

FABRICACIÓN DIGITAL: NUEVAS FORMAS DE APRENDER Y HACER  
ARQUITECTURA EN PROGRAMAS DE ARQUITECTURA ASOCIADOS A LA  
AGREMIACIÓN COLOMBIANA DE FACULTADES DE ARQUITECTURA-ACFA

JUAN DAVID ARCINIEGAS JAIMES  
ARTURO OCAMPO MEJÍA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES.  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE ARQUITECTURA  
MANIZALES

2020

FABRICACIÓN DIGITAL: NUEVAS FORMAS DE APRENDER Y HACER  
ARQUITECTURA EN PROGRAMAS DE ARQUITECTURA ASOCIADOS A LA  
AGREMIACIÓN COLOMBIANA DE FACULTADES DE ARQUITECTURA-ACFA

JUAN DAVID ARCINIEGAS JAIMES.  
ARTURO OCAMPO MEJÍA

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

ASESOR DE INFORME: ARQUITECTO LUIS DAVID CARDONA JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE ARQUITECTURA  
MANIZALES  
2020

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradecemos mutuamente a nuestras familias por habernos brindado el apoyo en cada paso que dimos y en cada decisión que tomamos, por estar siempre presentes y dispuestos a apoyarnos moral, espiritual y económicamente en este proceso que llevamos hasta el momento, ha sido un camino largo y arduo el cual hemos recorrido, pero aun así nuestras familias han estado incondicionalmente para ayudarnos sin importar nada. Agradecemos de igual forma a el Arquitecto Luis David Cardona Jiménez, nuestro asesor de trabajo de grado, por el gran apoyo brindado en el proceso de fabricación del informe y por el acompañamiento que nos proporcionó.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS</b> .....	3
<b>Objetivo General</b> .....	3
<b>Objetivos Específicos</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 1: REFERENTE TEÓRICO</b> .....	4
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....	4
<b>1.1.1 Infografía acerca de la transferencia del conocimiento.</b> .....	6
<b>1.1.2 Infografía acerca de visitas de académicos expertos.</b> .....	7
<b>1.1.3 Infografía acerca del Auto – Aprendizaje.</b> .....	8
<b>1.1.4 Infografía referente al movimiento <i>maker</i> y el concepto DIY</b> .....	14
<b>Anexo. FabLab Cali</b> .....	16
<b>1.2 MARCO TEÓRICO</b> .....	17
<b>1.3.1 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC)</b> .....	23
<b>1.3.2 SISTEMA SUSTRACTIVO</b> .....	25
<b>1.3.2.1 Fresadora CNC</b>	
<b>1.3.2.3 Cortadoras Láser</b> .....	26
<b>1.3.4 SISTEMA ADITIVO</b> .....	27
<b>1.3.4.2 Impresión 3D de Concreto:</b> .....	29
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA</b> .....	31
<b>CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	34
<b>CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	64
<b>CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA</b> .....	67
<b>Anexo 1: Infografía referente al FabLab Medellín</b> .....	72
<b>Anexo 2: Infografía referente al FabLab Cali</b> .....	73
<b>Anexo 3: Glosario de términos</b> .....	74
<b>ANEXO 4: MATRIZ DE PROGRAMAS AGREMIADOS A ACFA</b> .....	83

## INTRODUCCIÓN

En la siguiente investigación se explora la inserción de la fabricación digital como componente académico en las mallas curriculares de los programas de Arquitectura de la Agremiación Colombiana de facultades de Arquitectura – ACFA.

Entendiendo en primera instancia que el problema de investigación abarca las limitantes que presenta la implementación de estos instrumentos como herramienta de estudio, por ejemplo, factores económicos, administrativos y de gestión, estas limitantes se reflejan en los altos costos, tanto de los equipos referentes a la fabricación digital como del mantenimiento de estos, así como de la gestión y administración de estos. El poco conocimiento y divulgación del funcionamiento y comportamiento de la fabricación digital como herramienta de desarrollo del producto arquitectónico, generado por las escasas políticas o métodos de búsqueda de herramientas complementarias e innovadoras dando como resultado la lenta inclusión de la fabricación digital como componente integral de la enseñanza de la arquitectura en el contexto local.

La pertinencia del trabajo se sustenta a raíz de la importancia de situar a la fabricación digital como herramienta fructífera para el aprendizaje y ejecución de la arquitectura desde un punto de vista académico, a través de la práctica de esta donde en paralelo el estudiante puede desarrollar y explotar el sentido de la creatividad a través del desarrollo personalizado de un modelo arquitectónico.

El impacto esperado implica el conocimiento de los resultados producidos por la implementación de la fabricación digital en los métodos de aprendizaje y enseñanza en las mallas curriculares de los programas de arquitectura seleccionados, además de dar a conocer los escenarios complementarios como semilleros, laboratorios, y demás espacios que ofrecen el aprendizaje a través de la práctica y la teoría de la fabricación digital. Asimismo, de conocer las experiencias y conocimientos de

estudiantes y profesionales a través de la elaboración de encuestas como instrumento de recolección de información.

Los potenciales usuarios directos de los resultados obtenidos corresponden a los profesores y estudiantes en formación del Programa de Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales y los indirectos corresponden a interesados en el objeto de estudio.

La estrategia para la transferencia de resultados abarca escenarios de investigaciones futuras para la implementación práctica de este tipo de herramientas en los procesos de ideación y creación arquitectónica en el ámbito académico del programa de arquitectura.

## **OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS.**

### **Objetivo General**

Analizar el campo de aplicación de la fabricación digital en la enseñanza y el aprendizaje de la Arquitectura en los programas de la Agremiación Colombiana de Facultades de Arquitectura- ACFA.

### **Objetivos Específicos**

- Registrar los programas de arquitectura, asociados a ACFA, que cuentan con acceso a esta tecnología.
- Indagar sobre la trayectoria de los laboratorios de fabricación digital en los procesos académicos de la enseñanza de la Arquitectura en Colombia.
- Conocer la intervención que ha tenido la fabricación digital en el desarrollo de los proyectos académicos de arquitectura en Colombia.

## CAPÍTULO 1: REFERENTE TEÓRICO.

### 1.1 ANTECEDENTES

La investigación acerca de la implementación de tecnologías como la Fabricación Digital en los componentes académicos de los pregrados de Arquitectura en la región, toma como materia de estudio el impacto generado de las herramientas digitales en los métodos de enseñanza y práctica de la Arquitectura.

Esta investigación favorece el entendimiento y la comprensión del estado del arte del objeto del conocimiento en el contexto regional y local de acuerdo con el problema de investigación.

En primera instancia, se realiza una indagación sobre el estado de implementación de estas tecnologías y los resultados que estas investigaciones han dictado en el contexto regional. Lo anterior con el objetivo de conocer los diferentes métodos de implementación, las problemáticas presentadas y los resultados generados, como el funcionamiento de los diferentes laboratorios de Fabricación Digital (FabLab) que se han instalado en la región. De acuerdo con el capítulo dos de la tesis de maestría *‘Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia’* titulado *‘Análisis del contexto regional’*, el autor expresa que la interacción entre la academia y la industria ha sido el componente que ha involucrado a la fabricación digital con la construcción y la Arquitectura en contextos como el norteamericano y el europeo. Sin embargo, el campo latinoamericano no ha tenido la misma trayectoria. En consecuencia, el autor divide en tres grupos la materia de estudio, teniendo como principal interés el análisis realizado a las instituciones educativas y, como complemento, a los diseñadores y consultores – fabricantes.

En el marco del análisis realizado a las instituciones educativas, se menciona lo siguiente:



De acuerdo con el análisis que los arquitectos Pablo Herrera y Benito Juárez (2011) hacen sobre el grado de incorporación de las tecnologías para desarrollo de diseños o construcción mediado digitalmente en el contexto latinoamericano dentro del ámbito académico, a partir del año 2007 y centrado en Sudamérica (dividida por los autores en tres grupos así: Cono Sur (Argentina, Chile, Uruguay y Paraguay), Región Andina (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y Brasil), en donde existen tres modalidades a través de las cuales ha tenido lugar dicho fenómeno, que sintetizan como de transferencia, de co-investigación y de auto-exploración, así.<sup>1</sup>

En relación con esto, la inserción de la Fabricación Digital en la academia toma una dirección orientada en la democratización de la información a través de la libre divulgación de conocimientos y trabajos colectivos.

A continuación, se presentan infografías que brindan información acerca de los tres puntos de estudio: la transferencia del conocimiento, visitas de académicos expertos y de auto – aprendizaje, y posteriormente una explicación complementaria de las mismas, con el objetivo de dar al lector un mayor entendimiento y comprensión de estas. Es conveniente aclarar que, si bien el estudio abarca los métodos de implementación en Colombia, también se centra en la inserción en otros países de Latinoamérica, tales como Argentina, Chile, Brasil, Perú y Uruguay. Además, abarca de forma rápida el funcionamiento e inclusión de estas herramientas en mercados como el de Estados Unidos y Europa, con el fin de exponer una breve comparación de los modelos de gestión y funcionamiento de la Fabricación Digital entre ambas, con el fin de recopilar información que permita generar conclusiones que permitan ofrecer una mayor comprensión del tema.

---

<sup>1</sup> SANDOVAL BOLAÑOS, Roland Darío. Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia. [en línea]. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de magister en construcción. Medellín, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura. Maestría en construcción. 2016. 74 p. [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/55444/1/80100436.2016.pdf>

### 1.1.1 Infografía acerca de la transferencia del conocimiento.



Fuente: Elaboración propia.

La transferencia del conocimiento es fundamental en los modelos de inserción de la Fabricación Digital en la academia. Pues, permite conocer de primera fuente las experiencias, tanto positivas como negativas de los más estudiados en el tema, a través de un aprendizaje colectivo, lo que permite compartir información de una forma más eficaz y comprensible por parte de los estudiantes, interesados en el tema o incluso profesionales.

### 1.1.2 Infografía acerca de visitas de académicos expertos.



Fuente: Elaboración propia.

Las visitas de académicos expertos en las aulas y demás espacios afines, complementa la transferencia del conocimiento expuesta previamente. Pues, los académicos expertos pueden dictar teorías importantes para el conocimiento de los espectadores y, a través de la práctica entender el funcionamiento y/o gestión de las diferentes herramientas referentes a la Fabricación Digital. En adición, pueden

instruir acerca de factores administrativos, financieros y demás, que sean pertinentes para una correcta introducción de estas herramientas en la región.

### 1.1.3 Infografía acerca del Auto – Aprendizaje.



Fuente: Elaboración propia.

El Auto – Aprendizaje, es quizás el más pertinente, pues implica como ha sido la retención de la información por parte del usuario y como este, aplica los conocimientos en escenarios de práctica.

Se concluye entonces, que la divulgación de la información por parte de los expertos a través de la creación de escenarios comunitarios; tales como cursos, blogs, conferencias, entre otras fue clave para la correcta apropiación de la información por parte de la comunidad, cómo se puede entender en la siguiente referencia.

“En el ámbito académico, tanto en investigación como enseñanza Brasil, Chile y México - con especial énfasis en el primero- tienen una mayor experiencia sobre los demás países de la región, en donde se evidencian importantes aportes en la relación entre diseño computacional, fabricación digital y su relación con la construcción. Se observa que en la gran mayoría de las instituciones se abordan temas, problemáticas, procedimientos, técnicas, herramientas y maquinaria similares.”<sup>2</sup>

Es evidente que aún la implementación de herramientas como la Fabricación Digital en Colombia, especialmente en las metodologías académicas, esta retrasada en comparación con otros países de la región.

Desde la perspectiva de la pedagogía, recalcan los workshops, los cuales se fundamentan en una metodología de aprendizaje colectivo, demostrando materiales, técnicas de diseño y herramientas referentes a la Fabricación Digital complementando y actualizando la información constantemente. “se establece preliminarmente y como oportunidad que, para el contexto local, la multiplicación del modelo de transferencia, la expansión del modelo conceptual con apropiación cultural y material, y el desarrollo de repositorios teórico-prácticos vía nuevos medios, podrían constituir una pista de apropiación local y desarrollo innovador y participativo en el tema.”<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> SANDOVAL BOLAÑOS, Roland Darío. Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia. [en línea]. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de magister en construcción. Medellín, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura. Maestría en construcción. 2016. 99 p. [Consultado: 25 de Enero de 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/55444/1/80100436.2016.pdf>

<sup>3</sup> Ibid.p.75

Del mismo modo, el autor analiza el impacto de la Fabricación Digital en el contexto local, analizando los antecedentes de estas herramientas digitales en Colombia. De acuerdo con lo investigado, en el medio académico en Colombia, aún hay un retraso evidente en las instituciones educativas e iniciativas independientes. De acuerdo con el autor,

En el entorno académico colombiano resulta “evidente la poca influencia que estas tecnologías están teniendo en los micro-currículos de los programas de arquitectura” (Velasco, 2011), esto ocurre a causa de la resistencia de los docentes a las tecnologías digitales, puesto que, de acuerdo con Çil y Pakdil (2007) ello se debe al “temor a la pérdida de dominio de técnicas manuales de representación por parte del estudiante, y parcialmente en el desconocimiento de las posibilidades que brindan estas herramientas más allá de su uso como instrumentos de representación” (Velasco, 2011).<sup>4</sup>

Consecuentemente, estas limitantes impiden la búsqueda de prácticas innovadoras en la Arquitectura y la Construcción.

En síntesis, la implementación de la Fabricación Digital como herramienta de estudio en las instituciones educativas en Colombia, evidencia un desarrollo pausado, en muchas ocasiones por la preferencia de los docentes o instituciones por la educación o metodología tradicional, además de limitantes, tales como factores económicos, administrativos y de gestión, los cuáles se profundiza más en el Marco teórico.

La **Figura 1**, correspondiente a una tabla, muestra los laboratorios de fabricación en instituciones académicas o como iniciativas independientes en el país, las instituciones educativas involucradas en el funcionamiento de estos laboratorios de Fabricación Digital y la vocación de estos.

---

<sup>4</sup> Ibid. p.108



Figura 1: Fablabs existentes en Colombia

Nombre	Fundación	Ubicación	Afiliaciones	Vocación
Tecnoparques del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)	2007	Bogotá	Red MIT	Programas de capacitación en tecnologías de manufactura avanzada / Apoyo al desarrollo de proyectos de innovación tecnológica
		Medellín		
Fab Lab Unal Medellín	2013	Medellín	Red MIT / Universidad Nacional de Colombia (Medellín)	Servicio estudiantil de prototipado / Capacitación (Fab Academy)
Fab Lab Cali	No Registra	Cali	Red MIT	Servicio estudiantil de prototipado / Promoción de la cultura "maker"/ Capacitación (Fab Academy)
FabStudio	No Registra	Medellín	Red McNeel / Universidad Pontificia Bolivariana	Servicio estudiantil de Prototipado (programa de Diseño Industrial)
Laboratorio Digital de Diseño Industrial y Taller de Diseño / Laboratorio de Ingeniería Industrial	2007	Cali	Universidad ICESI	Servicio de apoyo a asignaturas de Diseño Industrial / Servicio de apoyo a asignaturas de Ing. Industrial (sistemas avanzados de manufactura, simulación de procesos productivos).
Laboratorio Fabricación digital Arquitectura y Diseño	No Registra	Bogotá	Universidad de los Andes	Servicio estudiantil de Prototipado (Arquitectura y Diseño Industrial)
Lab Fab Ex	2014	Bogotá	Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)	Investigación en tecnologías y procesos de manufactura avanzada y remota (Facultad de Ingeniería Mecatrónica - Grupo de Diseño y Manufactura - Automatización)
FabLab Colombia / El Maquinista	2008	Medellín	Red MIT	Arquitectura / Mobiliario / Prototipado/ Capacitación
Uno.Estudio (antes FabLab Bogotá)	No Registra	Bogotá	Red McNeel	Espacio comercial de renta para diseño y desarrollo de productos/ Servicio de Prototipado / Capacitación uso de equipos
Bogohack	2012	Bogotá	Independiente	Espacio de desarrollo / Prototipado / Capacitación / Fabricación de equipos
DosUno Design	En Planes	Bogotá	Independiente	Desarrollo de productos

Fuente: SANDOVAL BOLAÑOS. Op. Cit., p. 109-110 p.

En segunda instancia, se indaga acerca La historia de la Fabricación Digital en el contexto global, en esta se abarcan varios factores que se han convertido en pilares fundamentales en la creación de nuevas eras. Estos se fundamentan en “Comienzo de una nueva etapa de deslocalización”, la “Democratización de la fabricación”, el “Cuestionamiento del sistema capitalista” y el “Nacimiento del puente definitivo entre imaginación y realidad”.<sup>5</sup>

La democratización de la fabricación menciona que, con la Fabricación Digital, el consumidor es libre de generar sus propios productos y de abandonar la idea de consumir productos estandarizados; en el enfoque de la Arquitectura, específicamente en el estudio de esta trae beneficios, tales como el fomento de la creatividad y la libertad de desarrollar modelos sin limitaciones en un software de diseño y posteriormente convertirlo en un objeto tangible. El Cuestionamiento del sistema capitalista, abarca una crítica hacia el sistema de producción estandarizada o producción “industrializada”, donde los productos tienen un diseño previo y son producidos de forma sistematizada. La Fabricación Digital enfocada en la Arquitectura, se orienta en la producción personalizada de objetos y después su materialización, como ya se había mencionado.

El Nacimiento del puente definitivo entre imaginación y realidad tiene que ver con promover la capacidad del consumidor de crear nuevas habilidades y el desarrollo de la creatividad, y como a través de la Fabricación Digital se hacen realidad modelos digitales en objetos reales.

---

<sup>5</sup> JORQUERA, Adam. Fabricación digital: introducción al modelado e impresión 3D. Madrid: Secretaría General Técnica, 2016. 26 p. Tomo. [Consultado el 17 de 01 de 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=9XmbDQAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Nacimiento+del+puente+definitivo+entre+imaginaci%C3%B3n+y+realidad&source=bl&ots=7d3x-cCZeu&sig=ACfU3U0vz50pD19X5h2xov0ppZ\\_7pwXiog&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwim5t7v5aTnAhXsxlkKHVwjAj0Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Comienzo%20de%20una%20nueva%20etapa%20de%20deslocalizaci%C3%B3n&f=false](https://books.google.com.co/books?id=9XmbDQAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Nacimiento+del+puente+definitivo+entre+imaginaci%C3%B3n+y+realidad&source=bl&ots=7d3x-cCZeu&sig=ACfU3U0vz50pD19X5h2xov0ppZ_7pwXiog&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwim5t7v5aTnAhXsxlkKHVwjAj0Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Comienzo%20de%20una%20nueva%20etapa%20de%20deslocalizaci%C3%B3n&f=false). Colección Aula Mentor.



