

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D a cursos  
seleccionados del plan de estudios de Ingeniería Civil en la Universidad de  
Costa Rica

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Daniel Blanco Sitchenko

Director de Proyecto de Graduación:

Ing. Erick Mata Abdelnour

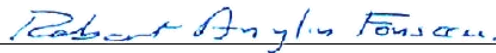
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

## MIEMBROS DEL COMITÉ ASESOR



---

Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD  
Director



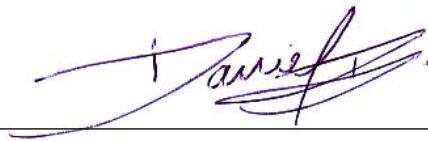
---

Ing. Robert Anglin Fonseca, MSc  
Asesor



---

Ing. Gustavo Ruiz Cano, M.B.A.  
Asesor



---

Daniel Blanco Sitchenko  
Graduando

## DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Fecha: 2020, agosto, 25

El suscrito, Daniel Blanco Sitchenko, cédula 1-1443-0697, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A80940, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D a cursos seleccionados del plan de estudios de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica, bajo la Dirección del Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

## DEDICATORIA

A mi familia, que tanto apoyo y motivación me han brindado a lo largo de los años.

A mis padres, que en paz descansen ambos. Les agradeceré por siempre todo el apoyo incondicional y los consejos que me dieron para ser quién soy hoy como persona.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Erick Mata Abdelnour por la guía, consejos y el constante apoyo que me dio durante la realización de este trabajo. Siempre encontré cómo dedicar parte de su valioso tiempo para ayudarme a finalizar este trabajo con éxito.

A los miembros del comité asesor, por los consejos y el apoyo que me dieron a pesar de los múltiples impases que hubo durante la realización del trabajo. También quiero agradecer a la Ing. Irene Campos quién fue asesora previamente y me motivó a emprender este trabajo.

A los miembros del laboratorio de manufactura aditiva del Instituto Nacional de Aprendizaje, en especial a Luis Rojas por darme tanto apoyo a inicios de este trabajo, sobre todo con el aporte de modelos impresos utilizando el equipo del laboratorio.

A todos los entrevistados durante la realización del trabajo, por su tiempo valioso y anuencia a responder las preguntas, mostrando además gran interés por el tema en cuestión.

A todos aquellos que asistieron a la sesión de validación, por dedicar varias horas de su tiempo a formar parte esencial de este trabajo. Sin ustedes este trabajo no tendría el mismo valor.

Por último, pero no menos importante, a todos mis familiares, amigos y allegados que me han motivado a obtener este logro a través de los años.

# ÍNDICE GENERAL

Índice de cuadros .....	2
Índice de figuras .....	3
Capítulo 1 Introducción.....	5
1.1. Justificación.....	5
1.1.1. El problema específico .....	5
1.1.2. Importancia .....	6
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema .....	7
1.2. Objetivos.....	11
1.2.1. Objetivo general.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Delimitación del problema.....	11
1.3.1. Alcance.....	11
1.3.2. Limitaciones.....	12
1.4. Metodología.....	12
1.4.1. Recopilación de información .....	14
1.4.2. Producto.....	15
1.4.3. Informe .....	16
Capitulo 2. Marco teórico .....	17
2.1. Educación y pedagogía.....	17
2.2. Nuevas tecnologías y su inserción en la didáctica.....	19
2.3. Impresión 3D.....	20
Capitulo 3. Diagnóstico de la situación actual.....	24
3.1. Análisis del currículo actual de la carrera de Ingeniería Civil.....	24
3.1.1. Metodología actual de enseñanza en la EIC .....	24
3.1.2. Clasificación de los cursos en grupos de implementación de la propuesta.....	25
3.2. Entrevistas y visitas relacionadas.....	32

3.2.1.	Entrevistas a profesores de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR .....	35
3.2.2.	Entrevistas a profesionales con experiencia en manufactura aditiva .....	40
Capítulo 4.	Propuesta de implementación y validación .....	48
4.1.	Propuesta de implementación .....	48
Ajuste a la propuesta inicial de grupos, sugerido durante la validación .....		48
4.1.1.	Ficha de implementación por curso .....	51
4.1.2.	Actividades transversales .....	54
4.1.3.	Estimación de capacitaciones y recursos para la implementación de impresión 3D en la carrera .....	58
4.2.	Herramienta de validación .....	62
Resumen del resultado de la herramienta de validación .....		64
Capítulo 5.	Conclusiones y recomendaciones .....	70
5.1.	Conclusiones .....	70
5.2.	Recomendaciones .....	74
Bibliografía .....		77
Apéndices.....		80
Apéndice A.	Ejemplos de aplicación de impresión 3D en cursos.....	80
Apéndice B.	Fichas de implementación para cursos.....	81
Apéndice C.	Herramienta de validación de propuesta .....	96

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación de los cursos según grupos de implementación en la propuesta .....	29
Cuadro 2.	Listado final de cursos por grupos para la propuesta de implementación.....	31
Cuadro 3.	Lista final de profesores de la carrera de la EIC entrevistados .....	36
Cuadro 4.	Desglose de costos aproximados para implementar la propuesta.....	61
Cuadro 5.	Ejemplos de aplicación de impresión 3D para ilustrar conceptos de cursos de la carrera de Ingeniería Civil en la UCR.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedad de equipamiento que se encuentran en los FabLab (impresora 3D, cortadora láser, máquinas CNC, fresadoras, etc.) Fuente: <a href="http://www.tecedu.com/wp-content/uploads/2014/04/">http://www.tecedu.com/wp-content/uploads/2014/04/</a> .....	10
Figura 2. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo .....	13
Figura 3. Impresora 3D comercial Fuente: (Rivero, 2014) .....	22
Figura 4. Esquema básico de un FDM y su resultado una vez terminada la impresión Fuente: (Rivero, 2014) .....	23
Figura 5. Malla curricular clasificada en bloques de cursos y grupos de implementación de la propuesta .....	30
Figura 6. Elemento de cercha impreso en 3D utilizando tecnología de fotopolimerización.....	35
Figura 7. Cursos seleccionados para beneficiarse de la tecnología divididos en grupos .....	49
Figura 8. Módulos extracurriculares de la Escuela de Ingeniería Mecánica entre los cuales imparten uno de impresión 3D Fuente: <a href="http://www.eim.ucr.ac.cr/?q=node/139">http://www.eim.ucr.ac.cr/?q=node/139</a> .....	55
Figura 9. Ejemplo de un concurso interuniversitario de Ingeniería Civil que consiste en diseñar un marco que protege un huevo Fuente: <a href="https://concretesociety.co.za/images/stories/pics-in-epd-2015/6.jpg">https://concretesociety.co.za/images/stories/pics-in-epd-2015/6.jpg</a> .....	57
Figura 10. Presupuesto semestral para la propuesta en tres ejes y los cursos de las etapas.	62
Figura 11. Matriz de calificación de rubros de herramienta de validación .....	65
Figura 12. Conteo por rubro de calificaciones .....	65



Blanco Sitchenko, Daniel

Propuesta para la incorporación del modelado e impresión 3D a cursos seleccionados del plan de estudios de Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica

Proyecto de Graduación. – Ingeniería Civil – San José, CR.:

D. Blanco S., 2020

103h.: 12 ils. – 17 refs.

## RESUMEN

La carrera de Ingeniería Civil presenta cursos donde la materia puede ser abstracta y requiere inteligencia espacial. Además, las nuevas generaciones de estudiantes tienen intervalos de atención más cortos y con preferencia por enseñanza más visual y mayor uso de tecnológica. La impresión 3D, y por extensión, la manufactura aditiva, ha tomado relevancia como tecnología utilizada en la industria ingenieril, pero también se ha insertado como sólida herramienta didáctica en diversas instituciones académicas del mundo. El objetivo del presente trabajo es proponer un proceso de adopción de la tecnología de impresión 3D en cursos seleccionados de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, no solo como herramienta didáctica, sino también como tecnología relevante para el avance de la Ingeniería Civil como disciplina.

Para esto, se partió del estudio de casos existentes de implementación de manufactura aditiva en currículos dentro y fuera del país, así como las metodologías didácticas que lo sustentan. Esto se apoyó en entrevistas a profesionales y educadores que hayan implementado la tecnología en sus respectivas instituciones, así como profesores de la Escuela de Ingeniería Civil (EIC), para obtener retroalimentación sobre la propuesta y su potencial de aplicación. Se empezó por un análisis del currículo actual de la carrera de Ingeniería Civil, a partir del cual se realizaron fichas que planteaban una ruta de aplicación de impresión 3D para algunos cursos en diferentes etapas. Además, se plantearon actividades transversales que complementan las fichas y enriquecen la implementación de la tecnología en el currículo. Finalmente se realizó una herramienta de validación, la cual buscaba a través del criterio de especialistas y personas involucradas en la implementación de la impresión 3D en la carrera, validar y darle valor a la estrategia didáctica de la implementación propuesta.

El resultado fue la generación de fichas de aplicación de impresión 3D en cursos claves de la carrera. Segundo, una propuesta con gran grado de aceptación por parte de los evaluadores y que, a partir de recomendaciones en la validación, obtuvo una reestructuración en tres etapas reflejando tres ejes principales de ejecución: proceso didáctico de entendimiento de la impresión 3D, implementación de impresión 3D en aulas, laboratorios y proyectos, y un eje sobre aprovechamiento de la tecnología para la industria ingenieril y la impresión a gran escala. Finalmente, se evidenció que hay poco conocimiento sobre el potencial de la tecnología en la industria civil pero gran anuencia a adoptar nuevos métodos didácticos y tecnologías para el avance de la carrera de Ingeniería Civil.

Palabras clave: manufactura aditiva, impresión 3D, constructivismo, implementación.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Justificación

#### *1.1.1. El problema específico*

Si bien no hay un estudio específico en que se haya valorado el nivel de apropiación de conocimiento de los estudiantes de Ingeniería Civil de la UCR a partir de los métodos actuales de enseñanza-aprendizaje, es importante indagar sobre nuevas corrientes que permitan desarrollar mejores capacidades en los estudiantes de las nuevas generaciones. La carrera presenta cursos donde la materia puede muchas veces ser abstracta y que requiere inteligencia espacial; por lo tanto, se hace todavía más común la falta de atención de los estudiantes y, con esto, el requerir de métodos didácticos innovadores y efectivos que garanticen motivarlos y capturar su atención.

Los estudiantes que ingresan a la universidad durante estos años pertenecen en parte a lo que se denomina la generación Y (o "*millennial*"), que comprende las personas cuyas fechas de nacimiento se encuentran usualmente entre los años 1980 y el 2000 (Goldman Sachs, 2012). Actualmente también está empezando a cursar la universidad parte de la demografía de la generación Z, que según la fuente que lo defina, usualmente corresponde a aquellas personas que hayan nacido desde mitad de los años 90, hasta el 2010 aproximadamente (Randstad, 2014). Ambas generaciones se caracterizan por requerir nuevos métodos de aprendizaje, respecto a los que utilizaron las generaciones. Estas generaciones acogen cada vez más las tecnologías digitales, prefieren la mayoría del tiempo educarse a través de Internet y en general demuestran tener un intervalo de atención más corto que las generaciones precedentes (de 8 segundos incluso), lo que los vuelve más susceptibles de perder la atención si no se les estimula eficientemente en corto tiempo. (Sparks & Honey, 2012). Además, responden mejor a la variedad de la enseñanza, es decir a la diversidad en las maneras en que se les brinda la materia y esto genera la necesidad de usar la tecnología para ampliar el espectro de herramientas didácticas. (Novotney, 2010)

En tal sentido, la tecnología de modelado e impresión 3D, incorporada a la enseñanza consiste en una técnica innovadora y en auge, que permite crear objetos tridimensionales a partir de

un modelo digital hecho por computadora. Actualmente hay técnicas de impresión 3D muy eficientes a nivel de costo y tiempo, lo que la hace una herramienta muy útil para transportar, del mundo virtual al mundo material, cualquier idea y concepto que se quiera demostrar en un curso universitario, logrando así aumentar el nivel de involucramiento de los estudiantes con la materia que reciben.

Por otra parte, del lado de la academia, hay una necesidad constante por renovarse y mantenerse al día con las mejores prácticas mundiales en didáctica. Para la Universidad de Costa Rica y específicamente para la Escuela de Ingeniería Civil (de ahora en adelante denotada como EIC), es pertinente la actualización de la metodología didáctica aplicada. Mantenerse en mejora continua, para la EIC significa mantener el status de institución que brinda educación de calidad e innovadora, así como mantener la acreditación de la carrera por parte del Consejo Canadiense de Acreditación de Programas de Ingeniería (CEAB por sus siglas en inglés) y del Sistema Nacional de Acreditación de la Educación Superior (SINAES), y más recientemente por la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería y Arquitectura (AAPIA) del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).

### *1.1.2. Importancia*

Se ha observado que los estudiantes de las generaciones Y y Z mencionadas anteriormente, responden de mejor manera a formas visuales de aprendizaje. De hecho, la enseñanza auditiva (lección y discusión) se ha vuelto menos deseada por la mayoría de esta población (Rothman, 2014). Para esto, se tiene que hacer más atractiva la enseñanza en la carrera. Para lograrlo se deben complementar las metodologías didácticas actuales, enfocándose especialmente en la parte visual y táctil de la didáctica, para ayudar a los estudiantes a comprender de la mejor manera conceptos que, textualmente o incluso con imágenes en dos dimensiones, no sencillo entenderlos.

Por esta razón, la implementación de la tecnología de modelado e impresión 3D en los cursos, pretende ser una gran ayuda visual a los estudiantes, para facilitar la comprensión de conceptos abstractos o que requieran más imaginación e inteligencia espacial. Asimismo, a partir de la implementación de esta tecnología en el currículo, se pretende aumentar el involucramiento de los estudiantes en los cursos y su mejor aprovechamiento. Se busca ayudar a estudiantes que tengan poca concentración, a ver resultados más tangibles y comprender de forma más rápida y significativa, los conceptos complejos. De esta forma, se lograría mantener y aumentar el

nivel de interés e involucramiento en la clase. Incluso, la tecnología ayuda a los estudiantes a crear prototipos de productos, sin el uso de herramientas costosas que requieren otros métodos más lentos. Lo anterior, con el objetivo final de que los estudiantes sean profesionales, mejor preparados, para un mercado cada vez más demandante y competitivo.

Por otro lado, a partir de los procesos de acreditación con agencias internacionales, la EIC se asegura, no solo tener un currículo que está al nivel de las universidades mundiales que el ente acreditador acoge, sino también ofrecer mejores oportunidades laborales a los graduados. En el caso de la carrera de Ingeniería Civil, esta entidad corresponde al CEAB de Canadá y más recientemente a la AAPIA. Por esta razón, a través de la propuesta presentada en este trabajo, se propone que la incorporación de la impresión 3D en el programa tome relevancia en el mejoramiento de la carrera y así fortalecer la acreditación. Aunado a la acreditación, la incorporación de la impresión 3D también representa un factor relevante para aumentar el prestigio de la Universidad y la carrera, a nivel de clasificación mundial de universidades (**"ranking" de universidades**), como por ejemplo la que emite Quacquarelli Symonds, en la cual la UCR optó por el puesto 18 a nivel latinoamericano y 501 a nivel mundial en el año 2016 (Vindas, 2016).

Cabe mencionar que la tecnología requiere que ambos, profesores y estudiantes, aprendan a utilizar y dominar el proceso de modelación e impresión 3D. Como se verá más adelante, esto crea un sentido de comunidad y desarrolla la habilidad de trabajar y cooperar en grupo. Los institutos de educación superior, que cuentan con programas de modelación e impresión 3D son más atractivos para nuevos estudiantes, pero también para compañías interesadas en entrenar a sus futuros empleados.

### *1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos del problema*

La relación del modelado e impresión 3D y la educación se puede encontrar no solo indirectamente en teorías del aprendizaje, sino también en casos concretos y prácticos de los últimos años donde esta tecnología ha incursionado en el ámbito académico, a nivel internacional y nacional.

Del lado teórico de la relevancia de esta tecnología en el aprendizaje, se puede mencionar el caso del construccionismo, el cual es una metodología del aprendizaje definida inicialmente por Seymour Papert y que está basada en la teoría constructivista de la educación propuesta por Jean Piaget (Papert & Harel, 1991). Esta metodología aboga por una enseñanza, en donde los

estudiantes aprenden a través de la participación en proyectos, en los cuales son orientados por un profesor para hacer conexiones entre diferentes ideas y áreas de conocimiento, en lugar de una lección magistral o una guía paso a paso. Además, el construccionismo defiende que la enseñanza es más efectiva cuando las personas activamente realizan objetos tangibles en el mundo real. En ese sentido, el construccionismo está ligado a un aprendizaje experimental. (Alesandrini & Larson, 2002)

Kostakis, Niaros y Giotitsas (2015) efectuaron un proyecto de investigación en un colegio de Grecia, donde examinaron hasta qué punto las capacidades tecnológicas de la impresión 3D de bajo costo (con *hardware* libre, es decir, a partir de componentes reproducibles sin violentar derechos de autor) podrían servir como medio de enseñanza y comunicación, basándose en justamente la idea del construccionismo, antes mencionada. Los estudiantes tenían que, después de familiarizarse con el proceso de modelado e impresión 3D y asesorados por los profesores, diseñar objetos que contuvieran mensajes en braille y que fueran novedosos y funcionales para niños no videntes. El resultado fue un mayor involucramiento por parte de los estudiantes en el proceso de aprendizaje y realización del proyecto y se observó además una menor necesidad de disciplina y más organización, por parte de estudiantes que normalmente se consideraban poco cooperativos. (Kostakis, Niaros, & Giotitsas, 2015)

Siguiendo con la idea de la investigación anterior, el Departamento de Educación del Reino Unido (2013) financió un proyecto para explorar el potencial del uso de impresoras 3D, para enriquecer la enseñanza en materias de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. La idea consistía en que 21 escuelas exploraran maneras innovadoras de usar la impresión 3D para ayudar a enseñar conceptos complejos de ciencia y matemáticas. Aplicado a matemáticas, se enfatizó el desarrollo de la capacidad de visualización tridimensional al imprimir figuras geométricas y funciones matemáticas en tres dimensiones. En una de las escuelas se imprimieron unas láminas con el fin de complementar la enseñanza del concepto de centros de masa. La mayoría de las escuelas reportaron altos niveles de motivación e interés por parte de los estudiantes involucrados en los proyectos. Por otro lado, los estudiantes dieron testimonio de que, gracias a la tecnología, podían crear figuras y elementos que con herramientas normales no era posible y además podían explorar mayor cantidad de ideas y diseños.

La importancia del modelado y la impresión 3D no se limita a la enseñanza directamente, sino que posibilita la creación de instrumentos académicos y didácticos a un costo menor del que

se podrían conseguir en el mercado regular. Como ejemplo de esto, un artículo publicado por el Departamento de Materiales de la Universidad de Michigan liderado por Zhang, Anzalone, Faria y Pearce (2013), explora la fabricación de equipo de investigación óptico a partir de hardware libre. En este trabajo, generaron una librería de código abierto con piezas utilizadas para formar equipo de investigación óptico a bajo costo, a partir de piezas de bajo costo en ferreterías, así como partes imprimibles en 3D. Estas últimas se diseñaron en un software de diseño en 3D de código libre llamado OpenSCAD. El resultado del proyecto demostró, que si por ejemplo se quisiera equipar un laboratorio de pre-grado con 30 equipos ópticos básicos, la inversión sería menor a los 500 dólares (USD) usando la librería de hardware y código libre, en contraste con los 15 000 dólares (USD) de versiones comerciales de equipos ópticos similares, es decir un ahorro del 97 %. Aparte del ahorro monetario, se evidenció un ahorro de tiempo considerable, ya que la personalización e impresión de las piezas en menos de un día, evita el encargo y transporte de piezas a distribuidores. (Zhang, Anzalone, Faria, & Pearce, 2013)

También se encuentran iniciativas a nivel mundial que permiten la colaboración y el impulso de la creación de objetos, a través de los conocidos FabLab (laboratorios de fabricación digital en inglés). Estos son talleres de fabricación digital de uso personal para producir objetos físicos a escala y que agrupa máquinas controladas por computadoras. La particularidad de estos espacios es que son una red global de laboratorios que favorecen la colaboración y la creatividad, pero además tienen fuerte vínculo con la sociedad ya que estos espacios son de uso libre por profesores, estudiantes, empresarios y cualquier persona interesada en utilizar sus servicios para experimentar y darle cualquier otro uso. Este concepto surgió a principios del Siglo XXI en el Center for Bits and Atoms (CBA) del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), gracias a una investigación que giraba en torno a la relación entre contenido de la información y su representación física, así como al empoderamiento de las comunidades gracias a una tecnología base. Estos espacios usualmente cuentan con los siguientes equipos: prototipador rápido (usualmente una impresora 3D hecha de plástico o yeso) así como impresoras 3D de marca, cortadora láser controlada por computadora, fresadoras normales y de precisión, cortadora de vinilo, así como herramientas de programación para procesadores baratos. Algunos de estos se pueden observar en la Figura 1. Algunos de los resultados que se han obtenido con estos espacios es la creación de turbinas solares, ordenadores y redes de datos inalámbricas, instrumentos de análisis para agricultura y salud, casas personalizadas, etc. En general la consecuencia de estos espacios es abrir el camino a la fabricación personal

y la individualización de la producción. Permite además, socialmente, promover el empoderamiento de las personas para que se apropien de las técnicas de producción y puedan solucionar problemas reales de su vida cotidiana o sencillamente producir algo que no existe o que desean producir.

A nivel nacional, ya se encuentran varios de estos espacios, incluido el de la Universidad Veritas del cual se habla más adelante. También existe el FabLab Kä Träre que se ubica en las instalaciones de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) y a través del cual se generó una colaboración entre distintos profesionales (diseñador industrial, programador, un experto en impresión 3D y un cirujano maxilofacial) para construirle una máscara protectora a un futbolista costarricense que había recibido una lesión en el pómulo. Hay otros dos FabLab presentes en el país y finalmente, lo que permiten es una comunicación y colaboración entre estudiantes profesores y profesionales de distintos campos en una red, no solo local, pero también internacional, en la cual aprenden unos de otros y también agilizan y enriquecen el proceso de creación.



Figura 1. Variedad de equipamiento que se encuentran en los FabLab (impresora 3D, cortadora láser, máquinas CNC, fresadoras, etc.)

Fuente: <http://www.tecedu.com/wp-content/uploads/2014/04/>

A nivel nacional hay casos concretos de utilización de la tecnología de impresión 3D a nivel industrial (empresas privadas que ofrecen el servicio), pero también a nivel educativo. Los laboratorios LAIMI del Instituto Tecnológico de Costa Rica cuentan con impresoras 3D para uso de los estudiantes. Asimismo, la Universidad Veritas creó un laboratorio para fabricar

tecnología, bajo la iniciativa FabLab. Incluso en la actualidad, en el contexto de la pandemia mundial producida por el virus del COVID-19, a nivel de la Facultad de Ingeniería de la UCR se están construyendo protectores para el personal médico elaborados con impresoras 3D presentes incluso en la EIC.

## 1.2. Objetivos

### *1.2.1. Objetivo general*

Desarrollar una propuesta para la incorporación de la tecnología de impresión 3D en el currículo de la carrera de la EIC de la Universidad de Costa Rica y validar dicha propuesta.

### *1.2.2. Objetivos específicos*

- a) Identificar avances y usos a nivel mundial de la tecnología de impresión 3D en el ámbito profesional y educativo, así como teorías y técnicas modernas de pedagogía a nivel universitario.
- b) Detectar oportunidades de incorporar los beneficios de la tecnología de impresión 3D a partir del análisis del currículo actual de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR.
- c) Diseñar una propuesta de introducción de la tecnología de impresión 3D a la carrera de Ingeniería Civil de la UCR y validarla.

