

# LA FABRICACIÓN ADITIVA

SU RELACIÓN CON  
EL PENSAMIENTO ESPACIAL Y  
EL PENSAMIENTO TÉCNICO  
PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTO

MAYO  
2019



INDUSTRIAS 3D

MATERIALIZANDO TUS IDEAS

**La fabricación aditiva y su relación con  
el Pensamiento Espacial y el Pensamiento Técnico  
para el Desarrollo de Producto.**

Sergio Alejandro Mahecha Rodríguez.

Director: Fernando Alberto Álvarez Romero

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
Facultad de Artes y Diseño  
Maestría en Diseño de Producto

Junio 2019.

Copyright © 2019 por Sergio Alejandro Mahecha Rodríguez. Todos los derechos reservados.

## **Dedicatoria**

Al esfuerzo de mis padres, al esfuerzo de la sociedad.

# Agradecimientos

En primer lugar, a mi madre Nasly Mercedes Rodríguez, por su tiempo y a mi padre José Isafás Mahecha por su constancia.

A mis maestros, Fernando, Alberto, Leonardo, Andrea, Sergio, mis sinceros agradecimientos y mi profundo respeto a su guianza.

## Abstract

Con el propósito de la apropiación tecnológica y asumir los retos de un mercado abierto y globalizado, donde el conocimiento y la innovación se convierten en los ejes de la competitividad y la creación de valor, en el cual el Diseño Industrial tiene la responsabilidad de desarrollar objetos que se ajusten a las necesidades para el beneficio de la calidad de vida de los individuos a través de bienes o servicios. Se plantea esta investigación teniendo en cuenta que una de las múltiples líneas de innovación y desarrollo es la digitalización de la fabricación o lo que se determinó como manufactura aditiva, fabricación aditiva o también llamada impresión 3D, la cual fabrica objetos tridimensionales a partir de modelos digitales.

La investigación se enmarca en un nivel perceptivo, etapa que permitirá explorar, reconocer y esbozar algunas relaciones entre la fabricación aditiva el pensamiento espacial y pensamiento técnico; La investigación se centró en 3 elementos: las habilidades espaciales, las Herramientas de representación del Espacio y tercero el conocimiento de la técnica para la transformación de la materia prima en productos terminados con valor agregado. Para su exploración, se diseñaron 3 Instrumentos que permitieron la recopilación de 75 muestreados (1875 datos) pertenecientes a una “muestra no probabilística” escogida “por conveniencia” a la población de 231 estudiantes quienes cursan actualmente los proyectos de Diseño 4,5,6 y 7 en el programa de Diseño Industrial de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Los resultados obtenidos en la prueba psicométrica reflejan un alto desarrollo de la **habilidad espacial** (93% por encima de 21/30 aciertos) elemento vital ya que la fabricación aditiva opera bajo

los principios cartesianos y euclídeos. ; El segundo instrumento nos permite comprender que el uso y aplicación de **herramientas de representación del espacio**, específicamente el sistema tridimensional para la fabricación digital aditiva no está adecuadamente comprendido y aplicado (89% no respondió acertadamente) tercero, los resultados del instrumento 3 reflejan una predisposición hacia dispositivos **técnicos** de fabricación tradicional, generando que los desarrollos objetuales se vean limitados a estos y las posibilidades objetuales de la fabricación digital aditiva por extrusión sea subutilizada.

Por lo tanto, la fabricación aditiva en primer lugar requiere de un desarrollo de las habilidades espaciales significativas junto a las herramientas de representación del espacio entre otros, para diseñar o modelar las soluciones objetuales en un espacio tridimensional, haciendo evidente la necesidad de un determinado **pensamiento del espacio**. En segundo lugar, requiere como otras técnicas de un conocimiento básico para su operación (materiales, herramientas y procesos) para la transformación de las materias prima en productos terminados con valor agregado, haciendo evidente el desarrollo de un **pensamiento técnico** coherente con los principios operacionales. Se evidencia una falta de apropiación de estos dos elementos en la muestra.

## Tabla de Contenido

GLOSARIO .....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
1.    CAPÍTULO 1 .....	5
1.1  ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	5
1.1.1 Propósito del proyecto.....	5
1.1.2 Antecedentes .....	5
1.1.3 Estado actual del mercado de productos.....	7
1.1.4 Planteamiento y justificación del problema.....	9
1.1.5 Pregunta de investigación.....	13
1.1.6 Objetivos .....	14
1.1.6.1 Objetivo general .....	14
1.1.6.2 Objetivos específicos .....	14
1.1.7 Conjeturas .....	15
1.1.8 límites y alcances del proyecto.....	16
2.    CAPÍTULO 2 .....	19
BIBLIOMETRÍA .....	19
2.1  ¿IMPRESIÓN 3D, MANUFACTURA ADITIVA O FABRICACION ADITIVA?	
2.1.1 El concepto .....	20
2.1.2 Antecedentes .....	25
2.1.3 La manufactura digital directa (DDM) .....	30
2.1.3.1 Técnicas de fabricación digital aditiva .....	31
2.1.4. Manufactura aditiva, la industria y el producto .....	33
2.1.5 Los 10 principios de la fabricación aditiva .....	38
2.2 PENSAMIENTO ESPACIAL Y PENSAMIENTO TECNICO .....	44



PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS.....	44
2.2.1 Pensamiento espacial .....	44
2.2.1.1 Los componentes de la habilidad espacial.....	47
2.2.1.2 Herramientas para la valoración psicométrica de la habilidad espacial.....	50
2.2.1.3 Pensar el espacio y diseño de producto.....	53
2.2.2 Pensamiento técnico .....	55
2.2.2.1 Pensar la técnica y el diseño de producto.....	57
2.2.2.2. Principio operacional .....	59
2.3 DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES Y EL DISEÑO DE PRODUCTO.....	64
<b>3.    CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>69</b>
3.1 METODOLOGÍA .....	69
3.1.1 Etapas del proyecto .....	69
3.1.2 Herramientas metodológicas .....	70
3.1.3 Población y Muestra .....	71
3.1.4. Instrumentos .....	72
3.1.4.1 INSTRUMENTO 1.....	74
3.1.4.2 INSTRUMENTO 2.....	76
3.1.4.3 INSTRUMENTO 3.....	78
3.2 PROCEDIMIENTO.....	81
<b>4.    CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>85</b>
4.1 RESULTADOS.....	85
4.1.1. Estadística descriptiva.....	85
4.2 DISCUSION .....	95
4.3 CONCLUSIONES .....	97
<b>5.    CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>103</b>
5.1 PROPUESTA.....	103
5.1.5 LÍMITES Y ALCANCES .....	110