Todos estos antecedentes, prevén que la próxima “Revolución industrial” tendrá un gran enfoque en la Fabricación Digital. El libro denominado “Fabricación Digital: introducción al modelado e impresión 3D”, menciona lo siguiente:

Siendo testigos del avance de este campo en los últimos años y, sobre todo, percibiendo el efecto catalizador que está produciendo en la sociedad, creo que es justo afirmar que la fabricación digital será el eje principal y protagonista de la siguiente gran revolución industrial que dará lugar a la sociedad del futuro. Una revolución que pasa en gran medida por el movimiento *maker*, una extensión del concepto de DIY (*Do it yourself*) nacido en Estados Unidos durante los años 70 pero con todas las ventajas de la era digital.<sup>6</sup>

La infografía que se encuentra en la página siguiente dictará una breve descripción acerca del movimiento *maker* y el concepto DIY (Do It Yourself)

Por consiguiente, esta investigación fue relevante, de manera que permitió comprender que, a partir del entendimiento de los antecedentes de la implementación de la Fabricación Digital, donde este instrumento a través del tiempo se ha convertido en una herramienta esencial en la democratización y la personalización de la producción de los objetos.

---

<sup>6</sup>Ibid. p. 26 p.

### 1.1.4 Infografía referente al movimiento *maker* y el concepto DIY.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo FabLab Medellín:** Como primer ejemplo, es conveniente el estudio de la creación y el funcionamiento del Laboratorio de Fabricación Digital (FabLab) de la Ciudad de Medellín. Una de las instituciones de educación superior que participó en este grupo fue la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, específicamente a través de su Facultad de Arquitectura donde se ha estudiado esta herramienta y se han producido diversos componentes relacionados con la Arquitectura, tales como mobiliarios para viviendas y espacios públicos de la Ciudad de Medellín. “Desde su concepción en 2012 hasta su implementación en el 2013 se contó con el acompañamiento de la FabFoundation, organización que busca facilitar y apoyar el crecimiento de la red internacional de laboratorios Fab y el fortalecimiento de organizaciones regionales.”<sup>7</sup>

En Colombia, las tecnologías de fabricación digital han tenido una trayectoria fundamentada principalmente en los FabLab, los cuales son talleres generalmente vinculados a programas académicos de pregrado. Estos son espacios de producción de objetos físicos, enfocados en una escala personalizada. En Colombia, aún su presencia es limitada y se encuentra en ciudades como Cali, Pereira, Bogotá, Cartagena y Medellín, donde, estos laboratorios van vinculados mayormente con programas de Arquitectura, como el de la Universidad Autónoma de Occidente en Cali, la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, entre otros.

En función de integrar cada vez más la Fabricación Digital en los medios académicos, se tienen ejemplos de otras instituciones de educación superior asociadas al ACFA que incluyen la Fabricación Digital (FabLab) en sus escuelas. En el **Anexo 1** se encuentra una infografía que brinda una breve descripción del funcionamiento del FabLab Medellín.

---

<sup>7</sup> Universidad Nacional de Colombia. El FabLab, un espacio para experimentar y potenciar la creatividad. [sitio web]- Medellín, Antioquia. [Consultado: 6 de Febrero de 2020], Disponible en: <https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>

Es relevante la aplicación de estas la fabricación digital en los procesos de enseñanza de diversas disciplinas, entre ellas la arquitectura pues permite tener una visión más cercana de cómo es el funcionamiento de las nuevas tecnologías FaLab y los potenciales métodos de aplicación de estas en los programas académicos de Arquitectura en Colombia, los cuales brindan grandes beneficios para la comunidad estudiantil. Algunos beneficios podrían ser la elaboración más personalizada de los productos arquitectónicos referentes a los proyectos realizados por los estudiantes y el fomento de la creatividad como competencia fundamental para el desarrollo de la arquitectura, la reducción de tiempos de elaboración de los modelos, entre otros.

**Anexo. FabLab Cali:** En relación con lo anterior, el Laboratorio de Fabricación Digital de Cali, o FabLab Cali, es otro referente a nivel nacional. Ubicado en la Universidad Autónoma de Occidente (UAO) y creado en el año 2012, es el segundo Laboratorio de Fabricación Digital reconocido por la red mundial de FabLabs, como lo menciona el siguiente anuncio: “Después del FabLab Colombia ubicado en Medellín, el FabLab Cali será el segundo laboratorio de fabricación digital en Colombia reconocido por la red mundial de FabLabs, reconocimiento que será otorgado una vez se finalice el Fab Academy con el MIT, en el cual se están capacitando miembros del FabLab Cali.”<sup>8</sup>

Estos dos FabLabs son unos de los más relevantes en Colombia en la implementación de herramientas de Fabricación Digital. Pues, como se mencionó previamente, son los únicos en el País certificados por la Red mundial de FabLabs.

La infografía presente en el **Anexo 2** brindará una breve descripción del funcionamiento del FabLab Cali.

---

<sup>8</sup> Universidad Autónoma de Occidente. El FabLab Cali, un espacio para aprender, crear y hacer. [sitio web]. Cali, Valle: [Consultado: 26 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://www.uao.edu.co/noticias/el-fablab-cali-una-incubadora-del-futuro>

Se concluye entonces, que la implementación de la Fabricación Digital como herramienta de estudio y práctica de la Arquitectura en Colombia ha tenido un atraso importante en comparación con otros países de la región latinoamericana, donde factores como la preferencia por métodos convencionales de enseñanza y limitantes económicas y de gestión han dificultado la inserción de nuevas tecnologías en los pregrados de Arquitectura. Sin embargo, la creación de diferentes FabLabs ha llamado la atención de estudiantes, académicos, profesionales, etc; se esperaría que cada vez más universidades comprendan la importancia de formar sus estudiantes con ayuda de estas herramientas y los programas académicos evolucionen para incluirlas.

## 1.2 MARCO TEÓRICO.

La arquitectura es una de las artes más antiguas; desde que el hombre comenzó a asentarse y construir refugios, una serie de características propias se manifestaron en el qué hacer del hombre. Posteriormente, algunas personas empezaron a dedicarse a diseñar en base a estas culturas y formas de ver el mundo; como decía William Mitchel, “Históricamente los arquitectos han dibujado lo que podían construir y han construido lo que podían dibujar”<sup>9</sup>.

Partiendo del concepto de William Mitchel, el texto del autor García confirma una de las teorías que no es tan difícil de comprobar, “Hasta finales de siglo XX en pocas ocasiones la arquitectura se ha distanciado de las formas euclidianas o solidos platónicos”<sup>10</sup>. Por consiguiente, no fue la industria de la construcción la que primero se atrevió a probar formas diferentes, pues la simplicidad relacionada

---

<sup>9</sup>GARCÍA DEL VALLE LAJAS, Matías. Diseño para Fabricación Digital: Definición Unívoca entre Forma y Fabricación en Arquitectura. [En línea]. Mención o grado al que se opta. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de Arquitectura. 2015. 34. p [Consultado: 27 de 01 de 2020]. Disponible en: <http://oa.upm.es/40011/>

<sup>10</sup> Ibid. p. 34.

estrechamente con la seguridad y facilidad constructiva y de diseño reinó hasta el momento donde la era digital empezó a tomar fuerza.

El desapego de la geometría tradicional generó una nueva era para la arquitectura; la posibilidad de modelar diseños complejos abrió un sinfín de oportunidades para transformar la manera en que se construye. García, sin embargo, afirma en su texto que “La fabricación digital requiere la capacidad para definir matemáticamente formas geométricas y la capacidad informática de exportar los algoritmos hasta la fabricación”<sup>11</sup>, ya que a pesar de que la tecnología avance y facilite la manera de crear, el conocimiento básico no puede ser dejado de lado. Los conceptos matemáticos se han ido refinando cada vez más para desarrollar sistemas informáticos más complejos, con formas diferentes que permiten al arquitecto impulsar su creatividad y generar modelos complejos de manera sencilla. Tal es el caso de la escultura “*The Fish*” de Frank Gehry (1992), Barcelona, España, que puede observarse en la **Figura 2**. El primer ejemplo de una construcción realizada sin necesidad de planos; esta estructura fue modelada completamente en 3D empleando CATIA (*computer-aided three dimensional interactive application*). La complejidad de la geometría de la estructura hace imposible convertir este modelo en una serie de dibujos en 2D, por este motivo, la empresa constructora se ve obligada a seguir el modelo 3D para la identificación y fabricación de cada elemento y el posterior ensamblaje y construcción de la estructura.

A partir de ese momento el modelado digital tomó fuerza, comenzando a aparecer en el entorno obras con arquitectura compleja. Sin embargo, el diseño para fabricación en un entorno digital sigue siendo parte de una industria inmadura aplicable a la construcción, aún varias obras son sometidas a cambios derivados de la incapacidad de reproducir lo planteado en los modelos; hoy más industrias se encuentran desarrollando maneras de implementar un proceso de fabricación digital

---

<sup>11</sup> Ibid. p.33

que permita adaptar los materiales elegidos en los diseños digitales a las formas establecidas, de manera que puedan ser construidos.

**Figura 2:** Escultura “The Fish”, Barcelona España, 1992.



Tomado de: (A) <https://www.picfair.com/pics/05947079-barcelona-fish-by-gehry> (B) <https://www.flickr.com/photos/peterjsieger/9345906691/in/set-72157634751962217>

La Fabricación Digital nace en el año 1983 con la creación del primer proceso de impresión 3D. A partir de ese momento, el desarrollo de nuevas tecnologías de impresión 3D cobró fuerza, llegando en 2014 a los primeros avances en el desarrollo de impresoras de hormigón que pueden ser aplicadas en la construcción. El concepto de Fab Lab aparece en el año 2001 en el CBA del MIT cuyo director era Neil Gershengeld. En 2002 inicia la expansión de los FabLabs en el mundo, apareciendo los primeros en India, Costa Rica, Noruega, Boston y Ghana. Desde el año 1998 Neil Gershengeld comienza a impartir cursos que permiten a las personas desarrollar habilidades entorno a la fabricación digital, como la manipulación de los diferentes equipos; la FabAcademy permite la formación a distancia desde el año 2009 que certifica técnicamente a las personas que realizan sus cursos. La primera aparición de los FabLabs en Colombia se dio en el año 2008, cuando la empresa FabLab Colombia inició operaciones en la ciudad de Medellín, esto abrió las puertas a la implementación en muchas más ciudades, registrándose hoy 12 laboratorios de Fabricación Digital en Colombia amparados por FabFoundation.

De acuerdo con el autor de “Perspectivas en los Laboratorios de Fabricación Digital en Latinoamérica” existen diversos factores adversos a la implementación de Laboratorios de Fabricación Digital en la región: “Factor Económico. La adquisición de herramientas y equipos de fabricación digital en Latinoamérica puede resultar entre 3 a 8 veces más costosa que en Europa o ESTADOS UNIDOS. (por gastos de importación, transporte, aduanas, costo de vida, etc.). A ello se añade los gastos previos de capacitación del personal que dirige el LFD”<sup>12</sup>. Esta problemática limita la creación de Laboratorios de Fabricación Digital a nivel nacional por altos costos, pues la disponibilidad de recursos para la educación es limitada. El interés en estas tecnologías apenas está despertando por parte de las instituciones de educación superior y, por lo tanto, la aplicación en los procesos académicos se está viendo retrasada; el interés de los futuros arquitectos en aprender acerca de estas tecnologías es muy grande, sin embargo, su entorno no es adecuado para esto.

Posteriormente, los autores del texto identifican el Factor de Gestión y Mantenimiento como otro de los factores adversos, el correcto desarrollo de la Fabricación Digital requiere instalaciones y personal capacitado, sin embargo, aún en la región no se cuenta con dotación suficiente para la implementación de esta nueva tecnología, ni con los recursos para invertir en la capacitación del personal a cargo de estos espacios.

“Un LFD no es un espacio con máquinas como lo es una sala de impresiones a tinta; se requiere mantenimiento y personal permanente que pueda darle solución a corto plazo a estas necesidades, y para ello es necesario especialización y entrenamiento. Acceder a servicios del *Fab Academy* quien provee instrucción y supervisa la investigación de mecanismos, aplicaciones e implicaciones en fabricación digital desde el 2008, resulta en promedio 6.5 veces más costoso en Latinoamérica e incluso hasta 40 veces más en algunos países del África <sup>13</sup>.”

---

<sup>12</sup> HERRERA, Pablo C. y JUÁREZ, Benito. Perspectivas en los laboratorios de fabricación digital en Latinoamérica. En: Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, SIGraDi, Noviembre, 2012. p. 287

<sup>13</sup> *Ibíd.* p. 287-288



El siguiente factor que analizan Herrera y Juárez es quizás aquel sobre el cual tenemos menos influencia: el Factor Administrativo, del cual afirman: "La burocracia sigue siendo otro problema al iniciar la implementación de un LFD, especialmente aquellos promovidos por las entidades públicas. Aun al tener el financiamiento, la implementación del Fab Lab Lima demoró 9 meses, lo que significa tres veces más que en Estados Unidos o Europa"<sup>14</sup>. La falta de iniciativas por parte de las entidades promotoras, especialmente entidades públicas e instituciones educativas, que ralentizan los procesos; estas entidades aún no ven la necesidad de evolucionar la forma de hacer y enseñar arquitectura, lo consideran un lujo más que una oportunidad de avanzar, entregando al mercado profesionales inexpertos en temas que son cada vez más necesarios.

Por último, el factor educativo es el más relevante, pues expone el poco interés de los programas académicos en integrar nuevas tecnologías en sus procesos:

"Factor Educativo. La fabricación digital avanza lentamente a Latinoamérica y especialmente en la arquitectura. Por un lado, si las políticas educativas no son estables, la inversión en equipos tampoco lo es, y por otro, la distancia generacional entre aquellos que la promueven y los que la van aceptando se diluye entre ser estable o ser disruptivo. En general, los programas académicos de la región carecen de una política de inclusión de tecnologías emergentes sistematizadas, lo que hace lento el proceso de incorporación"<sup>15</sup>.

Si bien la Fabricación Digital tiene limitantes para su desarrollo, su aplicación en el ámbito académico y profesional es conveniente, esta permite la creación de formas complejas, dimensionándolas, entendiendo su espacialidad y su realidad técnica. De acuerdo con lo escrito por el autor Lucas Peries:

La arquitectura proyectada con medios digitales demuestra la potencialidad de esta herramienta como estimuladora en la producción

---

<sup>14</sup> *Ibíd.* p. 288

<sup>15</sup> *Ibíd.* p. 288

de formas complejas. El espacio digital es un ambiente de exploración proyectual, en el que las herramientas son los medios digitales (software y hardware), que permiten generar objetos y espacialidades virtuales, para su posterior transferencia a la realidad constructiva física. El uso de la computadora, aplicada al proceso de diseño, ha reducido el terreno de lo inmensurable y lo inimaginable; nuevas concepciones morfológicas pueden generarse, representarse y construirse<sup>16</sup>.

Existen distintas dimensiones para el Desarrollo de la Fabricación Digital, las conocidas 2D, 3D y 4D; por otro lado, la 5D es donde se establece el Mundo virtual. Peries en su artículo entrega una descripción sobre la quinta dimensión. “La quinta dimensión o realidad virtual, permite prefigurar el proyecto habilitando miradas alternativas sobre lo real y lo irreal, sobre lo material y lo inmaterial, sobre lo racional y lo irracional, sobre lo limitado y lo ilimitado, etc. En el campo digital, la materia de diseño es la información, que se corporiza o adquiere forma en diversos objetos de comunicación, representada en imágenes”<sup>17</sup>.

El artículo del autor García Alvarado afirma que: “Las modelos pueden apoyar la comprensión volumétrica del diseño y revisar propiedades de masa, textura, luminosidad y apariencia. También comprobar comportamientos estructurales, físicos, ambientales o constructivos. Se pueden realizar volúmenes completos, elementos parciales, soportantes o paramentos, estableciendo procesos de montaje y terminación.”<sup>18</sup>. Permitir al estudiante materializar sus ideas e interactuar con ellas, de manera que pueda relacionar diferentes conceptos artísticos y técnicos permite que puedan darles un sentido diferente a sus diseños. A lo largo del artículo se contrastan diferentes experiencias entre el desarrollo de un proyecto por los medios

---

<sup>16</sup>PERÍES, Lucas. De lo virtual a lo tangible: Transformaciones de la Configuración Morfológica a la Construcción Digital. En: *Revista Pensum*. Córdoba, Argentina: noviembre, 2016, vol.2, p.158. [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pensu/article/view/16519/16332>.

<sup>17</sup> *Ibíd.* p. 259

<sup>18</sup>GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Emociones precisas: fabricación digital en la enseñanza de la arquitectura [en línea]. Brasil: Diciembre, 2009, vol.5, p. 123. [Consultado: 27 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193614470006..>

tradicionales y el desarrollo del mismo empleando técnicas de fabricación digital; en todos los casos, los estudiantes de Brasil, Chile y Argentina que participaron del estudio reconocen las ventajas que tiene esta técnica en su proceso de aprendizaje: “Las experiencias más valoradas se caracterizan por elaborar proyectos integrales y aplicados, desarrollados de manera colectiva y alcanzando una alta motivación y comprensión constructiva. Elaborando propuestas innovadoras, con novedosos sistemas constructivos, funciones singulares y sugerentes resultados formales, a pesar de las restricciones materiales y operativas.”<sup>19</sup>

Con el objetivo de hacer realidad los modelos, existen métodos y/o procedimientos para ello, en el artículo del autor Lucas Peries se encuentra la definición de los tres métodos principales, citados a continuación:

Causalmente las tres denominaciones corresponden a acciones que revelan la lógica operativa de los procedimientos: sustraer, adicionar, formar o deformar.

-Los sistemas sustractivos extraen material por medio de fresas, cuchillos, láser, agua o plasma; en mesas de trabajo con equipos deslizantes o brazos robóticos, por remoción de volúmenes o por corte de láminas o placas de espesor delgado.

-Los sistemas aditivos solidifican material en capas sucesivas, a partir de gases, líquidos o polvos, generalmente produciendo objetos de tamaño pequeño —aunque ya hay tecnologías que fabrican objetos a gran escala—

-Los sistemas formativos accionan sobre los materiales modificando la forma original por medio del plegado, doblado, rolado, embutido, etc.; o por termoformado, empleando calor y/o vacío<sup>20</sup>.

### 1.3.1 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC)

El control numérico (NC) ha sido utilizado en la industria por más de 40 años, esta manera de operar las máquinas está basado en un código de letras, números y

---

<sup>19</sup> *Ibíd.* p. 129

<sup>20</sup> PERIES. *Op.Cit.* , p.160.

caracteres especiales, posteriormente, el código representa una operación (programa) que es convertido en señales eléctricas que ponen en marcha la máquina. Esto permite contar con herramientas más amigables para los operarios, ya que las instrucciones son ingresadas de una manera simple, luego el procesador del computador se encarga de traducirlas a código NC y posteriormente son enviadas a la máquina para su puesta en marcha, una ventaja que tienen los computadores integrados es que se permite guardar registro de las operaciones para su replicación, estas además pueden ser modificadas y adaptadas a nuevas tareas sin requerir grandes esfuerzos.