## 1.3. Delimitación del problema

### *1.3.1. Alcance*

La propuesta de incorporación de la tecnología de impresión 3D se enfocó exclusivamente a la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica. Además, la propuesta se centró en la implementación de la tecnología para ámbitos no industriales, enfocado especialmente a la aplicación académica. Se consideró para ello solo los cursos de la carrera que tengan potencial de beneficiarse de esta tecnología, esto según criterios que se mencionarán más adelante. Algunos ejemplos de aplicación de la impresión 3D a cursos de la carrera se pueden observar en el Apéndice A. Ejemplos de aplicación de impresión 3D en cursos. Por otro lado, se consideraron impresoras de uso no industrial y que sean relativamente accesibles económicamente para la universidad. El trabajo se enfocó en impresoras que utilicen métodos de impresión de modelado por deposición fundida (y los materiales asociados a esta técnica,



como por ej. polímeros), ya que es el método más utilizado y común en impresoras de uso no industrial. Se limitó al estudio de casos existentes fuera y dentro del país, así como opiniones del gremio académico y de la industria sobre el tema y su potencial de aplicación académico. La propuesta de incorporación de la impresión 3D a la carrera contiene, estos elementos:

a) Una propuesta de cuáles cursos de la malla curricular tendrían oportunidad de beneficiarse con el uso de esta tecnología. La propuesta señala tres etapas en las que se podría hacer la implementación en cursos, según su factibilidad y complejidad.

b) Para cada curso propuesto, una ficha de implementación que contenga un listado de conceptos clave del curso por ilustrar, un ejemplo de ilustración de cada concepto usando la impresión 3D, entre otros.

c) Una propuesta de actividades transversales, a los cursos del currículo y a los niveles de la carrera, de forma tal que exista interacción entre estudiantes de diversos años, para ampliar el ámbito del uso de la impresión 3D en la carrera. Ejemplos: propuestas de concursos, foros, seminarios, etc. En las cuales participen estudiantes, profesores y otros invitados.

Se elaboró un modelo antes de realizar la propuesta, esto con el fin de presentárselo a profesores y estudiantes de Ingeniería Civil durante las entrevistas.

### *1.3.2. Limitaciones*

Debido al alto costo de una impresora 3D, no se pretende adquirir una impresora de este tipo para hacer una prueba real de impresión para mostrar su potencial didáctico, pero se buscará apoyo dentro de la EIC y otras instituciones que provean este servicio (por ej. FabLab de Universidad Veritas).

### 1.4. Metodología

La metodología seguida para la elaboración del proyecto propuesto se muestra en la Figura 2.

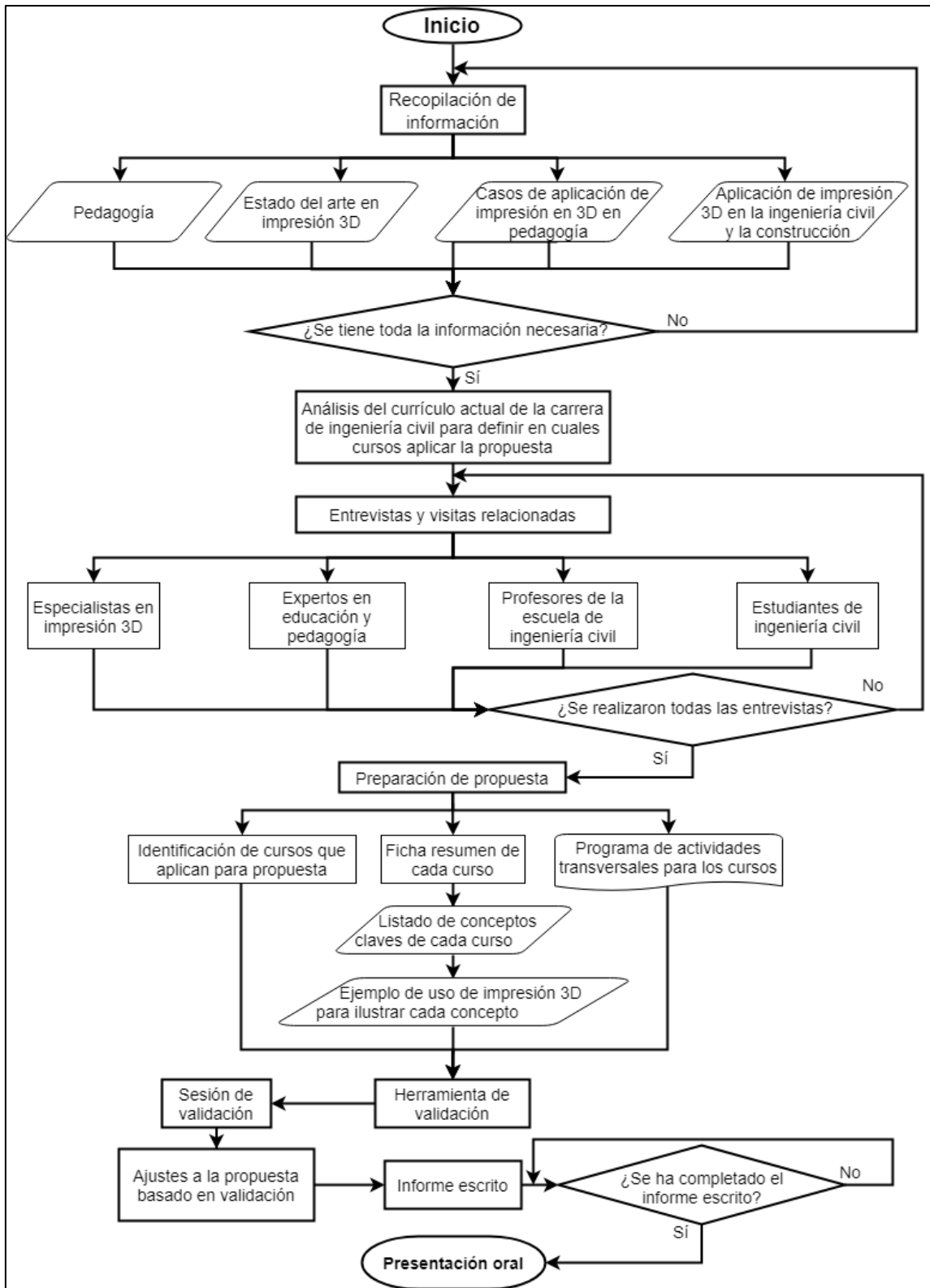


Figura 2. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo

#### *1.4.1. Recopilación de información*

Comprende la revisión del estado del arte y el contacto con los potenciales involucrados en la tecnología del modelado e impresión 3D, a nivel universitario y de la industria. Esta parte constó de búsqueda en Internet, informes de Trabajos Finales de Graduación de la UCR y otras instituciones, artículos y publicaciones y entrevistas planificadas.

##### *Estado de la cuestión*

Involucra la investigación bibliográfica pertinente a la propuesta actual. En un primer lugar, se buscó información sobre pedagogía y sus teorías, haciendo énfasis en las tendencias más modernas de la pedagogía que conciernen a la generación de estudiantes actual y por venir. En un segundo lugar, se complementó con investigación bibliográfica sobre el estado del arte de la impresión 3D a nivel mundial y nacional, que implica descubrir las prácticas comunes, los avances y sus distintas aplicaciones. Además, se buscaron casos existentes o en proceso de llevarse a cabo, de aplicación de la tecnología de impresión 3D en pedagogía, haciendo énfasis en pedagogía universitaria. Finalmente, como complemento, se indagó sobre el estado del arte de la impresión 3D en la Ingeniería Civil y en la industria de la construcción propiamente, exponiendo ejemplos a nivel mundial donde esta tecnología está siendo aplicada a la industria de la construcción y la Ingeniería Civil en general.

##### *Entrevistas y visitas relacionadas*

Esta parte de recopilación de información involucra el contacto directo con la industria de la impresión 3D, así como con los potenciales involucrados en la implementación de esta tecnología en la carrera de Ingeniería Civil, como lo son los profesores y estudiantes. Específicamente, esto trató en primera instancia de entrevistar a especialistas en impresión 3D, a nivel mundial como nacional, a través de contactos del director y asesores del proyecto, bajo modalidad de entrevista online a través de correo electrónico o a veces de forma presencial, si la persona se encontraba en el país. Igualmente, se entrevistaron personas involucradas con esta tecnología, como profesionales que tuvieran experiencia en el uso de esta tecnología desde años atrás. Paralelamente, se entrevistó a una experta en educación y pedagogía con tal de complementar la información anterior desde un marco pedagógico. Finalmente, se entrevistaron a profesores de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR con el fin de evaluar el recibimiento que esta tecnología pudiera tener en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil. La información recabada de las entrevistas a profesores es importante por varias razones.

Primero porque ellos son los que imparten los cursos y por ende verían su trabajo mejorar si se tiene mejores herramientas didácticas. Segundo, es imposible para un estudiante egresado recordar con detalle todos los conceptos vistos en todos los cursos de carrera, especialmente los de primeros semestres. Por ello fue importante aprovechar la dedicación de los profesores a ciertos cursos para obtener la retroalimentación adecuada.

#### *Análisis del currículo actual de la carrera de Ingeniería Civil*

Este paso consistió en familiarizarse con el contenido temático de cada curso de la carrera, con tal de evaluar previamente cuáles cursos eran los candidatos ideales para aprovechar eventualmente la tecnología de impresión 3D como herramienta didáctica y pedagógica. Aspectos preliminares que se tomaron en cuenta fueron, por ejemplo, si es un curso propio de la carrera (es decir, con sigla IC), los cursos que sean requisito de éste, si tiene o no horas de laboratorio, si presenta o no giras, el tipo de evaluaciones que presenta (exámenes, proyectos, etc.), el área al que pertenece, y si el curso es optativo. Eventualmente, un aspecto importante que se tomó en cuenta para priorizar algunos cursos fue el porcentaje de estudiantes que aprueba el curso al llevarlo por primera vez.

#### *1.4.2. Producto*

Esta etapa comprendió el desarrollo de los productos del trabajo. En primer lugar, la preparación de la propuesta de implementación, a partir del análisis de la información recopilada anteriormente y seguido, la confección de la herramienta de validación para la propuesta.

#### *Preparación de propuesta de implementación*

Esta propuesta constó, en primera instancia, de un análisis del programa de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la UCR, donde se obtuvo una lista de cursos que son candidatos para tomar provecho de la implementación de la impresión 3D en su currículo, que además fueron divididos según etapas, que corresponden a la facilidad y practicidad para implementar la impresión 3D según su contenido temático. Seguido, se realizó una ficha resumen para cada curso que se consideró, para la implementación de la impresión 3D. Estos cursos se agruparon en cursos que podrían beneficiarse de la impresión 3D en una primera etapa piloto de implementación del plan y otro grupo de cursos que podría beneficiarse posteriormente en una segunda etapa. La única excepción siendo Taller de Diseño ya que, al

no tratar un tema específico, no se pudo proponer listado de conceptos del curso, pero sí se considera un curso que tiene potencial de aprovechamiento de la tecnología.

Las fichas confeccionadas contienen los datos básicos del curso: (nombre del curso, sigla, semestre al que pertenece). El contenido esencial de la ficha del curso es un listado de conceptos claves del curso que se hayan considerado de mayor relevancia y con mayor potencial de aplicabilidad de la impresión 3D. Adjunto a cada concepto, se propuso un ejemplo de un modelo que podría modelarse y reproducirse en impresión 3D y que sea ilustrativo del concepto a enseñarse.

Como un punto adicional, se propusieron actividades transversales que no fueran directamente parte de los cursos, pero que contemplan la implementación de la tecnología de impresión 3D, a través de actividades que convocaran a la integración y participación de estudiantes de diferentes niveles de avance en el programa. Por ejemplo, seminarios, charlas, cursos, capacitaciones y concursos a nivel universitario e intra-universitario.

#### *Herramienta de validación*

Consistió en la realización de una herramienta para calificar la propuesta de implementación de la impresión 3D a la carrera de Ingeniería Civil en la UCR y de esta forma, determinar el grado de aceptación de dicha propuesta. Se pretendió que la validación fuera una medición sobre la base del nivel, calidad y solidez de la propuesta, a través de una revisión y calificación por parte de profesores de la EIC, especialistas en pedagogía, estudiantes de la carrera y eventualmente un miembro del CFIA. Se propuso que la herramienta de validación fuera completada por aproximadamente 15 personas, de los diversos tipos mencionados.

#### *1.4.3. Informe*

##### *Informe escrito*

Se redactaron los contenidos de acuerdo con lo solicitado en el documento PEEA-7 (Procedimiento para la elaboración del Informe Final y la Presentación Pública) de la EIC de la Universidad de Costa Rica.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Educación y pedagogía

“Didáctica” es la ciencia de la enseñanza y del aprendizaje. La “enseñanza”, en sentido pedagógico, es la acción de transmitir conocimientos y de estimular al alumno para que los adquiera. Por su parte, el “aprendizaje” es la adquisición de conocimientos. En la actualidad existen diversas formas de brindar educación y una de los más fundamentales es la formal. Esta es el que se imparte en los diversos establecimientos educacionales (colegios, universidades, institutos, etc) donde se guían a través de mallas curriculares, las cuales imparten una educación formativa a nivel intelectual en base de conocimientos prácticos, que permitirán al estudiante a insertarse en la sociedad.

Las distintas teorías existentes sobre estilos de aprendizaje son modelos explicativos que se han obtenido a partir de situaciones experimentales, las cuales pueden esclarecer relativamente el funcionamiento real de los procesos naturales del aprendizaje informal y formal. Según González (2014), los docentes asumen un enfoque pedagógico determinado según dos factores: la elección personal, es decir el enfoque con el cual se siente identificado y segundo la dirección pedagógica establecida en el proyecto curricular. A continuación, se detallan algunos de los enfoques más destacados para la innovación de la enseñanza, según González (2014):

#### *Enfoque conductista*

La premisa pedagógica de este enfoque es que el docente entrega el conocimiento, el cual se obtiene mediante análisis de las partes para comprender la realidad. El docente que practica esto, plantea objetivos unidireccionales cuyo fin es la adquisición y ejecución del conocimiento obtenido en clase, formulando actividades de aprendizaje con transmisión de conocimientos (clases magistrales, conferencias de expertos, comprobaciones de lectura) y finalmente realiza evaluaciones (exámenes memorísticos, imitación de ejercicios, exposición oral de textos científicos, etc). Los estudiantes que aprenden con este enfoque tienen un rol pasivo-receptor de conocimiento y solamente activo por ensayo y error. Se demuestra que han adquirido el conocimiento al memorizarlo, repetirlo y ejecutarlo cuando se les solicite (Rueda, 2016).

#### *Enfoque cognitivo*

Este enfoque plantea que el conocimiento es un acto interior donde la persona se desarrolla, interactúa con el saber y aprende más a través de la experiencia y conoce más sobre su entorno donde se desarrolla. El enfoque constructivista plantea que el conocimiento no se obtiene ni se posee, sino que se construye. Según Rueda (2016) se incluye en este enfoque: el aprendizaje significativo, el constructivismo y el aprendizaje por descubrimiento. (Rueda, 2016).

En primera instancia, el aprendizaje significativo enfatiza un aprendizaje que tiene sentido para quien aprende, incorporándolo y relacionándolo con sus conocimientos previos. Es fundamental la interacción de la persona con el conocimiento. Por su parte, el constructivismo plantea que el aprendizaje se construye, no se obtiene ni se descubre. El interés por aprender está en la realidad externa a la persona que desequilibra su aprendizaje anterior, construyendo un nuevo aprendizaje más evolucionado que el anterior (Rueda, 2016). El aprendizaje por descubrimiento resalta el papel de algunos procesos mentales, como la actitud ante los retos que se presentan para descubrir sus potencialidades al respecto y lograr pensar por sí mismo. Los conocimientos adquiridos son producto de la ciencia exacta así como de la ciencia empírica y de la experiencia propia y colectiva; por lo tanto la formación se desarrolla mediante un currículo que sea una secuencia de experiencias de aprendizaje estructuradas en cursos teóricos, prácticos y de vinculación con el contexto, en las cuales pongan en práctica conocimientos obtenidos de manera secuencial y progresiva (Rueda, 2016).

#### *Enfoque crítico*

Este enfoque difiere del conductismo y del cognitivismo, al plantear que el conocimiento se construye para un contexto determinado, mediante el proceso de interacción social entre la teoría, la práctica y la realidad. La capacidad de interpretar situaciones y sus causas históricas, la lectura constante de la teoría y de la realidad y su relación con la situación problema, son fundamentales en este enfoque. El aprendizaje es un proceso experimentado por las personas en interacción con su contexto.

#### *Enfoque pedagógico constructivista*

El constructivismo es un movimiento contemporáneo que sintetiza tanto el desarrollo de las modernas teorías del aprendizaje como el de la psicología cognitiva; que 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 compañeros: es decir el verdadero aprendizaje humano es una construcción de cada quien y que logra modificar su estructura mental (Rueda, 2016). El término constructivista implica precisamente que, bajo la relación aislada entre sujeto y objeto, el ser humano construye activamente nociones y conceptos, en correspondencia con la experiencia individual que va teniendo con la realidad material.

En esencia, la perspectiva constructivista del aprendizaje y de la intervención pedagógica parte de que el desarrollo y aprendizaje humano son básicamente el resultado de un proceso de construcción y no un proceso de recepción pasiva.

## 2.2. Nuevas tecnologías y su inserción en la didáctica

Entonces, la enseñanza y el aprendizaje se encuentran estrechamente relacionados, donde normalmente la enseñanza provoca el aprendizaje. La didáctica es importante en el proceso educativo, debido a que es un punto clave para alcanzar los objetivos propuestos, haciendo el proceso de enseñanza-aprendizaje más eficaz, creativo, dinámico, constructivo y significativo, tanto para el estudiante como para el docente. Además, por medio de ella se puede desarrollar la creatividad siguiendo técnicas y tomando en cuenta todas las herramientas tecnológicas modernas y actuales para lograr las metas de manera eficiente, innovando en todo momento el proceso de enseñanza aprendizaje. Las tecnologías de la información y la comunicación, en este contexto, son consideradas como un recurso didáctico importante, pues brindan apoyos en las distintas fases del proceso de enseñanza - aprendizaje. Durante este proceso, se pueden diseñar y generar, vía cómputo, una gran cantidad de actividades didácticas como: ilustraciones, letreros, carteles, mapas, diagramas, gráficas, tablas, almacenar y procesar datos, simulaciones, juegos interactivos, hojas electrónicas, bases de datos, procesadores de texto, editores, programas computacionales educativos, recursos multimedia, videos, audios, fotografías, documentos, lenguajes de programación y búsquedas de información en la Web (Rueda, 2016).



### 2.3. Impresión 3D

Se refiere al conjunto de técnicas que permiten la creación de objetos tridimensionales, luego de haberlos modelado en tres dimensiones, en un ambiente virtual.

La impresión se da usualmente a partir de la colocación sucesiva de capas de materiales, varios bajo el control del software de una computadora. Esta tecnología nace del resultado del constante deseo e investigación, por parte del ser humano, de crear herramientas que hagan la vida más fácil y expandan el límite de las posibilidades.

En el proceso de prototipado rápido por medio de una impresora 3D, un tema importante es el de los "ficheros STL" (*STereo Lithography, por sus siglas en inglés*). Este es un formato estándar de archivo digital, que es común entre todas las impresoras 3D. El STL resulta cuando se exporta un diseño hecho por computadora a este formato. Esto corresponde a la etapa previa a la obtención del producto final, es decir la impresión de la pieza tridimensional.

Todas las impresiones de objetos 3D inician con un modelo digital, diseñado para satisfacer las necesidades y exigencias del usuario que lo creó. Este modelo digital puede ser compartido, para que cualquier persona que cuente con un dispositivo de esta índole, pueda replicarlo.

#### *Prototipado*

Es el conjunto de tecnologías que permiten llevar a cabo la fabricación de productos desarrollados como objeto de prueba, elaborados por esta razón con materiales baratos, regularmente, como el plástico.

Los prototipos se crean utilizando la menor cantidad de recursos posibles, pero con suficientes detalles dimensionales, como para poder analizar adecuadamente su: forma, durabilidad, funcionalidad y presentación. Esto se hace con el objetivo de lograr, después de retroalimentaciones sucesivas, la optimización del prototipo, hasta que cumpla los objetivos buscados inicialmente y que se considere un producto final.

En los párrafos siguientes, se describirán las metodologías y herramientas técnicas que se utilizan para el prototipado.

#### *CAD*

El diseño asistido por computador, conocido por sus siglas en inglés como CAD (*computer aided design*), se refiere al uso de herramientas computacionales que asisten a ingenieros,

arquitectos y otros profesionales del diseño, permitiéndoles crear, modificar, simular los diseños de forma virtual.

La tecnología *CAD* se utiliza en procesos de prototipado para modificación, análisis y optimización de productos. El software tipo *CAD*, en la actualidad, se puede conseguir ya sea con licencias pagadas, o través de software de código libre, es decir de acceso gratis (por ej: OpenSCAD).

### *CAM*

La fabricación asistida por computadora, conocida por sus siglas en inglés como CAM (*computer-aided manufacturing*), implica el uso de tecnología de cómputo para controlar máquinas y/o procesos, en la fase de manufactura de productos y constituye el puente entre el *CAD* y los dispositivos encargados propiamente de la fabricación de los productos, por medio de instrucciones detalladas.

### *RP*

El prototipado rápido, conocido por sus siglas en inglés como RP (*rapid prototyping*), es un sistema que permite generar prototipos en tiempos generalmente menores a las 24 horas, periodo que incluye su planificación, diseño y construcción.

Inicialmente, este sistema era exclusivo del sector industrial debido al alto costo de inversión para desarrollar técnicas de este tipo, pero en la actualidad ha habido grandes avances y han surgido nuevas tecnologías en el campo que han acercado este sistema a la sociedad del consumidor.

### *Impresora 3D*

Es el dispositivo encargado de traducir los comandos de la computadora en la realización del producto final que se diseñó previamente.

Este dispositivo, al igual que sus contrapartes en dos dimensiones, realiza una impresión por capas de un material específico que formará finalmente el producto esperado, con la particularidad que este lo hace volumétricamente. Es decir, el material se va depositando y dando forma al objeto, a lo largo de las tres dimensiones. El producto final es un sólido volumétrico, con las características modeladas por el diseñador del objeto.

Este dispositivo se considera de tipo *CAD/CAM*, pues combina la tecnología *CAD* utilizada para el diseño del modelo digital, con la tecnología *CAM*, que dirige a la máquina que convierte en un objeto tangible el prototipo diseñado.

Actualmente, hay gran cantidad de procesos a partir de los cuales las impresoras 3D realizan los productos y todas están relacionadas a la manera en que manipulan el material del que estará hecho el prototipo creado.

La gran mayoría de impresoras, de uso no industrial, en la actualidad están basadas en el proceso de añadir capas sucesivas de material. La diferencia entre unas y otras técnicas, radica en la forma en que son depositadas las capas del material.

Un ejemplo de impresora 3D se puede observar en la Figura 3.

A continuación, se mencionará el proceso de impresión más comúnmente utilizado. Es importante anotar que, aunque existan otros procesos, este trabajo se limitará a dicho proceso que será descrito. Lo anterior, debido al alcance que tendrá la propuesta didáctica que se hará, y también a que las otras técnicas de impresión, son más costosas y por lo tanto menos accesibles:



Figura 3. Impresora 3D comercial

Fuente: (Rivero, 2014)

### *FDM*

El modelado por deposición fundida (FDM por sus siglas en inglés: *fusion deposition modeling*) es una tecnología que utiliza un filamento de plástico y polímeros (o incluso alambres de metal). Este material se encuentra inicialmente enrollado en una bobina y, a medida que se va utilizando para imprimir, se va desenrollando para suministrar material a una boquilla de extrusión, que es el dispositivo que controla el flujo de fundido.

En esta tecnología, la boquilla se calienta para fundir el material y se puede mover en las tres dimensiones, a través de un mecanismo de control numérico (*CNC*) que es controlado mediante un software de *CAM*.

El modelo, o pieza que se va a imprimir, se produce por extrusión de pequeñas partes de material termoplástico, para formar capas, gracias a que el material se endurece inmediatamente después de su extrusión por la boquilla.

Los materiales empleados en este tipo de modelado son generalmente polímeros, entre los que se incluyen el acrilonitrilo-butadieno-estireno (*ABS*), policarbonato (*PC*), ácido poliláctico (*PLA*), *PC/ABS* y polifenilsulfona (*PPSU*).

En la Figura 4, se puede observar la composición básica de este proceso de deposición fundida, así como un objeto resultante de la impresión.

