPAL, 2021). Se espera que la impresión 3D tenga un impacto disruptivo en el sector de la ingeniería y construcción. La manufactura aditiva permite la impresión de piezas con un diseño específico, las cuales no pueden ser producidas por otro método.

Según Aula21 (s.f.), las entidades fabricantes de impresoras 3D afirman que al trabajar con estas se aumenta 10 veces la velocidad y se disminuye 5 veces el costo de fabricación, lo que brinda una gran ventaja para quienes necesitan una creación rápida de prototipos. Aunque las impresoras 3D de gama alta siguen siendo costosas, otras están reduciendo cada vez más su precio y muchas personas expertas estiman que pronto se transformarán en algo usual en los hogares de todo el mundo.

La investigación realizada se centró en aparatos de impresión de la tecnología FDM (*fused deposition modeling* o modelado por deposición fundida). El modelado por deposición fundida es el método más usado en impresoras de uso no industrial. Estas impresoras son relativamente accesibles para la universidad y son las

consideradas dentro de la propuesta. El modelado por deposición fundida es la técnica menos costosa respecto a los otros procesos. Esta tecnología utiliza un filamento de polímeros o incluso alambres de metal. Este material se encuentra inicialmente enrollado en una bobina y se va desenrollando para suministrar material a una boquilla de extrusión; dicha boquilla se calienta para fundir el material y se puede mover en las tres dimensiones. Después de pasar por la boquilla, el material sale y se endurece formando la capa respectiva. La pieza creada se produce por la extrusión de pequeñas partes del material por utilizar en la impresión.

La propuesta sugiere usar una impresora del tipo RepRap y otra con derechos de propiedad. La impresora RepRap permite la modificación extensa de sus piezas y no tiene ninguna restricción por parte de la marca en cuanto al material o especificaciones de impresión. Esta impresora se caracteriza por tener un costo muy accesible, el cual ronda entre los \$100 y \$500 dólares americanos dependiendo del fabricante, tamaño de la impresora y otras especificaciones iniciales; tal impresora es capaz de imprimir las piezas que la componen. La impresora de código cerrado tiene restricciones en la capacidad de modificar sus características, pero garantiza un buen soporte por parte de la entidad fabricante y resultados de impresión más predecibles y controlados. El costo de una impresora de este tipo puede rondar entre los \$800 y \$6000 dólares americanos o incluso más. Tanto la impresora de código abierto como la impresora con derechos de propiedad permiten utilizar gran variedad de materiales de impresión.

3 Tendencias alternativas para la didáctica

3.1 La forma tradicional de enseñar en la Escuela de Ingeniería Civil (EIC)

El conductismo ha sido un enfoque pedagógico usual en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. La premisa pedagógica de este enfoque es que la persona docente presenta el conocimiento adquirido a través del análisis de las partes para comprender la realidad. La persona docente plantea objetivos unidireccionales con el fin de adquirir y aplicar los conocimientos proporcionados en clase. Para alcanzar este fin se formulan actividades de aprendizaje que transmitan conocimientos (por ejemplo, clases magistrales, conferencias de personas expertas y comprobaciones de lectura) y finalmente se realizan evaluaciones (por ejemplo, exámenes memorísticos, imitación de ejercicios y exposición oral de textos científicos). El estudiantado que aprende con este enfoque tiene un rol pasivo-receptor de conocimiento y solamente activo por ensayo y error. Se demuestra que ha adquirido el conocimiento al memorizarlo, repetirlo y ejecutarlo cuando se les solicite (Rueda-Japón, 2016).

3.2 Las formas alternativas: constructivismo

El presente artículo plantea recurrir al constructivismo y alejarse del enfoque tradicional conductista. El constructivismo plantea que

...cada alumno estructura su conocimiento del mundo a través de un patrón único, conectando cada nuevo hecho, experiencia o entendimiento en una estructura que crece de manera subjetiva y que lleva al aprendiz a establecer relaciones racionales y significativas con el mundo (Abbott y Ryan, 1999).

“El sujeto interactúa con la realidad, construyendo su conocimiento y, al mismo tiempo, su propia mente. El conocimiento nunca es copia de la realidad, siempre es una construcción” (Piaget como se citó en Arévalo y Nauta, 2011, p. 13). En este sentido, la propuesta que se busca como elemento innovador se basa en una construcción del conocimiento de forma conjunta entre estudiantes y docentes en ingeniería por medio de actividades en las que el estudiantado tiene en sus manos el manejo de ciertas variables del proceso enseñanza-aprendizaje.

Según Piaget, citado en Arévalo y Nauta (2011), el desarrollo cognitivo es el esfuerzo del niño y niña (o estudiante en desarrollo) por comprender y actuar en su mundo. Se centra en los procesos de pensamiento y en la conducta que estos reflejan. Desde los inicios de aprendizaje, el sujeto se enfrenta a “situaciones nuevas que se asimilan; los procesos en sí, se dan uno tras otro, siendo factores importantes en el desarrollo, el equilibrio y el desequilibrio, ambos impulsan el aprendizaje y se produce la acomodación del conocer” (Robayo, 2011, p. 20). Asimismo, según Arévalo y Nauta (2011), la acomodación se realiza cada vez que el sujeto aprende algo, lo adapta a los hechos que experimenta para ajustar a la percepción del alumnado.