**Figura 3:** Maquinarias más utilizadas en la fabricación digital.

<b>MAQUINARIAS MÁS UTILIZADAS EN LA FABRICACIÓN DIGITAL</b>	
<b>SISTEMA SUSTRACTIVO</b>	
<b>FRESADORA CNC</b>	<b>CORTADORA LÁSER</b>
<i>máquina diseñada para realizar trabajos mecanizados por arranque de material por medio de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa; éstas fresadoras cuentan con, dos ejes (X y Y) y realizan los trabajos sobre ellos; y con un eje extra, el eje Z, que le permite realizar cortes en los 5 ejes axiales de un espacio (X, Y, Z, A y B).</i>	<i>Herramienta que trabaja por medio del desplazamiento de un haz de luz emitido con una alta intensidad, por lo general se utiliza CO2 para realizar el proceso de quemado en el material. Al trabajar por medio de quemadura de material, se debe tener presente que la pieza resultante contará con los bordes calcinados.</i>
<b>SISTEMA ADITIVO</b>	
<b>FDM</b>	<b>IMPRESORA 3D DE CONCRETO</b>
<i>La Deposición de Hilo Fundido trabaja por medio de una boquilla caliente que derrite el material plástico para luego ser depositado por capas sobre una base cuadrada o rectangular, la pieza final es aquella modelada en 3D y convertida al lenguaje de la maquina que la va a fabricar (impresora 3D)</i>	<i>Con un funcionamiento similar a la FDM, la impresora 3D de concreto realiza la deposición milimétrica de la cantidad exacta de concreto por medio de un tubo con boquilla del grosor necesario para formar muros, mobiliario urbano, entre otros. La función de esta herramienta es poder fabricar casas con muy buenos acabados en un corto plazo y poder aumentar la productividad.</i>
<b>SISTEMA FORMATIVO</b>	
<b>DOBLADORA DE TUBO CNC</b>	<b>DOBLADORA DE LÁMINA CNC</b>
<i>Ésta herramienta es direccionada a través de un software que reconoce los dobleces que realizará sobre los tubos, éstos son dispuestos en el área de trabajo de la maquinaria y, con la ayuda de un dado base y de un elemento deslizando, la máquina va realizando el doblaje que se le ha indicado por medio del software para dar un producto final.</i>	<i>El funcionamiento de ésta herramienta es similar al de la dobladora de tubo, ya que se emplean los mismos métodos para doblar las láminas de acuerdo al diseño que se le desee otorgar, el proceso depende de las características del material y se emplea también por medio de un software que realiza los pasos con la máquina y nos proporciona la pieza deseada.</i>

**Fuente:** Autoría propia.

**Nota:** Para ampliar más la información sobre los sistemas y herramientas de la fabricación digital remitirse al glosario.

### 1.3.2 SISTEMA SUSTRACTIVO

**1.3.2.1 Fresadora CNC:** En el FabLab de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, se encuentran en uso dos clases de fresadoras; la fresadora CNC de 3 ejes ha sido utilizada para desarrollar un proyecto llamado *‘Comuna Innova’*, un proyecto social y colaborativo dónde los miembros de las comunidades a intervenir participaban del proceso de diseño para luego ser materializados, empleando la CNC se fabricaban las formaletas de los diseños para reducir el tiempo de construcción (Figura 4 (A)). También se diseñaron y construyeron dos tipos de pabellones dentro de la misma universidad (Figura 4 (B)), se dictaron las bases teóricas y prácticas para su desarrollo y construcción, en el workshop que permitió esto se trabajó conjuntamente con unos ponentes de la Universidad de Sevilla, España, dónde “Todo este complejo uso de la Geometría - concretamente de los Fundamentos de Geometría- deberá ser traducido a los diferentes softwares informáticos que entran en juego en el proceso de producción (autoCAD, Rhinoceros, Grasshopper...), para finalmente producir un conjunto de *‘archivos de corte’* soportable para una fresadora CNC”<sup>21</sup> .

**Figura 4 (A):** Formaletas fabricadas con máquina CNC siendo utilizadas.

**Figura 4 (B):** Piezas de pabellón *‘The Cocoon’* fabricadas y listas para el ensamble.

---

<sup>21</sup> MARTIN PASTOR, Andres, et al. Los workshops de geometría en Cad3D y prefabricación digital como estrategia docente en la enseñanza de la geometría para la arquitectura. geometría y proyecto. En: Blucher Design Proceedings. Diciembre, 2014. Vol.1, No.8, p.215



Tomado de: (A) <http://waoffice.ca/project/insitu-comuna-innova/>



(B) <https://thecocoonunalmed.weebly.com/acerca-de.html>

**1.3.2.3 Cortadoras Láser:** La Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín es una de las pioneras en permitir a sus estudiantes explorar las herramientas de fabricación digital para la elaboración de las maquetas que sus proyectos (Figura 6 (A)), en esta universidad cada semestre se estimula a los estudiantes para que hagan uso de estas nuevas tecnologías como complemento de la arquitectura, y al final, como producto, se realizan maquetas fabricadas a láser, aplicando cortes y grabados a láser, con resultados de alta calidad. También se les brinda a los mismos estudiantes la oportunidad de ser partícipes de workshops que apliquen la fabricación digital, acompañado del diseño paramétrico, para la exploración de nuevas formas geométricas, como lo es el “Workshop de morfologías Digitales Parametrizadas en Rhino Fab”<sup>22</sup> (Figura 6 (B)) donde por medio del diseño paramétrico y la herramienta de cortadora láser se obtiene una envolvente única, diferente y que llama la atención ante cualquier observador.

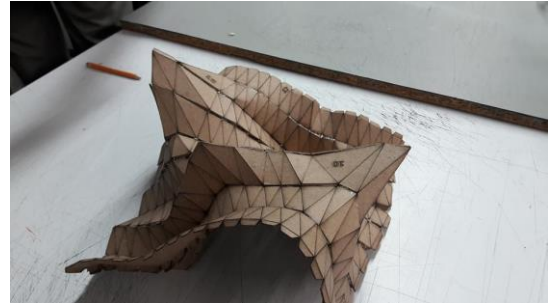
<sup>22</sup> RHINO 3D COLOMBIA S.A.S. Workshop de Morfologías Digitales Parametrizadas en el Rhino Fab de UPB, en el contexto de los XX Años de Morfolab gracias a Aaron Brakke de la University of Illinois. [Sitio web] 20 de Octubre de 2017. [Consultado: 06 de 02 de 2020]. Disponible en : <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/workshop-de-morfologias-digitales-parametrizadas-en-el-rhino-fab-?overrideMobileRedirect=1>

**Figura 6 (A):** Maqueta arquitectónica de estudiantes de la UPB realizada en corte láser.



Tomado de: (A) <https://www.upb.edu.co/es/galeria-arquitectura-medellin>

**Figura 6 (B):** Pieza obtenida del Workshop morfologías digitales parametrizadas.



(B) <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/workshop-de-morfologias-digitales-parametrizadas-en-el-rhino-fab-?overrideMobileRedirect=1>

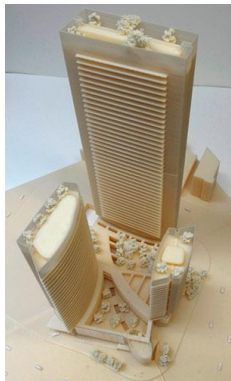
### 1.3.4 SISTEMA ADITIVO

**1.3.4.1 Tecnología de Deposición de Hilo Fundido (FDM):** Actualmente las firmas de arquitectos se ven enfrentadas a retos que giran en torno a la sostenibilidad, innovación, pero más importante aún, la eficiencia, por lo que reducir los tiempos de entrega de las propuestas a sus clientes es sin duda un punto a favor para los que logren hacerlo; un primer caso de estudio documentado es el de la firma *Paul Davis + Partners* en Londres, Inglaterra; quienes recurrieron a implementar una impresora 3D que trabaja con la tecnología FDM para materializar sus propuestas; es posible entender el cambio que vivió la firma, pudiendo realizar por ejemplo maquetas a escala 1:500 como la que se ve en la *figura 12* en dos semanas, cuando normalmente tomaban más de cuatro. Otro ejemplo fue documentado en el estudio de arquitectura *Peter McCann Architectural Models Inc.* (PMAMI) en Toronto, Ontario, Canadá, quienes deseaban producir modelos más detallados, con formas y texturas definidas, de tal manera que pudieran ser apreciada en todo detalle; sin embargo, alcanzar este nivel de perfección tomaba demasiado tiempo, por este motivo recurrieron a las impresiones 3D, este estudio

de arquitectos fue elegido para crear el Masdar Headquarters (figura 13) el primer edificio de energía positiva a gran escala del mundo que genera más energía de la que consume.

Las siguientes figuras, presentaran un Modelo de un edificio realizado por la firma de arquitectos Paul Davis + Partners y un edificio de energía positiva a gran escala, ambos referentes concebidos a partir del sistema aditivo.

**Figura 12:** Modelo realizado por la firma de arquitectos Paul Davis + Partners



**Fuente:**

[https://continuingeducation.bnppmedia.com/article\\_print.php?C=1349&L=448](https://continuingeducation.bnppmedia.com/article_print.php?C=1349&L=448)

**Fuente:**

<https://www.architectureanddesign.com.au/suppliers/stratasys/toronto-firm-selects-dimension-3d-printer-to-creat#>

**Figura 13:** Masdar Headquarters





**1.3.4.2 Impresión 3D de Concreto:** La constructora Conconcreto de la ciudad de Medellín fue pionera en el desarrollo de esta tecnología en Colombia, la impresora 3D de gran formato permite imprimir piezas prefabricadas individuales y elementos de concreto reforzado. La constructora afirma que “La magia de este proceso innovador es poder materializar lo que esté al alcance de la imaginación del ser humano, a la vez que reduce costos, agiliza los tiempos y es amigable con el medioambiente”.<sup>23</sup> El ejemplo más claro es la casa Origami (figura 14), ubicada en el campus de la Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) en Medellín, Antioquia, compuesto por 16 piezas posteriormente ensambladas, la impresión tardó 27 horas creando un módulo habitacional de 23,4 m<sup>2</sup>. Las investigaciones apuntan a la inclusión de fibras sintéticas en el concreto que puedan mejorar su resistencia y permitir la reducción del refuerzo tradicional en los elementos impresos.

**Figura 14.** Casa Origami. Proceso de Impresión de Concreto.



Tomado de: <https://conconcreto.com/impresora-3d/>

En conclusión, la fabricación digital abre las puertas a una nueva forma de hacer arquitectura, las técnicas que han surgido facilitan las oportunidades de crear espacios con geometrías complejas sin que esto signifique un problema para su materialización, los avances que se están generando encaminan la construcción a una nueva era en la que la forma y los materiales serán los protagonistas. Países como Colombia debe enfocarse en capacitar sus profesionales en este tipo de tecnologías, probar nuevas maneras de construir e incitar la investigación y

<sup>23</sup> IMPRESORA 3D GRAN FORMATO. [en línea]. Conconcreto. [Consultado 29 de enero de 2020]. Disponible en: <https://conconcreto.com/impresora-3d/>

desarrollo de nuevos avances que representen mejoras en la infraestructura del país. Cada vez será más sencillo y necesario implementar la fabricación digital en todas las ramas del conocimiento, y sin lugar a duda debe ser la arquitectura uno de los pioneros; en muchos países es notorio el cambio en los diseños y en las metodologías constructivas que ha sido posible gracias a las diferentes tecnologías que la fabricación digital engloba, no podemos seguir rezagados frente a esto.

Para más información, remitirse al **Anexo 3**, correspondiente al Glosario de términos.

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA.

### METODOLOGÍA.

El presente trabajo de investigación denominado “Fabricación Digital: Nuevas formas de aprender y hacer Arquitectura en programas de Arquitectura asociados a la Agremiación Colombiana de facultades de Arquitectura – ACFA” por la modalidad correspondiente a un proyecto de investigación está encaminado a explorar el recorrido de la implementación de la fabricación digital, como componente académico, a través de una inquisición del proyecto en mención.

Por la naturaleza es una investigación de carácter cuantitativa y cualitativa, **cuantitativa** debido a que busca conocer el número de programas que incorporan componentes de fabricación digital en sus mallas curriculares, además del análisis de datos estadísticos a través del uso de instrumentos de recolección de resultados como encuestas. Y es una investigación de carácter **cualitativa** debido a que busca analizar el problema, mediante la indagación y el conocimiento de la trayectoria y la intervención de los laboratorios de fabricación digital y de la fabricación digital como componente académico.

El alcance al que se llega con esta investigación es de carácter exploratorio, descriptivo, todos los documentos, escritos y demás consultados son de fuente primaria y secundaria, de los cuales se obtiene información amplia y precisa del objeto de estudio para poder generar las conclusiones deseadas.

A continuación, se presentará una lista de actividades desarrolladas, la cual refiere los componentes de la investigación en orden de ejecución. Posteriormente, se presentarán los métodos de recolección de información, tanto cualitativos como cuantitativos.

1. Introducción y planteamiento del problema.
2. Redacción del objetivo general y objetivos específicos.
3. Redacción del referente teórico a través de los antecedentes y el marco teórico, realizando la investigación documental.
4. Selección de las metodologías de investigación.
5. Construcción y selección de los instrumentos de investigación.
6. Realización de encuestas como instrumento de recolección de datos cuantitativos.
7. Procesamiento de los datos cuantitativos de la investigación.
8. Análisis de la información recolectada a través de las investigaciones documentales y de recolección de datos, respectivamente.
9. Elaboración de conclusiones y recomendaciones.
10. Presentación de la bibliografía.

**Procedimientos o instrumentos para la recolección de la información cuantitativa.** Se utilizó el método de observación directa en la recolección y registro de datos de los programas de Arquitectura asociados al ACFA y aquellos que tienen componentes de fabricación digital en sus mallas curriculares.

Se utilizó el método de observación directa en la encuesta elaborada, donde se abarcó la indagación de los conocimientos con el objetivo cuantificar el nivel de estos acerca de la fabricación digital por parte de un selecto grupo de estudiantes del programa de Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales y de otros programas. Además de profesionales Arquitectos. Para el desarrollo de las encuestas, se seleccionaron varios componentes, entre los que se encuentran:

- Acerca del nivel de conocimiento sobre la fabricación digital y el tipo de conocimiento que se posee.
- Acerca de los tipos de máquinas y programas de diseño y modelado 3D que se manejen y se conozcan.

- Acerca del nivel y calidad de implementación de componentes de fabricación digital
- Acerca del nivel de importancia de componentes de fabricación digital como componente integral del aprendizaje y la enseñanza de la Arquitectura.
- Acerca de si se han visitado o no laboratorios de fabricación digital y que métodos utiliza para la construcción de maquetas de los proyectos arquitectónicos.
- Acerca de si se ha utilizado la herramienta digital Rhinoceros y el componente adicional Grasshopper y si considera que en el futuro la fabricación digital será un componente esencial en el desarrollo de los pregrados de Arquitectura en Colombia.

**Procedimientos o instrumentos para la recolección de la información cualitativa.** Para la realización y recolección de datos para el referente teórico, compuesto por los antecedentes y el marco teórico se utilizó el método de observación indirecta en la recolección de datos de fuentes provenientes de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc.

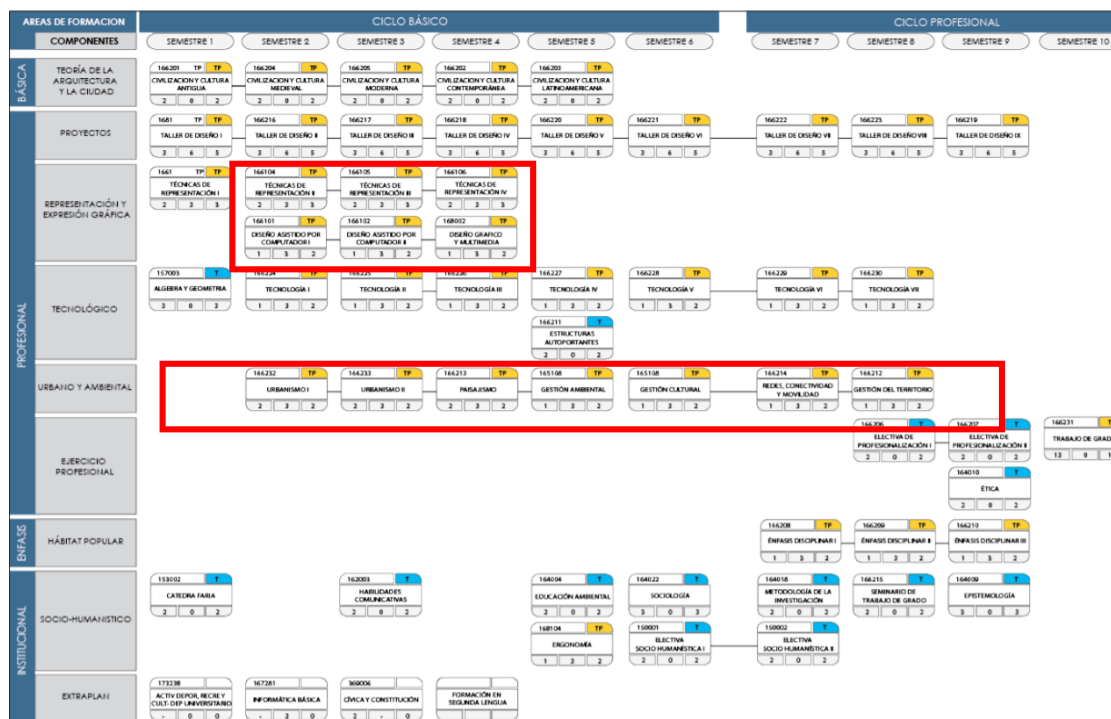
### CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A manera de introducción y de acuerdo con el primer objetivo referente a “**Registrar los programas de arquitectura, asociados a ACFA, que cuentan con acceso a esta tecnología.**”, se exploraron las mallas curriculares de los 38 programas de Arquitectura de las universidades asociadas a la Agremiación Colombiana de facultades de Arquitectura – ACFA. Posteriormente se seleccionaron los programas que poseen componentes de fabricación digital en sus mallas curriculares. De acuerdo con lo anterior se eligieron los programas, que, por capacidad, tamaño y enfoque, poseen similitudes al programa de Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales.

**Universidad de Pamplona:** ubicada en el municipio de Pamplona en Norte de Santander. Los criterios utilizados para seleccionarla son que en primera instancia, posee en su malla curricular el componente de fabricación digital denominado Diseño Asistido por Computador I y II y Técnicas de representación IV, adicionalmente, los componentes académicos que integran la malla curricular de dicho programa tiene similitud con el pensum de la Universidad Católica de Manizales, como lo es en la integración del componente Urbano y Ambiental, a través de asignaturas que imparten el urbanismo como eje integral y relevante del pensum académico. En complemento, la instrucción del componente tecnológico, presente en todos los niveles o semestres académicos.

En la **Figura 9**, se encuentra la Malla curricular del programa de Arquitectura de la Universidad de Pamplona, resaltando las asignaturas **denominadas Diseño asistido por computador I y II y técnicas de representación IV**. Y la muestra de que el componente Urbano y Ambiental, posee una jerarquía importante en el programa.