BIBLIOGRAFIA..... 113

    PATENTES..... 119

ANEXO A ..... 121

ANEXO B ..... 122

ANEXO C ..... 123

ANEXO C ..... 124

ANEXO D ..... 125

## Lista de tablas

TABLA 1 - BARNATT, C. (2013). 3D PRINTING: THE NEXT INDUSTRIAL REVOLUTION.	6
TABLA 2 – DISTRIBUCIÓN POR PAÍSES – ELABORACIÓN PROPIA	19
TABLA 3 – DISTRIBUCIÓN POR AÑOS – ELABORACIÓN PROPIA	20
TABLA 4 - CLASIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA HABILIDAD ESPACIAL.	50
TABLA 5 - TEST SELECCIONADOS POR KELLY ORDENADOS POR PREFERENCIA DE LOS INVESTIGADORES	52
TABLA 6 - DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	72
TABLA 7 – CONCEPTO A EVALUAR	79
TABLA 8 – NIVELES DE DOMINIO PARA FABRICACIÓN TRADICIONAL	80
TABLA 9 – NIVELES DE DOMINIO PARA FABRICACIÓN ADITIVA	80
TABLA 10 - CUADRO APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS EN LOS GRUPOS	81
TABLA 11– DISTRIBUCIÓN POR NIVELES DE ACIERTOS EN LOS ELEMENTOS TÉCNICOS PARA FABRICACIÓN TRADICIONAL Y FABRICACIÓN ADITIVA.	92

## Lista de figuras

FIG. 1 DIAGRAMA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	10
FIG. 2 – CONFIGURACIÓN FORMAL ALFARERÍA TRADICIONAL	
FIG. 3 – CONFIGURACIÓN FORMAL FABRICACIÓN ADITIVA	11
FIG. 4- DIAGRAMA DE ILUSTRACIÓN FDM (FUSED DEPOSITION MOLDING). ALL3DP.COM	22
FIG. 5 CHASIS DE MOTOCICLETA, AIRBUS 3DPRINT POPULARMECHANICS.COM	24
FIG. 6 CHASIS DE MOTOCICLETA COMÚN INDYPROSERIES.COM	24
FIG. 7- PATENTE PARA FABRICAR UN MAPA EN RELIEVE 3D CON EL MÉTODO POR CAPAS 1892 / PATENTE TÉCNICA FOTO ESCULTURA 1904	25
FIG. 8 - DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA TECNOLOGÍA	36
FIG 9 - ZYYX VASE. DISEÑADOR POR ZYYX3DPRINTER	
FIG 10- TWISTED VASE DISEÑADO POR IMMersed N3D	43
FIG 11 - WOMAN BODY DISEÑADO POR KIMMERKESDAL	
FIG 12 - PINK PHANTER WOMAN DISEÑADO POR ROMAN_HEGGLIN	43
FIG. 13- DIAGRAMA DE LA “FABRICACIÓN DIGITAL ADITIVA POR EXTRUSIÓN (FDM)	60
FIG. 14 SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS FIG. 15 MÁQUINA DE FABRICACIÓN ADITIVA POR EXTRUSIÓN	61
FIG. 16 Y FIG. 17 SOFTWARE SIMPLIFY 3D Y SOFTWARE INVENTOR HACIENDO USO DE LAS HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN	62
FIG. 18 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA CONCEPTO ADICIÓN POR CAPAS	64
FIG. 19 - DIAGRAMA DE VARIABLES Y ELEMENTOS QUE LAS COMPONEN – ELABORACIÓN PROPIA. ANEXOS	67
FIG. 20 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA INSTRUMENTOS APLICADOS	73
FIG. 21 - EJEMPLO DE PREGUNTA DEL TEST DAT-5	
FIG. 22 - HOJA DE RESPUESTAS	74
FIG. 23 – DISTRIBUCIÓN RESPUESTAS TEST PSICOMÉTRICO	76
FIG. 24 - PLANO CARTESIANO	
FIG. 25 - ESPACIO EUCLÍDEO	77
FIG. 26 - PRUEBA ELEMENTOS DEL ESPACIO	77
FIG. 27 - ELEMENTOS TÉCNICOS PREGUNTA 1	
FIG. 28 - ELEMENTOS TÉCNICOS PREGUNTA 2	79
FIG. 29 – CANTIDAD DE RESPUESTAS ACERTADAS	86
FIG. 30- REGRESIÓN LINEAL, NO HAY RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO Y LA EDAD	88
FIG. 31 – PROMEDIO DE RESPUESTAS ACERTADAS POR GENERO	89

FIG. 32 – PORCENTAJE DE ACIERTOS EN EL USO DE LAS HERRAMIENTAS DE REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO PARA FABRICACIÓN DIGITAL ADITIVA (SISTEMA TRIDIMENSIONAL)	90
FIG. 33 SISTEMA TRIDIMENSIONAL EN REPRESENTACIÓN BIDIMENSIONAL (IZQUIERDA) Y FIG. 34 SISTEMA TRIDIMENSIONAL EN REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL (DERECHA)	90
FIG. 35 – DISTRIBUCIÓN POR NIVELES DE ACIERTOS PREGUNTA 1 – ELEMENTOS TÉCNICOS	93
FIG. 36 – DISTRIBUCIÓN POR NIVELES DE ACIERTOS PREGUNTA 2 – ELEMENTOS TÉCNICOS	94
FIG. 37 – RELACIÓN ENTRE SISTEMA TRIDIMENSIONAL Y PLANOS DE VISTA ***MEJORAR IMAGEN***	95
FIG. 38 MANGA PASTELERA. REPOSTERÍA.	104
FIG. 39- CLASIFICACIÓN PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL- CREACIÓN PROPIA	111

## GLOSARIO

A continuación, se presenta un breve listado de conceptos clave.