El desarrollo genera procesos cognitivos. La inteligencia es la asimilación en la medida en que incorpora a su sistema todos los datos que le da la experiencia. Al mismo tiempo, el cuerpo se adapta a lo que ha aprendido. Para lograr aprendizajes efectivos, la propuesta persigue este proceso de asimilación de conocimientos y pone a la persona estudiante como sujeto activo (no pasivo) en el proceso.

El constructivismo es un movimiento que une el desarrollo de las modernas teorías del aprendizaje y el de la psicología cognitiva. De acuerdo con Rueda-Japón (2016):

Este movimiento se opone a percibir el aprendizaje como receptivo y pasivo considerándolo más bien como una actividad organizadora compleja del estudiante que construye y reconstruye sus nuevos conocimientos propuestos a partir de revisiones, selecciones, transformaciones y reestructuraciones de sus antiguos conocimientos pertinentes en cooperación con su maestro y sus compañeros (p. 17).

Según el constructivismo,

...el verdadero aprendizaje humano es una construcción de cada quien y que logra modificar su estructura mental. El término constructivista indica que, (...), el ser humano construye activamente nociones y conceptos que asocia con la experiencia individual que tiene con la realidad material (Rueda-Japón, 2016, p.17).

3.3 Antecedentes del modelado e impresión 3D en la educación

A nivel mundial y también local, es posible hallar casos específicos acerca de la aplicación del modelado e impresión 3D en el ámbito de la educación. La introducción de la nueva tecnología en el sector educativo ha impactado positivamente al estudiantado. En general, la población de estudiantes ha mostrado un mayor interés por el contenido estudiado.

El Departamento de Educación del Reino Unido (2013) (Department for Education o DfE) financió un pequeño proyecto acerca de impresoras 3D para explorar el potencial las impresoras 3D en la enseñanza STEM (*science, technology, engineering and mathematics* o ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). En particular, se le pidió a 21 escuelas que exploraran formas innovadoras de usar la tecnología para apoyar la enseñanza de ideas complejas. La mayoría de las escuelas reportaron altos niveles de interés por parte del estudiantado involucrado en los proyectos. Por otro lado, el estudiantado dio testimonio de que, gracias a la tecnología, podía crear figuras y elementos que con herramientas normales no era posible y que, además, podían explorar mayor cantidad de ideas y diseños.

Kostakis et al. (2015) efectuaron un proyecto de investigación en un colegio de Grecia en el que examinaron hasta qué punto las capacidades tecnológicas de la impresión 3D de código libre y de bajo costo podrían servir como medio de enseñanza y comunicación. El estudiantado tenía que familiarizarse con el proceso de modelado e impresión 3D y, asesorado por docentes, diseñar objetos que contuvieran mensajes en braille y que fueran novedosos y funcionales para niños y niñas no videntes. El resultado fue un mayor involucramiento por parte del estudiantado en el proceso de aprendizaje. Además, se observó más disciplina y más organización por parte del alumnado que normalmente se consideraba poco cooperativo.

Tanto a nivel mundial como nacional, existen los llamados Fab Lab (Fabrication Laboratory o Laboratorio de Fabricación Digital). Estos son talleres empleados para producir objetos físicos a escala personal o local y que agrupan máquinas controladas por ordenador (Fab Lab Alicante, s.f.). Una impresora tipo RepRap, de plástico o de partes de yeso; una cortadora de láser controlada por computadora; una fresadora normal y otra de precisión; una cortadora de vinilo, y herramientas de programación para procesadores baratos figuran como los equipos esenciales dentro de estos sitios (Estévez-Serrano, 2019). Los Fab Lab se pueden utilizar por cualquier persona incluyendo tanto a docentes como estudiantes. El conocimiento de las personas usuarias de estos espacios puede compartirse a través de la red mundial de Fab Lab (Estévez-Serrano, 2019).

En el país, los Laboratorios Institucionales de Microcomputadoras (LAIMI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) proveen servicios de impresión 3D al estudiantado de la universidad a un precio conveniente. En la actualidad, la impresión 3D se emplea para prototipado en la Universidad VERITAS, en la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica y en la carrera

de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica. Además, la impresión 3D ha comenzado a implementarse en trabajos finales de graduación en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. También, la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica (AEIMUCR) capacitó a más de 150 estudiantes de primer año en el uso de las impresoras 3D y otros equipos. En general, en estos casos de Costa Rica, el estudiantado ha mostrado interés por la nueva tecnología.

En la investigación de Casqueiro et al. (2017), se describe el uso de la impresión 3D para facilitar que el alumnado de ingeniería mecánica adquiera la visión espacial para poder realizar planos de piezas. Se elaboraron modelos tridimensionales de piezas metálicas que ya se utilizaban en el curso de Expresión Gráfica, pero que eran insuficientes para toda la población de estudiantes, y se imprimieron piezas plásticas y también secciones de estas, lo cual facilita la comprensión de su geometría. En esta experiencia se concluye que la impresión 3D es una herramienta útil para la generación de piezas; la disponibilidad de estas permitió que el alumnado decidiera la mejor forma de trazar sus planos y la aceptación por parte de este fue elevada.

Beltrán y Rodríguez (2017) investigaron cómo las impresoras en 3D constituyen un recurso que poco a poco está encontrando un espacio en los centros educativos y cómo justificar la utilización de este recurso para la enseñanza de las matemáticas a partir de una serie de experiencias de aula y tareas que se pueden plantear para comprobar que se ponen en juego conocimientos matemáticos, aplicando la noción de configuración de objetos y significados matemáticos, que revelan contenidos propios del nivel educativo del alumnado al que se dirigen.