Figura 9:



Fuente: ACFA. Malla Curricular Universidad de Pamplona. [En línea]. Mallas curriculares de las facultades de Arquitectura en Colombia. Bogotá, D.C: 2016. 65 p. [Consultado el 02 de 02 de 2020].

De acuerdo con el Documento ‘Contenidos Programáticos de la Universidad de Pamplona, se dicta la Asignatura RHINOCEROS, donde se justifica lo siguiente:

“El Autocad y el Rhinoceros son programas, diseñados como herramienta para la elaboración de modelados y planos para diseño, ingeniería y arquitectura; el cual requiere, además, del conocimiento

básico de los sistemas informáticos, fundamentos de geometría y dibujo técnico en general. Con esta asignatura el alumno desarrollará la capacidad de crear y llevar del papel a la presentación impresa y renderizada de todo tipo de creaciones, desarrollando múltiples opciones como acotación de planos, manejo de bloques, levantamientos, ploteado, así como el diseño de volúmenes de revolución y elaboración en diseños prácticos en 3D”.<sup>24</sup>

De acuerdo a lo anterior, la aplicación de estas herramientas en estas asignaturas, vincula integralmente el proyecto arquitectónico con las herramientas digitales. Donde, el uso de la herramienta Rhinoceros permite la creación de objetos bidimensionales y modelar con precisión. En la **Figura 10**, correspondiente a una muestra de proyectos de Arquitectura de la Universidad de Pamplona, se puede percibir a una estudiante visualizando un proyecto desde un Teléfono Celular.

**Figura 10:** Muestra de Proyectos de Arquitectura de la Universidad de Pamplona.



**Fuente:** Tomado de:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_1/recursos/noticias\\_2018/junio/22062018/muestra\\_arquitectura.jsp](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_1/recursos/noticias_2018/junio/22062018/muestra_arquitectura.jsp)

<sup>24</sup> Universidad de Pamplona. Contenidos del curso: [página web]. Pamplona: 2008. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_63/recursos/arquitectura/27052014/co\\_dis\\_asis\\_por\\_computador\\_i.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_63/recursos/arquitectura/27052014/co_dis_asis_por_computador_i.pdf)



En el siguiente cuadro se puede observar el contenido del curso, destacándose el programa Rhinoceros.

**Figura 11:** Contenido del curso Diseño asistido por computador I.

**CONTENIDO DEL CURSO:**

TEMA	HORAS DE CONTACTO DIRECTO	HORAS DE TRABAJO INDEPENDIENTE DEL ESTUDIANTE
<b>AUTOCAD:</b> Autocad sena virtual y unipamplona Unidad 1 ( <a href="#">Iniciar el programa</a> )	4	2
<b>AUTOCAD:</b> Autocad sena virtual y unipamplona Unidad 2 (Unidades de Dibujo), Unidad 3 (Recortar objetos) Unidad 4 (Crear capas)	4	2
<b>AUTOCAD:</b> Autocad sena virtual y unipamplona Unidad 5 (Empalme) Unidad 6 (Equidistancias)	12	6
<b>AUTOCAD:</b> Autocad sena virtual y unipamplona Unidad 7 (Manejo de textos) Unidad 8 (Acotación)	8	4
<b>AUTOCAD:</b> Autocad sena virtual y unipamplona Unidad 9 (Dibujar poligonos) Unidad 10 (Manejo de bloques e impresión)	12	6
<b>RHINOCEROS:</b> Unidad 11 (Funciones Básicas de Rhino) Unidad 12 (Crear Objetos Bidimensionales) Unidad 13 (Modelar con Precisión)	4	4
<b>SKETCH UP</b> Unidad 14 (Editar Objetos, crear superficies) Unidad 15 (Elavoracion de obejtos basicos) Unidad 16 (, renderizar)	20	10

**Fuente:** Universidad de Pamplona. Contenido del curso. [En línea]. Contenidos programáticos de la asignatura Diseño asistido por computador I. Pamplona: 2008. 3p. [Consultado el 03 de 02 de 2020]. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_63/recursos/arquitectura/27052014/co\\_dis\\_asis\\_por\\_computador\\_i.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_63/recursos/arquitectura/27052014/co_dis_asis_por_computador_i.pdf)

**Nota:** No se encuentran más reportes públicos de los trabajos elaborados.

Se analiza entonces que, el empleo de softwares como Rhinoceros significa el manejo de un programa que permite la creación, exploración y explotación del proyecto arquitectónico, desarrollando una personalización del objeto a través de

herramientas complementarias, estas se comportan como un instrumento que permite la conversión a otros programas con el fin de que el proceso de elaboración del producto arquitectónico pueda ser desarrollado desde software compatibles y complementarios a RHINOCEROS.

**Universidad Francisco de Paula Santander.** La Universidad Francisco de Paula Santander ubicada en Cúcuta, Norte de Santander, posee un Taller Vertical denominado **Taller Vertical: Arquitectura de la Información y Electiva Profundización III: Fablab**, cuyo énfasis es el diseño paramétrico y su aplicación es académica, exploratoria e investigativa. A continuación, se presentará los componentes de la **Electiva Profundización III**. Esta Electiva correspondiente a este programa académico, dictan los componentes referentes a los programas RHINOCEROS + GRASSHOPPEER, en similitud con el otro programa escogido. En adición, posee el componente denominado **Prototipado Impresión 3D**. A continuación, en la **Figura 12** se presentará las unidades que cuenta esta Electiva

**Figura 12:**

ASIGNATURA	ELECTIVA PROFUNDIZACIÓN III					
CÓDIGO	1500911	PRE REQUISITO	1500612	TOTAL CRÉDITOS	3	
H.P. horas presenciales	H.T Horas teóricas	2	H.T.I. Horas trabajo Independiente	4	T.H. Total Horas	8
	H.P Horas Prácticas	2				
<b>CONTENIDO BÁSICO</b>						
<i>MORFOLOGIA DIGITAL</i>						
Unidad 1: EL HABLAR DE LA FORMA						
Unidad 2: PROPIEDADES Y ATRIBUTOS GEOMÉTRICOS						
Unidad 3: EL CUBO - PROPIEDADES Y ATRIBUTOS						
Unidad 4: ESTADO DEL ARTE Y ARQUITECTURA DIGITAL						

Unidad 5: ARQUITECTURA PARAMÉTRICA
Unidad 6: SOFTWARE DE DISEÑO DIGITAL
Unidad 7: RHINOCEROS + GRASSHOPPEER
Unidad 8: CONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES
Unidad 9: UNIDADES SIMPLES / SUPERFICIES COMPLEJAS
Unidad 10: PARAMETRIZACIÓN DE SUPERFICIES COMPLEJAS
Unidad 11: PROTOTIPADO IMPRESIÓN 3D
Unidad 12: MEMORIA DESCRIPTIVA

**Fuente:** Universidad Francisco de Paula Santander. Contenido básico. [En línea]. Contenidos programáticos del programa de Arquitectura. Cúcuta: UFPS. 2008. 75p. [Consultado el 03 de 02 de 2020].

**Nota:** No se encuentran reportes públicos de los trabajos elaborados.

**Universidad Pontificia Bolivariana.** La Universidad Pontificia Bolivariana ubicada en la ciudad de Medellín, Antioquia, en primera instancia presenta similitudes con la malla curricular del programa de Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales, implementando el componente de Urbanismo como un enfoque relevante del programa mismo. Si bien, el tamaño y capacidad de este programa en específico superan al programa de Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales, el desarrollo que ha tenido este programa en referencia a la Fabricación Digital, es notable y relevante en la región. Además de poseer ejemplos pertinentes que pueden ser fructíferos para una posible incorporación futura de estos referentes en la Universidad Católica de Manizales.

La malla curricular del programa de Arquitectura de la Universidad Pontificia Bolivariana, cuenta con un componente de Fabricación Digital donde se destaca el curso denominado **Representación Digital 2**, en el cual dictan importantes programas como Rhinoceros y 3D max.

Figura 13:

AREA DE REPRESENTACION	<table border="1"> <tr><th colspan="5">REPRESENTACION 1</th></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Prof. Luis Fdo. Castro, Diego Paz</td></tr> </table>	REPRESENTACION 1					2	4	2	0		Prof. Luis Fdo. Castro, Diego Paz					<table border="1"> <tr><th colspan="5">REPRESENTACION 2</th></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Prof. Wilson Salazar, Marta Gil</td></tr> </table>	REPRESENTACION 2					2	4	2	0		Prof. Wilson Salazar, Marta Gil					<table border="1"> <tr><th colspan="5">REPRESENTACION 3</th></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Prof. Juan Carlos Torres, Juan</td></tr> </table>	REPRESENTACION 3					2	4	2	0		Prof. Juan Carlos Torres, Juan					<table border="1"> <tr><th colspan="5">REPRESENTACION DIGITAL 1</th></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Autocad 2: Prof. Juan Carlos Torres</td></tr> <tr><td colspan="5">Sketchup: Prof. Luis Fdo. Ramirez</td></tr> </table>	REPRESENTACION DIGITAL 1					2	2	4	0		Autocad 2: Prof. Juan Carlos Torres					Sketchup: Prof. Luis Fdo. Ramirez					<table border="1"> <tr><th colspan="5">REPRESENTACION DIGITAL 2</th></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>4</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Revit Jorge Enrique Restrepo</td></tr> <tr><td colspan="5">3 D max. Juan Fernando Restrepo</td></tr> <tr><td colspan="5">CSS: Juan Carlos Torres</td></tr> <tr><td colspan="5">Rhino: José Ovidio Quintero</td></tr> </table>	REPRESENTACION DIGITAL 2					2	2	4	0		Revit Jorge Enrique Restrepo					3 D max. Juan Fernando Restrepo					CSS: Juan Carlos Torres					Rhino: José Ovidio Quintero				
	REPRESENTACION 1																																																																																																			
	2	4	2	0																																																																																																
	Prof. Luis Fdo. Castro, Diego Paz																																																																																																			
	REPRESENTACION 2																																																																																																			
	2	4	2	0																																																																																																
Prof. Wilson Salazar, Marta Gil																																																																																																				
REPRESENTACION 3																																																																																																				
2	4	2	0																																																																																																	
Prof. Juan Carlos Torres, Juan																																																																																																				
REPRESENTACION DIGITAL 1																																																																																																				
2	2	4	0																																																																																																	
Autocad 2: Prof. Juan Carlos Torres																																																																																																				
Sketchup: Prof. Luis Fdo. Ramirez																																																																																																				
REPRESENTACION DIGITAL 2																																																																																																				
2	2	4	0																																																																																																	
Revit Jorge Enrique Restrepo																																																																																																				
3 D max. Juan Fernando Restrepo																																																																																																				
CSS: Juan Carlos Torres																																																																																																				
Rhino: José Ovidio Quintero																																																																																																				
<table border="1"> <tr><th colspan="5">GEOMETRIA 1</th></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Profesor: Andrés Pérez.</td></tr> </table>	GEOMETRIA 1					2	3	2	1		Profesor: Andrés Pérez.					<table border="1"> <tr><th colspan="5">GEOMETRIA 2</th></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>0</td><td></td></tr> <tr><td colspan="5">Prof. Carlos H. Arango, Diego Luis</td></tr> </table>	GEOMETRIA 2					2	4	2	0		Prof. Carlos H. Arango, Diego Luis																																																																									
GEOMETRIA 1																																																																																																				
2	3	2	1																																																																																																	
Profesor: Andrés Pérez.																																																																																																				
GEOMETRIA 2																																																																																																				
2	4	2	0																																																																																																	
Prof. Carlos H. Arango, Diego Luis																																																																																																				

**Fuente:** ACFA. Malla Curricular Universidad Pontificia Bolivariana. [En línea]. Mallas curriculares de las facultades de Arquitectura en Colombia. Medellín: 2016. 101 p. [Consultado el 02 de 02 de 2020].

En complemento de lo anterior, el FAB estudio de la Universidad Pontificia Bolivariana, posee alianza con la compañía Rhino3D, con el propósito de continuar los procesos formativos e investigativos de los estudiantes del programa de Arquitectura. Se afirma entonces lo siguiente:

“El factor principal de esta alianza que se comenzó a gestar en el año 2011, con la gestión realizada por docentes es el FAB Studio, laboratorio de fabricación que cuenta con una sala de cómputo donde se diseñan y ejecutan proyectos mediante Rhinoceros 3D, un software que se encarga de modelar, animar y renderizar objetos en tres dimensiones, para luego pasar por cortadoras laser, de vinilos, máquinas routers y un escáner que posibilita el proceso en 3D. El equipamiento del lugar está a cargo de la compañía norteamericana que desde el inicio de la alianza ha aportado con tecnología de punta.”<sup>25</sup>

Lo anterior, tiene una pertinencia sustentada desde la importancia de además de contar con componentes de Fabricación Digital en las mallas curriculares, contar con alianzas que permitan a los estudiantes acceder a espacios como el mencionado FAB estudio y vincularlos a sus proyectos de Arquitectura. Las siguientes imágenes corresponden a modelos producidos en el Rhino3D de la Universidad Pontificia Bolivariana y como se puede observar en la Figura 17, donde incluso hay un ordenador con el programa Rhinoceros funcionando.

<sup>25</sup> Universidad Pontificia Bolivariana. Rhino3D renueva alianza con la UPB [sitio web]. Medellín: 2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>

**Figura 14:**

Figura 14 Fuente: <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>

**Figura 15:**

Figura 15 Fuente: <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>

**Figura 16:**

Figura 16 Fuente: <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>

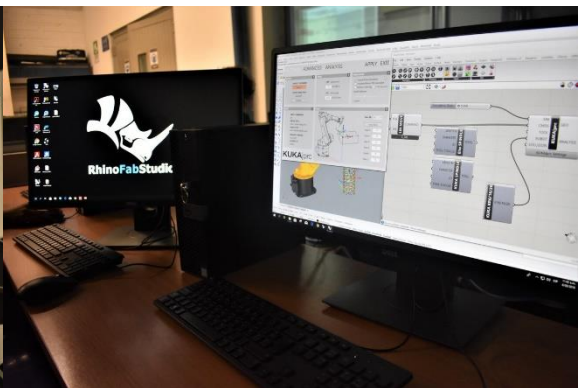
**Figura 17:**

Figura 17 Fuente: <https://twitter.com/upbcolombia/status/1027243792389296129>

Las siguientes imágenes presentarán entregas de un Taller de Arquitectura de la Universidad Pontificia Bolivariana, desarrolladas con el programa Rhinoceros y posteriormente materializadas utilizando herramientas, tales como una cortadora láser; esto nos permite afirmar que a partir del uso y aprovechamiento de herramientas como Rhinoceros + Grasshopper, se fomenta la capacidad creativa del estudiante, al no tener mayores restricciones en el momento del diseño digital permitiendo en sí, la creación de diseños geométricos que impliquen una mayor complejidad y originalidad.



Figura 18:



Figura 19:



Figura 20:

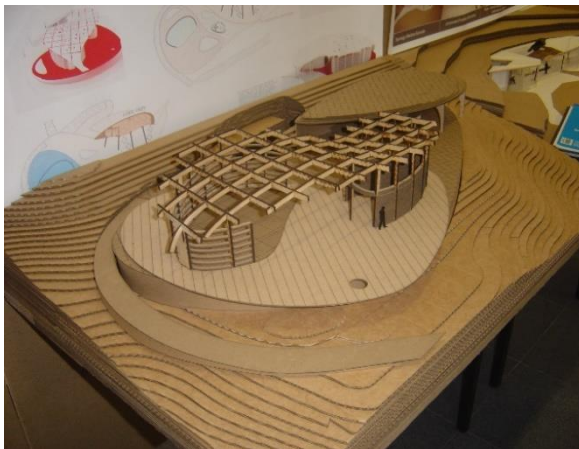


Figura 21:



Figura 18 Fuente: <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/dsc03024>

Figura 19 Fuente: <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/dsc03024#!/photo/dsc03048?context=user>

Figura 20 Fuente: <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/dsc03024#!/photo/dsc03045?context=user>

Figura 21 Fuente: <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/dsc03054?context=location>

A modo de cierre y de acuerdo con la revisión y el análisis de las mallas curriculares de los programas escogidos, es pertinente mencionar la importancia del programa Rhinoceros y su plugin Grasshopper. Donde, en la mayoría de los programas explorados, este es en general la herramienta de diseño 3D más utilizada como componente de Fabricación Digital de estas universidades, se destaca además el programa de Arquitectura de la Universidad Pontificia Bolivariana, por su productiva

trayectoria y resultados generados. También, como la Fabricación Digital como herramienta a través de programas como Rhinoceros, se ha ido incursionando como mecanismo integral de aprendizaje, enseñanza y práctica en el programa de Arquitectura de esta Universidad.

Para más información, se anexa una Matriz de elaboración propia, la cual da a conocer los programas de Arquitectura asociados a la Agremiación Colombiana de facultades de Arquitectura, los programas que poseen componentes de fabricación digital, el nombre de la asignatura, curso o semillero, el énfasis y el campo de aplicación del componente. Esta se puede observar en el **Anexo 4**.

Buscando alcanzar el objetivo **“Indagar sobre la trayectoria de los laboratorios de fabricación digital en los procesos académicos de la enseñanza de la Arquitectura en Colombia.”** Se encuentra que los laboratorios de fabricación digital que han tenido un recorrido en Colombia corresponden a laboratorios, que, en su mayoría, son propiedad de las universidades o tienen vínculos con ellas. Estos laboratorios en general son de carácter exploratorio, académico e investigativo y de acuerdo con el problema de investigación, aún el número de espacios correspondientes a laboratorios de fabricación digital o “FabLabs” en el país se limita a unos pocos. A continuación, se hará énfasis en los laboratorios de fabricación digital que asumen un enfoque arquitectónico y académico.

Es pertinente aclarar que los siguientes laboratorios de fabricación digital a analizar, no corresponden a los programas seleccionados para el análisis de los planes de estudio, a excepción del FAB estudio, referente a la Universidad Pontificia Bolivariana. Esto debido a que a pesar de que las mallas curriculares de los programas analizados poseen componentes de fabricación digital, estos no cuentan con espacios de laboratorios de fabricación digital o “FabLabs”.

En primera instancia, se estudió la trayectoria del Laboratorio de fabricación digital “**FabLab**” **UNAL Medellín**. Este como pionero a nivel nacional, se fundó en el año 2013, iniciando como el Semillero de Diseño y Fabricación Digital en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Las primeras adquisiciones de máquinas o herramientas fueron la ShopBot, impresora 3D, dos cortadoras láser, dos routers CNC de gran formato, un plotter de corte, un router CNC de precisión y un router de 5 ejes. Las siguientes figuras presentan el Laboratorio de Fabricación Digital en sus inicios en el año 2013.