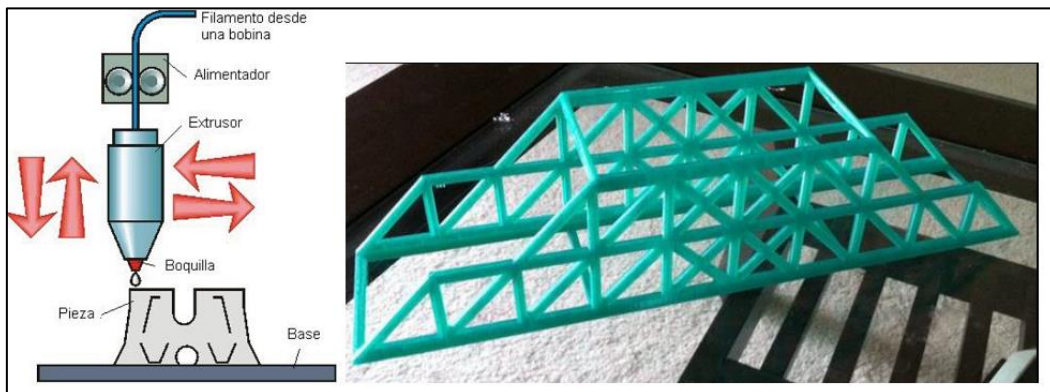


Figura 4. Esquema básico de un FDM y su resultado una vez terminada la impresión

Fuente: (Rivero, 2014)

## CAPITULO 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

### 3.1. Análisis del currículo actual de la carrera de Ingeniería Civil

#### *3.1.1. Metodología actual de enseñanza en la EIC*

Antes de adentrarse en la evaluación de cuáles cursos podrían ser idóneos para aprovechar la tecnología de impresión 3D, es importante esclarecer el método pedagógico que actualmente se aplica a nivel general en la carrera de Ingeniería Civil, para poder, a partir de ahí, realizar una propuesta de cómo adaptar la tecnología a la metodología actual. Adicionalmente, para brindar recomendaciones, sobre cómo agregar al currículo, otras metodologías didácticas más afines a la tecnología de impresión 3D, como lo es el constructivismo mencionado anteriormente.

Actualmente, para ser ingeniero civil se pasa por una serie de cursos con diferentes fines. Primero están los cursos de ciencias básicas, como cálculos y físicas. Segundo los cursos de ciencias de la ingeniería, que enseñan el enfoque de los problemas, de tal forma que se abstraigan estos y se segreguen en partes para poder solucionarlos eficientemente, y de forma económica y factible. Y finalmente los cursos especializados de cada una de las seis áreas de la EIC que ofrecen las herramientas suficientes para enfrentar problemas reales de proyectos en ingeniería. Además, en la carrera se deben cumplir con los cursos del Sistema de Educación General (SEG) de la UCR para la formación integral del estudiantado.

En cuanto a la relación docente-estudiante en la escuela, predomina el enfoque tradicional, donde el docente presenta frente a un grupo de estudiantes la materia del curso, a través de la explicación de un listado de contenidos, mientras los estudiantes toman nota y le consultan al profesor. Este enfoque de clase magistral consiste en charlas del docente, apoyadas de recursos visuales o el uso de la pizarra para la resolución de problemas. Es el método predominante y usualmente (según el curso) se ve acompañado de charlas, giras o proyectos grupales, en los cuales se aplican conceptos del curso a situaciones reales o hipotéticas. La excepción a ese enfoque es el curso de Taller de Diseño. En este curso, de formato taller, está ausente la clase magistral, ya que se trata de un curso dirigido a diseñar distintos tipos de proyectos, para los distintos grupos de estudiantes. Por otro lado, la interacción entre teoría y práctica, en la enseñanza, se hace evidente sobre todo en cursos que contemplan laboratorios, como parte del curso. Estos cursos permiten que los estudiantes tengan experiencia en dos

partes del curso: la teoría, en la clase teórica del curso y la práctica, en la clase de laboratorio, por lo que usualmente les genera un mayor grado de interés, como experiencia de aprendizaje.

### *3.1.2. Clasificación de los cursos en grupos de implementación de la propuesta*

Desde el primer semestre del año 2019 se realizó un cambio en el plan de estudios de la carrera. Los cambios más importantes se explican a continuación:

Cambios en la cantidad de créditos: Introducción a la ingeniería (IC-0100): de 2 a 3 créditos, Mecánica de Fluidos (IC-0605): de 4 a 3 créditos, Sistemas de Ingeniería (IC-0607): de 3 a 4 créditos, Mecánica de Suelos (IC-0703): de 3 a 4 créditos.

Cambios en el semestre que se imparten los cursos (y a su vez cambios en los requisitos): Repertorio: se programa llevarlo en el primer semestre, en lugar del último; Introducción a la Economía (XE-0156): del sexto al quinto semestre; Sistemas de ingeniería (IC-0507): del quinto al sexto semestre; Estadística aplicada (IC-0606): del sexto al quinto semestre; Administración en Ingeniería (IC-0811): del octavo al sexto semestre; Impacto Ambiental (IC-1006): del décimo al octavo semestre.

Cursos eliminados y nuevos cursos: Los cursos de Química 1 y 2 fueron reemplazados por un solo curso de Química Intensiva con laboratorio (Q-0114/0115) y un total de 5 créditos que se imparte en el segundo semestre; Normas y Reglamentos fue reemplazado por el Seminario de Ética, Ingeniería y Sociedad (IC-0410), de un crédito y que se imparte en el cuarto semestre; el curso de Topografía fue reemplazado por el curso de Fundamentos de Ingeniería Topográfica (IT-0001) de tres créditos y que sigue impartándose en el cuarto semestre; El curso de Construcción I cambió su nombre a Métodos Constructivos I; Estadística aplicada (IC-0606) pasó a ser Probabilidad y Estadística Aplicada (IC-0516) y se eliminó con ello el curso de Probabilidad y Estadística (XS-0217) que era un curso de servicio; Sistemas de Ingeniería (IC-0507) pasó a ser Taller de Sistemas de Ingeniería (IC-0607); El curso de Mecánica de Sólidos 1 ahora cuenta con un laboratorio. Se modificaron los cursos optativos y se aumentó a siete la cantidad de estos que se requieren cursar. Se añade el requerimiento de horas conferencia, que se debe cumplir al final del plan de estudios, y se agrega la necesidad de llevar un cuarto curso optativo en el décimo semestre.

En todo el plan de la carrera actual, después de los cambios recientes, se pueden contar 86 cursos en total, sin tomar en cuenta el TCU, la Investigación Dirigida, las Horas Conferencia ni

la Práctica Profesional. Esta cantidad de cursos sí incluye los cursos que se comparten con otras carreras, como lo son Estudios Generales, Actividad Deportiva y otros, además de todos los cursos optativos de Ingeniería Civil.

Se consideró que, si se aplica la herramienta de impresión 3D en la didáctica propiamente de la carrera, esta tiene que ser aplicada en cursos donde los estudiantes y profesores sean todos parte de la carrera de Ingeniería Civil, esto con el fin tener un mejor control sobre el uso de la herramienta y que esta responda a los objetivos de aprendizaje de los cursos de carrera.

Bajo el criterio anterior, la lista de cursos queda reducida a 68 cursos propios de la carrera, es decir los que tienen como sigla IC, y con las únicas excepciones siendo Fundamentos de Ingeniería Topográfica, Análisis Numérico, las cuales, a pesar de ser conformadas solo por estudiantes de Ingeniería Civil, tienen como siglas T y MA respectivamente.

Un desglose visual de los cursos se puede observar en la Figura 5, en la que se clasifican los cursos según el tipo de bloque al que pertenece. Estos bloques son los siguientes:

- Cursos de formación humanística: Humanidades 1 y 2, Actividad Deportiva y Artística, Seminario de Realidad Nacional 1 y 2, Repertorio y Trabajo Comunal Universitario (TCU).
- Cursos de servicio: Cálculo 1, 2 y 3; Ecuaciones Diferenciales, Algebra Lineal, Física 1, 2 y 3; Química Intensiva, Principios de Informática, Introducción a La Economía.
- Cursos de fundamentos de la ingeniería: Introducción a La Ingeniería, Diseño gráfico, Estática, Dinámica, Comunicación Técnica, Ética, Ingeniería y Sociedad, Taller de Sistemas de Ingeniería, Análisis Numérico, Probabilidad y Estadística Aplicada, Administración en Ingeniería y Fundamentos de Ingeniería Topográfica.
- Cursos de carrera: Mecánica de Sólidos 1 y 2, Mecánica de Fluidos, Materiales de Construcción, Hidráulica 1, Análisis Estructural, Mecánica de Suelos, Métodos Constructivos, Programación y Presupuestación de Obra, Transportes, Fundamentos de Ingeniería Ambiental, Estructuras de Concreto 1 y 2, Hidrología, Ingeniería Geotécnica, Diseño Vial, Análisis de Impacto Ambiental, Ética, Ingeniería y Sociedad, Taller de Diseño.

- Cursos electivos: Los cursos de áreas optativas (no se enumeran pues están fuera del alcance de esta propuesta inicialmente, pero como se menciona más adelante, se propone incorporarlos en un tercer grupo).

El siguiente paso fue determinar cuáles cursos, entre estos, serían candidatos para utilizar la herramienta didáctica del modelado e impresión 3D. Para esto, se hizo un análisis sobre el tipo de temática que se ve en el curso, esto asociado a la experiencia que tuvo el autor de esta investigación, al haber llevado los cursos. Por esa misma razón, se excluyeron los cursos que no llevó el autor de la investigación, ya que sus contenidos no son familiares. Bajo este criterio, los cursos que no se considerarían son en total 34 y corresponden a cursos electivos.

En el análisis sobre los contenidos temáticos de los cursos, se consideró que deberían ser excluidos los cursos que no tratan temas de diseño, modelado o cálculos matemáticos, que no sean de contabilidad o de costos. También, se decidió excluir cursos que no traten sobre el entendimiento de objetos físicos reales. Finalmente, de los seis cursos optativos, se optó por solo dejar uno, que era el que mejor podría aprovechar la tecnología de impresión 3D inicialmente.

Al aplicar los criterios arriba explicados, se redujo la cantidad de cursos, potenciales para ser analizados más a fondo, a un total de 22 cursos. Como nota aparte, se incluye también el curso de Taller de Diseño ya que, al tratar este curso con proyectos muy variados, para algunos puede o no aplicar la herramienta didáctica, dependiendo del tipo de proyecto que se asigne a los estudiantes.

De los cursos obtenidos al final del análisis anterior, se decidió categorizarlos en distintos grupos que corresponderían a la distinta prioridad que se les da a los cursos, según la prontitud con que pueden aprovechar la tecnología de impresión 3D en su temario y la facilidad con la que se puede aplicar al curso.

Se propone una clasificación de cursos en tres grupos, donde el primero corresponde a los cursos mencionados anteriormente, y el último se destina a los cursos que requerían mayor profundidad de análisis para la implementación de la impresión 3D en su temario, a un más largo plazo, que los del grupo dos.

Además, se decidió incluir algunos cursos, que fueron descartados en un análisis inicial, ya que a pesar de que la temática del curso no calzaba con los criterios antes mencionados, estos



cursos sí contaban con proyectos o actividades afines que podían aprovechar la tecnología de impresión 3D.

Para realizar la categorización por grupos, se decidió responder para cada curso, las siguientes seis preguntas:

1. ¿El curso contiene conceptos que se pueden representar con modelos físicos?
2. ¿El modelo físico se puede imprimir con cierto nivel de factibilidad?
3. ¿Genera ese modelo físico algún beneficio, en comparación a un modelo no físico, representado en dos dimensiones u otros métodos de modelado físico?
4. ¿Permite el curso que los estudiantes generen sus modelos propios como complemento?
5. ¿Contiene el curso un laboratorio donde se puedan imprimir modelos en 3D?
6. El curso requiere un pensamiento más exhaustivo para definir en un largo plazo la utilidad de la impresión 3D en el curso.

Para responder cada pregunta, se observó el contenido temático de cada curso y se intentó tomar los ejemplos más claros que presentaba cada curso, respecto al total de los conceptos que se enseñan.

Seguidamente, por cada respuesta afirmativa en la pregunta, se añadía 1 punto a la calificación de ese curso. Exceptuando la pregunta 6, en la que la respuesta para cada curso no contaba en la suma sino en la consideración subjetiva de si el curso debería ser parte del grupo final.

Finalmente, se sumaron los puntos totales para cada curso y para poder dividirlos en grupos, se consideró que los diez cursos, con mayor cantidad de puntos, se catalogarían en el primer grupo, ya que se consideró que es una cantidad importante para generar un plan piloto de implementación de la impresión 3D en la carrera.

El Cuadro 1 demuestra lo descrito anteriormente y categoriza los cursos en los grupos descritos. En la Figura 5 se observan los cursos de los distintos grupos dentro del total de la malla curricular de la carrera.

Cuadro 1. Clasificación de los cursos según grupos de implementación en la propuesta

Curso (y sigla) / Criterios		1	2	3	4	5	6	Suma	Grupo 1 (Rango 4-5) Grupo 2 (Rango 2-3) Grupo 3 (Rango 0-1) o si tiene <b>marcado con "Sí"</b> el Punto 6)
IC-0100	Introducción Ingeniería	1	1	1	1	0	No	4	Grupo 1
IC-0401	Estática	1	1	1	1	0	No	4	Grupo 1
IC-0302	Diseño Gráfico	1	1	1	1	1	No	5	Grupo 1
IT-1200	Fundamentos de Ingeniería Topográfica	1	1	1	1	1	No	5	Grupo 1
IC-0502	Dinámica	1	1	1	1	0	No	4	Grupo 1
IC-0501	Mecánica del Sólido 1	1	1	1	1	1	No	5	Grupo 1
IC-0601	Mecánica del Sólido 2	1	0	1	1	0	No	3	Grupo 2
IC-0604	Materiales de Construcción	0	0	0	0	0	Sí	3	Grupo 3
IC-0605	Mecánica de Fluidos	1	1	1	1	0	No	4	Grupo 1
IC-0701	Análisis Estructural	1	1	1	1	0	No	4	Grupo 1
IC-0703	Mecánica de Suelos	1	0	1	0	1	No	3	Grupo 2
IC-0704	Métodos Constructivos I	1	1	1	1	1	No	5	Grupo 1
IC-0709	Hidráulica	1	1	0	0	1	Sí	3	Grupo 3
IC-0711	Transportes	0	0	0	0	0	Sí	3	Grupo 3
IC-0712	Fundamentos de Ingeniería Ambiental	1	0	0	1	0	Sí	2	Grupo 3
IC-0808	Hidrología	1	1	1	0	0	No	3	Grupo 2
IC-0801	Concreto Reforzado	1	1	0	0	1	No	3	Grupo 2
IC-0804	Programación y Presupuestación de Obra	0	0	0	0	0	Sí	3	Grupo 3
IC-0809	Ingeniería Geotécnica	1	1	1	0	0	No	3	Grupo 2
IC-0810	Diseño Vial	1	1	1	0	1	No	4	Grupo 1
IC-0905	Taller de Diseño	1	0	1	1	0	No	3	Grupo 2
IC-1021	Obras Hidráulicas	1	1	1	0	0	Si	3	Grupo 2

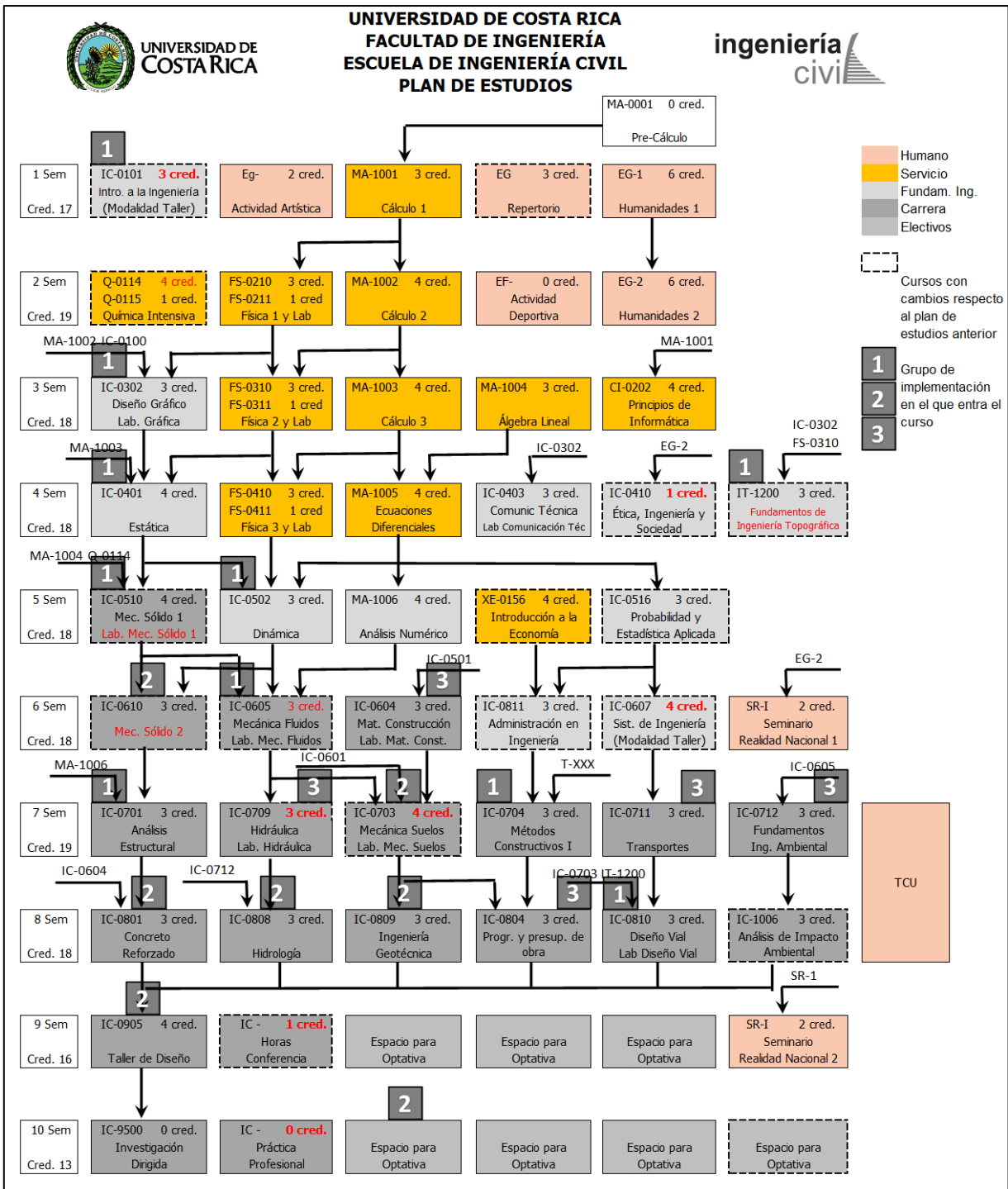


Figura 5. Malla curricular clasificada en bloques de cursos y grupos de implementación de la propuesta

Como se observa del Cuadro 1, los diez cursos que se consideraron finalmente para formar parte del primer grupo de implementación de la impresión 3D en la carrera son:

- Introducción a la ingeniería (IC-0100)
- Diseño Gráfico (IC-0302)
- Fundamentos de Ingeniería Topográfica (IT-0001)
- Estática (IC-0401)
- Dinámica (IC-0502)
- Mecánica de Sólidos I (IC-0501)
- Mecánica de Fluidos (IC-0605)
- Análisis Estructural (IC-0701)
- Métodos Constructivos I (IC-0704)
- Diseño Vial (IC-0810)

Los cursos restantes pertenecientes a los grupos 2 y 3, así como los del grupo 1, se pueden observar en el siguiente Cuadro 2:

Cuadro 2. Listado final de cursos por grupos para la propuesta de implementación

Grupo 1 (10 cursos)	Grupo 2 (7 cursos)	Grupo 3 (5 cursos)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción a la Ingeniería</li> <li>• Diseño Gráfico</li> <li>• Estática</li> <li>• Fundamentos de Ingeniería Topográfica</li> <li>• Mecánica de Sólido 1</li> <li>• Dinámica</li> <li>• Mecánica de Fluidos</li> <li>• Análisis Estructural</li> <li>• Métodos Constructivos I</li> <li>• Diseño Vial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecánica de Sólido 2</li> <li>• Hidrología</li> <li>• Mecánica de Suelos</li> <li>• Obras hidráulicas</li> <li>• Ingeniería Geotécnica</li> <li>• Concreto Reforzado</li> <li>• Taller de Diseño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundamentos de Ingeniería Ambiental</li> <li>• Materiales de Construcción</li> <li>• Programación y Presupuestación de Obra</li> <li>• Transportes</li> <li>• Hidráulica</li> </ul>

Se realizó una hoja de cálculo donde se listaron los profesores que impartían clases en los últimos semestres, desde el 2015 hasta la fecha de realización del estudio, para ver cuáles profesores daban más cursos y eran más constantes. Se buscó identificar a los profesores que

estuvieran muy familiarizados con el curso que impartían, debido a que llevaban más de 4 semestres impartíéndolo.

Las entrevistas llevadas a cabo se mencionarán en la siguiente sección. En el diseño de la población que se entrevistó, se intentó seleccionar a profesoras y profesores que impartieran cursos, cuyos contenidos principales, fueran potenciales temas para desarrollar este Trabajo Final de Graduación. De esa forma, se llegó a una lista final de profesores que se iban a entrevistar y la cual se puede observar en el Cuadro 3.

### 3.2. Entrevistas y visitas relacionadas

Se diseñó una guía para entrevistas, según el público meta de la entrevista. Preliminarmente se dividió la población en: profesionales y profesores con experiencia en uso de impresión 3D. Este último grupo se dividió en: aquellos que la apliquen a nivel académico, profesionales en temas pedagógicos y profesores de la EIC de la UCR.

Se decidió entrevistar de primero a los profesionales y profesores con experiencia en uso de la impresión 3D profesional o educativamente, esto debido a que se consideró que son los que mayor aporte darían, sobre cómo aplicar la tecnología en una carrera universitaria. Se pensó que, iniciar de esta forma, ayudaría al entrevistador a prepararse con el conocimiento previo sobre antecedentes de la tecnología y que esta preparación resultaría útil para futuras entrevistas a profesores de la carrera de Ingeniería Civil.

Todas las guías de entrevista comparten alguna información en común que compete a todas; sin embargo, también difieren en algunos elementos de la sección de preguntas. Debido a la razón indicada en el párrafo anterior, inicialmente se diseñó la guía de entrevista para profesionales y profesores con experiencia en manufactura aditiva y específicamente impresión 3D. A continuación, se muestra la iteración final de la guía para estas entrevistas, así como los dos tipos de entrevista diseñados hasta el momento.

## Guía para entrevista

### Propuesta para la incorporación de la impresión 3D a la enseñanza de la Ingeniería Civil en la Universidad de Costa Rica

- Presentación

Buenos días/tardes, mi nombre es Daniel Blanco Sitchenko, y como parte de mi tesis de licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, estoy realizando una investigación acerca del estado de la cuestión de la manufactura aditiva (conocida como impresión 3D) en Costa Rica y el mundo, para así obtener impresiones y criterios del uso de esta tecnología para la educación universitaria, así como su aplicación en la Ingeniería Civil, y de esta forma presentar una propuesta de incorporación de la tecnología, en el currículo de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR.

La información brindada en esta entrevista es de carácter confidencial, solo será utilizada para propósitos académicos de la tesis. ¿Me daría permiso para grabar la entrevista con una grabadora de audio? Agradezco su colaboración.

- Entrevista tipo 1: Para miembros de academia o profesionales que trabajen con tecnología de manufactura aditiva

Datos del entrevistado:

Nombre del entrevistado:
Teléfono:
Correo electrónico:
Empresa:
Función:
Experiencia:
Puesto anterior de relevancia:

- Preguntas:

- 1) ¿Desde hace cuánto conoce y trabaja con la impresión 3D?
- 2) ¿Qué casos de aplicación conoce a nivel nacional e internacional?
- 3) ¿Cómo se aplica la impresión 3D en la institución en la que labora?
- 4) ¿Cuáles han sido las experiencias con esa tecnología en la institución?

- 5) ¿Cómo ha sido recibida la tecnología por parte de los profesores y los estudiantes? *(para miembros de academia)*
- 6) ¿Qué resultados y beneficios se han obtenido desde la incorporación de la impresión 3D en la institución?
- 7) ¿Qué limitaciones y obstáculos se han encontrado desde la incorporación de la tecnología?
- 8) ¿Considera que la tecnología ha representado un buen apoyo didáctico? *(para miembros de academia)*
- 9) ¿Cree usted que un programa completo de carrera (civil o arquitectura) podría incorporar una propuesta de impresión 3D transversal en todo su currículo académico y cursos?