**Additive Manufacturing:** “Tecnología capaz de trasladar un modelo sólido y virtual en modelos físicos en un rápido y sencillo proceso” -Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014).

**Fabricación Digital Aditiva o Fabricación Aditiva:** Interpretación del concepto “additive manufacturing” al Castellano. -se amplía pág. 18.

**Herramientas:** Elementos especializados que intervienen en la transformación de la materia prima en productos con valor agregado.

**Impresión 3D:** Término frecuentemente utilizado en mercadeo y publicidad para referirse a la tecnología de la fabricación digital aditiva.

**Maquina:** Materialización o instrumentalización del conocimiento (técnica y tecnología) en un objeto para la consecución de un objetivo un fin, impulsado con energía distinta a la humana.

**Materiales:** Materia prima para la elaboración de productos terminados con valor agregado.

**Modelo de Comprobación:** Método que incluye una serie de pruebas coherentes y estructuradas para la verificación y control de determinados aspectos relevantes en el desarrollo de producto.

**Modelo estético:** Representación formal para la comprobación de elementos formal-estético en relación con la percepción de la solución objetual propuesta.

**Modelo funcional:** Representación formal para la comprobación de elementos físicos y mecánicos en relación con la biometría de la solución objetual propuesta.

**Pre-Serie:** Etapa del modelo de comprobación en el cual se fabrican series cortas para verificar distintos elementos relevantes en la producción como los acabados y la viabilidad.

**Procesos:** Integración de materiales y herramientas en una serie de etapas coherentes y dirigidas para la elaboración de productos con valor agregado.

**Producto:** Materialización de una solución propuesta en el desarrollo de un proyecto.

**Prototipo:** Representación formal de una solución objetual propuesta teniendo en cuenta consideraciones sobre su fabricación para distribución comercial.

**Técnica:** Conjunto de procedimientos operativos útiles desde el punto de vista práctico para la consecución de fines particulares y constituyen un saber cómo, sin implicar necesariamente un saber porqué” (Agazzi 1996)

**Tecnología:** Es un conjunto de conocimientos sistemáticos con base científica para el desarrollo de la calidad de vida de los seres humanos. (Quintanilla, M. Á. (1998)

## INTRODUCCIÓN

Con el propósito de la apropiación tecnológica y asumir los retos de un mercado abierto y globalizado, donde el conocimiento y la innovación se convierten en los ejes de la competitividad y la creación de valor, en el cual el Diseño Industrial tiene la responsabilidad de desarrollar objetos que se ajusten a las necesidades para el beneficio de la calidad de vida de los individuos a través de bienes o servicios. Se plantea esta investigación teniendo en cuenta que una de las múltiples líneas de innovación y desarrollo es la digitalización de la fabricación o lo que se determinó como manufactura aditiva, fabricación aditiva o también llamada impresión 3D, la cual fabrica objetos tridimensionales a partir de modelos digitales.

La investigación se enmarca en un nivel perceptivo, etapa que permitirá explorar, reconocer y esbozar algunas relaciones entre la fabricación aditiva el pensamiento espacial y pensamiento técnico; La investigación se centró en 3 elementos: las habilidades espaciales, las Herramientas de representación del Espacio y tercero el conocimiento de la técnica para la transformación de la materia prima en productos terminados con valor agregado. Para su exploración, se diseñaron 3 Instrumentos que permitieron la recopilación de 75 muestreados (1875 datos) pertenecientes a una “muestra no probabilística” escogida “por conveniencia” a la población de 231 estudiantes quienes cursan actualmente los proyectos de Diseño 4,5,6 y 7 en el programa de Diseño Industrial de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.



# CAPÍTULO 1

Estructura del Proyecto

El presente capítulo describe la oportunidad de investigación, así como los motivadores para su elaboración.

Se presenta el estado actual del mercado de productos para la Impresión 3D, a partir de este se plantea la problemática en relación a la integración del avance tecnológico al desarrollo de productos.

Permitiéndonos plantear la pregunta

**¿Cuál es el pensamiento espacial y pensamiento técnico relacionado con la fabricación digital aditiva por extrusión para el diseño y desarrollo de Producto?**

1.	CAPÍTULO 1	5
1.1	ESTRUCTURA DEL PROYECTO	5
1.1.1	PROPÓSITO DEL PROYECTO	5
1.1.2	ANTECEDENTES	5
1.1.3	ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE PRODUCTOS	7
1.1.4	PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.1.5	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1.6	OBJETIVOS	14
1.1.6.1	OBJETIVO GENERAL	14
1.1.6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.1.7	CONJETURAS	15
1.1.8	LÍMITES Y ALCANCES DEL PROYECTO	16



# 1. CAPÍTULO 1

## 1.1 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

### 1.1.1 PROPÓSITO DEL PROYECTO

El proyecto de investigación pretende comprender la relación entre la fabricación digital por extrusión<sup>1</sup>, el pensamiento espacial y pensamiento técnico implicados en el desarrollo de producto.