**Figura 22:**



**Figura 23:**



Figura 22 **Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, “Foto de Facebook\*”. Fecha (13, 04, 2013) [Facebook]<[https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/ms.c.eJw9zskNwEAlA8COlq410H9jUWCd5whbOFAiZd3t4Y0nxi6AqMDo2LvSxw2ZFNTNvfK6dPrKfMeXB85vQKS76Jy~\\_~;d49dve07H9TOqdfh6713dMqa6Nt~\\_ur07gn2NdfM2~\\_5DvexWOnc~-.bps.a.468008283267731/468008299934396/?type=3&theater](https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/ms.c.eJw9zskNwEAlA8COlq410H9jUWCd5whbOFAiZd3t4Y0nxi6AqMDo2LvSxw2ZFNTNvfK6dPrKfMeXB85vQKS76Jy~_~;d49dve07H9TOqdfh6713dMqa6Nt~_ur07gn2NdfM2~_5DvexWOnc~-.bps.a.468008283267731/468008299934396/?type=3&theater)> [Consulta: 03, 02, 2020]

Figura 23 **Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, “Foto de Facebook\*”. Fecha (31, 05, 2013) [Facebook]<<https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/a.417381101663783/486897331378826/?type=3&theater>> [Consulta: 03, 02, 2020]



En las figuras se logra observar que son espacios acordes para el estudio, el aprendizaje y la elaboración de modelos de fabricación digital de carácter participativo. Donde el aprendizaje se dicta desde un punto de vista colectivo y el impacto que busca producir es “Brindar el acceso a tecnologías para producir tecnología y no tecnología para consumir más tecnología”<sup>26</sup> La frase anterior, extraída del video denominado “La Facultad de Arquitectura dotó un laboratorio de fabricación digital”, abarca uno de los pilares de la Fabricación Digital, que es la personalización del producto.

Uno de sus primeros eventos, registra la realización de dos talleres internacionales, dictado por el profesor Andrés Martín proveniente de la Universidad de Sevilla. El cual dirigió el Workshop que construyó un Pabellón denominado “La oruga”<sup>27</sup> cuyo propósito fue la participación para manifestar las capacidades y conocimientos de los estudiantes de la Universidad Nacional en temas de diseño asistido por computador y fabricación digital. A continuación, las Figuras 24 y 25 mostrarán el modelo de la oruga a escala, rodeada de varios estudiantes, realizado en el año 2014. Lo relevante en la realización de este ejercicio es que, en primer lugar, se creó un modelo a escala que posteriormente se construyó donde los estudiantes, pueden instruirse además de fabricación digital, de los materiales usualmente empleados para la construcción de estos modelos a escala real; estas figuras, exhiben la participación de estudiantes y docentes, en la observación y el aprendizaje de la ejecución de modelos de fabricación digital.

---

<sup>26</sup> Facultad de Arquitectura UNALMED. La Facultad de Arquitectura dotó un laboratorio de fabricación digital [video]. YouTube. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. (16 de mayo de 2013) 6:09. [Consultado: 04 de 02 de 2020]. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=Kl9HxQ68Dqg&fbclid=IwAR027F-bztH2yrGZZfVhPDwmvxOv54KME9y7-F5laugtN\\_yFCDgw1quiYyM](https://www.youtube.com/watch?v=Kl9HxQ68Dqg&fbclid=IwAR027F-bztH2yrGZZfVhPDwmvxOv54KME9y7-F5laugtN_yFCDgw1quiYyM)

<sup>27</sup> Universidad Nacional de Colombia. El FabLab, un espacio para experimentar y potenciar la creatividad [en línea]. Medellín: 2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: <https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>

Figura 24:



Figura 25:



**Figura 24 Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, "Foto de Facebook\*". Fecha (03, 08, 2014) [Facebook]

<<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=803652649675007&set=o.417273888341171&type=3&theater> >  
[Consulta: 03, 02, 2020]

**Figura 25 Fuente:** <https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>

A raíz de que su trayectoria se basa en la realización de acompañamientos académicos, elaboración de semilleros, participación en conferencias, proyectos de investigación, entre otros. En el año 2016 se realiza la creación de un Semillero de investigación en diseño interactivo, como se logra entender en el siguiente anunciado:

En 2016 se impulsó la creación de un Semillero de Investigación en Diseño Interactivo, adscrito al Laboratorio, motivando la participación trasdisciplinar de estudiantes de ocho carreras en ejercicios de co-creación, diseño y prototipado de cuatro dispositivos interactivos a partir de luz, movimiento y sonido para la recolección de residuos pet y la generación de conciencia sobre la importancia del reciclaje en la Institución.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Universidad Nacional de Colombia. El FabLab, un espacio para experimentar y potenciar la creatividad [en línea]. Medellín: 2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: <https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>

De acuerdo con lo anterior, desde un punto de vista académico, estos espacios son los más relevantes en cuestión de análisis. Pues, uno de sus propósitos es el aprendizaje a través de la práctica. Donde las experiencias de los estudiantes pueden traspasar el conocimiento de las aulas y aplicarlos en sus proyectos arquitectónicos, generando un desarrollo y un aprendizaje integral teórico práctico.

A continuación, se presentará una figura que infiere la posibilidad de concebir una mayor interacción de los estudiantes con estos espacios. Donde este laboratorio de fabricación digital aplica también la opción de modalidad de grado para los estudiantes de arquitectura en modalidad monografías. Estas prácticas son relevantes e importantes para el estudiante, pues permite una vinculación más integral con estas tecnologías desde una perspectiva laboral.

**Figura 26:**

# CONVOCATORIA ESTUDIANTE DE ARQUITECTURA

El Laboratorio de Fabricación Digital FABLAB de La Facultad, abre la convocatoria para apoyar el trabajo de grado (modalidad de monografía), de un estudiante de Arquitectura en temas relacionados con sistemas responsivos en arquitectura, sostenibilidad, ahorro energético y cambio climático.

El FABLAB apoyará al estudiante seleccionado con recursos hasta por \$3.000.000 para la compra de materiales e insumos para el proyecto. Adicionalmente contará con el apoyo del equipo del laboratorio para la ejecución de pruebas y prototipos.

REQUISITOS

- Posibilidad de desarrollar su trabajo de grado durante el periodo lectivo 2017-II.
- Carta de intención con la propuesta del tema de trabajo.
- Conocimientos en diseño digital y nociones de fabricación digital.

ENVIAR LA CARTA DE INTENCIÓN AL CORREO  
eamenese@unal.edu.co

FECHA LÍMITE  
Junio 19 de 2017



>Montreal Expo Dome\_Buckminster Fuller(1967) >Al Bahar Towers\_Aedas(2012) >Kiefer Technic Showroom\_Ernst Giselbrecht + Partner ZT GmbH (2007) >Rmit Desing Hub\_Sean Godsell Architects (2012)

**Fuente:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, "Foto de Facebook\*". Fecha (13, 06, 2017) [Facebook]<  
<https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/a.427820567286503/1354507511284466/?type=3&theater>>  
[Consulta: 03, 02, 2020]

Actualmente, el laboratorio continúa funcionando como una alternativa para la enseñanza y el aprendizaje de la Arquitectura desde un enfoque de participación colectiva. Donde estudiantes, maestros y sujetos de interés comparten este espacio de fabricación digital.

Como conclusión, es pertinente mencionar que la trayectoria de este laboratorio de fabricación digital se fundamenta en el acompañamiento académico de interesados, generalmente de estudiantes. Además de la creación de espacios de desarrollo y aprendizaje colectivo, tales como semilleros, workshops, etc. Asimismo, mencionar la importancia de este laboratorio como pionero en el País.

Otro Laboratorio de fabricación digital analizado, corresponde al **FAB estudio**, vinculado a la **Universidad Pontificia Bolivariana** de la Ciudad de Medellín.

De acuerdo con la investigación, no se logró conocer la fecha de inicio de este laboratorio, no obstante, se tiene conocimiento de la alianza realizada con la compañía Rhino3D desde el año 2011. Este laboratorio empezó con una sala donde se operan programas de diseño asistido por computador, como Rhinoceros + Grasshopper, como principal programa. A lo largo de la historia, este laboratorio ha buscado la vinculación de estudiantes de Arquitectura y Diseño como principales usuarios, teniendo como fuerte, los diversos invitados internacionales que han visitado el laboratorio. Con el propósito de dar a conocer más a fondo el impacto y la trayectoria que ha tenido este laboratorio, se presenta el siguiente enunciado, donde se presenta la experiencia de un estudiante del programa de Arquitectura de la Universidad que hace uso integral de estos espacios.

Alejandro Muñoz, estudiante de arquitectura, es una de las personas que hace uso constantemente del taller de fabricación y reconoce la utilidad de este en los trabajos que realizan en su programa. “El laboratorio me ha servido mucho. Primero, porque estoy viendo el curso de Rhino, ahí es donde me enseñan a modelarlo, y luego lo llevo a la práctica, porque no sirve que quede en un modelo, sino que lo ideal es aplicarlo. En el momento me encuentro desarrollando un proyecto de vivienda colectiva en San Javier, y en el software hice el despiece de la maqueta, y ahora la estoy cortando en las máquinas, lo que me permite una mayor precisión de las piezas.”<sup>29</sup>

Estos testimonios son relevantes para el entendimiento de los impactos que estas tecnologías generan en el contexto académico y como en este caso, la aplicación de estos componentes en el desarrollo de proyectos arquitectónicos tuvo un enfoque social, haciendo de la fabricación digital una herramienta integral de diseño. En complemento de lo anterior, se presenta la siguiente figura, donde varios estudiantes de Arquitectura de la Universidad hacen uso de estas herramientas de fabricación digital.

**Figura 27:**



**Fuente:** Arquitectura UPB

---

<sup>29</sup> Universidad Pontificia Bolivariana. Rhino3D renueva alianza con la UPB [sitio web]. Medellín: 2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: <https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb>

La trayectoria que ha tenido los laboratorios de fabricación digital en el país se ha basado principalmente en la creación de espacios donde el estudiante es uno de sus principales y relevantes usuarios. Como se pudo observar, en el laboratorio de fabricación digital de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se creó con la necesidad de instaurar un semillero el cual sea un espacio para la promoción, la divulgación, el aprendizaje y la práctica de la fabricación digital. En adición a esto, el FAB estudio de la Universidad Pontificia Bolivariana, complementa la demanda de estos espacios en Colombia, la cual aún no posee una implementación acorde al potencial que tienen estos espacios. Otros ejemplos abarcan los laboratorios de la Universidad del Valle y el de la Universidad de los Andes, que en complemento con los 2 estudiados, son los más relevantes en el enfoque de la Arquitectura en el país; al igual que los mencionados de la Universidad Nacional y la Universidad Pontificia Bolivariana, están asociados a programas de Arquitectura y sus enfoques son similares. Es pertinente ofrecer de nuevo la siguiente tabla, correspondiente a los FabLabs existentes en el País, donde se resaltan los Fablab previamente mencionados.



Figura 28:

Nombre	Fundación	Ubicación	Afiliaciones	Vocación
Tecnoparques del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)	2007	Bogotá	Red MIT	Programas de capacitación en tecnologías de manufactura avanzada / Apoyo al desarrollo de proyectos de innovación tecnológica
		Medellín		
Fab Lab Unal Medellín	2013	Medellín	Red MIT / Universidad Nacional de Colombia (Medellín)	Servicio estudiantil de prototipado / Capacitación (Fab Academy)
Fab Lab Cali	No Registra	Cali	Red MIT	Servicio estudiantil de prototipado / Promoción de la cultura "maker"/ Capacitación (Fab Academy)
FabStudio	No Registra	Medellín	Red McNeel / Universidad Pontificia Bolivariana	Servicio estudiantil de Prototipado (programa de Diseño Industrial)
Laboratorio Digital de Diseño Industrial y Taller de Diseño / Laboratorio de Ingeniería Industrial	2007	Cali	Universidad ICESI	Servicio de apoyo a asignaturas de Diseño Industrial / Servicio de apoyo a asignaturas de Ing. Industrial (sistemas avanzados de manufactura, simulación de procesos productivos).
Laboratorio Fabricación digital Arquitectura y Diseño	No Registra	Bogotá	Universidad de los Andes	Servicio estudiantil de Prototipado (Arquitectura y Diseño Industrial)
Lab Fab Ex	2014	Bogotá	Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)	Investigación en tecnologías y procesos de manufactura avanzada y remota (Facultad de Ingeniería Mecatrónica - Grupo de Diseño y Manufactura - Automatización)
FabLab Colombia / El Maquinista	2008	Medellín	Red MIT	Arquitectura / Mobiliario / Prototipado/ Capacitación
Uno.Estudio (antes FabLab Bogotá)	No Registra	Bogotá	Red McNeel	Espacio comercial de renta para diseño y desarrollo de productos/ Servicio de Prototipado / Capacitación uso de equipos
Bogohack	2012	Bogotá	Independiente	Espacio de desarrollo / Prototipado / Capacitación / Fabricación de equipos
DosUno Design	En Planes	Bogotá	Independiente	Desarrollo de productos

**Fuente:** SANDOVAL BOLAÑOS, Roland Darío. Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia [En línea]. Mágister en construcción. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede

Medellin. Facultad de Arquitectura. 2016. 109-110 p. [Consultado: 28 de 01 de 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/55444/1/80100436.2016.pdf>

Buscando alcanzar el último objetivo planteado, denominado **“Conocer la intervención que ha tenido la fabricación digital en el desarrollo de los proyectos académicos de arquitectura en Colombia.”** Se aplicó una encuesta como instrumento de recolección de datos, dirigida a estudiantes de Arquitectura, profesionales y sujetos de interés relacionados con la fabricación digital. Posteriormente, se organizaron los resultados de manera que estos generen resultados estadísticos que permitan la elaboración de conclusiones pertinentes. En los casos que requiera, se anexó información complementaria. A partir de este punto se enunciarán cada una de las preguntas realizadas con sus respectivos resultados y comentarios de ser el caso.

**Pregunta 1:** Tiene usted algún conocimiento sobre la fabricación digital? Sea básico o avanzado.

**Pregunta 2:** Si la respuesta anterior es afirmativa, indique qué conocimiento tiene sobre la fabricación digital.





**Fuente:** Autoría propia.

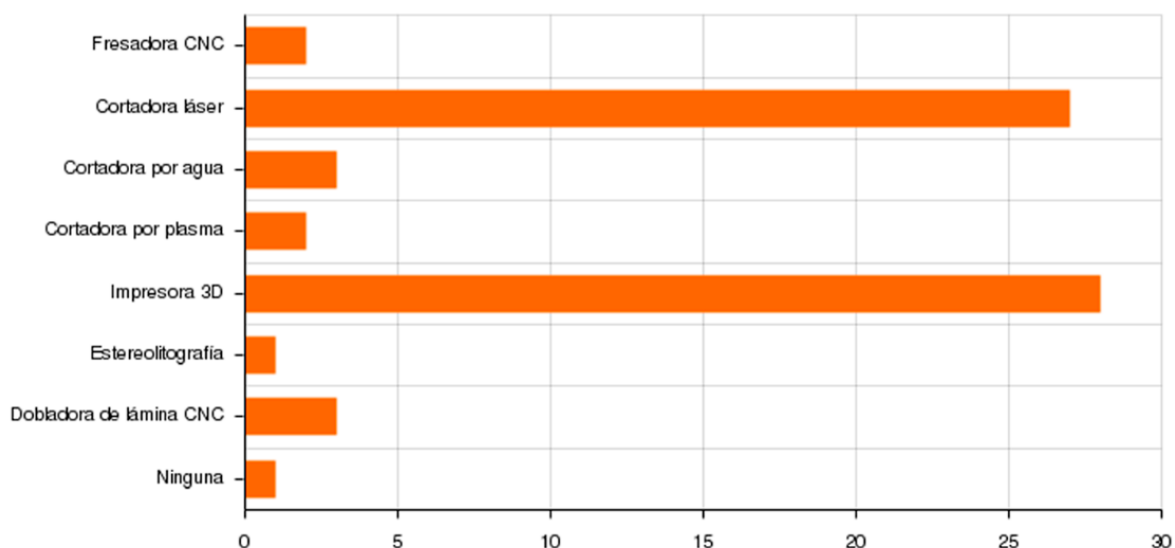
Las dos primeras preguntas se encuentran enlazadas una con la otra, de estas se concluye que aún el conocimiento sobre la fabricación digital por parte de los encuestados es relativamente poco, menos de la mitad tiene conocimiento acerca de la existencia de la fabricación digital. Además, es relevante el conocimiento que poseen los encuestados acerca de la existencia y uso de la Cortadora láser, pues esta es la herramienta de fabricación digital más común de fabricación de maquetas a partir de un programa de diseño asistido por computador. Las respuestas específicas de la pregunta 2 pueden encontrarse en el Anexo 4 donde se encuentra una infografía que resume los resultados generales de la encuesta realizada.

De lo anterior se puede comentar también que aún la fabricación digital es catalogada por muchas personas como “El corte láser” y en menor proporción, como impresión 3D. Sin tener en consideración la existencia de los otros componentes de estas tecnologías y por el desconocimiento de estas, son desaprovechados.

El siguiente componente de la encuesta corresponde al denominado **“Acercas de los tipos de máquinas y programas de diseño y modelado 3D que se manejen y se conozcan.”** En las siguientes preguntas, se indagó que tipo de herramientas de fabricación digital han usado o conocen los encuestados.

**Pregunta 3:** ¿Maneja usted alguno de los programas de diseño y modelado 3D y/o diseño gráfico?

**Figura 30:** Herramientas más utilizada por número de usuarios y con datos porcentuales.



**Fuente:** Autoría propia.

El hecho de que las respuestas más votadas sean la cortadora láser (27 encuestados) y a la impresora 3D (28 encuestados) lo que significa que son las más conocidas y utilizadas, difiere a que, por una parte, la cortadora láser es la herramienta más demandada en los espacios de corte de maquetas, por su relativo fácil manejo, la rapidez de la producción y los buenos resultados que esta arroja en los componentes de los modelos a escala.

Por otra parte, la impresora 3D ha venido teniendo un auge importante debido a lo novedoso que es este método en el mercado y que es la principal carta de presentación, junto a la cortadora láser de la fabricación digital en contextos como el local. En complemento con la información anterior, se acude al siguiente artículo, que presenta las 8 máquinas u herramientas más usadas en la fabricación digital.

“En el siglo XVIII surge una nueva tecnología producto de la **simbiosis entre la máquina y las herramientas**, un tipo de máquina estacionaria para crear y dar forma a materiales sólidos, se distinguen de las herramientas convencionales porque su energía principal la obtiene de una fuente distinta del movimiento humano, estas pueden ser operadas manual o automáticamente por control numérico

computarizado (CNC), permitiendo producir piezas de mayor complejidad y con alta precisión.”<sup>30</sup>

De acuerdo con la información extraída de este Blog, las 8 máquinas más utilizadas son:

Del proceso sustractivo, la **Fresadora CNC**, la **Cortadora Láser**, el **Corte por agua** y el **Corte Plasma**

Del proceso Aditivo, la **Estereolitografía** y la **Máquina FDM (*Fused Deposition Modeling*)**

Y del proceso Formativo, se tiene la **Dobladora de tubo CNC** y la **Dobladora de lámina CNC**.