- Entrevista tipo 2: A profesores y estudiantes de Ingeniería Civil de la UCR

Datos del entrevistado:

Nombre del entrevistado:
Teléfono:
Correo electrónico:
Curso que imparte (profesores):
Cursos impartidos anteriormente (profesores):
Puesto que ocupa dentro o fuera de la UCR (profesores):
Semestre en el que se encuentra (estudiantes):

- Preguntas:

- 1) ¿Sabe qué es la impresión 3D? ¿Conoce de qué se trata?
- 2) ¿Ha oído de casos de aplicación en el país o fuera de éste, ya sea a nivel de industria o educativo?
- 3) ¿Cuál es su opinión sobre la aplicación de la tecnología a nivel de la industria ingenieril, y específicamente a nivel de la Ingeniería Civil?
- 4) ¿Cuál es su opinión sobre la posible aplicación de la tecnología a nivel de educación universitaria? (específicamente a nivel de la carrera de Ingeniería Civil, ya sea como herramienta aparte o que forme parte del currículo de la carrera)
- 5) ¿Qué opina sobre la utilidad de la tecnología de impresión 3D en la reestructuración que se está discutiendo del programa de la escuela de civil?
- 6) ¿Qué opina sobre la creación de actividades transversales ligadas a la impresión 3D, como cursos, seminarios, charlas, concursos, laboratorios, etc.?
- 7) ¿Considera que este tipo de aprendizaje de manos a la obra le generan al estudiante más motivación y retención de conceptos?

### *3.2.1. Entrevistas a profesores de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR*

Se partió de la lista de cursos de la sección anterior, a los cuales se les hizo un análisis exhaustivo del contenido temático. Dicha lista sirvió como base para saber a cuáles profesores entrevistar, con tal de cubrir en las entrevistas, la mayor cantidad de estos los seleccionados con la cantidad de entrevistas que se harían.

Para ello se consideró los profesores que están dando actualmente los cursos, así como cuáles de estos cursos impartieron algunos de estos profesores en semestres anteriores. La idea fue entrevistar a varios profesores que estén impartiendo o hayan impartido varios cursos diferentes, para así maximizar la utilidad de las entrevistas y al mismo tiempo cubrir la mayor cantidad de cursos potenciales a ser beneficiados con la tecnología. Adicionalmente, se organizaron las entrevistas para cubrir cursos que abarquen las seis áreas optativas de Ingeniería Civil.

A las entrevistas con los profesores, se llevó el siguiente modelo de cercha (Figura 6), que fue impreso gracias a la impresión 3D. Este modelo fue impreso gracias a la colaboración del INA, y fue generado a partir de la tecnología de fotopolimerización, que consiste en el endurecimiento de resina líquida a partir de rayos ultravioleta.



Figura 6. Elemento de cercha impreso en 3D utilizando tecnología de fotopolimerización.



Asimismo, se efectuó una presentación visual con imágenes ilustrativas para los profesores, con el objetivo de hacer la introducción las entrevistas y familiarizar a los entrevistados con la tecnología de impresión 3D y en general con el concepto de industria 4.0 y manufactura aditiva.

Además, se llevaron a las entrevistas las fichas preliminares de los cursos, las cuales cuentan con información básica de los cursos potencialmente beneficiados por la tecnología de impresión 3D, así como un listado de conceptos que podrían ser ilustrados con impresión 3D. Gracias a estas fichas, se recibió retroalimentación de los profesores, según el curso que impartía cada uno de ellos.

Cabe destacar que las fichas, inicialmente presentadas a los entrevistados, fueron posteriormente modificadas, con base en el resultado de las entrevistas y según las recomendaciones que otorgaban los profesores y otros profesionales entrevistados. Las fichas también fueron enriquecidas y modificadas de acuerdo con el análisis del currículo realizado a lo largo de la realización del trabajo y las consideraciones de actividades transversales que se propusieron. En el Apéndice B. Fichas de implementación para cursos se pueden ubicar las fichas de cada uno de los cursos.

La lista final de profesores de Ingeniería Civil de la EIC entrevistados se puede observar en el siguiente Cuadro 3.

Cuadro 3. Lista final de profesores de la carrera de la EIC entrevistados

Profesor de la EIC de la UCR	Cursos que imparte/ha impartido
Carlos Camacho	Diseño Gráfico (IC-0302), Mecánica de Fluidos (IC-0605)
Nidia Cruz	Impacto Ambiental (IC-1006), Residuos Sólidos (IC-1025)
Paola Vidal	Fundamentos de Ingeniería Ambiental (IC-0712)
Gustavo Ruiz	Programación y Presupuestación de Obra (IC-0804)
Yi Chen	Estática (IC-0401) y Dinámica (IC-0502)
Alejandro Navas	Estructuras de Concreto (IC-0801), Materiales de construcción (IC-0604)
Alberto Serrano	Hidráulica 1 (IC-0709), Hidrología (IC-0808) y Recursos Hidráulicos (IC-0921)
Marcia Cordero	Mecánica de Suelos 2 (IC-0913) y laboratorio de Mecánica de Suelos 1 (IC-0703)

Rafael Murillo	Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica 1, Obras Hidráulicas (IC-1021)
Marlon Jiménez	Ingeniería Geotécnica (IC-0809)

A continuación, un resumen pregunta por pregunta de lo que respondieron los profesores:

Pregunta 1: ¿Sabe qué es la impresión 3D? ¿Conoce de qué se trata?

En general todos indican que sí han visto de la tecnología, sobre todo en medios públicos como televisión o Internet, pero que en la mayoría de los casos no conocían el detalle de cómo funciona y solo se limitaban a saber en qué se utilizaba la tecnología. Solo algunos dicen haber experimentado un poco con la impresión 3D.

Pregunta 2: ¿Ha oído de casos de aplicación en el país o fuera de éste, ya sea a nivel de industria o educativo?

Mientras que todos han escuchado de casos de aplicación fuera del país, no todos han escuchado de casos locales, y aún menos casos aplicados a nivel educativo (ya sea dentro o fuera del país). Algunos incluso conocen casos o han tenido contacto con la tecnología, aunque brevemente, dentro de la UCR.

Pregunta 3: ¿Cuál es su opinión sobre la aplicación de la tecnología a nivel de la industria ingenieril, y específicamente a nivel de la Ingeniería Civil?

A nivel de estructuras o aplicaciones finales y funcionales se propuso utilizar la tecnología para puentes peatonales por ser estructuras de menor requerimiento estructural, anclajes o estructuras temporales para mejorar terreno en excavaciones.

También se mencionó su potencial utilidad en la confección de detalles arquitectónicos difíciles de realizar con métodos tradicionales, o ensambles, acoples y piezas de mecanismos complejos para construcción.

Por otro lado, se comentó sobre su utilidad en la creación de modelos tipo maquetas y a escala para mejorar comprensión de detalles constructivos, como complemento de los planos. Incluso para generación de topografías de terreno para mejorar la planificación urbana. También se destacó que industrialmente el uso de la impresión 3D significaría un gran ahorro de material, mano de obra y tiempo.

Pregunta 4: ¿Cuál es su opinión sobre la posible aplicación de la tecnología a nivel de educación universitaria? (específicamente a nivel de la carrera de Ingeniería Civil, ya sea como herramienta aparte o que forme parte del currículo de la carrera)

Se enfatizó en que la tecnología facilitaría la explicación de conceptos tridimensionales en comparación a modelos 2D tradicionales, ya que en esencia es más fácil tocar que ver. Facilita el proceso de descubrimiento, tiene utilidad demostrativa y potencial de ser experimental y para prototipar.

Entre los usos propuestos por los entrevistados están: generar una librería de modelos 3D para ser utilizados en distintos cursos y proyectos (por ejemplo, en la realización de un modelo de curvas de nivel), utilizarlo para mostrar obra falsa a escala, realizar modelos a escala de proyectos para proyectar comportamientos en obra (riesgos, generación de desechos, etc.).

Se consideró por los entrevistado que la tecnología también puede ser útil en proyectos de posgrado, para estudio de elemento finito y en general para modelar físicamente los diseños vistos en aula, así como aumentar el material didáctico disponible, en laboratorios ahorrando así conseguir piezas más caras prefabricadas.

Se mencionaron además limitaciones como la dificultad de modelar un material que asemeje uno de la realidad (escala real) en comportamiento, y que la tecnología sirve más que todo para modelar elementos elásticos.

Pregunta 5: ¿Qué opina sobre la utilidad de la tecnología de impresión 3D en la reestructuración del nuevo programa de la escuela de civil?

Se mencionó que su uso tiene que ser propuesto de alguien que estudie y domine la tecnología y su metodología para visualizar la aplicación correcta. Habría que tomar las previsiones para asegurar que la herramienta sea bien recibida por profesores y estudiantes. Sería clave, para ello, conversar con los profesores.

Los entrevistados consideran que debe ser parte de la carrera, pero no como columna vertebral. Puede ser muy útil como herramienta de comunicación en trabajos de investigación para mostrar el producto final o el que se busca lograr.

Los laboratorios serían fuertes candidatos para adoptar la tecnología, y también como complemento al BIM que se está instaurando como eje de la carrera. Se mencionó que la tecnología significaría un excelente complemento de las giras de campo.

En casos específicos se destacó su posible utilidad en el nuevo curso de métodos constructivos para modelar ensambles, manipularlos y así comprenderlos mejor.

También, se consideró la opción de agregar la tecnología como un elemento de una eventual sección de polímeros del curso de materiales de construcción.

En general se está de acuerdo en que estas tecnologías agregarían valor al avance de una carrera que ha sido algo conservadora en su uso en tecnología de modelado en tres dimensiones, en las últimas décadas, y significa una forma de avanzar tecnológicamente la carrera e impulsar herramientas didácticas demostrativas y experimentales.

Pregunta 6: ¿Qué opina sobre la creación de actividades transversales ligadas a la impresión 3D, como cursos, seminarios, charlas, concursos, laboratorios, etc.?

Se pueden crear charlas sobre impresión 3D, pero es difícil que se forme a todos los estudiantes en el tema a menos de que se incorpore como tema adicional a un curso como diseño gráfico. Tal vez se podría plantear la posibilidad de incorporar la herramienta para proyectos de investigación.

Se mencionó que el PEC podría ofrecer cursos sobre impresión 3D que además podría beneficiar otras carreras también. Es importante que haya al menos conversatorios para que se concientice a la población estudiantil y profesoral sobre la tecnología, para aprender el potencial que tiene la herramienta.

Se recalcó la importancia que los profesores se capaciten en usar la tecnología paralelamente a los estudiantes. Se sugirió que haya proyectos comunes entre varios cursos que involucren el uso de la tecnología.

Pregunta 7: ¿Considera que este tipo de aprendizaje de "manos a la obra" le generan al estudiante más motivación y retención de conceptos?

Se mencionó que aprender haciendo es más práctico y eficiente, se retiene hasta 50% de lo que se aprende haciendo, en contraste con un 25% máximo de clase magistral regular.

La parte tangible, de juego o lúdico incluso, es diferente a la interpretación de un modelo gráfico. El hecho de realizar modelos y ensayarlos da un valor agregado a ver esos modelos sólo presentados en una pantalla o pizarra.

Se comentó que este tipo de herramienta, sobre todo aplicado a didáctica, ayudaría a nivelar a los estudiantes, ya que reduce la brecha entre lo que el profesor quiere comunicar y lo que el estudiante comprende de lo comunicado, es decir ayuda a evitar malentendidos sobre los conceptos enseñados en el aula.

### *3.2.2. Entrevistas a profesionales con experiencia en manufactura aditiva*

Ya que a todos los profesionales con experiencia en el uso de la tecnología se les entrevistó utilizando las mismas preguntas, se elaboró un resumen por pregunta para cada entrevistado y además, un resumen general de lo más importante que mencionó el entrevistado; así como sugerencias o aportes adicionales que éste haya brindado durante la entrevista.

Se analizará la respuesta de todos los entrevistados para cada una de las preguntas, y así obtener una imagen más clara sobre la opinión que tienen los entrevistados sobre cada punto discutido.

Adicionalmente, se analizarán las respuestas de los entrevistados según una categorización final del tipo de información brindada en cuanto al impacto que ha generado la tecnología y a la metodología para aplicarla didácticamente (esclarecer mejor este análisis).

A continuación, un resumen, pregunta a pregunta, de lo que cada uno de ellos mencionó y respondió durante las entrevistas:

Pregunta 1: ¿Desde hace cuánto conoce y trabaja con la impresión 3D?

Luis Rojas: Tiene investigando la impresión 3D desde hace más de cinco años, y trabajando en ella desde hace tres. **Durante 10 años trabajó con software CAD, y después con Inventor profesional, y actualmente certificado en el software AutoDesk Fusion 360.**

Robert Garita: Desde el 2012 pero en el 2013 empezó a trabajar como encargado de procesos de impresión 3D en el FabLab Barcelona. Actualmente es director del FabLab de la Universidad Veritas.

Teodolito Guillén: Desde el 2013 en la manufactura aditiva. Trabajó en un proyecto de desarrollo de implantes personalizados por AM usando biopolímeros y fosfato de calcio.

Federico Ruiz: Alrededor de siete años atrás, había realizado unas piezas en Alemania. Es actualmente coordinador del laboratorio de robots autónomos y sistemas cognitivos (ARCOS-lab) y del laboratorio de mecatrónica del Instituto de investigación en ingeniería (INII).

Juan Gabriel Monge: Hace más de seis años conoce la tecnología. Empezó a trabajar hace dos años cuando por cuenta propia adquirió una impresora.

Pregunta 2: ¿Qué casos de aplicación conoce a nivel nacional e internacional?

Luis Rojas: Menciona la compañía de modelado y fundición (MOFUSA). Hace referencia a dos empresas de la industria dental, que realizan prótesis dentales en 3D. También la empresa EMCA (Empaques y Envases Centroamericanos S.A.) que realiza moldes prototipo para productos termoformados.

Robert Garita: A nivel internacional, menciona a D-Shape, empresa italiana que realizó un puente en España. En Asia, el ejemplo de diez casas impresas en menos de 24 horas. En la universidad española donde estudió, impresión con arcilla y tierra utilizando brazo robótico. En Medellín, impresión 3D a gran escala usando plásticos triturados reciclados provenientes de línea blanca de electrodomésticos por parte de la compañía Green print.

Teodolito Guillén: En el área de Ingeniería Civil, conoce de impresoras de casas donde se utilizan brazos robóticos para depositar el concreto. En Costa Rica lo ha visto poco pero solo utilizando materiales tipo polímeros obtenidos de vendedores internacionales. Considera que en CR se está en pañales porque dependemos de máquinas del extranjero (comerciales). El hecho de no tener representante de marcas en el país complica más la obtención del equipo y los materiales. Caso contrario es España que tomaron una estrategia país para impulsar la tecnología. En el país no se puede competir en el desarrollo de las máquinas.

Federico Ruiz: Conoce sobre el caso costarricense de un pico de un tucán que fue reemplazado por una prótesis impresa en 3D. Lo más común que ha visto son piezas a la medida para reemplazar otras que se dañan, o piezas que sirvan un propósito inmediato y único que requeriría mayor cantidad de material.

Juan Gabriel Monge: Principalmente para prototipado. Pruebas de concepto. De configuración más que resistencia. A veces para repuestos en laboratorios. Ej: piezas dentales, prótesis, etc.

Pregunta 3: ¿Cómo se aplica la impresión 3D en la institución en la que labora?

Luis Rojas: Recién se está empezando. Se está concientizando a los compañeros docentes y a los estudiantes. Se está integrando en el currículo empezando con modelado a través de software más sencillo de usar que los CAD tradicionales, como "MOI" o el *Fusion 360*. Posteriormente se imparte un módulo avanzado con *Fusion 360* y donde se trabaja con el

escáner 3D para realizar ingeniería inversa. La instrumentación se utiliza para proyectos de investigación y proyectos de interés público. Se pretende realizar un "día maker" dedicado a la creación de objetos en 3D y utilizando una aplicación celular se enseñará cómo escanear piezas existentes e imprimirlas (reproducirlas) posteriormente.

Robert Garita: La tecnología se aplica para prototipado rápido. Para producir productos previos. Los estudiantes evalúan piezas de representación o de ejecución.

Teodolito Guillén: Desde el 2013 se obtuvieron las impresoras pequeñas para empezar a experimentar con la tecnología. Se utiliza en diferentes carreras del TEC. Diseño industrial lo utiliza para validar productos que diseñan, es decir para saber cómo manufacturarlos. En ergonomía involucran impresión 3D para desarrollar prótesis de sustitución de fémur. La carrera de biotecnología pretende adquirir equipo de impresión de capas para sustitución de piel. Así como la carrera de Plasma para producir piezas y equipo de reactores.

Federico Ruiz: Se usa más que todo para hacer acoples entre piezas que no son acoplables. También en la clínica Marcial Fallas hacen un trabajo de acción social, voluntario, donde les imprimen piezas de plástico que sirven para después moldear sustituciones faciales en pacientes. También se usa la impresión 3D para dar clases en varios cursos, en proyectos de estudiantes lo usan para montaje de productos, donde hacen cajas de los aparatos que construyen.

Juan Gabriel Monge: En el laboratorio de prototipado de la escuela de ingeniería mecánica se usa para prototipos de aplicación didáctica (mostrar físicamente cómo funciona algo, cómo se rompe, su geometría) como prototipos funcionales para reproducir a muy bajo costo una posible falla de un elemento. Para proyectos de investigación y mostrar el prototipo funcional, aunque no resiste cargas reales, pero sirve como demostración.

Pregunta 4: ¿Cuáles han sido las experiencias con esa tecnología en la institución?

Luis Rojas: Se capacitó en la tecnología al dueño de la empresa MOFUSA (Modelado y Fundición) y se le enseñó a modelar en 3D para optimizar los prototipos y moldes que realizaba. Actualmente se está concientizando a la docencia y estudiantado sobre la manufactura aditiva y la impresión 3D. Cuentan con tres módulos de modelado con objetivos y contenidos de manufactura aditiva y otro módulo especializado de "Fundamentos de manufactura aditiva". Se trata de que las personas que tienen impresoras y no las saben utilizar se capaciten a seleccionar la tecnología y así obtener la impresora adecuada y además cómo usarla.

Robert Garita: No respondió explícitamente a esta pregunta.

Teodolito Guillén: Lo mismo que en la pregunta 3.

Federico Ruiz: Se usan para hacer partes de robots. También como parte de proyectos de graduación, o finales de cursos de carrera, para lograr proyectos más interesantes y no tan simples. A veces lo hacen no tanto por el ahorro de comprar la pieza afuera, sino porque se logran piezas más personalizables, por ejemplo, para lograr que el producto final sea más liviano.

Juan Gabriel Monge: La escuela de ingeniería mecánica fue la primera unidad académica de la universidad que compró formalmente impresoras 3D, a partir de la Oficina de suministros y con presupuesto universitario. En ese momento la experiencia era muy limitada. La impresora en lugar de herramienta era una curiosidad de laboratorio para experimentar.

Pregunta 5: ¿Cómo ha sido recibida la tecnología por parte de los profesores y los estudiantes?

Luis Rojas: Después de charlas para dar a conocer la tecnología, los estudiantes se han visto muy entusiasmados por llevar los cursos relacionados. A las charlas incluso han sido visitados por personal del TEC, Robert Garita del FabLab Veritas y gente del MICIT.

Robert Garita: Ha sido difícil de aceptar por los profesores. Actualmente el acceso, entendimiento y aplicación de la tecnología no es problema, sino la brecha cognitiva. Es decir, no se aprovecha el potencial de la tecnología (por ejemplo, con el teléfono celular que mayoritariamente se utiliza para solo dos funciones (llamar y mensajes) cuando tiene capacidad para mucho más) y es algo que se puede corregir instruyendo a las personas.

Teodolito Guillén: Gran interés, se llevan grandes expectativas. Gran interés general en el uso de tecnología para diferentes aplicaciones.

Federico Ruiz: Los estudiantes recibieron con entusiasmo la impresora. Los profesores por su parte, al dar cursos en su mayoría no relacionados a proyectos, no requerían involucrarse con la impresora. Don Federico si la necesitó por que el laboratorio si lo requería por ser de robótica y necesitaba generar piezas. Y también por dar cursos de proyecto donde se necesita generar algo físico.

Juan Gabriel Monge: Con mucho entusiasmo, porque creen que es más simple de lo que es. Y han tenido que explicar las limitaciones e instruir sobre el hecho de que el material no es



costoso, sino el tiempo invertido en configurar la impresora y asegurarse que todo salga bien, y el hecho de que una impresión puede durar hasta un día entero. La prioridad es que la gente aproveche la tecnología, con sus limitaciones, e instruirles.

Pregunta 6: ¿Qué resultados y beneficios se han obtenido desde la incorporación de la impresión 3D en la institución?

Luis Rojas: Un proyecto que se presentó ante la Comisión Nacional de Talento Humano y otros gremios, cámaras de asociaciones, estudiantes y profesores en casa presidencial, el cual arrancó el año pasado, y que se tiene programado para varias fases en tres años. En la primera fase se informará a estudiantes y público general qué se hace, cómo y a qué se orienta. El interés es capacitar e informar sobre la importancia de la manufactura aditiva y su incorporación en sistemas productivos.

Robert Garita: Se ha obtenido un entendimiento tridimensional de las cosas de manera más práctica. Se cambian los paradigmas de aprendizaje del modelado en 3D. Permite ser totalmente práctico en visualización de problemas. Tanto la impresión 3D como todas las herramientas de fabricación digital y prototipado rápido como elemento de aprendizaje lo que permiten **es poder resolver problemas bajo concepto de "learning by doing" (aprender haciendo)**. Significa que se tiene lo necesario para saber si lo teórico se puede llevar a la práctica, y poder fallar rápido para tomar decisiones. Se vuelve un agilizador del proceso de pensamiento de diseño.

Teodolito Guillén: Implantes, a partir de escaneos de huesos que se reproducían después con la impresión 3D.

Federico Ruiz: Se puede armar lo que no se podía armar antes. Ha sido necesario no solo la impresora 3D, sino otras herramientas como cortadora láser y una máquina CNC para trabajar los prototipos. Puede ser un mecanismo de enseñanza adecuado a futuro.

Juan Gabriel Monge: Ha sido más visible el entusiasmo por estudiantes en trabajar con objetos físicos y más entusiasmo por el diseño mecánico. Desde la incorporación de impresión 3D ha habido más tesis enfocadas en diseño que de análisis y simulación. Se han acercado al laboratorio estudiantes de primero y segundo año.

Pregunta 7: ¿Qué limitaciones y obstáculos se han encontrado desde la incorporación de la tecnología?

Luis Rojas: El primer obstáculo es el desconocimiento de la gente sobre la tecnología. Pero una vez que la observan, se entusiasman en conocerla más a fondo. Además, se tienen nociones erróneas sobre el tema.

Robert Garita: La resistencia al cambio. Que las instituciones crean en los proyectos. Hay un miedo extremado de que la tecnología elimine muchos puestos de trabajo.

Teodolito Guillén: La limitación es que no se produce la propia tecnología en el país entonces hay que obtenerlo de proveedores externos. Entonces hay que considerar los impuestos de traída, los costos de mantenimiento por no tener representación local, lo que también retrasa los tiempos de realización, y limita la competencia. También, en la academia, cuesta que le den los recursos para aprobación de proyectos. Los tiempos de respuesta y condiciones burocráticas de aceptación de proyectos limitan las respuestas rápidas, lo que disminuye competitividad.

Federico Ruiz: Muchas veces se tuvo que poner de la parte del profesor el presupuesto para material de impresión (plástico). Debido a que los procedimientos administrativos públicos para pedir fondos quitan tiempo valioso para otros proyectos. Los repuestos para las impresoras son muy caros y no se consiguen en el país, entonces se opta por comprarlos de China donde son más baratos, aunque duren más llegando. Además, optan por tener un inventario adicional de repuestos en caso de problemas. En general, la limitación está en el sistema de contratación administrativa, de compras públicas de la universidad. Eso hace que el mantenimiento de la máquina se atrase o salga costoso sin el apoyo eficiente de la administración.

Juan Gabriel Monge: No hay personal suficiente para atender a las personas interesadas en hacer algo con la impresión 3D (configurar, hacer acabado, ayuda con el diseño del modelo, etc). Para comprar filamento, la oficina de suministros de la universidad no sabe cómo comprar filamento, ya que, si se hace como compra regular, **ponen muchas trabas (como "¿por qué comprar al extranjero?")**. Debería tener una figura parecida a la compra de consumibles (tinta o tóner) para impresoras de papel. Por lo tanto, se ha recurrido a comprar el material (filamento) con dinero propio, o el recaudado por la asociación de estudiantes de ingeniería mecánica.

Pregunta 8: ¿Considera que la tecnología ha representado un buen apoyo didáctico?