Beltrán y Rodríguez (2017) concluyen que “es pertinente, desde el punto de vista epistémico, considerar propuestas de enseñanza-aprendizaje que hagan uso del modelado y la impresión 3D” (p.16).

Según Bordignon et al. (2018), el estado del arte incluye otras experiencias, tales como: en 2015 en Argentina, en la Universidad Pedagógica (UNIPe) se desarrollaron talleres en escuelas técnicas, en el marco de su programa de extensión *Más allá de las pantallas*, en el que estudiantes y docentes se organizaron como comunidades de aprendizaje en torno a la temática. Cada equipo ensambló y calibró su propia impresora 3D, y el estudiantado y personal docente han creado el único grupo de capacitación en el que se han dado interacciones y suplementos gigantes. Según la misma fuente, en Madrid, en el mismo año, se han invertido alrededor de dos millones de euros en la compra de tres impresoras 3D para organizaciones de educación secundaria para usarlas en un nuevo tema para el plan de programación y distribución de la tecnología. En este programa se han promovido puentes con otras asignaturas y trabajos conjuntos, así como repositorios en donde las personas usuarias comparten sus diseños, experiencias, dudas y logros.

Bordignon et al. (2018) mencionan que las impresoras 3D ya están en exhibición en las escuelas de Estados Unidos como parte de una campaña oficial para promover *Maker Faires* en las instituciones educativas, incluso recibiendo apoyo de la Casa Blanca para permitir que las personas participantes incursionen en la robótica.

En la investigación de Acuña (2022), se reporta el caso de utilización del modelado y la impresión 3D con el objetivo de reconstruir el valor histórico y complejidad técnica de una gran obra de ingeniería patrimonio costarricense, el puente ferroviario sobre el Río Grande de Atenas. Por medio de una investigación histórica y un escaneo de nube de puntos se modeló y se imprimió el puente, que a escala midió 2 m de largo como se observa en la Figura 1.



FIGURA 1.
Modelo 3D del puente sobre el Río Grande de Atenas
Fuente: Acuña (2020).

Este proyecto capturó la atención de estudiantes y docentes, motivó nuevas investigaciones para comprender el funcionamiento de este tipo de estructuras. Lugo fue representado como ponencia en un simposio de investigación y demostró la viabilidad del uso de estas tecnologías para cumplir con el objetivo propuesto.

4. Metodología

La metodología tiene un enfoque cualitativo, en donde en primer momento se conceptualizó la idea, posteriormente se llevó a cabo un planteamiento del problema. En un tercer momento, a través de una revisión de la literatura existente y la construcción de un marco conceptual, se llevó a cabo un proceso de inmersión inicial en el campo de estudio. Como cuarto paso se determinó el objeto de estudio, en este caso es el plan de estudios de la carrera. Posteriormente, se definió el universo de elementos de análisis, que en este caso fueron los 86 cursos de la carrera. Como sexta etapa se hizo una recolección de información a través de análisis de los programas de los cursos y de entrevistas con docentes y estudiantes. Como séptima etapa se analizaron los datos y se diseñó la propuesta. En este caso particular, se tuvo una etapa de validación de la propuesta. Finalmente, se interpretaron los resultados y se redactó el informe final. (Hernández, 2014)

Como parte de la investigación, se llevaron a cabo entrevistas con tres grupos de personas. Los criterios utilizados para seleccionar el grupo de personas fueron, en primer lugar, que tuvieran conocimiento y experiencia en las áreas de docencia, práctica de la ingeniería, modelado o impresión 3D; que fueran profesionales y, finalmente, que estuvieran disponibles para responder la solicitud de entrevista. Los tres grupos consistieron en: profesionales con experiencia en impresión 3D, pero sin experiencia en docencia; docentes de la Escuela de Ingeniería Civil con experiencia en docencia, pero sin experiencia en impresión 3D; personas con experiencia tanto en la impresión 3D como en docencia. De las entrevistas realizadas, se pudo tener una noción más amplia acerca de los beneficios que puede generar la impresión 3D en la Escuela de Ingeniería Civil, así como de los retos por atender si se aplica la tecnología. Asimismo, se obtuvieron sugerencias para implementar la impresión 3D en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

Posteriormente, se analizó la totalidad del programa de la carrera y se seleccionaron ciertos cursos de acuerdo con los criterios de escogencia anteriormente relatados. De los cursos seleccionados, estos se dividieron en grupos con base en la facilidad y en la prontitud con que la nueva tecnología puede ser implementada. Los conjuntos creados son los grupos 1, 2 y 3. Los cursos del Grupo 1 son los que tienen mayor facilidad de implementación, serán los primeros en los que la impresión 3D será aplicada y formarán parte de un plan piloto para la implementación de la impresión 3D en la carrera de Ingeniería Civil. Posterior a la implementación de la impresión 3D en los cursos del Grupo 1, la tecnología en consideración podrá ser aplicada en el Grupo 2. Por último, una vez finalizada la implementación en el Grupo 2, se aplicará la impresión 3D en los cursos del Grupo 3.

Por lo tanto, el cronograma de la propuesta de esta investigación cuenta con estas tres etapas en las que se implementará la impresión 3D en determinados cursos. Adicionalmente, antes de la implementación de la tecnología aditiva en el Grupo 1, existirá una etapa de sensibilización, motivación y capacitación.