De acuerdo con lo anterior ambas respuestas se encuentran dentro del top; hay que tener en cuenta que la impresora 3D es de gran popularidad en el contexto local, sin embargo, se conoce de manera general y no por sus métodos de fabricación como pueden serlo la estereolitografía, el FDM y otros sistemas no tan populares.

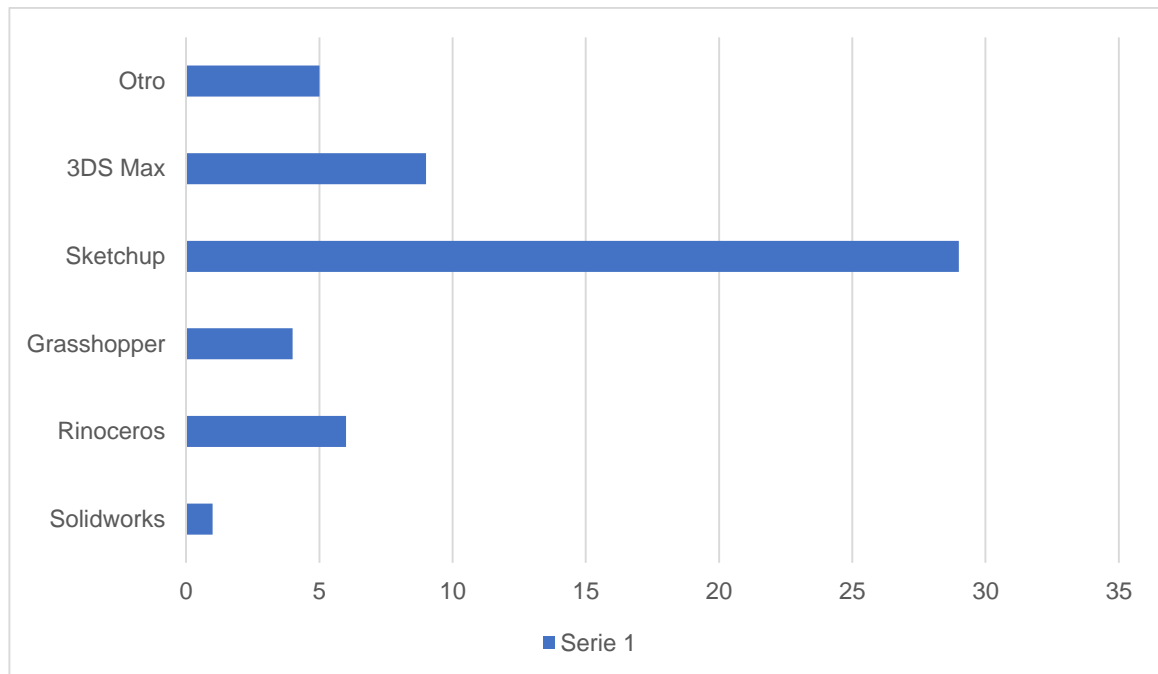
**Pregunta 4:** ¿Maneja usted alguno de los programas de diseño y modelado 3D y/o diseño gráfico?

Esta pregunta se complementa con la anterior, debido a que ya se entra en materia acerca de los programas de diseño asistido por computador. (CAD), que posteriormente utilizan estas herramientas para la materialización de los modelos. La siguiente figura muestra los programas de diseño y modelado 3D, que más utilizan o conocen los usuarios encuestados, su respectivo gráfico de barras y sus resultados cuantificables

---

<sup>30</sup> Rincón paramétrico. Las 8 máquinas-herramientas más usadas en la fabricación digital [blog]. Rincón Paramétrico. Lugar de publicación. 24 de 09 de año 2016. [Consultado: 04 de 02 de 2020]. Disponible en: <http://rinconparametrico.blogspot.com/2016/09/maquinas-herramientas-mas-usadas.html>.

Figura 32:



Fuente: Autoría propia.

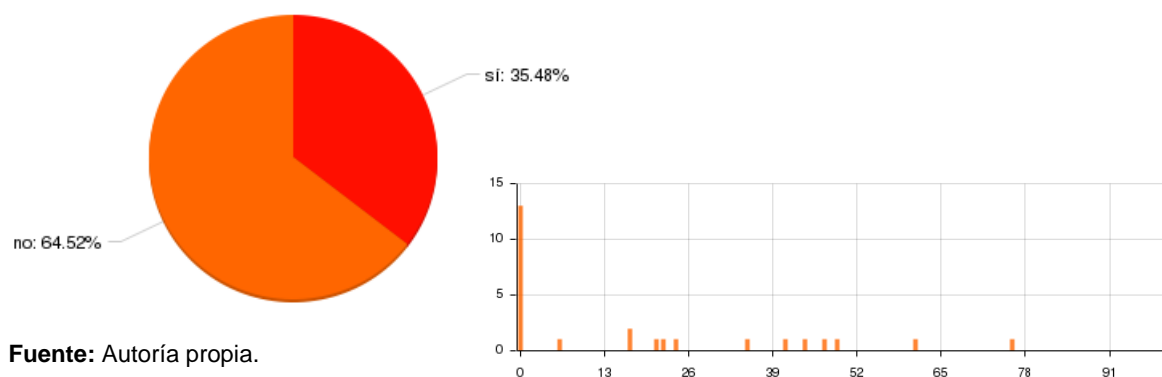
En referencia a lo anterior, brinda una de las respuestas de por qué la implementación de tecnologías de fabricación digital ha sido tardada. Pues, solo el **20%** de los usuarios (6), manejan el programa Rhinoceros y solo el **13,3%**, (4) usuarios, lo complementan con el plugin Grasshopper, programas de diseño y modelado 3D claves para la correcta producción de la fabricación digital. Es pertinente resaltar la relevancia del programa Sketchup, el cual es usado por la mayoría de los estudiantes, que, si bien puede ser exportado a un formato CAD y luego cortado por una Cortadora Láser, no tiene un vínculo directo con la fabricación digital.

El siguiente componente es denominado **“Acerca del nivel y calidad de implementación de componentes de fabricación digital.”** Las siguientes preguntas exploraron el nivel de intervención e implementación de las tecnologías de fabricación digital en las mallas curriculares de las universidades donde pertenecen los usuarios de la encuesta.

**Pregunta 5:** ¿En el desarrollo de su pregrado de Arquitectura, se han dictado bases teóricas y/o prácticas acerca de la Fabricación Digital?

**Pregunta 6:** Si su respuesta anterior fue positiva, clasifique la calidad que considera de la enseñanza en las bases teóricas o prácticas impartidas.

**Figura 33:**

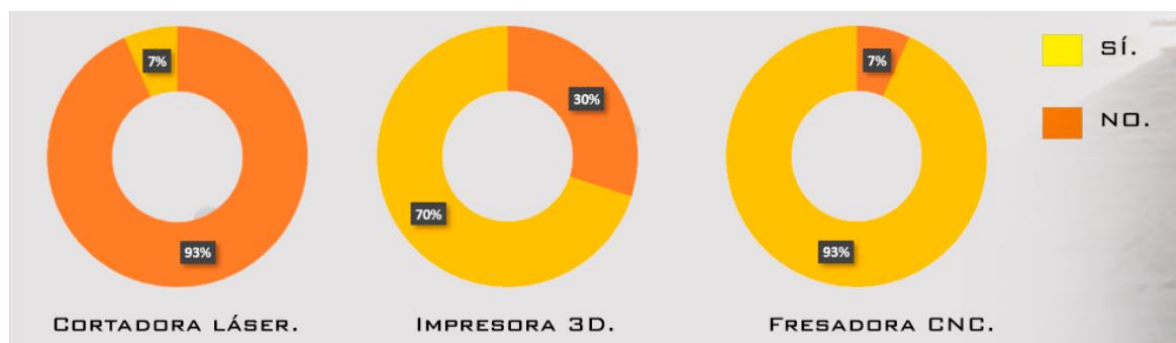


**Fuente:** Autoría propia.

Nuevamente, la pregunta 5 y 6 están enlazadas; es preocupante que solo **36,6%** de los encuestados afirmaron que se han dictado bases teóricas y prácticas de la fabricación digital. Un número proporcional a lo esperado de acuerdo con los programas usados por los usuarios. Es pertinente exaltar que, de acuerdo con los resultados, la calidad percibida por los encuestados que si ha recibido bases de formación en fabricación digital es preocupantemente baja. Esto, ratificando aún más el porqué de la lenta inserción de la fabricación digital en Colombia, y aumentando las alertas de la importancia de iniciar a implementar esta temática en las diferentes mallas curriculares de las Instituciones de Educación Superior de Colombia.

**Pregunta 7:** Como estudiante o profesional, ¿Ha utilizado alguna vez equipos referentes a la Fabricación Digital, tales como Impresoras 3D, Cortadora láser o Fresadora CNC, ¿etc.? Si la respuesta es afirmativa, indique qué equipos ha utilizado

**Figura 34:**



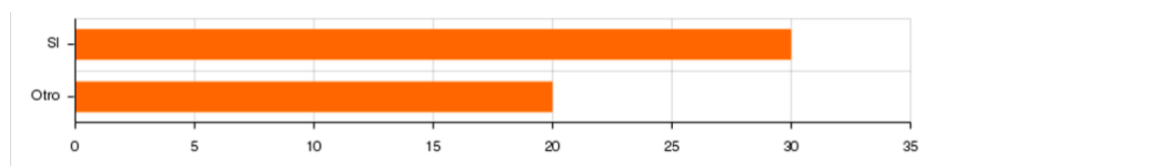
Fuente: Autoría propia

De acuerdo con lo anterior y en complemento a las preguntas anteriores, se logra determinar que la Cortadora Láser y la Impresora 3D y en menor medida, la Fresadora CNC son las mas utilizadas por los usuarios.

En el siguiente componente denominado **“Acerca del nivel de importancia de componentes de fabricación digital como componente integral del aprendizaje y la enseñanza de la Arquitectura.”** se indagó que nivel de importancia le catalogaban los usuarios a la fabricación digital como componente integral del aprendizaje y la enseñanza de la Arquitectura.

**Pregunta 8:** ¿Es para usted la Fabricación Digital un componente importante, el cual debe integrarse como herramienta y complemento de los proyectos arquitectónicos?

**Figura 36:**



Fuente: Autoría propia

De acuerdo con la imagen anterior, es interesante ver la necesidad que tienen los usuarios de que estas tecnologías tengan mayor relevancia en las mallas curriculares de los programas de Arquitectura, esto confirma algunas de las teorías expuestas en el marco teórico, los estudiantes sienten la necesidad de incursionar en estas nuevas tecnologías, ya que reconocen que es algo importante para mejorar en el ejercicio de su profesión, sin embargo, el entorno en el que se desarrollan no es adecuado, ya que no cuentan con las instalaciones y los implementos necesarios para hacerlo.

El siguiente componente, abarca: “**Acerca de si se han visitado o no laboratorios de fabricación digital y que métodos utiliza para la construcción de maquetas de los proyectos arquitectónicos.**” de esta sección intentamos averiguar si a pesar de que los programas curriculares no fomenten la fabricación digital como eje fundamental de sus estudios, los estudiantes han buscado alternativas para incursionar en este medio.

**Pregunta 9:** ¿Alguna vez ha visitado algún Laboratorio de Fabricación Digital? (FabLabs)?

**Pregunta 10:** De ser positiva la respuesta anterior indique qué actividades realizó dentro del FabLab

Figura 37:



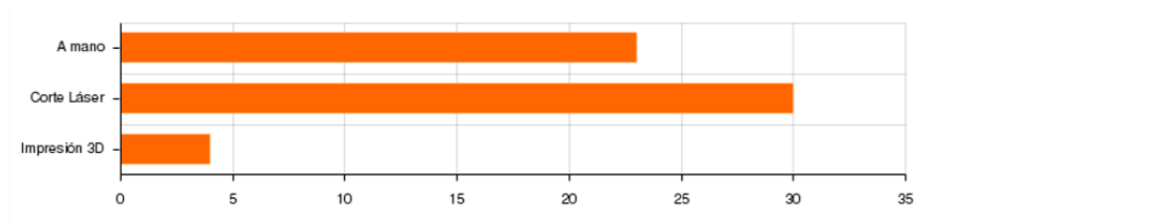
Fuente: Autoría propia

Como es de esperarse, son pocos los usuarios que han visitado un laboratorio de fabricación digital o “FabLab”. Esto, debido a que como se menciona en el apartado de la trayectoria de los laboratorios de fabricación digital, en Colombia aún son pocos, no todas las ciudades cuentan con estos espacios y por ende la accesibilidad es baja. De acuerdo a las respuestas de la pregunta 10, cabe destacar una en la que un encuestado comenta que utilizaba estos espacios para realizar “Modelos a escala de diferentes objetos arquitectónicos y estructurales”, dejando en claro, que la fabricación digital posee un enfoque estructural y tecnológico también.

**Pregunta 11:** Al momento de realizar las maquetas de los proyectos arquitectónicos ¿Qué método utiliza para fabricarla?



**Figura 38**



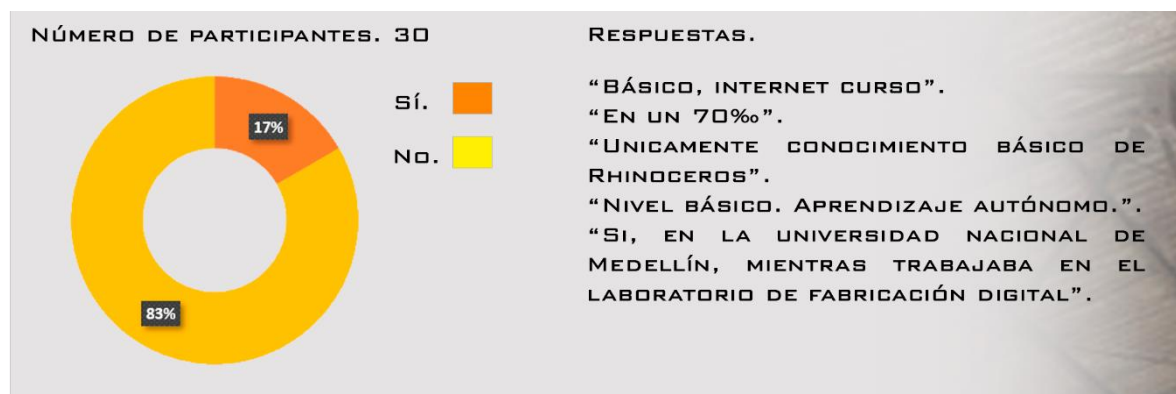
Fuente: Autoría propia

Los resultados de esta pregunta, complementan aún más la relevancia de la Cortadora Láser como herramienta clave para los usuarios, donde el poco tiempo y los buenos resultados que arroja, hacen de esta parte integral en la construcción de Maquetas.

El siguiente componente abarca lo siguiente: **“Acerca de si se ha utilizado la herramienta digital Rhinoceros y el componente adicional Grasshopper y si considera que en el futuro la fabricación digital será un componente esencial en el desarrollo de los pregrados de Arquitectura en Colombia.”**

**Pregunta 12:** ¿Ha hecho uso de la herramienta digital Rhinoceros y el componente adicional Grasshopper? De ser positiva la respuesta, indique ¿cómo lo aprendió y en qué nivel considera que se encuentra su conocimiento?

**Figura 39:**

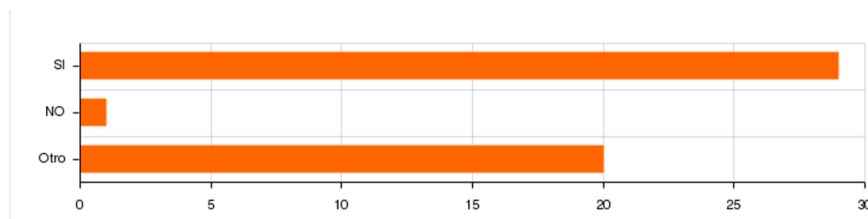


Fuente: Autoría propia

De acuerdo con lo anterior, son muy pocos los usuarios que han hecho uso de la herramienta Rhinoceros, y los que lo han hecho en general han tenido un conocimiento básico y superficial. Este fenómeno se da debido a que las personas no sienten la necesidad de aprender algo que no van a implementar; por este motivo, se destaca la respuesta “Si, en la Universidad Nacional de Medellín, mientras trabajaba en el laboratorio de fabricación digital”, en la que se puede apreciar la diferencia que puede ser acceder a estos espacios mientras se aprende.

**Pregunta 13:** ¿Considera usted como estudiante o profesional que la Fabricación Digital en el futuro será un componente esencial en el desarrollo de los pregrados de Arquitectura en Colombia y en la manera como se ejerce la Arquitectura en el campo laboral?

**Figura 40:**



**Fuente:** Autoría propia

Es evidente que todas las personas consideran que la fabricación digital será el siguiente paso en el ejercicio de la arquitectura, y deberá convertirse tarde que temprano en un componente esencial en la enseñanza de arquitectura en las instituciones de educación superior.

Finalmente, para resumir los resultados de la encuesta, es pertinente afirmar la relevancia del corte láser como método de fabricación digital más conocido e utilizado por los usuarios. Además de corroborar que aún la fabricación digital tiene grandes retos y un largo camino por recorrer para ser parte integral del aprendizaje

y la enseñanza de la Arquitectura en Colombia y en el continuo entendimiento de las ventajas que esta abarca. Además en impulsar a las instituciones en buscar y optar por diferentes tecnologías y metodos diferentes a los convencionales.

## CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo con el problema, los objetivos presentados, el desarrollo de la investigación, la divulgación de resultados y el análisis de los mismos. Se presentan las siguientes conclusiones.

- De acuerdo con el objetivo “Registrar los programas de arquitectura, asociados a ACFA, que cuentan con acceso a esta tecnología.”, se distingue que aún estos programas son pocos en comparación al número total de programas asociados al ACFA. De acuerdo con lo anterior, se concluye que este fenómeno ocurre en mayor proporción, por la preferencia de las instituciones a métodos convencionales de aprendizaje y enseñanza de la Arquitectura, por el temor de estas a la pérdida de las capacidades manuales por parte de los usuarios, la restringida experiencia que existe en el país y temas derivados a los altos costos de gestión, mantenimiento y obtención de instrumentos.
- De acuerdo con el objetivo “Indagar sobre la trayectoria de los laboratorios de fabricación digital en los procesos académicos de la enseñanza de la Arquitectura en Colombia.”, se concluye que para que exista una correcta inserción de la fabricación digital como componente integral del aprendizaje y la enseñanza de la Arquitectura, los programas e instituciones interesadas en la implementación de laboratorios de fabricación digital en el País, deben realizar una inversión acorde a la realidad de los costos que se presentan en el País. Con el objetivo de lograr una calidad pertinente de los procesos que se realizan en un laboratorio de fabricación digital. Altos costos referentes a los equipos y el mantenimiento y la gestión administrativa de estos.
- De acuerdo con el objetivo “Conocer la intervención que ha tenido la fabricación digital en el desarrollo de los proyectos académicos de

arquitectura en Colombia.” Se concluye que el correcto desarrollo de la fabricación digital en un contexto académico requiere el dominio de programas referentes a la fabricación digital y claramente el complemento de una herramienta o máquina de fabricación digital. Debido a esto, es importante que los programas de Arquitectura interesados en la implementación de la fabricación digital dicten cursos de alta calidad a los estudiantes, los cuáles le permitan al usuario desarrollar las capacidades necesarias y suficientes para un dominio acorde de la fabricación digital para un correcto desarrollo de los proyectos arquitectónicos a través de esta. Donde programas como Rhinoceros con su plugin Grasshopper, son relevantes y pioneros. En adición a lo anterior, a través del desarrollo de la investigación, se encuentra que los estudiantes y usuarios si utilizan programas de diseño 3D. Sin embargo, estos programas corresponden a herramientas que no tienen un vínculo directo con la fabricación digital, tales como Sketchup, con especial relevancia y en menor medida, Revit.