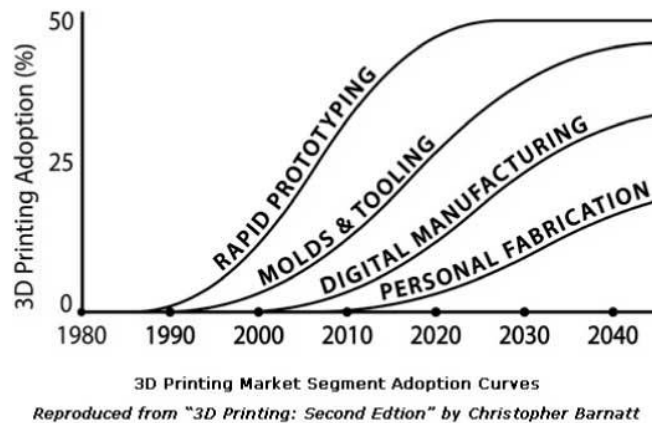
### 1.1.2 ANTECEDENTES

La fabricación aditiva de productos nos propone retos, factores y elementos a tener en consideración en el diseño y desarrollo de producto para establecer su viabilidad productiva y de mercado, se ha desarrollado estos últimos 30 años en factores técnicos como la precisión, el acabado de superficies, la calidad, las velocidades de desplazamiento, materiales y posibilidades volumétricas entre otros, así como también en factores tecnológicos como su integración a sistemas productivos, ciclos de vida, modelos de negocio o modelos de distribución entre otros.

Estos avances han ocasionado que la manufactura aditiva (impresión 3D) sea integrada ampliamente en diversas industrias beneficiando la novedad y la innovación en las organizaciones.

---

<sup>1</sup> Fabricación digital por extrusión hace referencia a una de las técnicas de la Fabricación Aditiva para la producción digital de productos. Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014).



**Tabla 1** - Barnatt, C. (2013). 3D printing: the next industrial revolution.

Christopher Barnatt en su libro “*the next industrial revolution*” realiza una gráfica de tendencia sobre la adopción de la tecnología en distintos segmentos de mercados. El mercado del prototipado rápido tiene su marcador de tendencia a finales de los 80’s, esto encaja con los desarrollos y patentes presentados en la década entorno a la tecnología por ingenieros como Charles Hull (1989), alcanzando su punto de tendencia masiva a inicio de la década de 2010 encajando con las fechas de expiración de patentes y el inicio de movimientos sociales como el *RepRap*<sup>2</sup> impulsando nuevos mercados.

Las tendencias son reconocidas como oportunidades de creación o innovación en el diseño y desarrollo de productos y la manufactura aditiva nos permite configuraciones formales y valor agregado significativamente distintos a los actuales, la “fabricación digital y la fabricación personal”

<sup>2</sup> Movimiento originado en Chicago en 2008, luego de el termino de las patentes en la técnica de fabricación digital por Extrusión. El movimiento pretendía fabricar impresoras 3D a partir del conocimiento de miles de personas en distintos países (código abierto), en 2012 Bree Petis monopolizo el conocimiento libre y fundo Makerbot.

estarán en su etapa “*trendy*” para el 2020 ofreciéndonos una oportunidad de diseño relevante en mercados competitivos, en otros términos, la técnica nos ha develado una lógica distinta de fabricación y es nuestro propósito como diseñadores develar el conocimiento tecnológico que nos permitirá hacer uso racional, controlado y eficiente de la máquina para el desarrollo de producto.

### 1.1.3 ESTADO ACTUAL DEL MERCADO DE PRODUCTOS

De acuerdo con los pronósticos en las investigaciones de mercado entorno a la fabricación aditiva realizadas por la *IDC Corporate Usa*<sup>3</sup>, los ingresos globales en este segmento de mercado alcanzaran los US\$22 Billones para el año 2022 así mismo. El porcentaje de crecimiento general del mercado desde el 2015 hasta el 2020 se prevé en un 24.4%

Según la *IDC Corporate Usa* las aplicaciones dentales tienen un fuerte segmento para el 2016, la salud ocupó el segundo lugar en ingresos del mercado para las proyecciones de los años 2015-2020, sin embargo, el sector con el mayor crecimiento en ingresos es el de *retail*, que se espera suba en cuarta posición para el 2020 por otro lado solo en 2016 el diseño automovilístico invirtió US\$4 Billones en la producción de prototipos, herramientas y partes de bajo volumen.

“El mercado de las impresoras 3D, materiales y servicios madura, la IDC Corporate Usa, proyecta nuevas capacidades en la impresión 3D que permitan la siguiente ola de consumidores en innovación en producción personalizada, diseño de producto, y generalidades de la vida cotidiana” – Explica el

---

<sup>3</sup> “IDC” Corporate Usa es una firma de análisis de mercados globales, proveedor de inteligencia de mercados, servicios de publicidad y eventos de tecnología, telecomunicaciones y mercados de consumo tecnológico. Página web [www.idc.com/about](http://www.idc.com/about)

vicepresidente de customer Insight and Analysis Christopher Chute. *IDC FutureScape: Worldwide 3D Printing 2018 Predictions*

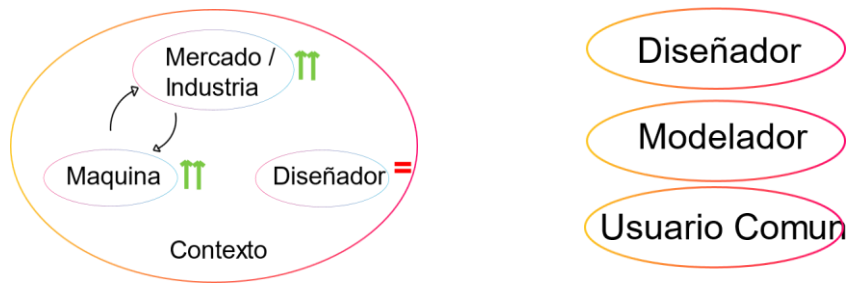
El único mercado que no está pronosticado a seguir creciendo es el sector de los consumidores de impresión 3D de escritorio. La *IDC Corporate Usa* cree que este mercado ya ha madurado, y no se proyectan crecimientos significativos más allá de los niveles actuales.

#### 1.1.4 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La fabricación digital aditiva ha tomado impulso en diversas áreas como la configuración de la forma para el diseño de producto, permitiendo desarrollar novedades e innovaciones en diversas industrias. Las técnicas de fabricación aditiva liberan a los diseñadores de producto de restricciones y limitantes tradicionales de producción, debido principalmente a que operan de manera distinta, en términos de Foucault obedecen a una configuración distinta del dispositivo técnico de fabricación.