Para cada curso seleccionado se elaboró una ficha resumen. Cada ficha resumen contiene los conceptos de mayor relevancia y que tienen mayor facilidad para la aplicación de la impresión 3D. Además, la ficha resumen tiene un ejemplo de impresión 3D que ilustra el concepto.

También, se propusieron actividades transversales, las cuales no forman parte de los cursos. Estas contemplan la implementación de la impresión 3D a través de cursos organizados por la Asociación de Estudiantes de Ingeniería Civil (AEIC), cursos ofrecidos por el Programa de Educación Continua (PEC) de la Escuela de Ingeniería Civil, cursos en línea con otras universidades, foros anuales o semestrales, charlas y conferencias durante el semestre, un blog intra o interuniversitario, concursos y encuentros interuniversitarios y proyectos de trabajo comunal universitario (TCU).

La propuesta se validó por medio de un panel compuesto por 12 personas, de las cuales tres eran mujeres, dos docentes y una gestora de innovación. Entre las personas de este panel se encontraban profesoras, gestoras de innovación de organizaciones de la sociedad civil y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil. En la escala del 1 al 10, la propuesta obtuvo un puntaje superior a 8.5 en la calificación de cada categoría de validación. Las sugerencias de las personas participantes del instrumento de validación se incorporaron en la versión final de la propuesta. El instrumento de validación se puede encontrar en el *Apéndice C* de este artículo y proviene de la investigación de Blanco-Sitchenko (2020).

4 Resultados

4.1 La malla curricular de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica

Actualmente, para graduarse de ingeniería civil en la Universidad de Costa Rica se debe aprobar un conjunto extenso de cursos que pueden variar de acuerdo con su fin. Existen 4 bloques de cursos organizados de acuerdo con su propósito en la malla curricular. Estos bloques son:

Cursos de formación humanística: Ejemplos de estos cursos son Humanidades, Actividad Artística y Actividad Deportiva. Cursos de servicio: La mayoría de estos cursos se relaciona con las ciencias básicas de matemáticas y física. Cursos de fundamentos de la ingeniería: Ejemplos de estos cursos son Dinámica, Diseño Gráfico, Comunicación Técnica y Administración en Ingeniería. Cursos de carrera: Estos son cursos especializados de cada una de las seis áreas de la ingeniería civil. Los cursos de carrera ofrecen las herramientas suficientes para enfrentar problemas reales de proyectos en ingeniería civil. Algunos ejemplos de estos cursos son: Diseño de Estructuras de Concreto, Ingeniería de Cimentaciones, Obras Hidráulicas, Construcción Sostenible, Ingeniería de Tránsito y Avalúos Inmobiliarios.

En la Figura 2, se presenta la malla curricular de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica y se resaltan los grupos de los cursos de la propuesta.

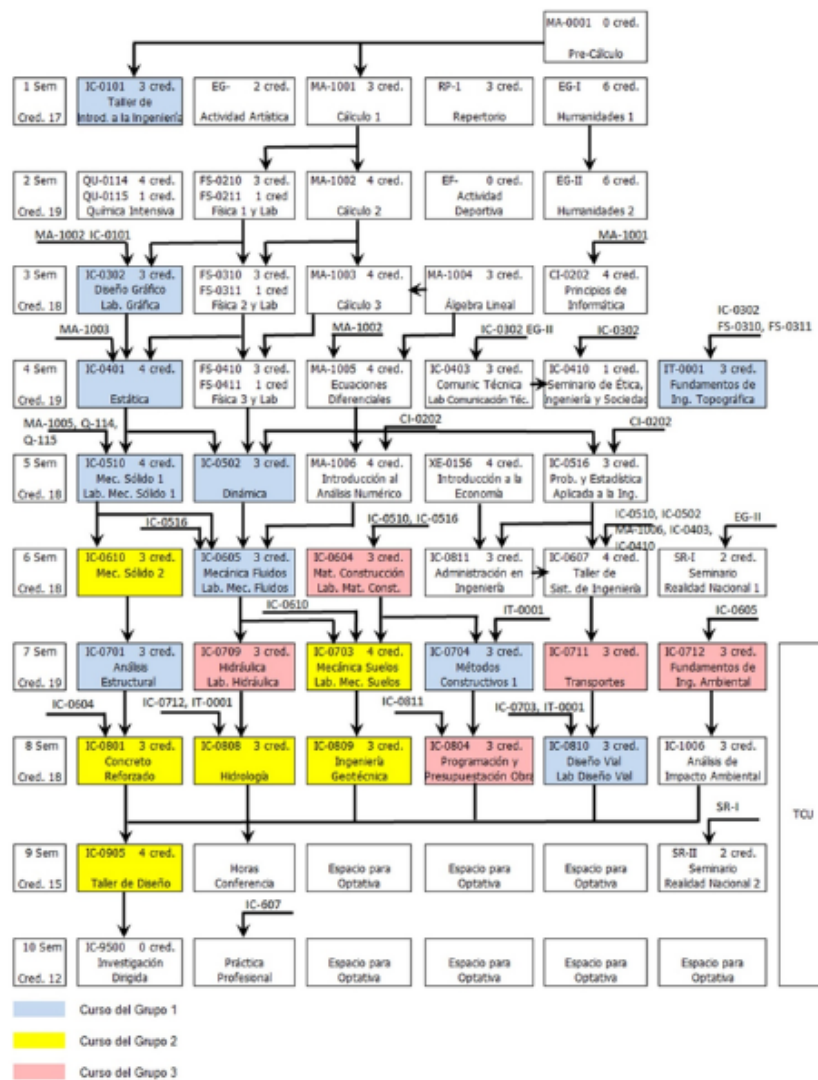


FIGURA 2.
Malla curricular de Ingeniería Civil de la Universidad
de Costa Rica con los grupos de cursos de la propuesta
Fuente: Escuela de Ingeniería Civil (2019).