Luis Rojas: Sí. Con las demostraciones han observado mayor motivación y comprensión de la importancia de la incorporación de la tecnología a sus trabajos y oportunidades de negocio.

Robert Garita: Sí. Es una nueva manera de pensar. Da más libertad al diseño al dar capacidad de crear geometrías más complejas. De esta forma se permite hacer pruebas físicas y análisis a prototipos a escala de forma tangible, profundizando el aprendizaje.

Teodolito Guillén: Ve la manufactura aditiva como ejemplo de nuevas formas de trabajo como opción de validación de procesos y explorar materiales, procesos productivos importantes. Les asigna proyectos a los estudiantes que involucre la impresión 3D para optimizar un producto o proceso, o material. Sí es un buen recurso didáctico. Haciendo es la mejor forma de aprender.

Federico Ruiz: Es motivante para estudiantes trabajar donde pueden crear cosas nuevas.

Juan Gabriel Monge: Definitivamente. Las simulaciones, dibujos, modelos digitales en 3D no son suficiente para estudiantes de ingeniería ingresados después de 2010. Ellos necesitan tocar, ver como se mueven los mecanismos físicamente, no solo en video o animación. Necesitan ver cómo se rompe una pieza, sin el costo de romper una pieza verdadera (no la impresa en 3D con polímeros). Por ejemplo, para ilustrar frecuencias naturales es muy útil ya que es un concepto que cuesta entender en modelos.

Pregunta 9: ¿Cree usted que un programa completo de carrera (Civil o Arquitectura) pueda incorporar una propuesta de impresión 3D transversal en todo su currículo académico y cursos?

Luis Rojas: Sí y menciona casos actuales de instituciones que aplican la impresión para fines académicos, como la Universidad Veritas, la UNED la cual capacita en impresión 3D, la escuela de producción industrial y la de materiales del TEC, etc. Además, es una tecnología que facilita mucho la ilustración, optimizar procesos y el prototipado rápido.

Robert Garita: Debería. La idea es innovar en las maneras de hacer las cosas y de construir.

Teodolito Guillén: Algunos cursos lo ocuparán mucho más que otros. Es una herramienta útil dependiendo del curso. En otros se podrá desarrollar como proyecto, pero más a nivel transversal, pero no como parte del currículo. Porque el hecho de ser una tecnología viva, cambiante y evolucionando rápidamente, el hecho de involucrarlo en un programa de carrera, el programa podría quedar desactualizado rápidamente. Lo que se puede hacer es explorar diferentes tecnologías de manufactura aditiva, pero sin casarse con una definitiva. Se puede

implementar como herramienta didáctica, pero no necesariamente metiéndolo en el currículo. Otra opción es aplicarlo más a nivel general. Un ejemplo es agregar un ítem a un programa de curso para comportamiento de concreto en manufactura aditiva.

Federico Ruiz: Sí. En ingeniería eléctrica se ha tenido el plan de a lo largo de los semestres tener un curso de prototipado, de aplicación de lo aprendido, y la impresión 3D sería parte esencial de un curso o taller que implemente eso. Ver la impresión 3D como con objetivo de enseñanza no tiene mucho sentido, sino más bien verlo como usar la tecnología para que tenga sentido.

Si se quiere mejorar la enseñanza, lo mejor que se puede hacer es tener laboratorios de investigación con fines, de mejorar y crear cosas. Al tener una razón, se necesitan hacer objetos para cumplir con los objetivos de los laboratorios o cursos. Esas creaciones se pueden implementar como trabajos finales de cursos, donde generen algo que sea útil en algo que funcione.

No existe mejor experiencia de aprendizaje, que una donde se aplique lo que se necesita en la realidad. Ahí radica la importancia de los laboratorios de investigación en el aspecto didáctico, porque de ahí salen ideas y necesidades que se pueden resolver en proyectos finales de cursos.

Antes de que una carrera piense en integrar la impresión 3D en docencia, mejor tener laboratorios de investigación y desarrollo donde se vayan tratando de aplicar cosas que se necesitan en la vida real, e incorporar a los estudiantes en ese proceso.

Juan Gabriel Monge: La palabra transversal es clave. No como curso separado. Los métodos de elementos finitos, métodos de simulación, herramientas de prototipado, son herramientas que se necesitan conocer y que ayudan a producir resultados más valiosos y maduros. Se tienen que proveer como herramienta (ejemplo de Excel que se usa en todo, pero no hay un curso aislado). La asociación de la escuela de ingeniería mecánica capacitó a más de 150 estudiantes de primer año en el uso de máquinas de taller, de ciertos equipos de laboratorio (entre ellos la impresión 3D). Entonces más adelante los estudiantes tienen la herramienta en consideración para ser usada en proyectos y demás.

## CAPITULO 4. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN

### 4.1. Propuesta de implementación

En esta sección se presenta la propuesta de implementación de la tecnología de impresión 3D y la manufactura aditiva, que la engloba, en el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Civil de la UCR.

Esta propuesta surge del análisis del currículo de la carrera, donde se escogieron y categorizaron los cursos del currículo en grupos, según la inmediatez con la que se consideró que puedan aprovechar la tecnología, directamente en su programa de estudios y según su contenido temático.

La propuesta sintetiza las recomendaciones surgidas de las entrevistas realizadas en la sección anterior, a profesionales y profesores con experiencia en el uso de la tecnología de manufactura aditiva e impresión 3D, a nivel profesional o educativo. También de las entrevistas hechas a profesores de la EIC de la UCR, para obtener su criterio y retroalimentación sobre las necesidades propias de los cursos que imparten y las posibilidades de uso de la tecnología. Se incorpora la retroalimentación obtenida luego de realizar la herramienta de validación de la propuesta de implementación, que se explicará en la siguiente sección 4.2.

#### *Ajuste a la propuesta inicial de grupos, sugerido durante la validación*

Como se mencionó, durante la sesión de validación de la propuesta se recibieron una serie de sugerencias que llevaron a hacer ajustes y en términos de la propuesta de implementación llevaron a dividir la propuesta, en etapas o ejes más detallados en cuanto a tiempo y recursos. Por ello, se decidió generar tres etapas que abarquen un lapso de 12 semestres.

La primera etapa considerará el proceso didáctico que conlleva aprender sobre impresión 3D y cómo se implementa la tecnología. Esta etapa se podría enfocar, más que todo, en cursos, charlas y demás acercamientos didácticos de ambos profesores y estudiantes, para capacitarse en la tecnología.

Posteriormente, una vez implementada la etapa, de forma tangible en tareas diversas de la Escuela, se contaría con una mejor eficiencia en el uso del tiempo y de los recursos de impresión. De esta forma se lograría evitar largas colas de trabajo, desperdicio excesivo de material y posible daño al equipo, por mal uso de estos. Esa primera etapa se realizaría a lo largo de los primeros cinco semestres antes de comenzar la próxima.

El segundo eje o etapa más bien trata sobre la implementación de las impresiones, para que sean utilizadas como complemento didáctico en las aulas, en laboratorios y distintos proyectos de cursos y de graduación, así como proyectos a nivel de Escuela y Universidad. Esta etapa de implementación por lo tanto hará mayor uso de las fichas de cursos que fueron creadas en la primera iteración de la propuesta de implementación. Se pretende que esta etapa comience en el cuarto semestre. Se propone que esta etapa además se divida en dos subetapas, para acomodar en la primera subetapa el grupo 1 de cursos y en la segunda subetapa el grupo 2 de cursos. Esta última comenzaría en el semestre siete.

El tercer eje finalmente trata sobre aprovechar el potencial de la tecnología de impresión 3D para ser utilizado en la industria de Ingeniería Civil, no solo a nivel teórico sino también práctico. Se trata entonces de no solo realizar impresiones a pequeña escala con materiales termoplásticos, sino llevarlo a gran escala y utilizando materiales más regularmente usados en la industria. En esta etapa pueden surgir distintos proyectos prácticos y de investigación a nivel de grado y posgrado que busquen soluciones a problemas de la industria y como apoyo a laboratorios existentes de la Escuela y adjuntos como el Lanamme, utilizando la impresión 3D.

En la Figura 7 se muestran los cursos que podrían beneficiarse de la incorporación de la tecnología 3D. Se utiliza un código de color para cada uno de los grupos de cursos que se acomodarían en los ejes antes descritos:

GRUPO	CURSOS				
1	IC-0101 3 cred. Intro. a la Ingeniería (Modalidad Taller)	IC-0302 3 cred. Diseño Gráfico Lab. Gráfica	IC-0401 4 cred. Estática	IT-1200 3 cred. Fundamentos de Ingeniería Topográfica	IC-0510 4 cred. Mec. Sólido 1 Lab. Mec. Sólido 1
	IC-0502 3 cred. Dinámica	IC-0605 3 cred. Mecánica Fluidos Lab. Mec. Fluidos	IC-0701 3 cred. Análisis Estructural	IC-0704 3 cred. Métodos Constructivos I	IC-0810 3 cred. Diseño Vial Lab. Diseño Vial
2		IC-0610 3 cred. Mec. Sólido 2	IC-0703 4 cred. Mecánica Suelos Lab. Mec. Suelos	IC-0801 3 cred. Concreto Reforzado	IC-0905 4 cred. Taller de Diseño
		IC-0808 3 cred. Hidrología	IC-0809 3 cred. Ingeniería Geotécnica	IC-1021 3 cred. Obras Hidráulicas	
		IC-0604 3 cred. Mat. Construcción Lab. Mat. Const.	IC-0709 3 cred. Hidráulica Lab. Hidráulica	IC-0711 3 cred. Transportes	
3		IC-0712 3 cred. Fundamentos Ing. Ambiental	IC-0804 3 cred. Progr. y presup. de obra		

Figura 7. Cursos seleccionados para beneficiarse de la tecnología divididos en grupos

En la primera fase, que es la que se desarrolla en detalle en este trabajo, se ubican, aquellos cursos que se consideraron más accesibles para incorporar la tecnología como herramienta didáctica y que podrían formar parte de un plan piloto, de una futura implementación en el currículo de la carrera. Estos cursos son los del grupo 1 y 2.

La propuesta contiene, para cada curso seleccionado, una ficha que contiene datos básicos del curso (nombre del curso, sigla, semestre al que pertenece). El contenido esencial de la ficha del curso es un listado de conceptos claves del curso que se hayan considerado de mayor relevancia y con mayor potencial de aplicabilidad de la impresión 3D.

En las fichas elaboradas para cada curso, adjunto a cada concepto que se podría ilustrar, se propone un ejemplo de ejecución en impresión 3D, que sería ilustrativo del concepto por enseñar. Esta ilustración es descrita textualmente, con el mayor detalle posible, y considerando las limitaciones que conlleva la tecnología de impresión 3D, según los alcances descritos a inicios del documento.

Por otra parte, es importante aclarar que algunos cursos no presentan propiamente una propuesta de conceptos definidos, sino que son cursos en los que se podrían implementar proyectos o tareas, que podrían ser complementados con el uso de impresión 3D.

Adicionalmente, como parte de la propuesta, se proponen actividades transversales que no sean directamente parte de los cursos. Estas actividades serían importantes oportunidades de encuentro entre estudiantes y profesores de diferentes niveles de avance en la carrera. El objetivo de estas actividades es transversalizar el conocimiento y uso de la tecnología, a través del currículo y facilitar su adopción para el estudiantado y profesorado. Ejemplo de estas actividades son: seminarios, charlas, cursos, capacitaciones y concursos a nivel universitario e intra-universitario.

Se generó también una estimación de recursos y capacitaciones necesarios para que, de forma práctica, sea posible implementar la impresión 3D en el currículo de la carrera en una primera fase y fases subsiguientes.

La estimación de recursos contiene costos de equipo, consumibles necesarios, un porcentaje destinado a reparación y mantenimiento, pero además un costo asociado a la capacitación del profesional o profesionales, que inicialmente se encargarán de manejar la herramienta didáctica en la carrera al servicio de los que la necesiten. Se incluyeron también estimaciones de horas asistente o de asistentes graduado (según las responsabilidades que se requieran del

asistente), para guiar y apoyar las distintas labores necesarias para la correcta implementación de la tecnología durante las etapas de implementación.

Adicionalmente, se consideraron costos de los cursos, charlas y demás actividades de enseñanza y capacitación de la población universitaria con respecto a la tecnología.

Finalmente, y como se mencionó antes, se propone una extensión de la propuesta por grupos como se expuso en primera instancia, con el fin de incorporar la retroalimentación obtenida, luego del resultado de la herramienta de validación, que se expone con más detalle en la siguiente sección.

Las etapas posteriores de la propuesta contemplan todo lo que podría requerirse para que la tecnología sea introducida a lo largo de 12 semestres, y que su implementación contemple otros elementos de la tecnología, como su uso a gran escala para la construcción.

El plan de implementación está dividido en etapas con recursos de costo, tiempo y alcances definidos. El diagrama de flujo, así como el presupuesto asignado para la implementación de las etapas y los cursos que conforman estas, se puede observar más adelante en la Figura 10 de la sección 4.1.3.

#### *4.1.1. Ficha de implementación por curso*

La lista final de los cursos, que forman parte del plan piloto para la implementación de la impresión 3D en la carrera, surgieron del análisis de currículo que se realizó en una sección anterior. Esos cursos son los siguientes:

- Introducción a la ingeniería (IC-0100)
- Diseño Gráfico (IC-0302)
- Estática (IC-0401)
- Fundamentos de Ingeniería Topográfica (IT-1200)
- Dinámica (IC-0502)
- Mecánica de Sólidos I (IC-0501)
- Mecánica de Fluidos (IC-0605)
- Análisis Estructural (IC-0701), Construcción I (IC-0704)
- Diseño Vial (IC-0810).



Para la realización de las fichas de los cursos y la propuesta de cuáles conceptos del temario ilustrar, o cómo aprovechar la tecnología para realizar proyectos o actividades transversales que esclarezcan esos conceptos, se tomó en cuenta la experiencia del autor al llevar el curso y también la retroalimentación obtenida de las entrevistas a los profesores de la carrera.

A continuación, se describirá para los cursos seleccionados, lo que se consideró relevante para cada uno como forma de ilustración o aplicación de la impresión 3D. El detalle final de las fichas puede observarse en el Apéndice B. Fichas de implementación para cursos.

Taller de Introducción de Ingeniería: Al ser el primer contacto del estudiante con la carrera, y no haber llevado cursos como Diseño Gráfico para aprender modelado, sería importante introducir software de modelado como parte del tema 4 del programa del curso (el cual trata entre otros sobre los programas de cómputo utilizados en Ingeniería Civil). Igualmente, la propuesta puede apoyarse de actividades transversales de charlas sobre impresión 3D y modelado, que sean obligatorias, para que al final del curso, como parte del proyecto final de realizar un puente.

Los estudiantes puedan realizar modelos básicos e imprimirlos y así formar las piezas del puente, parcial o totalmente con esta tecnología. Se propone que haya apoyo del laboratorio de Diseño Gráfico con el modelado, por ejemplo, se podría pedir que los estudiantes solo modelen las vigas del puente según un límite de peso y volumen para cada una, y al final ensayar los puentes para determinar cuál diseño de viga es el más resistente y eficiente en la relación costo/resistencia.

Mecánica de Fluidos: Gracias a los aportes del profesor Rafael Murillo, se consideró insertar un proyecto relacionado al tema de hidrostática, específicamente a la estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos, donde los estudiantes tienen que diseñar, modelar e imprimir un modelo a escala de una sección transversal de un barco o simplemente una sección sin forma definida contemplando espacios para colocarles pesas.

Seguidamente, se podría poner a prueba estos modelos para evaluar su estabilidad con los pesos según la cantidad y posición de estos pesos.

La idea es que se utilice el mismo tanque de agua que ya se utiliza en el laboratorio de mecánica de fluidos en pruebas similares para probar estos modelos.

Todos los modelos deberán tener una medida de profundidad constante, y la libertad en el diseño será en el área frontal, es decir la que queda perpendicular a la superficie del agua y paralela al plano de giro del modelo.

La idea es entonces que los estudiantes, durante la etapa de modelado y antes de imprimir los modelos, calculen la estabilidad de su sección diseñada, y después de ser impresa y probada con las pesas, evaluar si el cálculo realizado anteriormente fue correcto.

Por otro lado, como apoyo a la hora de impartir clases, se puede realizar un modelo simple de tanque de agua encerrado por plexiglass o material similar, y dentro de este colocar distintas piezas impresas en 3D, que tengan distintas secciones transversales para mostrar diferencias en estabilidad según la geometría del cuerpo flotante. Se podría considerar como una versión simplificada del modelo de pontón que ya se encuentra en el laboratorio del curso. Además, este mismo modelo se podría utilizar para mostrar otros conceptos como el de equilibrio relativo, donde sería necesario colocar este pequeño tanque sobre algunos rieles o ruedas para poder acelerarlo y girarlo sobre su eje.

Métodos Constructivos I: Según la retroalimentación del profesor Gustavo Ruiz, se puede proponer la impresión de elementos en 3D que demuestren los distintos tipos de ensamblajes que se utilizan en construcciones reales. Debido a la cantidad limitada de giras y no tan amplia variedad de construcciones que es posible visitar, se hace importante mostrar ese tipo de elementos bajo la modalidad de impresión 3D. Si se hace lo anterior, se lograría no solo visualizarlos, sino observar cómo encajan con las demás partes de la construcción.

En ese sentido se propone la modelación e impresión de distintos tipos de ensamblajes que se pudieran utilizar en conjunto con el modelo de casa desarmable que se propuso como apoyo didáctico.

Actualmente, en el curso se cuenta con piezas de mampostería a escala, impresas en 3D y se utilizan para explicar el tema de montaje y modulación de los sistemas de mampostería.

Además, bajo la misma línea de mostrar elementos a los que se les da poco énfasis actualmente en los cursos de construcción y en las giras, se propone la impresión de elementos representativos de obra falsa en construcción (formaletas, puntales, etc). Para ello, se propone de nuevo apoyarse de la casa modelo que se pretende imprimir y además realizar los modelos correspondientes de obra falsa, de esta forma se le puede pedir al estudiante que arme paso

a paso los elementos de obra falsa, hasta llegar al resultado final (puede ser una columna, un muro, u otro elemento específico de la casa).

Como se verá en la sección 4.2, durante la sesión de validación se recibió una sugerencia de hacer leves ajustes a las etapas que inicialmente se habían propuesto, según se explicará más adelante.

#### *4.1.2. Actividades transversales*

##### *Cursos y actividades magistrales*

- Cursos que organice la Asociación de Estudiantes: Se plantea diseñar una propuesta que tome como referencia los módulos que tiene a disposición la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCR (ver Figura 8). La asociación de estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, desde el año 2014, imparte módulos de capacitación diversos, los cuales pretenden mejorar las destrezas de los estudiantes para resolver problemas mediante el uso de las herramientas con las que cuenta la institución, entre esos módulos, se encuentra el módulo de capacitación en impresión 3D.

La configuración de módulos, existente en el programa, permite a los estudiantes mejorar sus habilidades, para aprender nuevas destrezas, indiferentemente del nivel de carrera que estén cursando. Lo anterior implica un beneficio de alto valor agregado, mediante el cual los estudiantes de niveles iniciales tienen acceso a herramientas avanzadas, que les pueden ser útiles en sus cursos iniciales. Esto permite que los estudiantes lleguen a los cursos finales, ya conociendo las herramientas, y no a aprenderlas y ello resulta en la posibilidad de abordar proyectos más ambiciosos.

Calendario de módulos I Semestre 2017					
Información	Módulo Básico	Tomo	Fresadora	Impresión 3D	Soldadura
Fecha	16 de marzo	23 y 30 de marzo	22 y 19 de marzo	23 y 30 de marzo	23 y 30 de marzo
Fecha	30 de marzo	13 y 20 de abril	12 y 19 de abril	13 y 20 de abril	13 y 20 de abril
Fecha	13 de abril	4 y 11 de mayo	3 y 10 de mayo	4 y 11 de mayo	4 y 11 de mayo
Fecha	27 de abril	25 de mayo y 1 de junio	24 y 31 de mayo	25 de mayo y 1 de junio	25 de mayo y 1 de junio
Fecha	11 de mayo	15 y 22 de junio	Cerrado	15 y 22 de junio	15 y 22 de junio
Fecha	25 de mayo	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
Información General del Módulo					
Tipo de módulo	Módulo Básico	Tomo	Fresadora	Impresión 3D	Soldadura
Horario	Jueves 1:30pm-3:30pm	Jueves 1:00pm-3:00pm	Miércoles 9:00am-11:00am	Jueves 2:00pm-4:30pm	Jueves 2:00pm-4:30pm
Requisitos	Módulo Básico		Módulo Básico	Módulo Básico	Módulo Básico
Cupos por grupo	10	4	4	4	5
Cantidad de grupos disponibles	6	5	4	5	5
Cantidad de sesiones	1	2	2	2	2

Figura 8. Módulos extracurriculares de la Escuela de Ingeniería Mecánica entre los cuales imparten uno de impresión 3D

Fuente: <http://www.eim.ucr.ac.cr/?q=node/139>

- Programa de Cursos del Programa de Educación Continua (PEC): Se propone que el PEC diseñe una serie de cursos que traten de las temáticas de manufactura aditiva e impresión 3D. Este programa se podría dividir en varios cursos, con temas como: manufactura aditiva, impresión 3D en la industria de Ingeniería Civil, casos actuales y a futuro, software ideal para modelar, aprender a modelar, y pequeño proyecto final de impresión de un modelo a escala.
- Cursos en línea con otras universidades: Esta modalidad podría implementarse en alguno de los cursos de la carrera o en algún curso también organizado por el PEC, en modalidad en línea, en conjunto con otras universidades del país o del mundo, donde se realicen actividades en común y se compartan recursos (por ejemplo, modelos 3D), y al final se comparen resultados de las experiencias y proyectos realizados.
- Foros anuales o semestrales sobre impresión 3D: Estas actividades consistirían en organizar, con apoyo de la asociación de estudiantes, un conjunto de foros anuales o semestrales, que tendrían como objetivo actualizar al estudiantado y profesorado, sobre el avance de la tecnología en el ámbito de la Ingeniería Civil y en la educación. En los foros se podrían tratar también otras noticias relevantes, en la materia, que propicien una actualización constante de la utilización que se le está dando en el currículo de la carrera.
- Charlas y conferencias durante el semestre: La idea sería que se impartan charlas y conferencias, constantemente durante el semestre, por parte de expertos en la tecnología, profesores de la carrera, universidad o de otras universidades que estén

trabajando con la impresión 3D, en las aulas o en su vida profesional, y que abarquen temas varios relacionados a la impresión 3D y que puedan contar para las horas conferencia de los estudiantes de la carrera.

### Involucramiento estudiantil

- Horas conferencia: Como parte de las horas conferencias y charlas que se mencionan en la sección anterior, se propone que se habilite la posibilidad para que estudiantes, incluso de semestres anteriores a los requeridos, puedan acumular horas conferencia al asistir a las charlas mencionadas. Esto sería una forma de incentivo para que los estudiantes incorporen la tecnología de impresión 3D, de forma temprana en su desarrollo, y así se facilite la inserción de la tecnología a nivel de la carrera.
- Horas estudiante, asistente y asistente graduado: Como se mencionó antes, se contempla la incorporación de horas estudiante, asistente y asistente graduado en la estimación de recursos para implementar la propuesta. Estos funcionarán como apoyo y guía en la correcta implementación de la tecnología en la carrera.
- Blog/comunidad en línea: Se plantea generar un blog o comunidad en línea intra o interuniversitaria, donde se comparta información relevante a la impresión 3D, su aplicación en la industria de la construcción y la Ingeniería Civil. En estas redes sociales se compartirían, noticias universitarias sobre concursos interuniversitarios nacionales e internacionales, futuros foros, charlas y demás actividades relacionadas a la impresión 3D. A través del blog, con sus discusiones y chats, sería posible darse apoyo entre los miembros y discutir sobre los temas de actualidad, etc. Un ejemplo de este tipo de comunidades es el sitio [www.3Ders.org](http://www.3Ders.org), aunque se pretende mezclar el propósito de ese sitio con un repositorio de modelos de libre uso como lo es [www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com).
- Concursos y encuentros interuniversitarios: Esta actividad consiste en la creación o participación en proyectos internacionales interuniversitarios, donde a lo largo de un semestre o varios meses, se tenga que realizar un cierto modelo (por ejemplo, un puente con ciertas restricciones y que tenga que aguantar cierta cantidad de peso. Podría proponerse también un concurso que requiera diseñar e imprimir un edificio que resista ciertas vibraciones sísmicas), y al final del período comparar los resultados entre las universidades participantes.