Deleuze (1990) analizando a Foucault, define el concepto de dispositivo como un “Conjunto multilíneal”, una agrupación de elementos y componentes de la más variada índole que pueden o no determinar nuestras acciones y comportamientos “Pertenece a ciertos dispositivos y obramos en ellos” (Deleuze 1990 pág. 8).

Los dispositivos tradicionales de producción condicionan nuestro pensamiento espacial y pensamiento técnico debido, entre otras cosas, a que el pensamiento espacial está sujeto a la **comprensión del espacio** a través de las herramientas de representación y a los sólidos tridimensionales (platónicos, arquimedianos, keplerianos), así como el pensamiento técnico desconoce los elementos de la técnica para la fabricación digital aditiva, ocasionando que la capacidad de generación de formas no tradicionales sea subutilizada, por consiguiente, la capacidad creativa en el proceso de diseño se vea limitada a los dispositivos tradicionales de producción supeditando las posibilidades técnicas y tecnológicas exclusivamente al prototipado y modelos de comprobación.



**Fig. 1** diagrama Fuente: Elaboración propia

En el diagrama anterior (fig. 1), la máquina, el mercado y la industria se han beneficiado de los avances logrados, pero estos avances no se ven reflejados al mismo nivel en otros entornos como el desarrollo cognitivo en términos del pensamiento de diseñadores, dicho de otra manera, hacen uso del pensamiento espacial y pensamiento técnico desarrollados para procesos de manufactura tradicional (manufactura sustractiva, manufactura moldeativa, manufactura formativa) como para la fabricación aditiva (manufactura aditiva *Minshall T. 2016*), esta mezcla de distintos dispositivos de fabricación tradicional y el dispositivo de fabricación aditiva evidencian una falta de apropiación de la misma.

“La utilización efectiva de los procesos de Manufactura aditiva requiere no solo del conocimiento de los beneficios y limitaciones de la técnica, sino también los requerimientos en operaciones necesarias para finalizar la parte en uso” (Gibson et al 2014 Cap. 17)

Como resultado de esa falta de apropiación descrita por Gibson et al (2014) la configuración formal de los resultados objetuales es similar y hasta idénticos a los resultados que ya otros procesos fabrican bien (fig. 2 y fig. 3), es común, por ejemplo, que a través de la fabricación digital por

extrusión se diseñe y fabrique una familia de objetos contenedores con la misma configuración formal que permite la técnica en otros procesos como la alfarería tradicional (fig. 2).

Existen diseñadores que modelan digitalmente sus creaciones (diseñadores sin dominio de las técnicas de fabricación digital) quienes no tienen en cuenta factores como tolerancias, holguras, porcentaje de deformación del material, temperaturas, velocidades, desplazamientos entre otros elementos que componen la técnica, lo que en última instancia genera, una vez materializada la creación, que elementos como articulaciones, encajes y sujeciones no cumplan con su cometido, deshabilitando completamente la función del objeto fabricado. Esto ha sido caso de seguimiento a través de decenas de observaciones personales en la academia, la industria y el mercado.



*Fig. 2 – Configuración formal fabricación tradicional    Fig. 3 – Configuración formal Fabricación aditiva*

De esta manera se identifica la necesidad de explorar modificaciones en el pensamiento espacial y técnico para el desarrollo de producto enfocados hacia la fabricación digital aditiva, de tal manera que se evidencie un control y definición morfológica por parte de Diseñadores profesionales superior a los usuarios comunes (fig.1) o “Pseudo-Diseñadores” como los define Villar, B. I. V. (2017) en su tesis doctoral, los cuales están compuestos por aquel conjunto de personas que accede fácilmente a las tecnologías productivas digitales con capacidad de fabricar productos sin



conocimientos previos, puesto de manera precisa, **el profesional en Diseño Industrial debe dominar elementos espaciales y técnicos para la fabricación digital por encima de usuarios sin preparación previa que accede y adquiere una máquina de fabricación aditiva.**

Las técnicas de fabricación entonces, constituirían un dispositivo que posibilita y al mismo tiempo limita determinadas actividades en el proceso de desarrollo de producto, por ejemplo, las técnicas de moldeo por inyección, en la cual el conocimiento de la técnica como el material, los procesos y las máquinas definen algunos elementos del dispositivo, permiten que la producción sea en grandes volúmenes a bajos costos, pero ofrece limitantes como ángulos de desmoldeo y cero ángulos rectos entre otros, esto ocasiona por consiguiente que los diseños y desarrollos de producto se estructuren entorno a las **posibilidades del dispositivo.**

**¿Será entonces posible desligarnos de esos dispositivos de producción tradicionales (sustractivos, formativos y moldeativos) y hacer uso de un dispositivo distinto, un pensamiento espacial y técnico distintos para estimular el diseño y desarrollo de productos?**

La fabricación aditiva, entendida como dispositivo, a través de un enfoque instrumental, y en términos de Deleuze (1990) y García (2006), podría comprenderse como conjunto de elementos técnicos (Materiales, procesos, herramientas) que posibilitan la transformación de la materia prima en productos con configuraciones formales y valor agregado **distintos a los tradicionales**, configurando así un dispositivo para el diseño y desarrollo de productos que responda a herramientas, técnicas y tecnologías y sobre todo a problemas del siglo XXI.

### 1.1.5 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el pensamiento espacial y pensamiento técnico relacionado con la fabricación digital aditiva por extrusión para el desarrollo de Producto?