4.2 Los cursos de la malla curricular que se beneficiarían con la propuesta

El plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica cuenta con 86 cursos. Estos 86 cursos se sometieron al proceso de filtración anteriormente relatado. De esos cursos se seleccionaron las asignaturas cursadas únicamente por estudiantes de Ingeniería Civil obteniendo un total de 69 cursos.

Posteriormente, se excluyeron los cursos que no tratan sobre el entendimiento de objetos físicos reales y se seleccionaron los cursos que tratan de temas de diseño, modelado o cálculos matemáticos que no sean de contabilidad o de costos. Con este filtrado se obtuvo un total de 22 cursos. Finalmente, la propuesta sugiere incluir el modelado e impresión 3D en estos 22 cursos.

Estos cursos son los que se clasificaron en 3 grupos de acuerdo con la facilidad de la implementación del modelado e impresión 3D y a la prontitud con que la tecnología puede ser aplicada. Los grupos de la propuesta se muestran en la Tabla 1. En la Tabla 1, por consiguiente, se muestra el resultado del filtrado de los 86 cursos a un resultante de 22 y se indica la etapa progresiva en que se recomienda implementar cada determinado curso, con base en el aumento gradual de la complejidad de los conceptos que se abordan en los cursos; así como la viabilidad de imprimir un modelo que ilustre aceptablemente bien los conceptos.

implementación inicial del plan piloto. La clasificación de todos los cursos elegidos se observa en el Apéndice B.

En la Figura 3 se muestra el cronograma para la propuesta de esta investigación. En primer lugar, se ejecutará un proceso de sensibilización, motivación y capacitación. A continuación, se explican los tres objetivos principales de dicha fase:

Sensibilización: Las tecnologías aditivas tienen una invención reciente. Podría existir un nulo o escaso conocimiento acerca de estas, por lo que será importante efectuar un proceso de sensibilización tanto en docentes como en estudiantes.

Motivación: El escepticismo respecto a la tecnología sugerida podría presentarse especialmente en las personas docentes, por lo que resulta necesario iniciar un proceso de motivación. El compromiso del profesorado es muy importante, especialmente en el plan piloto que determinará la factibilidad de implementar la tecnología propuesta en los grupos 2 y 3. El proceso de motivación también debe ser aplicado en el estudiantado para que este tenga interés en la nueva tecnología, la cual está cambiando y cambiará el futuro de la construcción.

Capacitación: La capacitación ayudará a evitar las largas colas de trabajo, el desperdicio excesivo de material y el daño al equipo. La capacitación también permitirá a las profesoras y profesores apropiarse de la tecnología en los cursos y transmitir su conocimiento al estudiantado.

Una segunda etapa del cronograma comprenderá la implementación del modelado e impresión 3D en los grupos 1 y 2. En esta fase, se implementará la tecnología a pequeña escala en aulas, laboratorios y proyectos. Una tercera fase del cronograma consistirá en la implementación de la tecnología en el Grupo 3. Esta etapa se basa en el aprovechamiento de la nueva tecnología para la industria ingenieril. Esta última fase no solo comprende las impresiones a pequeña escala, sino también el aprovechamiento de la tecnología a gran escala utilizando materiales más regularmente usados en la industria de la construcción. En esta etapa pueden surgir proyectos de investigación que busquen soluciones a problemas de la industria. Adicionalmente, la propuesta sugiere la ejecución de talleres de verano de los que se pueden beneficiar tanto docentes como estudiantes.

		Semestres y vacaciones																	
		1º	2º	vac.	3º	4º	vac.	5º	6º	vac.	7º	8º	vac.	9º	10º	vac.	11º	12º	
SENSIBILIZACIÓN, MOTIVACIÓN Y CAPACITACIÓN	Planificación																		
	Implementación																		
	Cursos de verano																		
PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL GRUPO 1	Planificación																		
	Implementación																		
	Cursos de verano																		
PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL GRUPO 2	Planificación																		
	Implementación																		
	Cursos de verano																		
PLANIFICACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL GRUPO 3	Planificación																		
	Implementación																		
	Cursos de verano																		

FIGURA 3.
Cronograma de la propuesta
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Validación de la propuesta

La propuesta de implementación fue analizada con una sesión de validación. En esta participaron especialistas y personas pertinentes que se podrían ver involucradas si se adoptara la estrategia didáctica propuesta en estudios de la carrera.

A partir de las respuestas obtenidas en la sesión, se hizo una valoración crítica (o en el caso de esta herramienta de validación, una calificación), que fue posible gracias a los cuestionarios sobre la temática que fueron utilizados. Se ubica en el Apéndice C.