### **Recomendaciones:**

Al realizar la investigación nuestro principal interés era tener conocimiento acerca de cómo se están implementando las tecnologías de fabricación digital en las diferentes universidades, especialmente en la carrera de arquitectura; sin embargo, la metodología utilizada no fue la más apropiada, ya que la cantidad de respuestas obtenidas y el público alcanzado no fue lo suficientemente grande para emitir una comparación. La recomendación para futuras investigaciones es emplear metodologías más personalizadas, en las que sea posible tener contacto con diferentes estamentos (estudiantes, docentes, laboratoristas, directivos) de diferentes universidades y que permita recopilar información precisa sobre cómo se implementan estas herramientas en la enseñanza de arquitectura.

Las tecnologías de fabricación digital están marcando el inicio de una nueva era en la arquitectura y otras ramas de la ciencia, y como futuros profesionales debemos estar preparados para esto. Nuestra recomendación para nuestros colegas es incursionar e investigar en estos temas, hay un sinfín de posibilidades que pueden ser desarrolladas, hay mucho conocimiento nuevo por adquirir y es nuestra responsabilidad estar preparados para estos cambios. Como estudiantes de una institución de educación superior con acreditación de alta calidad debemos encargarnos de que nuestra preparación esté al nivel que el mercado lo solicita, por este motivo, nuestra recomendación para nuestros docentes y nuestra alma mater es que fortalezca los procesos creativos que como estudiantes vivimos a diario, que implemente más fuertemente dentro de los planes de estudio y dentro de las instalaciones de la universidad espacios en los que nos veamos enfrentados a aprender sobre estas tecnologías y las aplicaciones que tienen en nuestra profesión, de manera que al salir seamos profesionales competitivos y actualizados frente al mercado global

Y finalmente, nuestra recomendación para todos es a investigar, la fabricación digital ha roto barreras que hasta hace algunos años se creían imposibles, esta nos permite hacer realidad casi cualquier cosa que imaginemos; se pueden realizar aportes significativos en materias de construcción y materiales, que de una u otra manera pueden darnos la capacidad de materializar diseños dinámicos y únicos.

## CAPÍTULO 5: BIBLIOGRAFÍA.

ACFA. Malla Curricular Universidad Pontificia Bolivariana. [En línea]. Mallas curriculares de las facultades de Arquitectura en Colombia. Medellín: 2016. 101 p. [Consultado el 02 de 02 de 2020].

Archdaily. ¿Qué es BIM y por qué parece ser fundamental en el diseño arquitectónico actual? [sitio web]. Colombia; [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en:

<https://www.archdaily.co/co/887546/que-es-bim-y-por-que-es-fundamental-en-el-diseno-arquitectonico-actual>

Autodesk. IMPRESIÓN 3D: ¿Qué es la impresión 3D? [sitio web]. San Rafael, California; [consultado el 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>

Facultad de Arquitectura UNALMED. La Facultad de Arquitectura dotó un laboratorio de fabricación digital [video]. YouTube. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. (16 de mayo de 2013)

6:09. [Consultado: 04 de 02 de 2020]. Disponible

en: [https://www.youtube.com/watch?v=Kl9HxQ68Dqg&fbclid=IwAR027F-bztH2yrGZZfVhPDwmvxOv54KME9y7-F5laugtN\\_yFCDgw1quiYyM](https://www.youtube.com/watch?v=Kl9HxQ68Dqg&fbclid=IwAR027F-bztH2yrGZZfVhPDwmvxOv54KME9y7-F5laugtN_yFCDgw1quiYyM)

GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Emociones precisas: fabricación digital en la enseñanza de la arquitectura [en línea]. Brasil: Diciembre, 2009, vol.5, p. 123. [Consultado: 27 de 01 de 2020].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193614470006>.

GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Fabricación Digital de Modelos Constructivos: análisis de equipos y procesos. En: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Junio, 2011. N° 59, p. 147.

GARCÍA DEL VALLE LAJAS, Matías. Diseño para Fabricación Digital: Definición Unívoca entre Forma y Fabricación en Arquitectura. [En línea]. Mención o grado al que se

opta. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de Arquitectura. 2015.

33. p [Consultado: 27 de 01 de 2020]. Disponible en: <http://oa.upm.es/40011/>

GIESECKE, MITCHELL, SPENCER, HILL, DYGDON, NOVAK, LOCKHART, Frederick, Alva, Henry, Ivan, John, James, Shawna. Dibujo y comunicación gráfica. Tercera edición. Montana:

Pearson education México, 2006. Pa11. [Consultado el 25 de 01 de 2020]. Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?id=qLh9gGOUi5IC&pg=SL1->

[PA11&dq=CAD/CAM+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_vo\\_mmp\\_nAhWwuVkkKHQbbDckQ6AEITzAE#v=onepage&q=CAD%2FCAM%20definicion&f=false](https://www.google.com/search?q=CAD/CAM+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi_vo_mmp_nAhWwuVkkKHQbbDckQ6AEITzAE#v=onepage&q=CAD%2FCAM%20definicion&f=false). 970-26-0811-2

HERRERA, Pablo C. y JUÁREZ, Benito. Perspectivas en los laboratorios de fabricación digital en Latinoamérica. *En: Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, SIGraDi*, Noviembre, 2012. p. 287

IMPRESORA 3D GRAN FORMATO. [en línea]. Concreto. [Consultado 29 de Enero de 2020]. Disponible en: <https://concreto.com/impresora-3d/>

JORDANA, Josep Maria. De la Impresión 3D a la Fabricación Digital. Camins Tech [blog]. 10 de Febrero de 2015. [Consultado: 6 de Febrero de 2020]. Disponible en: <https://caminstech.upc.edu/es/blog/impressio3D>

JORQUERA, Adam. Fabricación digital: introducción al modelado e impresión 3D. Madrid: Secretaría General Técnica, 2016. 26 p. Tomo. [Consultado el 17 de 01 de 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=9XmbDQAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Nacimiento+del+punte+definitivo+entre+imaginaci%C3%B3n+y+realidad&source=bl&ots=7d3xcCZeu&sig=ACfU3U0vz50pD19X5h2xov0ppZ\\_7pwXiog&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwim5t7v5aTnAhXsxlkKHVwjAj0Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Comienzo%20de%20una%20nueva%20etapa%20de%20deslocalizaci%C3%B3n&f=false](https://books.google.com.co/books?id=9XmbDQAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Nacimiento+del+punte+definitivo+entre+imaginaci%C3%B3n+y+realidad&source=bl&ots=7d3xcCZeu&sig=ACfU3U0vz50pD19X5h2xov0ppZ_7pwXiog&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwim5t7v5aTnAhXsxlkKHVwjAj0Q6AEwAHoECAoQAQ#v=onepage&q=Comienzo%20de%20una%20nueva%20etapa%20de%20deslocalizaci%C3%B3n&f=false). Colección Aula Mentor.

MARTIN PASTOR, Andres, et al. Los workshops de geometría en Cad3D y prefabricación digital como estrategia docente en la enseñanza de la geometría para la arquitectura. *geometría y proyecto*. En: Blucher Design Proceedings. Diciembre, 2014. Vol.1, No.8, p.215

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. SCHOOL OF ARCHITECTURE. Center for Bits and Atoms. [sitio web]. Cambridge, MA; [Consultado: 28 de enero de 2020]. Disponible en: <http://cba.mit.edu/about/index.html>

PERÍES, Lucas. De lo virtual a lo tangible: Transformaciones de la Configuración Morfológica a la Construcción Digital. En: *Revista Pensum*. Córdoba, Argentina: noviembre, 2016, vol.2, p.158. [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pensu/article/view/16519/16332>



RHINO 3D COLOMBIA S.A.S. Workshop de Morfologías Digitales Parametrizadas en el Rhino Fab de UPB, en el contexto de los XX Años de Morfolab gracias a Aaron Brakke de la University of Illinois. [Sitio web] 20 de Octubre de 2017. [Consultado: 6 de Febrero de 2020]. Disponible en : <http://rhino3dcolombia.ning.com/photo/workshop-de-morfologias-digitales-parametrizadas-en-el-rhino-fab-?overrideMobileRedirect=1>

SANDOVAL BOLAÑOS, Roland Darío. Aprendizajes, retos y perspectivas de la fabricación digital en Colombia. [en línea]. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de magister en construcción. Medellín, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Arquitectura. Maestría en construcción. 2016. 108 p. [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/55444/1/80100436.2016.pdf>

SERDA, Agustin. Que es la Fabricación Digital [blog]. 330 ohms. Lugar de publicación. 17 de 01 de 2017, 2do párrafo. [Consultado: 26 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2017/01/17/que-es-la-fabricacion-digital/>

SZILÁRD A, Kados. Deusto FabLab, un Laboratorio de Fabricación Digital. En: *Deusto, Revista ingeniería*. Bilbao: Nerea Pozo y Verónica Canivell, febrero, 2016, [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en <https://revistaingenieria.deusto.es/tag/fablab/>

TORREBLANCA DÍAZ, David. Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos. En: *Iconofacto*. Enero- Junio, 2016. Vol.16 No. 18. p. 125  
Universidad Autónoma de Occidente. El FabLab Cali, un espacio para aprender, crear y hacer. [sitio web]. Cali, Valle: [Consultado: 26 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://www.uao.edu.co/noticias/el-fablab-cali-una-incubadora-del-futuro>

Universidad de Pamplona. Contenidos del curso: [página web]. Pamplona: 2008. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_63/recursos/arquitectura/27052014/co\\_dis\\_asis\\_por\\_computador\\_i.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_63/recursos/arquitectura/27052014/co_dis_asis_por_computador_i.pdf)

Universidad de Pamplona. Contenido del curso. [En línea]. Contenidos programáticos de la asignatura Diseño asistido por computador I. Pamplona: 2008. 3p. [Consultado el 03 de 02 de 2020]. Disponible en:

[http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_63/recursos/arquitectura/27052014/co\\_dis\\_asis\\_por\\_computador\\_i.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_63/recursos/arquitectura/27052014/co_dis_asis_por_computador_i.pdf)

Universidad Francisco de Paula Santander. Contenido básico. [En línea]. Contenidos programáticos del programa de Arquitectura. Cúcuta: UFPS. 2008. 75p. [Consultado el 03 de 02 de 2020].

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, "Foto de Facebook\*". Fecha (31, 05, 2013)

[Facebook]<<https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/a.417381101663783/486897331378826/?type=3&theater> > [Consulta: 03, 02, 2020]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, "Foto de Facebook\*". Fecha (13, 04, 2013)

[Facebook]<[https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/ms.c.eJw9zskNwEAIa8COlq410H9jUWCd5whbOFaiZd3t4Y0nxi6AqMDo2LvSxw2ZFnTNvfK6dPrKfMeXB85vQKS76Jy~\\_~:d49dve07H9TOqdfh6713dMqa6Nt~\\_ur07gn2NdfM2~\\_5DvexWOnc~-\\_bps.a.468008283267731/468008299934396/?type=3&theater](https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/ms.c.eJw9zskNwEAIa8COlq410H9jUWCd5whbOFaiZd3t4Y0nxi6AqMDo2LvSxw2ZFnTNvfK6dPrKfMeXB85vQKS76Jy~_~:d49dve07H9TOqdfh6713dMqa6Nt~_ur07gn2NdfM2~_5DvexWOnc~-_bps.a.468008283267731/468008299934396/?type=3&theater) > [Consulta: 03, 02, 2020]

Universidad Nacional de Colombia. El FabLab, un espacio para experimentar y potenciar la creatividad [en línea]. Medellín: 2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible

en: <https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>

*Universidad Nacional de Colombia. El FabLab, un espacio para experimentar y potenciar la*

*creatividad. [sitio web]- Medellín, Antioquia. [Consultado: 6 de Febrero de 2020], Disponible en:*

*<https://medellin.unal.edu.co/noticias/1059-el-fablab-un-espacio-para-experimentar-y-potenciar-la-creatividad.html>*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, "Foto de Facebook\*". Fecha (13, 06, 2017)

[Facebook]<

<https://www.facebook.com/FabLabUN/photos/a.427820567286503/1354507511284466/?type=3&theater>> [Consulta: 03, 02, 2020]

*Universidad Pontificia Bolivariana. Rhino3D renueva alianza con la UPB [sitio web]. Medellín:*

*2017. [Consultado: 03 de 02 de 2020]. Disponible en: [https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-](https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb)*

*[renueva-alianza-con-la-upb](https://www.upb.edu.co/es/noticia/rhino-3d-renueva-alianza-con-la-upb)*

# ANEXOS

## Anexo 1: Infografía referente al FabLab Medellín.

**FABRICACIÓN DIGITAL:**  
NUEVAS FORMAS DE APRENDER Y HACER

**A R Q U I T E C T U R A**

**3.**

CON EL FIN DE QUE LA COMUNIDAD ESTUDIANTIL APROVECHE LAS NUEVAS **HERRAMIENTAS** TECNOLÓGICAS.

**4.**

**CORTADORA LÁSER**

**IMPRESORA 3D**

**ROUTER CNC**

**PROPÓSITO:**

“LA CREACIÓN DE UN LABORATORIO PARA EL USO DEL PROGRAMA DE ARQUITECTURA, EL CUAL REEMPLAZARÍA “EL TRADICIONAL TALLER DE MAQUETAS”.”

**2.**

SE CRED POR LA INICIATIVA DEL PROFESOR EDGAR MENESES, COORDINADOR DEL FABLAB Y VICEDECANO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNAL.

**1.**

**FABLAB**  
UNAL Medellín

Fuente: Autoría propia

## Anexo 2: Infografía referente al FabLab Cali.



Fuente: Autoría propia

### Anexo 3: Glosario de términos.

- **CBA:** El Center for Bits and Atoms del MIT “is an interdisciplinary initiative exploring the boundary between computer science and physical science. CBA studies how to turn data into things, and things into data. It manages facilities, runs research programs, supervises students, works with sponsors, creates startups, and does public outreach.”<sup>31</sup>
- **Cortadora Láser:** Estas herramientas “Desplazan un haz de luz de alta intensidad en dos ejes simultáneamente, desvaneciendo pequeñas ranuras del material sin tener contacto físico y con una alta precisión.” <sup>32</sup> Normalmente se utiliza el gas CO<sub>2</sub> como herramienta de corte; al ser una técnica que emplea calor, se pueden producir pequeñas marcas de quemadura en los bordes cortados; es necesario realizar además pequeñas pruebas con los materiales a emplear ya que no todos reaccionan de la misma manera.
- **FabLab:** “Red global de laboratorios locales que comparten equipamiento de fabricación digital en constante evolución y conocimiento colaborativo”<sup>33</sup>
- **Diseño asistido por computadora (CAD/CAM):** “Se refiere a la integración de las computadoras en el ciclo completo que va desde el diseño hasta la fabricación de un producto o planta”.<sup>34</sup>

---

<sup>31</sup> MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. SCHOOL OF ARCHITECTURE. Center for Bits and Atoms. [sitio web]. Cambridge, MA; [Consultado: 28 de enero de 2020]. Disponible en: <http://cba.mit.edu/about/index.html>

<sup>32</sup> GARCÍA ALVARADO, Rodrigo. Fabricación Digital de Modelos Constructivos: análisis de equipos y procesos. En: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Junio, 2011. N° 59, p. 147.

<sup>33</sup> SZILÁRD A, Kados. Deusto FabLab, un Laboratorio de Fabricación Digital. En: *Deusto, Revista ingeniería*. Bilbao: Nerea Pozo y Verónica Canivell, febrero, 2016, [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en <https://revistaingenieria.deusto.es/tag/fablab/>

<sup>34</sup> GIESECKE, MITCHELL, SPENCER, HILL, DYGDON, NOVAK, LOCKHART, Frederick, Alva, Henry, Ivan, John, James, Shawna. Dibujo y comunicación gráfica. Tercera edición. Montana: Pearson education México,

- **Fabricación Digital:** “Es el conjunto de procesos integrados mediante los cuales se elabora un producto a partir del diseño y modelado del objeto en softwares CAD, el análisis del mismo en un programa CAE, la simulación del proceso de fabricación en paquetes CAM y la manufactura del producto por medio de algún equipo”.<sup>35</sup> La fabricación digital permite elaborar elementos mucho más complejos, da pie para integrar adecuadamente la teoría con la tecnología, asegurando también la fabricación y construcción de obras estables y seguras que entregan soluciones eficientes a los problemas que se presentan en las comunidades. La fabricación digital permite reducir tiempos de construcción, optimizar el uso de recursos, reducir la mano de obra y generar estructuras de excelente calidad.
- **Sistema Sustractivo:** Estas tecnologías se caracterizan por el desbaste o corte de material a partir de un archivo CAD; inicialmente se realizaba solo en 2D, pero la evolución ha permitido que ya sea posible realizar este tipo de procesos en 3D a partir de archivos CAD 3D.
- **Fresadora CNC:** Ésta es una máquina diseñada para realizar trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa; éstas fresadoras se presentan de dos formas: la primera que cuenta con dos ejes y es la encargada de realizar cortes sobre el eje X y Y; la otra cuenta con eje extra, el eje Z, lo que le permite realizar cortes en los 5 ejes axiales de un espacio (X, Y, Z, A y B). Desde la implementación del control numérico se han convertido en una de las

---

2006. Pa11. [Consultado el 25 de 01 de 2020]. Disponible en: [https://books.google.com.co/books?id=qLh9gGOUi5lC&pg=SL1-PA11&dq=CAD/CAM+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi\\_vo\\_mmp\\_nAhWwuVkkHQbbDckQ6AEITzAE#v=onepage&q=CAD%2FCAM%20definicion&f=false](https://books.google.com.co/books?id=qLh9gGOUi5lC&pg=SL1-PA11&dq=CAD/CAM+definicion&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi_vo_mmp_nAhWwuVkkHQbbDckQ6AEITzAE#v=onepage&q=CAD%2FCAM%20definicion&f=false). 970-26-0811-2

<sup>35</sup> SERDA, Agustín. Que es la Fabricación Digital [blog]. 330 ohms. Lugar de publicación. 17 de 01 de 2017, 2do párrafo. [Consultado: 26 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://blog.330ohms.com/2017/01/17/que-es-la-fabricacion-digital/>

herramientas más empleadas debido a la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación, así como las mejoras en la calidad y tiempos de producción.