#### *Algunas preguntas orientadoras del proceso*

- ¿Qué conocimientos, habilidades, destrezas y pensamiento debe tener un profesional en Diseño para la innovación a través de la Fabricación Aditiva?
- ¿Cómo potenciar el Diseño y Desarrollo de productos a través de la fabricación aditiva?
- ¿Cómo los procesos tecnológicos de fabricación industriales de vanguardia están modificando el del Diseño de Producto?
- ¿Cuál y cómo será el modelo de pensamiento requerido para la Fabricación Aditiva?
- ¿Cómo sería el proceso óptimo de pensamiento para el desarrollo de productos con Fabricación Aditiva?
- ¿Como el desarrollo tecnológico de la Fabricación Aditiva permeara toda una nueva generación de productos desde el área del conocimiento del Diseño?
- ¿Qué elementos del pensamiento de Diseño son factores cruciales en la creación para la generación de productos a través de la fabricación aditiva?
- ¿Cómo el desarrollo tecnológico de la manufactura aditiva permeará toda una nueva generación de productos desde el área del conocimiento del Diseño Industrial para la innovación?

## 1.1.6 OBJETIVOS

### 1.1.6.1 OBJETIVO GENERAL

- Explorar la fabricación digital aditiva por extrusión y su relación con el pensamiento espacial y pensamiento técnico.

### 1.1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer los cambios implicados en el pensamiento espacial y pensamiento técnico en consideración a las características de la fabricación digital aditiva por extrusión.
- Caracterizar algunos de los principios operacionales de la fabricación digital aditiva por extrusión.
- Explorar a través de un caso de estudio el pensamiento espacial y pensamiento técnico descritos.

### 1.1.7 CONJETURAS

La siguiente serie de conjeturas, permitieron proponer y guiar el inicio y desarrollo de la investigación:

- La fabricación aditiva requiere de un modelo de pensamiento distinto al tradicional
- Estamos ligados a un dispositivo de fabricación tradicional y por consiguiente debemos identificar el dispositivo de fabricación adecuado a la fabricación digital
- Solo el dominio de los elementos técnicos me permite ser más creativo
- Es la integración de nuevas geometrías la que nos permite ser más creativo
- Es la relación entre un dominio de la técnica y un dominio de la configuración formal lo que me permite ser más creativo

### 1.1.8 LÍMITES Y ALCANCES DEL PROYECTO

La presente investigación se enmarca en la fabricación digital aditiva por extrusión, conocida ampliamente como *Fused Deposition Molding (FDM)* en ningún caso se analizarán bajo otras técnicas de fabricación como la ink jet printing o la fotopolimerización o bajo otras técnicas de fabricación de productos como inyección de plástico o fundido.

Específicamente se tratará el pensamiento espacial, objetivamente la herramienta de representación tridimensional (sistema tridimensional o espacio euclideo), componente vital de los elementos del espacio, y exclusivamente se mencionarán otros elementos del espacio, como las relaciones o funciones espaciales para comprender su totalidad, si bien existen otros procesos de pensamiento integrados al procesos de Diseño, como el pensamiento geométrico o pensamiento analítico, estos no se trataran en la presente.

Específicamente se tratara la técnica a través de un enfoque instrumental entorno a los materiales, herramientas y procesos para la transformación de la materia en productos terminados, si bien existe una profundidad considerable en estos elementos, únicamente se trataran para dar fundamento a las conjeturas planteadas (¿Sera a causa del bajo conocimiento técnico que se generan configuraciones formales tradicionales?), por lo que en ningún momento se trataran temas como la operatividad de la máquina, las secuencias de uso o elementos técnico-operativos.

Debido a la naturaleza explotaría de la investigación no se pretende realizar análisis probabilísticos que representen una población o universo, así mismo tampoco se pretende dar

respuesta o solución a la problemática planteada, si no al contrario, a partir de una extensa exploración, en marcar diversas líneas investigativas con el fin de alcanzar en el futuro niveles de complejidad mayores.

# CAPÍTULO 2

Revisión bibliográfica

Este capítulo presenta el análisis de artículos, revistas, trabajos de grado, investigaciones y tesis doctorales en relación con los antecedentes, la definición, el estado actual de las técnicas en Impresión 3D y su relación con el diseño de producto, así como también, los componentes, la definición, y las herramientas de evaluación tradicionales tanto para el pensamiento espacial como para el pensamiento técnico.

Al final del capítulo se presentan los **principios operacionales** identificados en relación con el segundo objetivo específico propuesto.

BIBLIOMETRÍA	19
2.1 ¿IMPRESIÓN 3D, MANUFACTURA ADITIVA O FABRICACION ADITIVA?	20
2.1.1 EL CONCEPTO	20
2.1.2 ANTECEDENTES	24
2.1.3 LA MANUFACTURA DIGITAL DIRECTA (DDM)	30
2.1.3.1 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DIGITAL ADITIVA	30
2.1.4. MANUFACTURA ADITIVA, LA INDUSTRIA Y EL PRODUCTO	33
2.1.5 LOS 10 PRINCIPIOS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA	38
2.2 PENSAMIENTO ESPACIAL Y PENSAMIENTO TECNICO	44
PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS	44
2.2.1 PENSAMIENTO ESPACIAL	44
2.2.1.1 LOS COMPONENTES DE LA HABILIDAD ESPACIAL	47
2.2.1.2 HERRAMIENTAS PARA LA VALORACIÓN PSICOMÉTRICA DE LA HABILIDAD ESPACIAL	50
2.2.1.3 PENSAR EL ESPACIO Y DISEÑO DE PRODUCTO	53
2.2.2 PENSAMIENTO TÉCNICO	55
2.2.2.1 PENSAR LA TÉCNICA Y EL DISEÑO DE PRODUCTO	57
2.2.2.2. PRINCIPIO OPERACIONAL	59
2.3 DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES Y EL DISEÑO DE PRODUCTO	64



## 2. CAPÍTULO 2

### BIBLIOMETRÍA

A continuación, se presentará el marco teórico construido a partir la revisión bibliográfica para la cual se han tenido en cuenta las siguientes bases de datos:

- Scielo
- Google Académico
- ResearchGate
- Jstor
- Redalyc
- Dialnet
- SemanticSchoolar