La propuesta sería similar al concurso que propicia el *American Concrete Institute* (ACI) y que se realiza anualmente, en donde estudiantes de distintas universidades, a nivel mundial, tienen que realizar un marco estructural que proteja un huevo y se califican los resultados según la resistencia del marco (ver Figura 9 para un ejemplo de esto que se describe).

Mediante estas actividades se pretende, no solo impulsar la participación de los estudiantes en concursos similares a nivel mundial que involucren impresión 3D, sino incluso crear los propios concursos o proyectos de esta índole.



Figura 9. Ejemplo de un concurso interuniversitario de Ingeniería Civil que consiste en diseñar un marco que protege un huevo

Fuente: <https://concretesociety.co.za/images/stories/pics-in-epd-2015/6.jpg>

- Proyectos de TCU: Como forma de retribuir a la sociedad, se podrían plantear implementar proyectos de TCU que involucren la impresión 3D, inspirándose en el proyecto Priva2 3D que desarrolló la UNED. En este concurso se le propuso a un grupo de privados de libertad de una cárcel que realizaran un proyecto, de varios meses guiado por pedagogas y expertos en impresión 3D. En el concurso debían realizar varias piezas y prototipado en impresión 3D de productos finales, que tengan una cierta funcionalidad. De esta forma, a través de estos proyectos se fomenta la creatividad, la interacción y trabajo en equipo de los involucrados, así como la propuesta de soluciones a través de un proceso de aprendizaje de manos a la obra.

#### *4.1.3. Estimación de capacitaciones y recursos para la implementación de impresión 3D en la carrera*

##### *Programa de inserción de la impresión 3D en la carrera de la EIC*

En primera instancia se pretende que haya un compromiso de la asamblea de la EIC con la propuesta de implementación, de tal forma que se considere pertinente para el avance de la reestructuración del plan de estudios, o incluso que se considere como un complemento al plan existente.

Paralelamente, tendría que haber un compromiso de los profesores que imparten los cursos que conforman la Etapa 1 de la propuesta, ya que es esta etapa la que determinará si el resto de las etapas se implementarán a futuro, dependiendo del impacto y éxito que tenga la etapa piloto.

Asimismo, es necesario que haya un coordinador del programa que se propone en el presente trabajo. Puede ser una persona que forme parte de la Escuela, con conocimientos en modelado 3D como mínimo y con algo de conocimientos en impresión 3D. El perfil puede ser el de una persona que forme o haya formado parte del laboratorio de diseño gráfico. O también se puede asignar a un egresado que tenga conocimientos en modelado e impresión 3D, como interino en el puesto. Eventualmente, se podría contratar a un recurso que sea experto en la tecnología, para inicialmente estar disponible medio tiempo.

En vista de que el Departamento de Construcción de la EIC está adoptando un laboratorio nuevo y una reestructuración de su contenido, podría proponerse como principal acogedor de la tecnología. Los profesores que se relacionen con este departamento podrían ser los primeros en capacitarse en la tecnología. El departamento, podría ser el principal impulsor de la tecnología, a nivel de proyectos de clase, o de las otras actividades relacionadas a los cursos del área de construcción. Bajo esta línea el Laboratorio podría servir como una unidad proveedora de servicios y brindar la promoción necesaria de la tecnología.

Finalmente se considera esencial construir alianzas con organizaciones nacionales e internacionales. Entre estas organizaciones se pueden mencionar la red de los FabLab, a nivel nacional e internacional, universidades que ya tienen incorporada la impresión 3D y la manufactura aditiva a su currículo. También podrían formar parte de la red el INA, la UNA, el TEC y la Universidad Veritas, así como Escuelas dentro de la UCR que también cuentan con la

tecnología, como la Escuela de Ingeniería Eléctrica, la Escuela de Ingeniería Mecánica y la de Arquitectura.

#### Capacitaciones a profesores

Establecer un plan de comunicación a nivel del profesorado de la EIC, se considera una actividad requerida. Que, mediante este plan, todos los profesores de la EIC estén al tanto de la tecnología y la manera en que será incorporada por etapas a la carrera.

Como parte del plan, se promoverán charlas exclusivas para los profesores o en conjunción con estudiantes que deseen conocer más sobre el tema. Además, es posible pensar en talleres especializados, donde se capacitará a los profesores para apropiarse de la tecnología de impresión 3D en el curso o cursos que imparten y a su vez transmitir este conocimiento a sus estudiantes.

Deberá brindarse apoyo a los profesores, en la generación de actividades para sus cursos que involucren la utilización de la tecnología. Esto, inicialmente de la mano de alguien o un grupo de personas especializado en la tecnología y su aplicación en la didáctica, al menos en la primera etapa de implementación.

#### Recursos formales de la Escuela

Contratación de una persona experta en modelado e impresión 3D, que lidere la iniciativa en la primera etapa de implementación. Tendrá que ser un profesional con experiencia en el uso de la tecnología para fines prácticos, así como didácticos, para garantizar un conocimiento general de la tecnología y a su vez la transmisión de este conocimiento a la docencia y al estudiantado.

Como ya se ha mencionado, la propuesta tendría que apoyarse en el nuevo laboratorio de Diseño y construcción virtual del Departamento de Construcción, para que sea ese el lugar donde se tengan los recursos iniciales para impulsar la tecnología. Se pretende así que el laboratorio adopte las computadoras para modelar, los equipos básicos y los materiales necesarios para realizar impresiones en 3D, así como al personal necesario para fungir como guía de la primera etapa de implementación.

Asimismo, se deberá aprovechar la existencia de los laboratorios actuales de cómputo y el laboratorio del PEC para que estos sirvan de apoyo a nivel de software para el modelado 3D necesario antes de la impresión 3D.



### Equipo de impresión 3D y materiales

En cuanto al tipo, cantidad y costo del equipo y material por obtener para que forme parte de este u otro laboratorio dentro de la EIC, se propone que sean al menos dos impresoras.

Una de las impresoras se recomienda que sea del tipo RepRap, es decir una impresora de tipo código abierto, que permite la modificación extensa de sus piezas y que no tiene ninguna restricción por parte de la marca, en cuánto al material o especificaciones de impresión.

Estas impresoras se caracterizan por tener un costo muy accesible (en un rango desde USD 100 y hasta los USD 500 dependiendo del fabricante, tamaño de impresora y demás especificaciones iniciales). También se recomiendan estas impresoras porque son capaces de imprimir las piezas que la componen, como soportes, guías y demás.

El otro tipo de impresora que se propone adquirir es una con derechos de propiedad, lo que significa que tiene restricciones en la capacidad de modificar sus características que no sean las que el fabricante designó, pero que garantiza un buen soporte por parte del fabricante y también resultados de impresión más predecibles y controlados.

El costo de una impresora de este tipo puede rondar entre los USD 300 hasta los USD 6000 (o incluso más). Al igual que las impresoras de tipo RepRap que se menciona antes, estas también permiten utilizar gran variedad de materiales de impresión; sin embargo, el fabricante no garantiza ni da soporte para el uso de materiales para los que la impresora no fue diseñada, o materiales que no sean los que la compañía fabricante suministre.

### Recursos a través de estudiantes

Se propone impulsar la creación de nuevos puestos de asistente para estudiantes que deseen contar con horas estudiante, asistente o asistente graduado, lo que significa una ayuda mutua entre la EIC y el estudiante. Esta posibilidad aceleraría la implementación de la tecnología en la primera etapa, al haber mayor cantidad de personas involucradas en esta.

De igual forma, se puede incluso generar en etapas posteriores puestos para asistencia a nivel de práctica profesional, que cuente en las 300 horas requeridas por los estudiantes para graduarse.

Eventualmente, también se podrán impulsar temas para trabajos finales de graduación, que se enfoquen en la tecnología de manufactura aditiva e impresión 3D. O incluso, no solo

exclusivamente dentro de la EIC, se pueden generar proyectos interdisciplinarios con otras carreras.

Un desglose de costos aproximados, para cada uno de los rubros antes mencionados, se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Desglose de costos aproximados para implementar la propuesta

Rubro	Costo
Coordinador del programa (parte de la Escuela, que lidere la iniciativa)	Salario profesional, un cuarto de tiempo. \$0/semestre se recarga a un profesor
Asistentes de laboratorio y del coordinador y profesores involucrados	1 asistente, 6 horas por semana. \$1 000 000/semestre
Charlas de introducción y capacitación a la tecnología.	Costo de organizar 3 charlas semestrales. \$600 000/semestre
Experto en impresión 3D y manufactura aditiva.	Salario profesional, medio tiempo. \$2 400 000/semestre
Cursos de PEC para profundizar conocimiento de manufactura aditiva e impresión 3D	Costo de un curso por semestre. \$300 000/semestre
Cursos en línea interuniversitarios	Inversión inicial conjunta con otras instituciones. \$1 000 000
Foros anuales sobre impresión 3D	Costo de organizar un foro anual. \$1 500 000/año
Blog o comunidad en línea	Inversión inicial de creación y mantenimiento, moderación, etc. \$100 000/año
Concurso anual interuniversitario	Costo de organización/participación. \$1 000 000/año
Impresoras	1 impresora profesional y 2 de bajo costo (RepRap). \$2 500 000
Material consumible y mantenimiento	Filamentos para impresión y eventual mantenimiento. \$150 000/semestre

A continuación, se presenta el cronograma planeado para los tres ejes o etapas de implementación de la propuesta, así como el presupuesto para cada semestre a lo largo de los diez semestres del cronograma.

CRONOGRAMA																	
Semestres	1	2	V	3	4	V	5	6	V	7	8	V	9	10	V	11	12
<b>ETAPA 1</b>																	
<b>Objetivo: Sensibilización y motivación. Cursos: de capacitación</b>																	
Planificación	[Barra verde]																
Implementación	[Barra verde]																
Cursos verano	[Barra verde]																
<b>ETAPA 2</b>																	
<b>Objetivo: Implementación. Cursos: Grupo 1</b>																	
Planificación	[Barra naranja]																
Implementación	[Barra naranja]																
Cursos verano	[Barra naranja]																
<b>ETAPA 3</b>																	
<b>Objetivo: Implementación. Cursos: Grupo 2</b>																	
Planificación	[Barra azul]																
Implementación	[Barra azul]																
Cursos verano	[Barra azul]																
<b>ETAPA 4</b>																	
<b>Objetivo: Implementación. Cursos: Grupo 3</b>																	
Planificación	[Barra gris]																
Implementación	[Barra gris]																
Cursos verano	[Barra gris]																
<b>PRESUPUESTO</b>																	
Semestres	1	2	V	3	4	V	5	6	V	7	8	V	9	10	V	11	12
Personal 1/2 tiempo	€ 2 400 000	€ 2 400 000		€ 2 400 000	€ 2 400 000		€ 2 400 000	€ 2 400 000		€ 2 400 000	€ 2 400 000		€ 2 400 000	€ 2 400 000		€ 2 400 000	€ 2 400 000
Horas asistente (3 asist.)		€ 1 000 000		€ 1 000 000	€ 1 000 000		€ 1 000 000	€ 1 000 000		€ 1 000 000	€ 1 000 000		€ 1 000 000	€ 1 000 000		€ 1 000 000	€ 1 000 000
Equipo (+ 4 imp)		€ 500 000					€ 1 500 000						€ 500 000				
Materiales y mantenimiento	€ 150 000	€ 150 000		€ 150 000	€ 150 000		€ 150 000	€ 150 000		€ 150 000	€ 150 000		€ 150 000	€ 150 000		€ 150 000	€ 150 000
Actividades transversales	€ 4 500 000	€ 900 000		€ 3 500 000	€ 900 000		€ 3 500 000	€ 900 000		€ 3 500 000	€ 900 000		€ 3 500 000	€ 900 000		€ 3 500 000	€ 900 000
<b>TOTAL</b>	<b>€ 7 050 000</b>	<b>€ 4 950 000</b>		<b>€ 7 050 000</b>	<b>€ 4 450 000</b>		<b>€ 8 550 000</b>	<b>€ 4 450 000</b>		<b>€ 7 050 000</b>	<b>€ 4 450 000</b>		<b>€ 7 550 000</b>	<b>€ 4 450 000</b>		<b>€ 7 050 000</b>	<b>€ 4 450 000</b>
<b>CURSOS POR GRUPO (no por semestre)</b>																	
<b>GRUPO 1</b>																	
	IC-0101 3 cred. Intro. a la Ingeniería (Modalidad Taller)		IC-0302 3 cred. Diseño Gráfico Lab. Gráfica		IC-0401 4 cred. Estática		IT-1200 3 cred. Fundamentos de Ingeniería Topográfica		IC-0510 4 cred. Mec. Sólido 1 Lab. Mec. Sólido 1								
	IC-0502 3 cred. Dinámica		IC-0605 3 cred. Mecánica Fluidos Lab. Mec. Fluidos		IC-0701 3 cred. Análisis Estructural		IC-0704 3 cred. Métodos Constructivos I		IC-0810 3 cred. Diseño Vial Lab. Diseño Vial								
<b>GRUPO 2</b>																	
	IC-0610 3 cred. Mec. Sólido 2		IC-0703 4 cred. Mecánica Suelos Lab. Mec. Suelos		IC-0801 3 cred. Concreto Reforzado												
	IC-0808 3 cred. Hidrología		IC-0809 3 cred. Ingeniería Geotécnica		IC-1021 3 cred. Obras Hidráulicas												
<b>GRUPO 3</b>																	
	IC-0604 3 cred. Mat. Construcción Lab. Mat. Const.		IC-0709 3 cred. Hidráulica Lab. Hidráulica		IC-0711 3 cred. Transportes												
	IC-0712 3 cred. Fundamentos Ing. Ambiental		IC-0804 3 cred. Progr. y presup. de obra		IC-0905 4 cred. Taller de Diseño												

Figura 10. Presupuesto semestral para la propuesta en tres ejes y los cursos de las etapas

#### 4.2. Herramienta de validación

Para dar sustento a la estrategia didáctica y propuesta de implementación discutida, se realizó una sesión de validación, mediante el criterio de especialistas y personas pertinentes que se podrían ver involucradas si se adoptara la estrategia didáctica propuesta.

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 buscó, con este procedimiento, obtener valoraciones sobre la propuesta, para comprobar la calidad de la propuesta, tanto en su concepción teórica como en su factibilidad.

Para el desarrollo de esta evaluación, se convocó a varios posibles especialistas y profesores a los cuales se les envió la solicitud para participar en la evaluación. De los invitados aceptaron participar 12 personas que se componen de la siguiente forma:

- 5 profesores 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.

A los asistentes a la sesión de validación se les presentó la herramienta de validación, que se muestra en el Apéndice C. El documento contiene una serie de frases o afirmaciones relacionadas, a la propuesta. El objetivo de la sesión fue que, en cada una de estas frases, el invitado brindara una calificación del 1 al 10 para valorar qué tan de acuerdo se está con la afirmación presentada, y de esta forma cuantificar la aceptación que tiene la propuesta ante los asistentes. Las afirmaciones que se presentan en la herramienta son las descritas a continuación:

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, utilizando la herramienta de impresión 3D, se adhieren de forma correcta a la teoría detrás de esos conceptos.

3. Fomenta interés del estudiante: la propuesta, en general, fomenta el interés del estudiante en aprender los conceptos o en ir más allá.

4. Captura el interés del estudiante: los contenidos de la propuesta y las fichas tienen el potencial de capturar la atención de los estudiantes.
5. Fomenta creatividad del estudiante: 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: recursos presupuestarios para implementarse, recurso temporal de profesores, estudiantes y otros profesionales que dediquen tiempo a la implementación de la propuesta.
14. ¿Cuáles considera que son los puntos fuertes y débiles de la propuesta?: espacio para comentarios adicionales de los presentes en la sesión de validación.

#### *Resumen del resultado de la herramienta de validación*

Luego de la presentación sobre la propuesta de implementación de impresión 3D, los invitados llenaron la herramienta antes mostrada y los resultados se resumen en la siguiente figura:

Invitado	Legenda:												
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Profesor EIC	10	10	8	8	10	10	7	10	10	10	10	10	7
Profesor EIC	7	4			7	7	7	7	9	8	6	8	7
Arquitecta	8	8	8	8	9	9	9	8	9,5	9,5	10	9	8
Estudiante	7	8	7	7	9	9	7	9	8	5	6	10	7
Ingeniero Civil	9	9	9	9	10	10	9	8	10	8	9	9	10
Ingeniero Civil	8	7	10	8	10	10	7	8	8	8	6	7	8
Ingeniero Civil	8	8	8	8	9	10	9	9	10	9	9	9	9
Profesor EIC	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10	6	10	
Profesor EIC	8	9	10	10	10	10	9	10	10	8	9	10	7
Coordinadora del PEC	8	8,5	9	8	9	9,5	9,5	8	8	7	10	7	7
Profesor EIC	9	10	10	9	9	6	8	8	9	8	7	6	7
Estudiante	7	6	8	7	7	9	6	9	8	7	6	7	8
<b>Promedio</b>	<b>7,9</b>	<b>8,0</b>	<b>8,8</b>	<b>8,4</b>	<b>9,1</b>	<b>9,1</b>	<b>8,1</b>	<b>8,7</b>	<b>9,1</b>	<b>8,1</b>	<b>7,8</b>	<b>8,5</b>	<b>7,7</b>

Figura 11. Matriz de calificación de rubros de herramienta de validación

En la figura siguiente se muestra un conteo por rubro de calificaciones que correspondan al rango de "satisfactorio", "necesita correcciones" y "requiere más trabajo". Es decir, indica cuántos invitados consideraron que el rubro (o criterio) se consideraba "satisfactorio", que "necesita correcciones" o que "requiere más trabajo" según la calificación del 1 al 10 que corresponda a cada anterior determinación. Los rangos para cada una de estas determinaciones son: 8 a 10, 5 a 7 y 0 a 4 respectivamente.

Determinación	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Satisfactorios	8	9	11	10	10	10	7	11	12	9	6	8	6
Necesita correcciones	4	2	1	2	2	2	5	1	0	3	6	4	6
Requiere más trabajo	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 12. Conteo por rubro de calificaciones

De lo anterior se puede observar que solo en el segundo rubro se determinó necesitar más trabajo además de algunas correcciones. Sin embargo, los rubros que si requirieron correcciones, según la validación de los 12 invitados son todos a excepción del rubro 9 que corresponde a la calificación sobre lo acorde que es la propuesta a la visión organizacional de la UCR. Los rubros que más correcciones requieren (rubros donde 4 o más invitados calificaron de esta forma) son el: 1, 7, 11, 12 y 13. Estos corresponden respectivamente a:

- R1: fundamentación teórica de la didáctica
- R7: aprovechamiento del potencial de impresión 3D en la propuesta
- R11: orden lógico de la propuesta (etapas)
- R12: valor de actividades transversales
- R13: viabilidad de la propuesta.

En los dos últimos rubros la mitad de los invitados estuvieron de acuerdo en que requieren correcciones. Sin embargo, para complementar esta notación, hay que analizar los comentarios que algunos invitados pusieron en los rubros, así como durante la sesión de comentarios adicionales. Durante la sesión de validación, posterior a la presentación sobre la propuesta de implementación, al mismo tiempo que los invitados llenaron la herramienta, también algunos pusieron comentarios adicionales a algunos de los rubros. A continuación, un resumen de los comentarios que se encontraron en estos rubros.

1. Fundamentación teórica de la didáctica:
  - Describir el detalle de las ventajas al crear un modelo de puente en 3D.
  - Sería interesante ampliar casos de estudio con otras experiencias nacionales e internacionales.
2. Adecuada ilustración de conceptos de carrera
  - Creo que faltan experiencias reales más descritas paso a paso.
3. Fomenta interés del estudiante
4. Captura interés del estudiante
  - Igualmente es posible, pero dependerá de cómo se presente e implemente.
5. Fomenta creatividad del estudiante
  - Parece que sí, pero hay que buscar fondos para el material.
  - Fomenta el pensamiento crítico y da posibilidades de diseño amplio.
6. Novedosa didácticamente
  - Más énfasis en mejora didáctica.
7. Aprovechamiento de impresión 3D
  - Mostrar ejemplos ya hechos afines a Ingeniería Civil.
  - Sí, dentro de las posibilidades que pueda generar el equipo y la administración de la Escuela.
  - Verificar en cada caso que **no sea "algo más"** que los profes lo ponen a hacer en el curso, sino que verdaderamente aporte algo.

8. Adecuación al programa de carrera
  - Muy ambiciosa en su extensión.
  - Cómo se discutió se está adaptando al programa, pero podrían aprovecharse otros ejes o etapas.
  - Propongo incluir una línea de tiempo de implementación.
9. Acorde a visión organizacional de UCR
  - Falta acción social.
10. Valor de la selección de cursos
  - Parecen adecuados, pero son muchos.
  - Plantear más puntualmente la funcionalidad en cada curso. ¿Qué tan necesario es?
  - En el curso de topografía, se puede pasar a modelo los datos tomados en campo.
11. Orden lógico de la propuesta
  - No me quedó claro cuál es el fundamento de las tres etapas.
  - ¿Qué indicadores aplica para justificar cambiar de etapa si es eficiente o no?
  - Ejes, pensar en futuro de impresión 3D.
12. Valor de las actividades transversales
  - Creo que falta acercarse a arquitectura con su experiencia.
  - Son altamente valiosas para que los estudiantes y docentes se familiaricen con el sistema.
13. Viabilidad de la propuesta
  - No se habló de presupuesto.
  - Es posible, debe tomarse en cuenta criterios.
14. ¿Cuáles considera que son los puntos fuertes y débiles de la propuesta? (y comentarios adicionales)
  - Valorizar definir tiempo o duración de cada etapa; definir recursos necesarios y tiempo; definir ejes (modelos, proceso, impresión en construcción).
  - Siento que es muy ambicioso en cuanto a cursos y tomaría muchos años su implementación. Preferiría solamente seis cursos, uno por departamento, o 12 cursos máximo con unos objetivos muy específicos.
  - Es indispensable realizar un plan que desarrolle: costos, tiempo, alcances. Diagrama de flujo y metodología detallada.
  - Se debe hacer un plan de implementación básico, con tiempos y recursos.



- Parece importante amarrar la propuesta con la factibilidad económica y planificación administrativa de la EIC.
- Revisar formato de la presentación ya que muchos textos no se leían bien.
- Que se saque el mejor provecho posible **y no sólo "usar por usar"**.
- Fuerte: aprendizaje y participación de docente y estudiante. Débiles: Deben optar por ver la capacidad de presupuesto y proyectos de la Escuela. Valorar hacer convenios con otras instituciones.
- Fuerte: Aprender haciendo. Visualización material de conceptos (materialización). Colaboración intercurros - intercarreras. Débiles: Costo de implementación, tiempos de trabajo.
- Contemplar manejo de residuos (de la impresión).

Como se mencionó antes, además de llenar la herramienta de validación con las calificaciones y algunos comentarios, se realizó una sesión de comentarios adicionales por parte de los invitados que querían compartir. Lo más rescatable de esta sesión se resume así:

Hay una preocupación generalizada sobre las colas de trabajo que se puedan generar ya que duran mucho las impresiones en 3D (desde un tercio de día hasta más de un día). Aunado a esto, también está el tiempo extenso que requiere la parte de modelado en 3D, antes de la impresión como tal. Otra preocupación trataba más sobre el después de las impresiones, ya que estas generan desechos (aunque en mucho menor medida que otras metodologías de impresión que son sustractivas), entonces hay interés en alguna forma de reciclar el material de impresión que resulta de impresiones malas o las que ya no se utilicen.

La arquitecta, al tener experiencia con utilización de impresión 3D en contexto universitario, recomienda que la propuesta tenga una planificación a nivel de Escuela. Entre otros, trata sobre asignar asistentes que ayuden con el procedimiento. Que se genere un aula virtual o capacitación en línea, para que cada estudiante pueda investigar por aparte y aprovechar mejor el tiempo a la hora de realizar impresiones, además de permitir también un control de los estudiantes que están involucrados en la materia.

Como ejemplo menciona que los estudiantes y asistentes de laboratorio aprendían a usar el software de impresión y modelado por aparte para que, en el laboratorio se llegue a imprimir sin necesidad de hacer muchas consultas en ese tiempo. Cuando es hora de imprimir el modelo final si se requiere la supervisión de un asistente de laboratorio. Menciona que es difícil

organizar a varios estudiantes que contribuyan a un proyecto conjunto y a veces por duración es mejor dividir los proyectos en distintos semestres. Entre otras recomendaciones para implementar el plan está generar talleres de verano, siempre velando por aprovechar de mayor forma el tiempo *extra-clase* o *extra-laboratorio* para no quitar tiempo valioso en estos últimos.