- **Sistema Aditivo:** “Se basan en un proceso de adición de capas de material, las cuales se van adhiriendo secuencialmente, una tras otra, hasta obtener el objeto físico correspondiente al archivo CAD 3D, enviado previamente desde una computadora.”<sup>36</sup>. Una ventaja general de estos sistemas es la posibilidad de crear elementos que sería complicado realizar empleando métodos tradicionales y artesanales.
- **Deposición de Hilo Fundido (FDM).** Esta técnica es una de las más utilizadas para elaborar maquetas que tengan un cierto nivel de complejidad, ya que representa a la perfección las ideas y la forma del diseño. Este sistema utiliza polímeros que pueden ser conseguidos fácilmente, convirtiéndolo en proceso económico, las propiedades de los materiales son permanentes en el tiempo, sin embargo, no tiene acabados delicados, al ser un proceso que depende la temperatura si se tiene problemas con la regulación de esta se pueden generar piezas defectuosas. Se lee el archivo digital CAD 3D que contiene el objeto a materializar, posteriormente un filamento de polímero termoplástico que está en un rollo pasa por una boquilla metálica que está a una temperatura superior a la temperatura de fusión del polímero, al derretirse este genera capas sucesivas horizontales que se adhieren a la capa interior dando forma al objeto físico deseado. El desarrollo de esta tecnología se dio entre 1988 y 1990, año en el cual la primera impresora 3D que implementaba esta técnica fue creada.

---

<sup>36</sup> TORREBLANCA DÍAZ, David. Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos. En: Iconofacto. Enero- Junio, 2016. Vol.16 No. 18. p. 125



- **Impresora 3D:** “La impresión 3D, también conocida como manufactura por adición, es un proceso por el cual se crean objetos físicos colocando un material por capas en base a un modelo digital”.<sup>37</sup> La aparición de la primera impresora 3D marcó el inicio de la fabricación digital. “En 1988 se crean las primeras impresoras estereolitográficas (SLA) de la mano de 3D Systems, una de las empresas líderes actualmente en el mundo de la impresión 3D”<sup>38</sup>.
- **Impresión 3D de concreto:** Es una tecnología relativamente nueva, cuyo desarrollo inició en el año 2014. “El proceso de impresión 3D parte de un diseño realizado previamente en computador que se traduce en unas trayectorias para que la máquina, así como funcionan las mangas pasteleras, agregue capas de material y se imprima un elemento de mobiliario urbano, un muro divisorio, un panel arquitectónico o una casa.”<sup>39</sup> Ésta tecnología tiene como ventaja la disminución en los tiempos y costos de fabricación, menor desperdicio de material, dejar a un lado los moldes, la posibilidad de operar 24 horas, 7 días a la semana; de esta manera, esta tecnología puede revolucionar la industria de la construcción y optimizarla de una manera asombrosa, además, permite la impresión de muros internos, fachadas, piezas prefabricadas, mobiliario urbano e incluso casas.
- **Dobladora de tubo CNC:** La dobladora de tubos CNC es una dobladora direccionada a través de un software que automatiza todo el programa, reproduciendo las instrucciones que son introducidas por el operario, este tipo de máquinas permite obtener más ángulos y direcciones en el proceso de curvado, convirtiéndolas en las más eficientes del mercado.

---

<sup>37</sup> Autodesk. IMPRESIÓN 3D: ¿Qué es la impresión 3D? [sitio web]. San Rafael, California; [consultado el 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>

<sup>38</sup> JORDANA, Josep Maria. De la Impresión 3D a la Fabricación Digital. Camins Tech [blog]. 10 de Febrero de 2015. [Consultado: 6 de Febrero de 2020]. Disponible en: <https://caminstech.upc.edu/es/blog/impresio3D>

<sup>39</sup> IMPRESORA 3D GRAN FORMATO. [en línea]. Conconcreto. [Consultado 29 de Enero de 2020]. Disponible en: <https://conconcreto.com/impresora-3d/>

- **BIM:** “Es una metodología que permite crear simulaciones digitales de diseño, manejando coordinadamente toda la información que conlleva un proyecto de arquitectura.”<sup>40</sup>

---

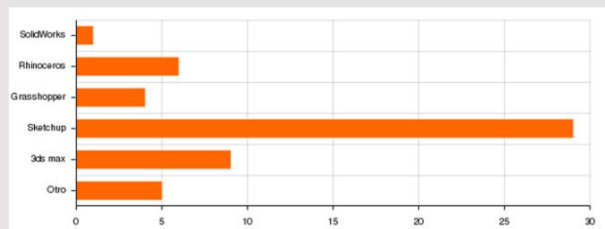
<sup>40</sup> Archdaily. ¿Qué es BIM y por qué parece ser fundamental en el diseño arquitectónico actual? [sitio web]. Colombia; [Consultado: 25 de 01 de 2020]. Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/887546/que-es-bim-y-por-que-es-fundamental-en-el-diseno-arquitectonico-actual>

## Anexo 4: Infografías de resultados de encuestas.



Fuente: Autoría propia

4: ¿MANEJA USTED ALGUNO DE LOS PROGRAMA DE DISEÑO Y MODELADO 3D Y/O DISEÑO GRÁFICO?

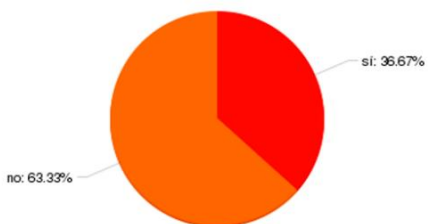


PROGRAMA.	NÚMERO.
SOLIDWORKS.	1 (3,3%)
RINOCEROS.	6 (20%)
GRASSHOPPER.	4 (13,3%)
SKETCHUP.	29 (96,7%)
3DS MAX.	9 (30%)
OTRO.	5 (16,7%)

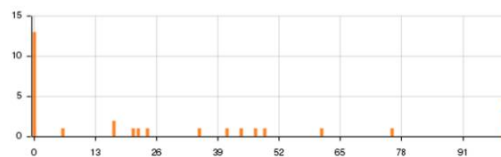
RESPUESTA(S) DESDE EL CAMPO AGREGADO:

AUTOCAD 3D
  REVIT.
  LUMION.

5: ¿EN EL DESARROLLO DE SU PREGRADO DE ARQUITECTURA, SE HAN DICTADO BASES TEÓRICAS Y/O PRÁCTICAS ACERCA DE LA FABRICACIÓN DIGITAL?



6: SI SU RESPUESTA ANTERIOR FUE POSITIVA, CLASIFIQUE LA CALIDAD QUE CONSIDERA DE LA ENSEÑANZA EN LAS BASES TEÓRICAS O PRÁCTICAS IMPARTIDAS.

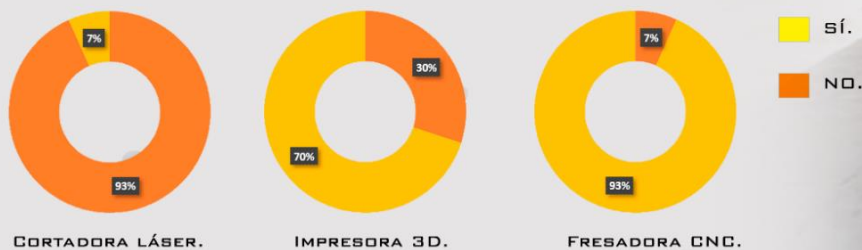


Número de participantes: 30      100  
 0 = 0  
 100 = 100  
 Media aritmética: 28,67      **35,43**  
 Desviación absoluta promedio: 29,18  
 Standard deviation: 35,43

7: COMO ESTUDIANTE O PROFESIONAL, ¿HA UTILIZADO ALGUNA VEZ EQUIPOS REFERENTES A LA FABRICACIÓN DIGITAL, TALES COMO IMPRESORAS 3D, CORTADORA LÁSER O FRESADORA CNC, ETC?

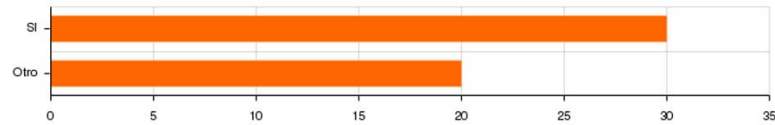
SI LA RESPUESTA ES AFIRMATIVA, INDIQUE QUÉ EQUIPOS HA UTILIZADO.

NÚMERO DE PARTICIPANTES: 30



Fuente: Autoría propia

8: ¿ES PARA USTED LA FABRICACIÓN DIGITAL UN COMPONENTE IMPORTANTE, EL CUAL DEBE INTEGRARSE COMO HERRAMIENTA Y COMPLEMENTO DE LOS PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS?



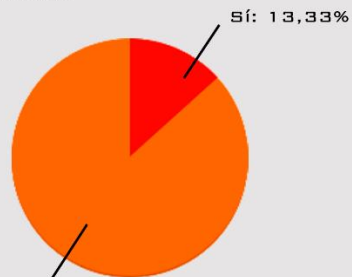
NÚMERO DE PARTICIPANTES. 30

30 (100.0%)

0 (0.0%)

20 (66.7%) OTRO.

9: ¿ALGUNA VEZ HA VISITADO ALGÚN LABORATORIO DE FABRICACIÓN DIGITAL? (FABLABS)?



No: 86,67%

10: DE SER POSITIVA LA RESPUESTA ANTERIOR INDIQUE QUÉ ACTIVIDADES REALIZÓ DENTRO DEL FABLAB

NÚMERO DE PARTICIPANTES. 6

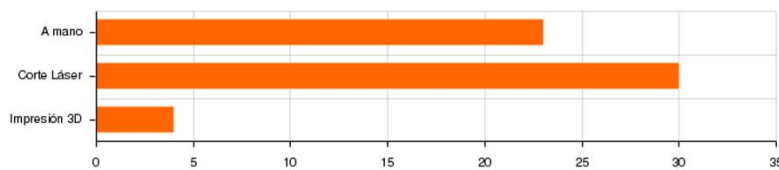
“MONITOR ACADÉMICO”.

“MODELOS A ESCALA DE DIFERENTES OBJETOS ARQUITECTÓNICOS Y ESTRUCTURALES”.

“CORTE A LÁSER”.

“TRABAJO”.

11: AL MOMENTO DE REALIZAR LAS MAQUETAS DE LOS PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS ¿QUÉ MÉTODO UTILIZA PARA FABRICARLA?

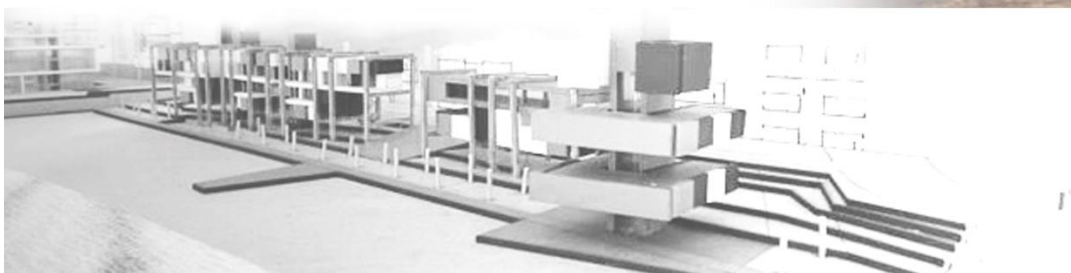


NÚMERO DE PARTICIPANTES: 30

23 (76.7%) A MAND.

30 (100.0%) CORTE LÁSER.

4 (13.3%) IMPRESIÓN 3D.



Fuente: Autoría propia

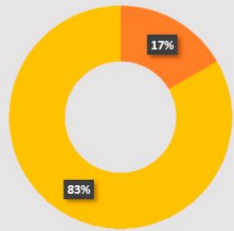


12: ¿HA HECHO USO DE LA HERRAMIENTA DIGITAL RHINOCEROS Y EL COMPONENTE ADICIONAL GRASSHOPPER?

DE SER POSITIVA LA RESPUESTA, INDIQUE ¿CÓMO LO APRENDIÓ Y EN QUÉ NIVEL CONSIDERA QUE SE ENCUENTRA SU CONOCIMIENTO?..

NÚMERO DE PARTICIPANTES. 30

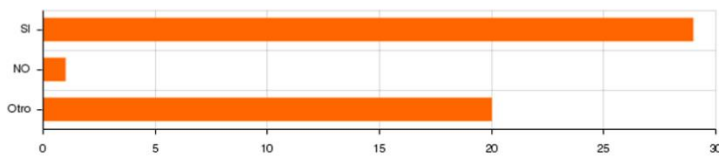
RESPUESTAS.



Sí. ■  
No. ■

“BÁSICO, INTERNET CURSO”.  
“EN UN 70%”.  
“UNICAMENTE CONOCIMIENTO BÁSICO DE RHINOCEROS”.  
“NIVEL BÁSICO. APRENDIZAJE AUTÓNOMO.”.  
“SI, EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEDELLÍN, MIENTRAS TRABAJABA EN EL LABORATORIO DE FABRICACIÓN DIGITAL”.

13: ¿CONSIDERA USTED COMO ESTUDIANTE O PROFESIONAL QUE LA FABRICACIÓN DIGITAL EN EL FUTURO SERÁ UN COMPONENTE ESENCIAL EN EL DESARROLLO DE LOS PREGRADOS DE ARQUITECTURA EN COLOMBIA Y EN LA MANERA COMO SE EJERCE LA ARQUITECTURA EN EL CAMPO LABORAL?



NÚMERO DE PARTICIPANTES: 30

29 (96,7%) Sí.

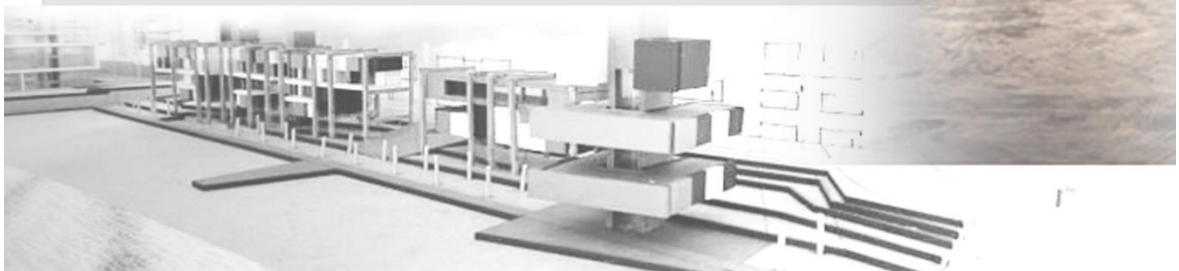
1 (3,3%) No.

14: LUEGO DE ESTA ENCUESTA LE GUSTARÍA RECIBIR PROFUNDIZACIÓN SOBRE LA FABRICACIÓN DIGITAL?



No. ■ 3 (10.0%)

Sí. ■ 27 (90.0%)



Fuente: Autoría propia

## ANEXO 4: MATRIZ DE PROGRAMAS AGREMIADOS A ACFA

PROGRAMAS ASOCIADOS A ACFA							
#	UNIVERSIDAD	CIUDAD	DEPARTAMENTO	CUENTA CON COMPONENTE DE FABRICACIÓN DIGITAL? (SI/NO)	NOMBRE DEL COMPONENTE DE FABRICACIÓN DIGITAL	ÉNFASIS DEL COMPONENTE	APLICACIÓN DEL COMPONENTE
1	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA	BARRANQUILLA	ATLÁNTICO	NO	-	-	-
2	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE	SINCELEJO	SUCRE	NO	-	-	-
3	INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA CESMAG	PASTO	NARIÑO	NO	-	-	-
4	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
5	PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA	CALI	VALLE DEL CAUCA	NO	-	-	-
6	UNIVERSIDAD AGUSTINIANA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
7	UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
8	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE	BARRANQUILLA	ATLÁNTICO	NO	-	-	-
9	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
10	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES	MANIZALES	CALDAS	NO	-	-	-
11	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE PEREIRA	PEREIRA	RISARALDA	NO	-	-	-
12	UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
13	UNIVERSIDAD DE BOYACÁ	TUNJA	BOYACÁ	SI	EXPRESIÓN DIGITAL II ARCHICAD	DISEÑO PARAMÉTRICO	Académico
14	UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ	IBAGUÉ	TOLIMA	NO	-	-	-
15	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
16	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	SI	FABRICACIÓN DIGITAL	DISEÑO PARAMÉTRICO Y FABRICACIÓN DIGITAL	ACADÉMICO / INVESTIGATIVO
17	UNIVERSIDAD DE NARIÑO	PASTO	NARIÑO	NO	-	-	-
18	UNIVERSIDAD DE PAMPLONA	PAMPLONA	NORTE DE SANTANDER	SI	DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR I Y II, técnicas de representación IV	DISEÑO PARAMÉTRICO Y FABRICACIÓN DIGITAL	ACADÉMICO / Investigativo
19	UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO	BARRANQUILLA	ATLÁNTICO	NO	-	-	-
20	UNIVERSIDAD DEL NORTE	BARRANQUILLA	ATLÁNTICO	NO	-	-	-
21	UNIVERSIDAD DEL SINU "ELIAS BECHARA SAINUM"	MONTERÍA	CÓRDOBA	NO	-	-	-
22	UNIVERSIDAD DEL VALLE	CALI	VALLE DEL CAUCA	SI	CAD I / LABORATORIO TALLER DE FABRICACIÓN DIGITAL.	Construcción de prototipos y modelos a escala de tipo experimental	Académico: Exploratorio - Investigativo
23	FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN	POPAYÁN	CAUCA	NO	-	-	-
24	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	CÚCUTA	NORTE DE SANTANDER	SI	TALLER VERTICAL: ARQUITECTURA DE LA INFORMACIÓN Y ELECTIVA: FABLAB	Diseño paramétrico y fabricación digital	Académico: Exploratorio - Investigativo
25	UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
26	UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO	CARTAGENA	BOLIVAR	NO	-	-	-
27	UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	NO	-	-	-
28	UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA	ARMENIA	QUINDIO	NO	-	-	-
29	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	SI	MODELOS	Diseño digital con fabricación	Académico
30	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	MEDELLÍN	ANTIOQUIA	SI	Diseño Paramétrico y fabricación digital (electiva)	Diseño Paramétrico	Académico: Exploratorio - Investigativo
31	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	MANIZALES	CALDAS	NO	-	-	-
32	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	SI	TECNOLOGÍAS EXPRESIVAS	Diseño paramétrico y fabricación digital	Investigativo, de proyección social y docencia
33	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA	MEDELLÍN	ANTIOQUIA	SI	Representación Digital 2 /FabLab	Rhinoceros/Fabricación Digital	Académico/Investigativo
34	UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA	MONTERÍA	CÓRDOBA	NO	-	-	-
35	UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA	CALI	VALLE DEL CAUCA	NO	-	-	-
36	UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	BUCARAMANGA	SANTANDER	NO	-	-	-
37	UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	TUNJA	BOYACÁ	NO	-	-	-
38	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CHOCHÓ	QUIBDO	CHOCÓ	NO	-	-	-

Fuente: Autoría propia.