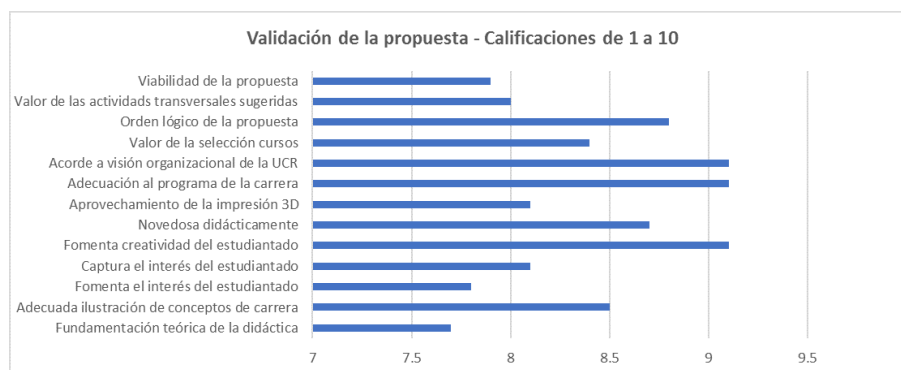


FIGURA 4.
Resultados de la validación de la propuesta
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron valoraciones sobre la propuesta, tanto en su concepción teórica como en su factibilidad. La Figura 4 muestra los promedios de calificación de 1 a 10 con las 13 dimensiones validadas en la propuesta. Para la sesión se convocó a varias personas especialistas y docentes a quienes se les envió la solicitud para participar en la evaluación. De las personas invitadas aceptaron participar 12 personas que se componen de la siguiente forma:

- 5 docentes de la EIC de la UCR
- 1 profesora y arquitecta de la UCR que utiliza impresión 3D en su carrera de forma didáctica
- 1 profesor coordinador del PEC de la EIC
- 3 profesionales de Ingeniería Civil incorporados al CFIA
- 2 estudiantes de Ingeniería Civil de la UCR

La herramienta analizó 13 dimensiones de la propuesta:

1. Fundamentación teórica de la didáctica: los conceptos teóricos utilizados para justificar la propuesta desde el punto de vista didáctico están bien fundamentados.
2. Adecuada ilustración de conceptos de carrera: las ilustraciones, modelaciones y distintas actividades propuestas para reflejar conceptos de los cursos de Ingeniería Civil se adhieren de forma correcta a la teoría detrás de esos conceptos con el uso de la herramienta de impresión 3D
3. Fomenta interés del estudiantado: la propuesta, en general, fomenta el interés del estudiantado en aprender los conceptos o en ir más allá.
4. Captura el interés del estudiantado: los contenidos de la propuesta y las fichas tienen el potencial de capturar la atención del estudiantado.
5. Fomenta creatividad del estudiantado: la propuesta, en general, fomenta la creatividad de los estudiantes a través de las diversas actividades.
6. Novedosa didácticamente: la propuesta se alinea a nuevas metodologías de enseñanza y al uso de tecnologías de información y comunicación en la enseñanza.
7. Aprovechamiento de la impresión 3D: a su criterio, la propuesta hace el mejor uso posible de la impresión 3D.
8. Adecuación al programa de carrera: la propuesta se adapta y es acorde al programa de carrera de la EIC y responde a problemáticas actuales de la carrera.
9. Acorde a visión organizacional de la UCR: la propuesta es acorde a la estrategia y visión organizacional de la UCR en los ejes de docencia, investigación y acción social.
10. Valor de la selección de cursos: la selección de cursos propuestos para aprovechar la impresión 3D es válida y presenta buen balance en las áreas de Ingeniería Civil.

11. Orden lógico de la propuesta: la propuesta de implementación en etapas es válida y sigue un orden adecuado al programa de carrera.

12. Valor de las actividades transversales: las actividades transversales propuestas, tales como las intersemestrales, interuniversitarias y otras, son de valor.

13. Viabilidad de la propuesta: la propuesta es viable, tomando en cuenta criterios como los recursos presupuestarios para implementarse, el recurso temporal del profesorado, estudiantes y otras personas profesionales que dediquen tiempo a la implementación de la propuesta.

Gracias a las opiniones de las personas entrevistadas, se definieron las configuraciones finales de la propuesta, las fases de implementación, los grupos de cursos y se ajustaron algunas de las propuestas de actividades didácticas y transversales.

6 Conclusiones y recomendaciones

En síntesis, es viable crear una propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica a través de la utilización de 22 cursos del plan de estudios más afines a dicha tecnología, y diseñarles una alternativa de método de enseñanza-aprendizaje, así como incorporar otras actividades transversales no asociadas a los cursos que podrían facilitar la adopción de la metodología.

Según las fuentes bibliográficas revisadas, se observó que los métodos tradicionales de aprendizaje se van superando por las nuevas formas de trabajo, el avance tecnológico y las nuevas generaciones. Actualmente, en el proceso didáctico se busca un rol más activo del alumnado, la resolución de problemas complejos y de la realidad profesional, la inclusión de proyectos y el uso de las nuevas tecnologías.

La investigación bibliográfica señala también que los nuevos métodos de aprendizaje utilizados con mayor éxito en las nuevas generaciones estudiantiles promueven la excelencia académica, las habilidades para resolver problemas complejos, la creatividad, el compromiso con la materia, el trabajo en equipo, el aprendizaje independiente y la capacidad de análisis.