Durante el transcurso de la revisión bibliográfica, se estableció un conjunto de países altamente propositivos en investigación científica relacionados con los temas de investigación (tabla 2)

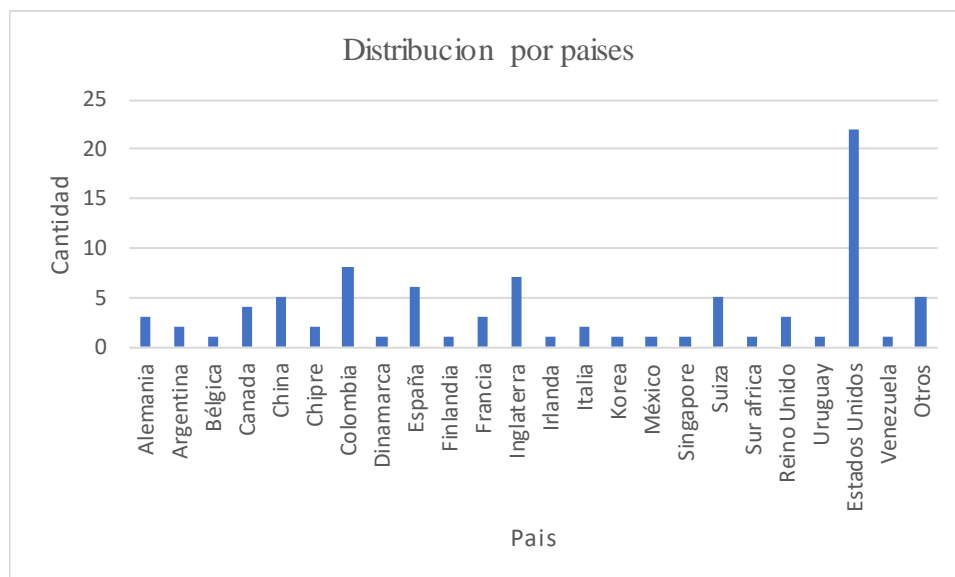
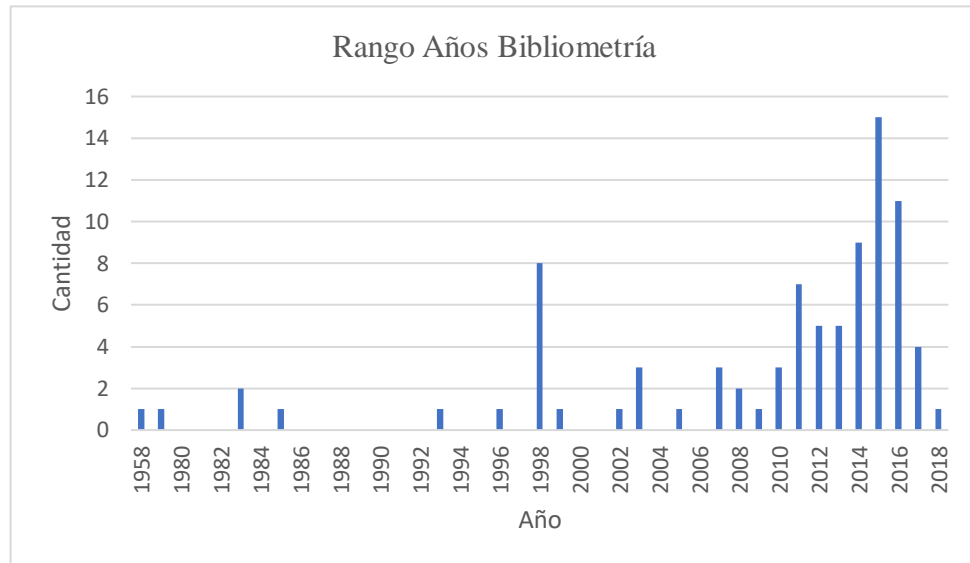


Tabla 2 – Distribución por países – elaboración propia



Se realizó además un análisis bibliográfico por fechas de publicación (tabla 3), dando privilegio a las publicaciones de fechas más recientes, debido principalmente a que el desarrollo en investigación científica en el área avanza rápidamente y es de vital importancia para la investigación tener presente las últimas publicaciones:



*Tabla 3 – Distribución por Años – Elaboración propia*

## 2.1 ¿IMPRESIÓN 3D, MANUFACTURA ADITIVA O FABRICACION ADITIVA?

### 2.1.1 EL CONCEPTO

La Impresión 3D no es una tecnología reciente, y su nombre obedece a razones de mercado más que a razones teóricas. La impresión 3D ha tomado impulso rápidamente desde mediados de la década de los 80's, pero ha sido solo hasta los últimos años que ha experimentado un auge

significativo debido principalmente al avance en el poder computacional, desarrollos de software, nuevos materiales y el internet Lipson, H., & Kurman, M. (2013).

La tecnología descrita en este texto fue originalmente referida como prototipado rápido. El termino *Rapid Prototyping (RP)* es usado en diversas industrias para describir un proceso de fabricación para la creación rápida de un sistema o una representación objetual, antes de la comercialización y el lanzamiento final (Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014). El concepto general radica en fabricar rápidamente y su resultado será un prototipo o un modelo base del cual se desarrollarán futuros modelos y el producto final. En el entorno del desarrollo de producto, el termino (*PR*) también fue ampliamente usado para describir las tecnologías que fabricaban objetos físicos directamente desde información digital (Lipson, H., & Kurman, M. 2013).

Manufactura aditiva (*AM*) por sus siglas en inglés, es definida y como se entenderá en esta investigación, como un grupo de técnicas que son capaces de trasladar un modelo solido digital de información a un modelo físico en un proceso rápido y eficiente (Lipson, H., & Kurman, M. (2013); Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. 2014; Ford, S. J., Mortara, L., & Minshall, T. H. 2015). “Aditivo” viene del latín *Additivus*<sup>4</sup> que significa agregar, adicionar, sumar, y se refiere al hecho de que uno de los principios básicos de funcionamiento es depositar o unir secuencial y sistemáticamente el material requerido hasta terminar el sólido, un objeto tridimensional fabricado por planos (fig. 4).