Se mencionó la importancia de acercar al estudiantado y profesorado al software 3D para permitir la opción de tecnologías BIM, como parte de imaginarse espacialmente proyectos complejos. Y en ese sentido el prototipado gracias a la impresión 3D añade mucho valor.

Como recomendación generalizada está de añadir tiempos de implementación en las etapas, así como dividir la propuesta en distintos ejes: uno sobre el proceso didáctico de aprender sobre impresión 3D y fomentar la inteligencia espacial, otro eje sobre la implementación de impresiones para ser usadas como complemento didáctico en aulas, laboratorios y proyectos de curso y graduación, y otro eje sobre el potencial de la tecnología para la industria de Ingeniería Civil en forma de impresión a gran escala.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Con el fin de ordenar las conclusiones, esta sección del trabajo se divide en dos partes:

- a) Conclusiones generales sobre el estado de avance en la impresión 3D y el valor que, según el criterio de expertos, habría en incorporarla al ámbito educativo en Costa Rica
- b) Conclusiones específicas sobre la viabilidad y valor de la propuesta para incorporar la impresión 3D, como apoyo en el currículo de Ingeniería Civil en la EIC

*a) Conclusiones generales sobre el estado de avance en la impresión 3D y el valor que, según el criterio de expertos, habría en incorporarla al ámbito educativo en Costa Rica*

- A partir de las entrevistas realizadas a los profesores de distintos cursos de la Escuela de Ingeniería Civil, se extrae una percepción de los docentes, de que los estudiantes que ingresan actualmente a la carrera pertenecen a una generación de personas que crecieron utilizando tecnología y donde la gran parte de la información que reciben es a través de medios audio visuales muy variados. Estas nuevas generaciones, demandan un tipo de interacción similar en las aulas, para lograr captar su atención y aumentar su interés por los contenidos temáticos de los cursos de la carrera, y que esto finalmente signifique la formación de mejores y más completos profesionales.
- Gracias a la investigación del marco teórico de este trabajo, en el cual se recopiló información sobre experiencias y buenas prácticas a nivel mundial, se constató que existen ya precedentes de la utilización de la tecnología de impresión 3D y en general de la manufactura aditiva a nivel educativo. En países líderes en educación secundaria y universitaria, tanto de oriente como de occidente, se documentan casos con resultados muy favorables en el nivel de compromiso de los estudiantes, al verse expuestos a la utilización de estas nuevas.
- La tecnología de impresión 3D es un recurso que está en etapa de transición, de ser algo reservado a las grandes industrias, hacia ser un recurso que, a través del apoyo de iniciativas internacionales, empresas y la gran comunidad alrededor de esta, se está

convirtiéndola en una tecnología al alcance de cualquier persona interesada en crear cosas físicas y prototipar, lo que la hace perfilarse como un recurso valioso para apoyar en el proceso de la educación.

- De las entrevistas a los profesores de la carrera de Ingeniería Civil, se pudo descubrir que, en su gran mayoría, su conocimiento de impresión 3D se limita a lo que ven en artículos que han leído en internet y videos que han observado, pero desconocían el potencial de aplicación que tiene, y solo algunos han experimentado un poco con la impresión 3D. Pocos han escuchado sobre su aplicación didáctica. Esto implica que, para implementar una propuesta como la sugerida en este trabajo, se debe llevar a cabo primero una importante etapa de sensibilización y capacitación con este grupo.
- Muchos de los entrevistados creen que la tecnología podría ser útil para modelar y crear estructuras de menor requerimiento estructural o elementos temporales. También ven su utilidad para fabricar detalles que son difíciles de visualizar con métodos tradicionales; así como también para realizar modelos a escala, que complementen los planos y mejoren la comunicación en las obras.
- Se considera, en un futuro cercano, la tecnología que tiene el potencial para industrializar la construcción de obras y disminuir problemas ligados a mano de obra. Existe cierto consenso en que la herramienta significaría un gran ahorro de material, mano de obra y tiempo, cuando llegue a utilizarse extensivamente en la construcción de obras.
- A nivel didáctico, los entrevistados opinan que se puede utilizar para generar objetos en laboratorios para ser usados en otros cursos y lo ven más útil para proyectos de investigación.
- La existencia de antecedentes, no solo a nivel internacional en prestigiosas universidades de países desarrollados, pero también a nivel local en universidades públicas e incluso instituciones públicas de educación no superior, hacen que sea factible la implementación de la tecnología en el currículo de la EIC.
- Al ser tan ubicua la tecnología de impresión 3D y al haber tantos proyectos independientes que no son parte de grandes marcas, es posible obtener equipos de manufactura aditiva que son muy económicos y personalizables, lo que facilita el acceso a la tecnología para más personas interesadas en esta, incluyendo las universidades.

- Aunado al punto anterior y según se pudo observar de la investigación, la gran cantidad de participantes en las redes de conocimiento y redes de trabajo de la industria de la impresión 3D, generan una importante cantidad de software libre, que complementa los equipos económicos ya mencionados. Esto hace aún más personalizable la impresión de objetos con cualquier tipo de material y permite configuraciones interesantes de impresión sin estar restringido a parámetros predefinidos.

*b) Conclusiones específicas sobre la viabilidad y valor de la propuesta para incorporar la impresión 3D como apoyo en el currículo de Ingeniería Civil en la EIC*

- A partir de las entrevistas a distintos profesionales, la investigación realizada y la propuesta diseñada en este trabajo, se concluye que la impresión 3D puede llegar a significar un gran aporte al currículo de una carrera universitaria como Ingeniería Civil.
- La tecnología de impresión 3D puede agregar valor al avance tecnológico de una carrera, como Ingeniería Civil, que ha sido algo conservadora en el uso de las tecnologías de modelado e impresión 3D en la última década. Su uso didáctico, **proveería valiosas experiencias de tipo "manos a la obra" (en inglés "hands-on")**, lo que garantizaría mejor retención de conceptos y mayor motivación en los estudiantes.
- A pesar de que no se han realizado estudios para determinar el potencial de los beneficios económicos de la tecnología para la Escuela, a partir de este trabajo se concluye que sí pueden lograrse beneficios a nivel educativo, en aspectos como: ayudar a la construcción del conocimiento de los estudiantes en los cursos, generar mayor variedad en los proyectos de los cursos de la carrera, disminuir costos relacionados a objetos que se utilizan en los laboratorios existentes al posibilitar la creación de estos a menor costo que reemplazarlos externamente, actualizar a la Escuela con los avances tecnológicos que se emplean en otras partes del mundo y que se proyectan a ser el futuro de la industria.
- El beneficio de la propuesta se asocia al potencial presente y futuro para aplicarse, no solamente como herramienta didáctica para elaborar productos finales o que ayuden a

entender conceptos, sino también como una herramienta que se proyecta a ser parte importante de la industria de la ingeniería.

- La investigación y las entrevistas llevadas a cabo también apuntaron una sugerencia general, dirigida hacia la mejor forma de introducir la tecnología al currículo, y que consiste en diseñar e implementar talleres cortos, para introducir la tecnología a los estudiantes y a los profesores.
- Al analizar el currículo de la carrera, se concluye que del total de 90 cursos que conforman la oferta de cursos global, asociada al plan de estudios, los que podrían beneficiarse de la adopción de la tecnología son 22 cursos. Estos podrían adoptar la tecnología en tres momentos de implementación de grupos de cursos: en un primer momento un grupo de 10 cursos, en un segundo momento un grupo de 6 cursos y en tercer momento un grupo de 6 cursos.
- El cronograma de implementación se podría llevar a cabo 4 etapas, que podrían tardar 12 semestres y sus respectivos ciclos de verano, siempre y cuando la Escuela planifique y gestione los recursos, que serían similares a los recomendados en este trabajo.
- El costo total de implementación de esta propuesta es de 71 500 000 colones, que se distribuye en 12 semestres de ejecución, con un costo promedio por semestre de 5 958 333 colones.
- La tecnología tiene gran potencial para ser usada en la creación y apoyo de actividades transversales, de todo tipo, en la carrera. Desde proyectos por etapas a lo largo de varios cursos y semestres, hasta foros, concursos, talleres de capacitación en la tecnología y blogs, en donde se promueva una colaboración entre profesores y estudiantes de distintos semestres.
- Para la correcta adopción de la tecnología en el currículo, se requiere que se siga un liderazgo de un experto que estudie y domine la tecnología, para asegurarse además que la herramienta sea bien recibida por profesores y estudiantes. Para ello se debe apuntar a la creación de charlas y cursos que no solo concienticen a la población universitaria, sino que la capaciten sobre el potencial de a la tecnología.
- De la herramienta de validación realizada para medir la aceptación de la propuesta, se desprendió que, para el grupo de personas que fueron invitadas, existe una

preocupación generalizada sobre un aspecto que habría que resolver si se llegara a implementar una propuesta como la descrita en este trabajo. Dicho aspecto se refiere a las colas de trabajo que podrían darse de las impresiones en 3D, por los trabajos que llevarían a cabo los estudiantes; así como también el tiempo extenso de modelado que antecede la impresión, por lo que recomiendan que estos dos elementos sea cuidadosamente analizados.

- Otro aspecto que habría que tomar en consideración, si se implementa la propuesta, es asociado a la posibilidad de reutilizar y reciclar el material utilizado de las impresiones. Para abordar este problema, se recomienda que haya una planificación, a nivel de Escuela para introducir la tecnología al currículo, y donde se asignen asistentes que colaboren de forma que se genere un aula virtual para capacitación y control de los estudiantes involucrados y sus impresiones.
- Debido a que, para llevar a cabo una propuesta como esta, se requiere de un esfuerzo importante de sensibilización y capacitación entre profesores y estudiantes se está proponiendo generar talleres de verano, para acercar al estudiantado y profesores al software de modelado 3D.
- Finalmente, se concluye que se considera apropiada la retroalimentación recibida en la sesión de validación, respecto a adaptar las etapas originales que se tenían en la propuesta de implementación para que contemplen una implementación más integral de la tecnología.

## 5.2. Recomendaciones

- Para una efectiva implementación de la propuesta en el programa del EIC se propone:
  - Generar discusiones a nivel docente sobre lo que la propuesta indica y también lo que se puede observar y aprender de otras Escuelas y universidades que han implementado propuestas similares.
  - Existencia de un plan estratégico que tome la propuesta como punto de inicio y se fortalezca con aporte interdisciplinario en los distintos aspectos que conlleva una propuesta de este tipo.

- Bajo el precepto anterior, buscar y construir alianzas estratégicas con entes públicos y privados que se profesionalicen en el uso de la tecnología y que lo hayan implementado y además tengan la experiencia y resultados suficientes como para dar la mejor retroalimentación a la implementación de la tecnología en el currículo de la EIC.
- Una vez implementada la propuesta, se sugiere mantenerla y fortalecerla mediante las siguientes estrategias y acciones:
  - Se recomienda por ello implementar la propuesta en etapas, donde la primera sirve como plan piloto y un primer acercamiento a la docencia y el estudiantado para generar mayor interés en la tecnología y así buscar mayor apoyo para continuar con las etapas restantes en la implementación
  - Como se menciona en el trabajo, es recomendable apoyarse de recursos y espacios ya existentes como el laboratorio de construcción en la nueva facultad
  - Además, se recomienda adquirir al menos dos impresoras que representen dos enfoques distintos, donde uno de ellos es la creación de objetos con total control sobre sus propiedades y a bajo costo, pero con alto nivel de dificultad para que el resultado sea el esperado, y el otro representa el enfoque de la creación de objetos con alto costo, pero con garantía de la calidad de los resultados y con menor esfuerzo.
  - Se recomienda promover la apertura de nuevos temas de trabajo de graduación que involucren la impresión 3D y la manufactura aditiva.
  - Se recomienda apoyarse en el recurso estudiantil para impulsar la implementación a través de horas asistente que estos tengan que cumplir.
- Como recomendaciones generales
  - Se recomienda que el uso de la tecnología no se limite a un uso didáctico y a ciertos cursos, sino que tenga proyección a largo plazo, para llegar a usar la tecnología en la industria de Ingeniería Civil y a grandes escalas.
  - Se considera apropiado generar una línea de investigación en el Departamento de Construcción, asociada al modelado e impresión 3D, con el fin de que se



avance en la construcción del conocimiento y la EIC se mantengan al día con los avances del sector.

- Con el fin de lograr la adecuada incorporación, se recomienda apoyar la implementación de la propuesta sobre la base de las operaciones y planes estratégicos del Laboratorio de diseño y construcción virtual de la EIC. Que este funcione como unidad proveedora de servicios y brinde la promoción necesaria para el impulso de la tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alesandrini, K., & Larson, L. (2002). Teachers Bridge to Constructivism. *The Clearing House*, 75(3), 118-121. Recuperado el 13 de Setiembre de 2016, de [http://www.stanleyteacherprep.org/uploads/2/3/3/0/23305258/teachers\\_bridge\\_to\\_constructivism2.pdf](http://www.stanleyteacherprep.org/uploads/2/3/3/0/23305258/teachers_bridge_to_constructivism2.pdf)
- Coto, R. (2014). *El papel de la educación con el desarrollo actual de nuestra sociedad*. Recuperado el 11 de Setiembre de 2016, de <http://www.renatocoto.com/el-papel-de-la-educacion-con-el-desarrollo-actual-de-nuestra-sociedad/>
- Departamento de Educación del Reino Unido. (2013). *3D printers in schools: uses in the curriculum*. Recuperado el 10 de Setiembre de 2016, de [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/251439/3D\\_printers\\_in\\_schools.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/251439/3D_printers_in_schools.pdf)
- Goldman Sachs. (2012). *Millenials Infographic*. Recuperado el 10 de Setiembre de 2016, de <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/millennials/>
- González, V. (2014). Innovar en docencia universitaria: algunos enfoques pedagógicos. *Intersedes*, 15(31). Recuperado el 11 de Setiembre de 2016, de <http://www.intersedes.ucr.ac.cr/ojs/index.php/intersedes/article/view/423/405>
- Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. (Febrero de 2015). Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118-128. Recuperado el 29 de Agosto de 2016, de <http://p2plab.gr/el/wp-content/uploads/2014/09/Telematics-Informatics-2.pdf>
- Mata, E. (15 de Julio de 2018). Opiniones sobre la impresión 3D. (D. Blanco, Entrevistador)
- Novotney, A. (Marzo de 2010). Engaging the millennial learner. *Monitor on psychology*, 41(3), 60. Recuperado el 8 de Setiembre de 2016, de <http://www.apa.org/monitor/2010/03/undergraduates.aspx>
- Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating Constructionism. En *Constructionism* (págs. 193-206). Ablex Publishing Corporation. Recuperado el 6 de Noviembre de 2016, de <http://www.papert.org/articles/SituatingConstructionism.html>

- Randstad. (2014). *Gen Z and Millennials meet in the workplace*. Recuperado el 10 de Setiembre de 2016, de [https://www.randstadusa.com/corp/wf360/genz\\_millennials\\_collide\\_report\\_sept\\_2016.pdf](https://www.randstadusa.com/corp/wf360/genz_millennials_collide_report_sept_2016.pdf)
- Rivero, D. (2014). *Impresoras 3D en el ámbito educativo*. Trabajo para obtención del grado de Máster en Formación del profesorado, Escuela de Dibujo, Diseño y Artes Plásticas, Universidad de La Laguna, Tenerife, España. Recuperado el 14 de Setiembre de 2016, de [https://www.academia.edu/8254010/TFM\\_Impresoras\\_3D\\_en\\_el\\_%C3%A1mbito\\_Educativo](https://www.academia.edu/8254010/TFM_Impresoras_3D_en_el_%C3%A1mbito_Educativo)
- Rothman, D. (2014). A Tsunami of Learners Called Generation Z. *Public Safety: A State of Mind*, 7(1). Recuperado el 9 de Setiembre de 2016, de [http://www.mdle.net/Journal/A\\_Tsunami\\_of\\_Learners\\_Called\\_Generation\\_Z.pdf](http://www.mdle.net/Journal/A_Tsunami_of_Learners_Called_Generation_Z.pdf)
- Rueda, L. (2016). *La impresión 3D como recurso educativo para la innovación de la enseñanza*. Tesis de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias de la Educación, Escuela de Informática Educativa, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado el 11 de Setiembre de 2016, de <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/9175/1/TESIS%2011-01-2016.pdf>
- Sparks & Honey. (2012). *Meet Generation Z: Forger everything you learned about millennials*. Recuperado el 8 de Setiembre de 2016, de [http://www.slideshare.net/sparksandhoney/generation-z-final-june-17/31-They\\_lack\\_situational\\_awareness31Source\\_Pew](http://www.slideshare.net/sparksandhoney/generation-z-final-june-17/31-They_lack_situational_awareness31Source_Pew)
- Vindas, M. (Junio de 2016). *UCR asciende en ranking*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2016, de <http://www.vinv.ucr.ac.cr/noticias/ucr-asciende-en-ranking-de-mejores-universidades-latinoamericanas>
- www.areatecnologia.com. (s.f.). *¿Qué es una impresora 3D?* Recuperado el 18 de Setiembre de 2016, de <http://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>

Zhang, C., Anzalone, N. C., Faria, R. P., & Pearce, J. M. (27 de Marzo de 2013). Open-Source 3D-Printable Optics Equipment. *Plos One*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0059840>

## APÉNDICES

### Apéndice A. Ejemplos de aplicación de impresión 3D en cursos

Cuadro 5. Ejemplos de aplicación de impresión 3D para ilustrar conceptos de cursos de la carrera de Ingeniería Civil en la UCR

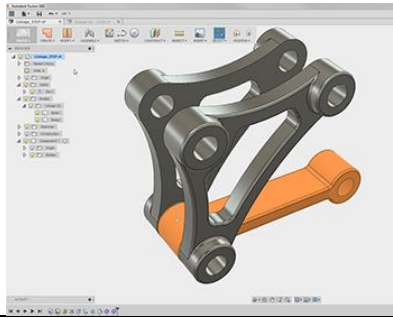

Curso	Concepto por ilustrar	Modelo que ilustraría el concepto
Diseño gráfico	Vistas principales (planos de proyección)	Cubo con figura adentro que pueda verse proyectada por cada cara del cubo
	Cortes y secciones	Modelo formado de varias piezas que representen distintos cortes posibles del objeto
Mecánica I	Sistemas de fuerzas y equilibrio de cuerpos	Puente simplemente apoyado con distintos pesos puntuales movibles a lo largo de su luz
	Centro de gravedad y centroide	Placas delgadas con distintos agujeros representando posibles ubicaciones del centroide que deberá calcularse
	Fricción	Plano ajustable a diferentes ángulos de inclinación sobre el que se coloque objetos de distintos materiales para analizar fricción con el plano
Mecánica II	Grados de libertad	Objeto tridimensional adherido a guías que le permitan trasladarse y rotar con la posibilidad de restringir cada movimiento por separado
	Vibraciones (libres, forzadas, amortiguadas, resonancia)	Simplificación de un edificio por una columna a la que se le permita oscilar con distintos pesos a diferentes alturas de este
Mecánica de Sólidos I	Deformación axial, flexión, cortante y torsión	Elemento de malla paralelepédico o cilíndrico en el que se puede observar claramente el efecto de los esfuerzos en la deformación de los elementos, externa e internamente
	Flexión simétrica y asimétrica de vigas	Elemento de viga H/I sólido para mostrar la diferencia de momento de inercias según eje de flexión
Mecánica Estructural I	Grado de indeterminación estática	Cercha simplificada en 2D y simplemente apoyada, formada de vigas unidas por goznes, a las cuales se les puede restringir los grados de libertad para ilustrar el concepto de indeterminación estática
Construcción I	Procesos constructivos y elementos estructurales de edificaciones	Modelo de una casa sencilla con partes removibles para mostrar los distintos componentes (columnas, paredes, vigas, entresijos, techo, cielos, otros acabados, etc.)
Hidrología	Caracterización morfológica de cuencas, Análisis temporal de precipitación, Escurrimiento superficial	Un modelo a escala de una cuenca con distintos relieves, para ayudar a visualizar fenómenos de precipitación y generación de caudales

## INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA

### Información general del curso

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0100	I	3

### Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Tema 4. Programas de cómputo utilizados en Ingeniería Civil	<p>Introducir en el temario una sección sobre software de modelado 3D como preámbulo a Diseño Gráfico.</p> 
Proyecto final de curso	<p>Apoyarse en las charlas y seminarios obligatorios sobre impresión 3D, en la introducción anterior y en el personal del laboratorio de diseño gráfico para realizar modelos simples e imprimir partes del puente del proyecto final.</p> 

### Actividades transversales relacionadas

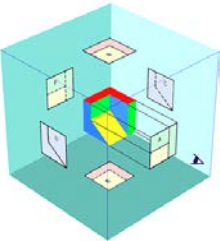
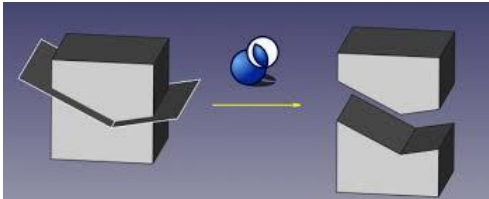
- Asistencia obligatoria a charlas o seminarios sobre impresión 3D que contarán para el total de horas conferencia requeridas.

# DISEÑO GRÁFICO

## Información general del curso

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0302	III	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Vistas principales (planos de proyección)	 <p>Cubo translúcido con figura impresa en 3D adentro que pueda verse proyectada por cada cara del cubo. Se propone que <b>se genera una especie de "Lego" en 3D</b> para poder generar distintas figuras y dar variabilidad a los objetos posibles.</p>
Cortes y secciones	<p>Modelo formado de varias piezas que representen distintos cortes posibles del objeto. Es decir, un objeto que esté formado de muchas partes las cuales unidas entre ellas pueden generar distintos resultados de cortes planares al objeto principal. Se podría aprovechar el modelo realizado para el ejemplo anterior.</p> 

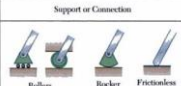

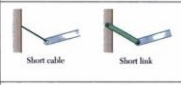



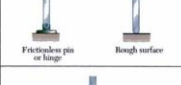



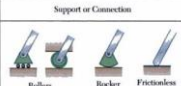

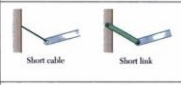



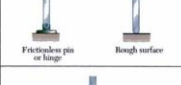



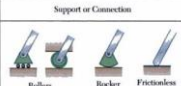

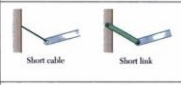



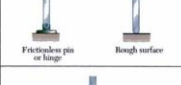



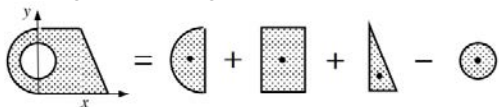
## Actividades transversales relacionadas

- Asistencia obligatoria a charlas o seminarios sobre impresión 3D que contarán para el total de horas conferencia requeridas más tarde en la carrera, como una forma de adelanto.
- Dar énfasis al modelado 3D en el laboratorio del curso, y que los estudiantes como práctica o proyecto final, o incluso en prácticas mensuales, generen un modelo 3D de algo específico asignado (o que quede a libertad del estudiante) y que este modelo, al final de cada semestre, forme parte de una librería de modelos 3D que pueden ser utilizados por todos los estudiantes y profesores de la carrera para distintos fines.