Los casos de estudio analizados permiten concluir que existen precedentes del empleo del modelado e impresión 3D en el sector educativo tanto a nivel local como internacional. En los casos se mostró un mayor involucramiento del estudiantado en el proceso de aprendizaje.

A través de las entrevistas llevadas a cabo a docentes y estudiantes se nota la percepción de que el empleo de las tecnologías aditivas en el sector educativo mejora la retención de conceptos y la comprensión tridimensional. Así también, aumenta la variedad de proyectos y actividades que puede realizar el personal docente.

En el análisis llevado a cabo al plan de estudios de la Escuela de Ingeniería Civil, se observó que su estructura se compone de 4 tipos de cursos, de los cuales no todos podrían beneficiarse de la implementación de la tecnología. Estos tipos de asignaturas son los cursos de formación humanística, los de ciencias básicas, los de fundamentos de ingeniería y los de la carrera. El método predominante está basado en el conductismo y en formatos de lecciones magistrales apoyados por algunos proyectos.

Luego de analizar los casos exitosos de uso del modelado e impresión 3D y conocer sus particularidades y potencialidades, se eligieron asignaturas que traten sobre el entendimiento de objetos físicos reales y que tengan temas de diseño, modelado o cálculos matemáticos que no sean de contabilidad o de costos. De un total de 86 cursos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, 22 cursos se beneficiarán con la propuesta.

El diseño de la propuesta, basado en las recomendaciones de las personas expertas entrevistadas, demostró requerir actividades complementarias o los cursos del plan. Estas actividades permitirán un acercamiento de docentes y estudiantes a la tecnología de la investigación. Así también, fomentarán el trabajo en equipo, la interacción interuniversitaria a nivel nacional e internacional y el uso de medios de comunicación digitales.

La implementación sugerida se basa en una clasificación de cursos en tres grupos, de acuerdo con la prontitud y la facilidad de implementación de la tecnología. En un primer momento se implementó la

tecnología en el Grupo 1 con 10 cursos; en un segundo momento, se empleó en el Grupo 2 con 6 asignaturas, y, en un tercer momento, se introducirá en el Grupo 3 con 6 materias también.

Debido a la reciente llegada de las tecnologías aditivas al país, existe un escaso o nulo conocimiento acerca de estas técnicas y, en cierta medida, podría existir una aversión hacia estas, en especial por docentes de edades más avanzadas. Por ello, es importante implementar una etapa de sensibilización, motivación y capacitación que alcance tanto a docentes como a estudiantes. Una etapa así se introducirá antes de la implementación del modelado e impresión 3D en el Grupo 1.

Como recomendación, se aconseja discutir la implementación de la propuesta entre docentes, para dar pie a la creación de un plan estratégico que tome a la proposición como punto de inicio y la fortalezca mediante un aporte interdisciplinario. Además, se sugiere la introducción de nuevos temas de trabajos de graduación involucrados con el modelado e impresión 3D incluso antes de la implementación de la propuesta, puesto que, actualmente, la Escuela de Ingeniería Civil cuenta con una impresora 3D con filamentos y con el personal necesario para imprimir.

La incorporación formal de las tecnologías de impresión 3D tienen como ventaja para el estudiantado: motivación, mayores periodos de atención; para la universidad: innovación, prestigio y vanguardia tecnológica; para el profesorado: mayor capacidad de explicar conceptos, mayor comprensión en el estudiantado.

La aplicación de esta metodología en los cursos de forma transversal fomenta la construcción de los hábitos de pensamiento ingenieril que busca la carrera, tales como: visualización, dominio del espacio 3D, modelación, análisis de problemas o estructuras, visión sistémica y pensamiento diseñador (Design Thinking). Estas habilidades son útiles en los diferentes espacios de diseño que se tienen durante la carrera en sus momentos iniciales, intermedios y avanzados.

En cuanto al contexto global, propuestas similares a las de este artículo ya han sido implementadas en otras partes del mundo, como se ejemplifica en las investigaciones de Casqueiro et al. (2017), Beltrán y Rodríguez (2017) y Bordignon et al. (2018). Además, como se mencionó anteriormente, las impresoras 3D están comenzando a ser más factibles de adquirir en centros educativos, por lo que se puede aplicar esta metodología en otras partes del mundo.

REFERENCIAS

- Aula21. (s.f.). *Impresión 3D: todo lo que necesita saber. Blog Industria 4.0*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-impresion-3d/>
- Abbott, J. y Ryan, T. (1999). *Constructing Knowledge and Shaping Brains [Construyendo conocimiento y formando cerebros]*.
- Acuña, G. (2022). *La impresión 3D con fines didácticos y de rescate histórico del puente ferroviario sobre el Río Grande*. [Tesis de grado]. Universidad de Costa Rica
- Arévalo, D. G. y Ñauta, M. G. (2011). *Estado actual del desarrollo de destrezas lectoras en el cuarto año de educación básica de acuerdo a la teoría Piagetiana*. [Tesis previa a la Obtención del Título de licenciatura en ciencias de la educación en la especialización de Educación General Básica]. Facultad de Filosofía, Letras y ciencias de la Educación, Universidad de Cuenca.
- Beltrán, P. y Rodríguez, C. (2017). *Modelado e impresión en 3D en la enseñanza de las matemáticas: un estudio exploratorio*. *REIDOCREA*, 6, 16-28.
- Blanco-Sitchenko, D. (2020). *Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D a cursos seleccionados del plan de estudios de Ingeniería civil de la Universidad de Costa Rica* [Tesis de licenciatura inédita]. Universidad de Costa Rica.
- Bordignon, F., Iglesias, A. y Hahn, A. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas*. UNIPE.

- Candi, M. (2018). *Effective use of 3D printing in the innovation process [Uso efectivo de la impresión 3D en el proceso de innovación]*. Technovation.
- Casqueiro, C., Solla, M., Carreño, R. y Alfonsín, V. (2017). *Uso de la impresión 3D en la enseñanza de la Expresión Gráfica*. Universidad de Extremadura.
- CEPAL. (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. Naciones Unidas.
- Cepeda-Minaya, D. (24 de abril del 2017). *Los métodos de enseñanza que son tendencia. Cinco Días*. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/04/24/fortunas/1493027974_912809.html
- Coolhunting Group. (2018). *La transformación digital de la logística y la industria*. <https://coolhuntingnow.com/wp-content/uploads/job-manager-uploads/download/2018/11/Coolhunting-Informe-Tendencias-en-la-Transformacion-Digital-de-la-Logistica-y-la-Industria.pdf>
- Departamento de Educación del Reino Unido. (2013). *3D printers in schools: uses in the curriculum [Impresoras 3D en las escuelas: sus usos en los currículos]* (DFE-00219-2013). <https://www.gov.uk/government/publications/3d-printers-in-schools-uses-in-the-curriculum>
- Estévez-Serrano, R. (7 de mayo del 2019). *¿Qué es un Fab Lab? ecointeligencia [sic]*. <https://www.ecointeligencia.com/2019/05/fablab/>
- Escuela de Ingeniería Civil. (2019). *Malla curricular del nuevo plan de estudios 2019*. <http://www.eic.ucr.ac.cr/planes-estudio/>
- Fab Lab Alicante. (s.f.). *¿Qué es un Fab Lab?* <http://fablab.ua.es/que-es-fab-lab/>
- Goldman Sachs Group. (s.f.). *Millennials: Coming of Age [Millenials: llegando a la mayoría de edad]*. <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/millennials/>
- Grupo CMM GT. (15 de agosto del 2018). *Aulas Modernas. Una nueva forma de aprender*. <https://grupocmm.com/aulas-modernas-una-nueva-forma-de-aprender/>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: Mc Graw Hill.
- Kostakis, V., Niaros, V. y Giotitsas, C. (2015). *Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece [Impresión 3D de código abierto como método de enseñanza: experimento educativo en dos colegios de Grecia]*. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tele.2014.05.001>
- Levy-Bravo, G. E. (17 de junio del 2020). *Las dimensiones de la Cuarta Revolución Industrial*. Andina Link. https://andinalink.com/las-dimensiones-de-la-cuarta-revolucion-industrial/#_ftn7
- Mongeau, L. (24 de enero del 2019). *How to build an engineer: Start young [Cómo crear a un ingeniero: empieza desde la niñez]*. *The Hechinger Report*. https://hechingerreport.org/how-to-build-an-engineer-start-young/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+HechingerReport+%28Hechinger+Report%29
- Moore, K., Jones, C. y Frazier, R.S. (2017). *Engineering Education For Generation Z [Educación en ingeniería para la generación Z]*. *American Journal of Engineering Education*, 8(2), 111-126. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1162924.pdf>
- Novotney, A. (Marzo del 2010). *Engaging the millennial learner [Motivando al estudiante milenial]*. *Monitor on psychology*, 41(3), 60. <http://www.apa.org/monitor/2010/03/undergraduates.aspx>
- PBLWorks. (s.f.). *What is PBL? [¿Qué es el aprendizaje basado en problemas (APB)?]*. <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>
- Popescu, D., Popa, D.M. y Cotet, B.G. (2019). *Getting ready for Generation Z students - considerations on 3D printing curriculum [Preparándose para los estudiantes de la generación Z: consideraciones sobre la impresión 3D en el currículo]*. *Propósitos y Representaciones*, 7(2), 240-268. <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.280>
- Robayo, M. (2011). *Diseño y aplicación de una guía didáctica de cultura estética para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en los niños de cuarto año de educación básica de la Escuela José Mejía Lequerica de la Ciudad de*

Machachi, Cantón Mejía. Provincia de Pichincha periodo 2009 2010. [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Rueda-Japón, L. F. (2016). *La impresión 3D como recurso educativo para la innovación de la enseñanza* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/9175>

Salesforce. (10 de abril del 2018). *¿Qué es la Cuarta Revolución Industrial?* Salesforce Blog. <https://www.salesforce.com/mx/blog/2018/4/Que-es-la-Cuarta-Revolucion-Industrial.html>

Schwab, K. (14 de enero del 2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond* [La Cuarta Revolución Industrial: ¿qué significa? y ¿cómo adaptarse a ella?]. Foro Económico Mundial. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

Sparks y Honey. (2012). *Meet Generation Z: Forget Everything You Learned About Millennials* [Conozca a la generación Z: y olvide todo lo que aprendió sobre los milenials] [Diapositiva de PowerPoint]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/lfreirev/introduccion-a-la-economia-1698253>

INFORMACIÓN ADICIONAL

Cómo citar: Mata-Abdelnour, E. (2023). Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D para la enseñanza de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. *Revista Educación*, 47(1). <http://doi.org/10.15517/revedu.v47i1.51675>