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0401	IV	4

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto																		
Sistemas de fuerzas y equilibrio de cuerpos	Puente simplemente apoyado con distintos pesos puntuales movibles a lo largo de su luz. Se apoyará con el uso de galgas de esfuerzo y deformación para mostrar los equilibrios en el puente según la distribución de pesos.																		
Apoyos	<p>Modelar e imprimir diferentes tipos de apoyo para visualizar sus grados de libertad y comprender la diferencia entre estos últimos.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Support or Connection</th> <th>Reaction</th> <th>Number of Unknowns</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>   Rollers    Rocker    Frictionless surface                 </td> <td>   Force with known line of action                 </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>   Short cable    Short link                 </td> <td>   Force with known line of action                 </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>   Collar on frictionless rod    Frictionless pin in slot                 </td> <td>   Force with known line of action                 </td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>   Frictionless pin or hinge    Rough surface                 </td> <td>   Force of unknown direction                 </td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>   Fixed support                 </td> <td>   Force and couple                 </td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Support or Connection	Reaction	Number of Unknowns	 Rollers    Rocker    Frictionless surface	 Force with known line of action	1	 Short cable    Short link	 Force with known line of action	1	 Collar on frictionless rod    Frictionless pin in slot	 Force with known line of action	1	 Frictionless pin or hinge    Rough surface	 Force of unknown direction	2	 Fixed support	 Force and couple	3
Support or Connection	Reaction	Number of Unknowns																	
 Rollers    Rocker    Frictionless surface	 Force with known line of action	1																	
 Short cable    Short link	 Force with known line of action	1																	
 Collar on frictionless rod    Frictionless pin in slot	 Force with known line of action	1																	
 Frictionless pin or hinge    Rough surface	 Force of unknown direction	2																	
 Fixed support	 Force and couple	3																	
Centro de gravedad y centroide	<p>Placas delgadas con distintos agujeros representando posibles ubicaciones del centroide que deberá calcular el estudiante antes de ensayar las placas. Las placas serán formadas por distintas partes que podrán rearmarse en distintas configuraciones geométricas.</p> 																		

## Actividades transversales relacionadas

N/A

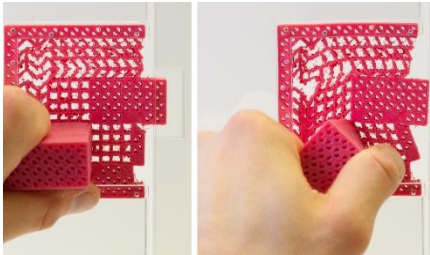



# MECÁNICA DE SÓLIDOS I

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0501	V	4

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Deformación axial, flexión, cortante y torsión	<p>Elemento de malla paralelepédico o cilíndrico formado de pequeños cuadrados de máximo 5 mm de lado en el que se puede observar claramente el efecto de los esfuerzos en la deformación de los elementos, externa e internamente. Esto además ilustra el análisis por elemento finito que se utiliza tanto durante la carrera.</p> 
Flexión simétrica y asimétrica de vigas	<p>Elemento de viga H/I sólido o hueco para mostrar la diferencia de momento de inercias según el eje de flexión. Se pretende además generar elementos de viga con distintas configuraciones geométricas (armables o de una sola pieza) para mostrar también el efecto de la distribución geométrica de masa en la inercia de la viga en flexión.</p> 

## Actividades transversales relacionadas

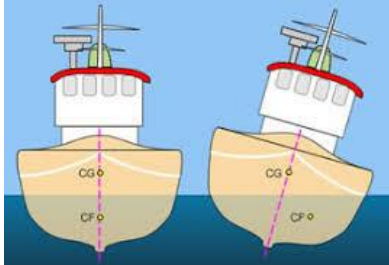
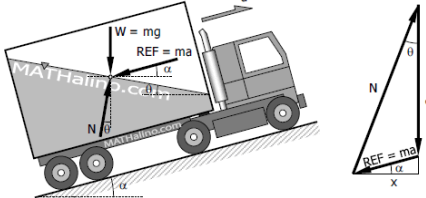
N/A

# MECÁNICA DE FLUIDOS

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0605	VI	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Hidrostática. Estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos	<p>Proyecto: Diseño, modelado e impresión de un modelo a escala de un barco (o solo sección transversal de éste) contemplando espacio para pesas. Después ensayar la estabilidad del barco en un tanque de agua y comparar con cálculos previos de los estudiantes.</p> 
Estabilidad de cuerpos flotantes y sumergidos; equilibrio relativo, y otros.	<p>Apoyo didáctico: impresión de distintas piezas con distinta geometría en la sección transversal para demostrar diferencias en la estabilidad según la geometría y distribución de masa. Colocar estas en un tanque de agua pequeño traslucido y montar sobre ruedas o rieles para poderlo acelerar o girar y demostrar equilibrio relativo.</p> 

## Actividades transversales relacionadas

N/A

# MÉTODOS CONSTRUCTIVOS I I

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0704	VII	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Procesos constructivos y elementos estructurales de edificaciones	<p>Modelo de una casa sencilla con partes removibles para mostrar los distintos componentes (columnas, paredes, vigas, entrepisos, techo, cielos, otros acabados, etc.)</p> 
Tipos de obra falsa en construcción	<p>Modelado e impresión de elementos representativos de obra falsa como formaletas, puntales, andamios y demás. Nuevamente lo ideal sería apoyarse con los elementos de la casa modelo para observar cómo se acoplan y que el estudiante logre armar en secuencia la casa desde la fundación hasta el techo utilizando la obra falsa y los ensambles del ejemplo anterior.</p> 

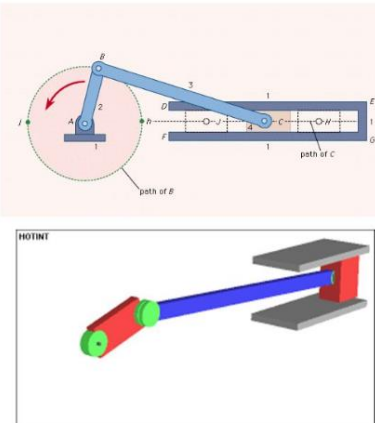
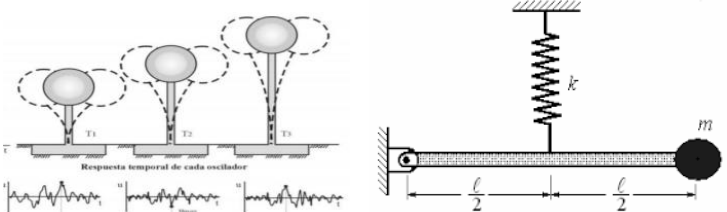
## Actividades transversales relacionadas

N/A

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0502	V	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Grados de libertad	<p>Objeto tridimensional adherido a guías que le permitan trasladarse y rotar con la posibilidad de restringir cada movimiento por separado</p> 
Vibraciones (libres, forzadas, amortiguadas, resonancia)	<p>Simplificación de un edificio por una columna a la que se le permita oscilar con distintos pesos a diferentes alturas de este, y otros elementos para simular amortiguación y resonancia.</p> 

## Actividades transversales relacionadas

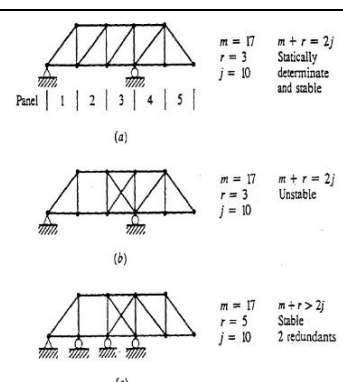
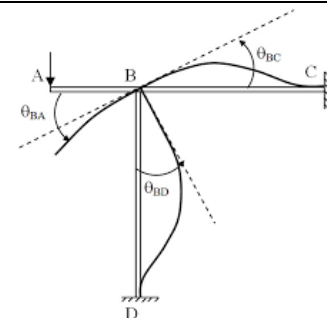
- Realización de piezas impresas en 3D durante el curso del semestre que formarán parte de la librería de piezas 3D utilizadas en toda la carrera, pero enfocándose en la creación de piezas que se utilizarán para el proyecto del tema de vibraciones en el curso. Esto provocará mayor variedad en las posibles configuraciones del proyecto final de curso.

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0701	VII	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Grado de indeterminación estática	<p>Cercha simplificada en 2D y simplemente apoyada, formada de vigas unidas por goznes, a las cuales se les puede restringir los grados de libertad para ilustrar el concepto de indeterminación estática.</p>  <p>(a) <math>m = 17</math>, <math>r = 3</math>, <math>j = 10</math>. <math>m + r = 2j</math>. Statically determinate and stable.</p> <p>(b) <math>m = 17</math>, <math>r = 3</math>, <math>j = 10</math>. <math>m + r = 2j</math>. Unstable.</p> <p>(c) <math>m = 17</math>, <math>r = 5</math>, <math>j = 10</math>. <math>m + r &gt; 2j</math>. Stable. 2 redundants.</p>
Deformadas del GIC	<p>Algunas configuraciones distintas de marcos suficientemente esbeltos para que sea visible la deformada al girar o trasladar un nodo.</p> 

## Actividades transversales relacionadas

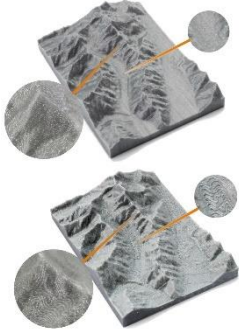
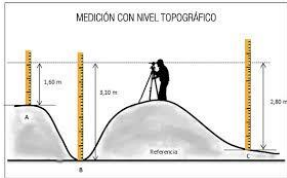
N/A

# FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IT-0001	IV	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Uso de software de modelado 3D y análisis de relieve (AutoCAD 3D, ArcGis), interpretación de mapas topográficos (curvas de nivel, etc..)	<p>Importar modelo 3D de una cuenca del país, que se deberá corregir, pulir y simplificar en su escala para que sea imprimible. Se le deberán dibujar las curvas de nivel para que sean visibles en el modelo final. Se imprime un modelo de cuenca de 50 x 50 cm de base y 15 cm de altura.</p> 
Uso del nivel de precisión	<p>Creación de un relieve sencillo con distintas elevaciones donde se encuentren al menos 5 puntos a distancias diferentes. Se colocan estadias miniatura en cada punto y con láser se simula el uso de un nivel de precisión.</p> 
Fotogrametría	<p>Con la cámara de los teléfonos, tomar varias fotografías de un modelo a escoger, con un software o app traducir las fotos a nubes de puntos y modelar en 3D, para después imprimir el objeto.</p>

## Actividades transversales relacionadas


Se pretende que el modelo de cuenca impreso (mencionado arriba) se pueda utilizar como un modelo para realizarle pruebas físicas en otros cursos afines, como por ejemplo el cálculo de escorrentía superficial en el curso de Hidrología y otros proyectos afines de cursos relacionados como Recursos Hídricos y demás.

# MECÁNICA DEL SOLIDO II

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0610	VI	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Método de trabajo virtual	Utilizando piezas impresas en otro curso o laboratorio, se arma una estructura simple planar (en 2D) o con profundidad, y se le colocan celdas de carga en elementos definidos. Se colocan pesos en puntos definidos de la estructura y se obtiene la deformación en los elementos con celdas usando el método de trabajo virtual. 
Análisis de deformaciones (conceptos, tipos de deformación)	Apoyándose en los elementos propuestos en la ficha de Mecánica de Sólidos I, se pretende demostrar de forma visual los diferentes tipos de deformaciones en elementos de distintas geometrías, apoyándose además en el uso de galgas para cuantificar esas deformaciones.

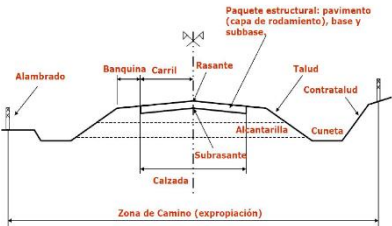
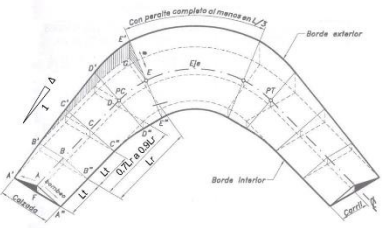
## Actividades transversales relacionadas

# DISEÑO VIAL

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0810	VIII	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
<p>Secciones transversales de calle (tangente y curva), alineamiento horizontal, distancia de visibilidad, desarrollo de superelevación.</p>	<p>En colaboración con el laboratorio del curso, la idea es generar, utilizando impresión 3D, un tramo de calle dividido en partes, que contenga al menos una sección tangente antes de</p>  <p>entrar en una curva, la curva y la sección tangente al salir de la curva. Además, la sección recta debe contener los elementos típicos de una calle (calzada, espaldones, cuneta, etc).</p>  <p>La curva deberá dividirse en partes para mostrar las distintas distancias de transición, con sus respectivos peraltes. Cada sección debe mostrar el cambio de peralte durante la transición.</p>


## Actividades transversales relacionadas



## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0808	VIII	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Escorrentía superficial y los factores que influyen en esta, como: climáticos, fisiográficos, humanos, etc. Además, cálculo de escorrentía.	<p>En colaboración con el laboratorio del curso de Fundamentos de Topografía, la idea es generar un modelo de cuenca simplificado (que se genera por partes para poder hacer un modelo de tamaño considerable) para mostrar distintos conceptos relacionados a la escorrentía superficial y de ser posible que se puedan calcular datos de la escorrentía a través del modelo. Para ello se pretende generar una precipitación falsa sobre el modelo para poder simular un caso de precipitación real. Posteriormente, se harán los cálculos respectivos y se compararán con la cuenca real sobre la que fue modelada la cuenca impresa en 3D.</p> 


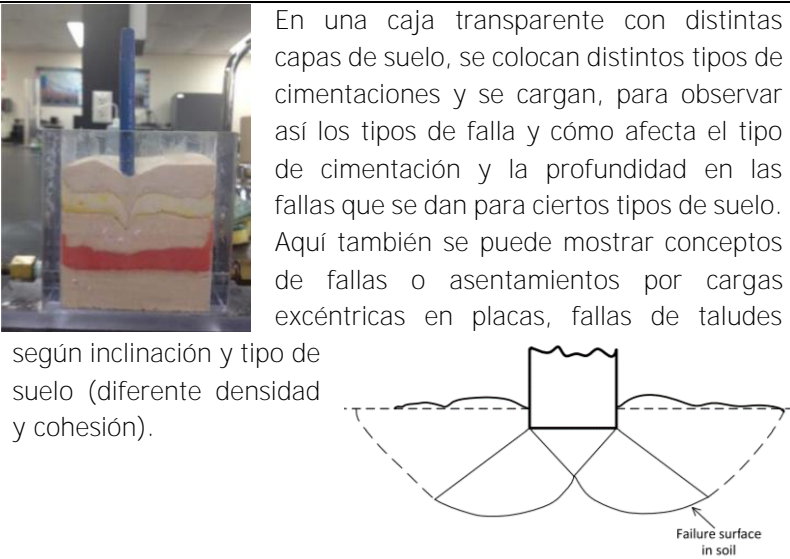
## Actividades transversales relacionadas

# MECÁNICA DE SUELOS

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0703	VII	4

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Instrumentos para exploración de campo	<p>Imprimir a escala ejemplos de instrumentos varios para exploración de campo (muchos de los cuales no es posible verlos en laboratorios ni giras). Estos modelos podrán ser funcionales cuando sea posible para mostrar su funcionamiento en una muestra de suelo.</p> 
Tipos de cimentaciones y perfiles de falla en distintos suelos	<p>En una caja transparente con distintas capas de suelo, se colocan distintos tipos de cimentaciones y se cargan, para observar así los tipos de falla y cómo afecta el tipo de cimentación y la profundidad en las fallas que se dan para ciertos tipos de suelo. Aquí también se puede mostrar conceptos de fallas o asentamientos por cargas excéntricas en placas, fallas de taludes según inclinación y tipo de suelo (diferente densidad y cohesión).</p> 

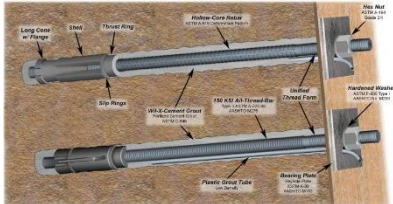
## Actividades transversales relacionadas

# INGENIERÍA GEOTÉCNICA

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC0809	VIII	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Métodos de estabilización de suelos y rocas en taludes y tuneles.	<p>Impresión de modelos a escala de distintos tipos de anclajes (pasivos, activos, bulones) para mostrar sus partes, así como distintos pilotes, pantallas de pilotes, y otros.</p>  

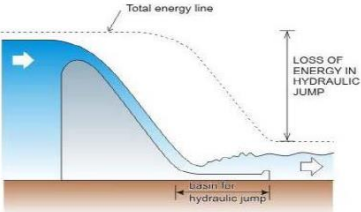
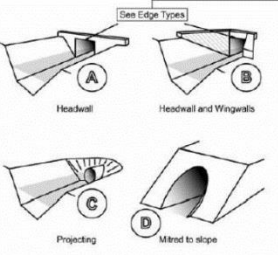
## Actividades transversales relacionadas

# OBRAS HIDRÁULICAS

## Información general

Sigla del curso	Semestre de la carrera	Créditos
IC1021	X	3

## Conceptos y propuestas de apoyo con impresión 3D

Concepto(s) del contenido temático	Ejemplo de cómo incorporar la impresión 3D al concepto
Tipos de obras hidráulicas que se realizan en ríos (presa, obras de desviación, vertedero, cámara de sedimentación, disipadores de energía)	<p>Modelado e impresión de modelos 3D a escala de las obras hidráulicas típicas que se realizan en ríos, desde la presa o dique, hasta las cámaras desarenadoras.</p>  <p>En una primera etapa, se pueden imprimir por separado estos elementos, y en una segunda etapa colocarlos en conjunto modelando una obra real. Para ello, se planea construir un tanque a escala que modele de perfil un río y su caudal (variable según se requiera) desde aguas arriba hacia aguas abajo, desde la zona de embalse hasta el final de obras río abajo. En este modelo se puede mostrar diferencias en estabilidad de las presas, el cambio de energía en el agua desde el embalse hasta el salto hidráulico final, incluso se podría mostrar por pasos cómo se realiza una desviación de río para construcción de presas.</p>
Diseño de alcantarillas	 <p>Como parte de un pequeño proyecto, se debe modelar una alcantarilla considerando estructura de entrada y salida del agua, según especificaciones previas, y posteriormente imprimir el modelo a escala. Opcionalmente se puede poner a prueba el modelo impreso en el tanque de agua mencionado arriba.</p>

## Actividades transversales relacionadas

No aplica

## Apéndice C. Herramienta de validación de propuesta

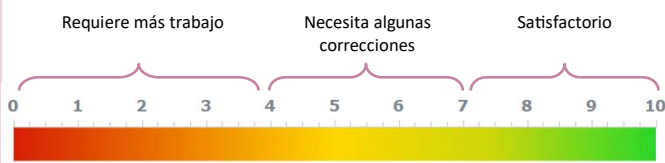
# Herramienta de validación de propuesta de implementación de impresión 3D

Herramienta de validación de la propuesta de implementación de modelado e impresión 3D a algunos cursos seleccionados del plan de estudios de ingeniería civil en la Universidad de Costa Rica.

*El objetivo de la herramienta es obtener una calificación cuantitativa de la calidad de la propuesta a través de distintos criterios que serán evaluados por separado con una nota del 1 al 10 según si el criterio mencionado requiere más trabajo, alguna corrección o si es satisfactorio tal como está planteado.*

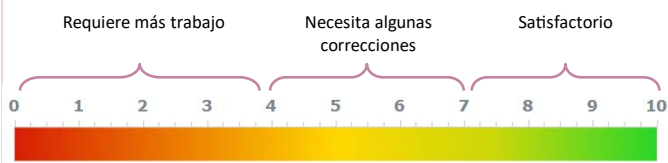
## 1. Fundamentación teórica de la didáctica

Los conceptos teóricos utilizados para justificar la propuesta desde el punto de vista didáctico están bien fundamentados.



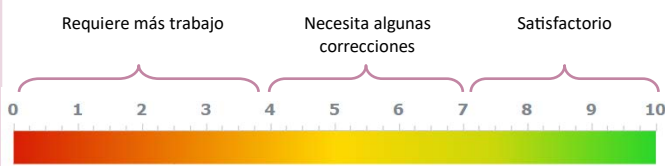
## 2. Adecuada ilustración de conceptos de carrera

Las ilustraciones, modelaciones y distintas actividades propuestas para reflejar conceptos de los cursos de ingeniería civil utilizando la herramienta de impresión 3D se adhieren de forma correcta a la teoría detrás de esos conceptos.



## 3. Fomenta interés del estudiante

La propuesta en general fomenta el interés del estudiante en aprender los conceptos o en ir más allá



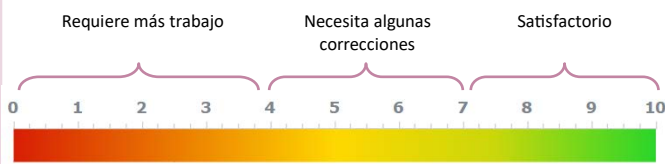
## 4. Captura interés del estudiante

Los contenidos de la propuesta y las fichas tienen el potencial de capturar la atención de los estudiantes



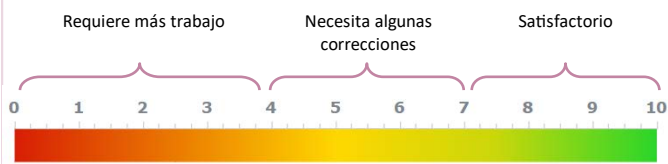
## 5. Fomenta creatividad del estudiante

La propuesta en general fomenta la creatividad de los estudiantes a través de las diversas actividades



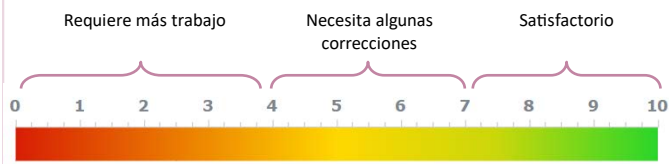
## 6. Novedosa didácticamente

La propuesta se alinea a nuevas metodologías de enseñanza y al uso de tecnologías de información y comunicación en la enseñanza



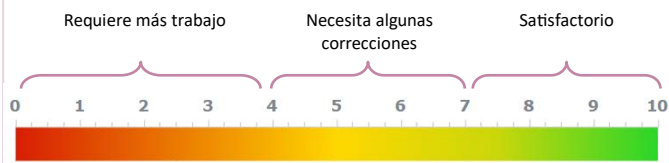
## 7. Aprovechamiento de impresión 3D

A su criterio, la propuesta hace el mejor uso posible de la impresión 3D



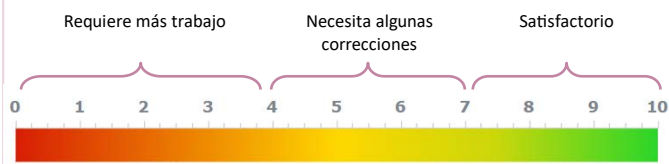
## 9. Acorde a visión organizacional de UCR

La propuesta es acorde a la estrategia y visión organizacional de la UCR en los ejes de docencia, investigación y acción social



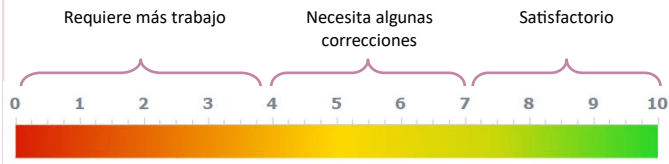
## 11. Orden lógico de la propuesta

La propuesta de implementación en etapas es válida y sigue un orden adecuado al programa de carrera



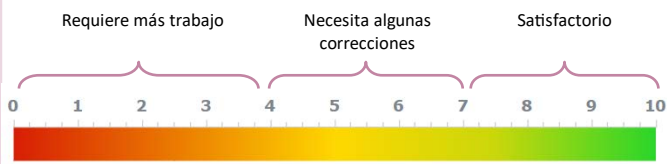
## 13. Viabilidad de la propuesta

La propuesta es viable tomando en cuenta criterios tales como: recursos presupuestarios para implementarse, recurso temporal de profesores, estudiantes y otros profesionales que dediquen tiempo a la implementación de la propuesta



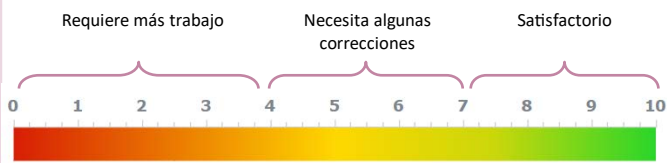
## 8. Adecuación al programa de carrera

La propuesta se adapta y es acorde al programa de carrera de la Escuela de Ingeniería Civil y responde a problemáticas actuales de la carrera



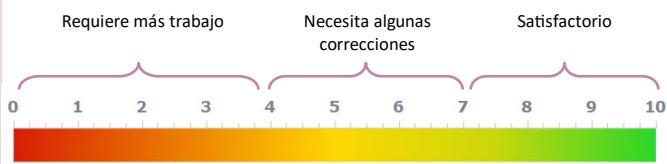
## 10. Valor de la selección de cursos

La selección de cursos propuestos para aprovechar la impresión 3D es válida y presenta buen balance en las áreas de ingeniería civil



## 12. Valor de actividades transversales

Las actividades transversales propuestas tales como las intersemestrales, interuniversitarias y otras son de valor



## 14. ¿Cuáles considera que son los puntos fuertes y débiles de la propuesta?

Área reservada para la respuesta a la pregunta 14.