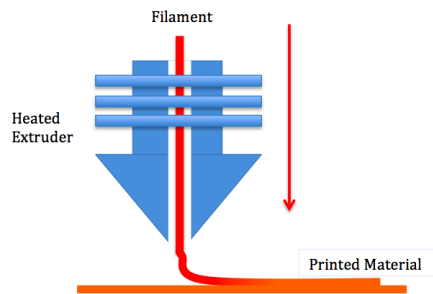
“Manufactura” viene del griego *manus*<sup>5</sup> (Mano) y *Facto* (fabricar) que se refiere al hecho de crear esas capas de acuerdo con alguna clase de proceso predecible, repetible y sistemático.

---

<sup>4</sup> Oxford dictionary of English. (2010). *Oxford Dictionary of English, (3rd ed)*. Consultado en <https://www.oxforddictionaries.com/>

<sup>5</sup> Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española (22.ªed.)*. Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>

Debido a razones etimológicas, manufactura en español suele relacionarse con producción manual y/o artesanal, por lo que como concepto suele causar confusión, en inglés, de donde proviene la palabra, manufactura se interpreta como fabricado en maquina o en industria, por lo que por razones culturales y para efectos de la presente investigación y de ahora en adelante la interpretación correcta de *additive manufacturing* será al castellano **Fabricación Digital Aditiva o Fabricación Aditiva (FA)**.



**Fig. 4-** Diagrama de ilustración FDM (Fused Deposition Molding). All3DP.com

La fabricación digital aditiva (FA) necesita de una serie de etapas para fabricar objetos desde el archivo en formato digital hasta el objeto físico resultante. Dependiendo de la complejidad los procesos pueden aumentar o reducir sus etapas en el desarrollo, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) a través de la mesa sectorial de diseño, elaboro dos normas sectoriales de competencias laborales (NSCL) en las cuales se especifican los términos, las actividades clave, así como los criterios de desempeño generales en las diferentes etapas de digitalización e impresión de modelos virtuales:

- Digitalizar dibujo de acuerdo con técnicas de modelación virtual y manuales técnicos.

Código: 220101013, dividida en dos actividades clave:

- 1. Generar Volumetría Digital
  - **1.3 La selección de planos está acorde con sistemas de referencia y parámetros de Dibujo**
- 2. Caracterizar Imagen Virtual.
- Imprimir modelo tridimensional de acuerdo con técnicas de manufactura aditiva. Código: 220101014, dividida en 3 actividades clave:
  - 1. Definir proyecto
    - **1.3 Los ajustes del archivo digital está de acuerdo con criterios técnicos y parámetros de Diseño**
  - 2. Manipulación del equipo de prototipado
  - 3. Finalizar modelo.

Estos aportes realizados por el SENA a cargo del investigador David Cañon Saavedra nos permiten establecer un marco en el cual se integran los hallazgos propuestos en la presente investigación, beneficiando y proponiendo conocimiento en el área.

“La selección de planos acorde” implica que en la actividad 1.3 se analiza la relación entre el **espacio y el objeto (*pensamiento espacial*)** verificando su orientación adecuada, así mismo, en la tarea de imprimir modelos tridimensionales, en la actividad 1.3 “los ajustes del archivo digital está de acuerdo con criterios técnicos y parámetros de Diseño” implica que en esta actividad se aseguran **las posibilidades de fabricación según las limitaciones y posibilidades de la técnica (*pensamiento técnico*)**, integrando los hallazgos

La (FA) tiene como concepto fundamental un proceso de fabricación aditivo (fig. 4) materializando plano por plano a través de un sistema computarizado diversos objetos, por lo que se han acuñado distintas definiciones dentro de las cuales cabe destacar la **Fabricación Automatizada** (AutoFab) la cual fue popularizada por Burns, M. (1993) este concepto resalta el uso de la automatización para la fabricación de productos, removiendo las etapas manuales del proceso. Una definición poco exacta ya que también entrarían diversos procesos como el corte de plasma y los *software* de ingeniería.

También se ha acuñado el concepto de **fabricación libre de forma** (Bourell, D. L., Beaman, J. J., Leu, M. C., & Rosen, D. W. 2009) este pretende resaltar la capacidad de fabricación de planos de superficie complejos, que representan una gran dificultad de fabricación para otras técnicas de fabricación industriales. A diferencia de otros procesos, a la (FA) le tomaría un consumo superior de energía, tiempo y material, así como un desgaste adicional en sus componentes el hecho de fabricar objetos con amplios volúmenes como cilindros o cubos (Fig.6), que complejas formas de bajo volumen (fig.5) (optimización y uso eficiente de las materias prima).



*Fig. 5 Chasis de motocicleta, Airbus 3DPrint  
popularmechanics.com*



*Fig. 6 Chasis de motocicleta común  
indyproseries.com*

## 2.1.2 ANTECEDENTES

Desde la perspectiva de la literatura de patentes americanas, dos raíces son identificadas claves para el desarrollo tecnológico de la fabricación digital aditiva, la tomografía y la foto escultura (Bourell, D. L., Beaman, J. J., Leu, M. C., & Rosen, D. W. 2009). En el área de la topografía para 1892 (J.E. Blather) sugirió y patentó un método por capas o planos para fabricar moldes para mapas topológicos en relieve (Fig. 7) a través del corte del contorno de láminas de resina natural para luego agruparlas y suavizarlas formando el molde negativo y positivo, en lo que hoy llamaríamos un molde por planos seriados, que luego a presión conformaba el mapa en relieve. En los años posteriores inventores patentaron avances para este y otros métodos (Perera 1937; Zang 1962; Gaskin 1971; Mitsubishi Motors 1972; DiMatteo 1974; Nakagawa 1979)

Mitsubishi Motors propuso un método por el cual se solidificaban las capas de resina a través de fotopolimerización y Nakagawa un proceso por laminación y fundición electromagnética.

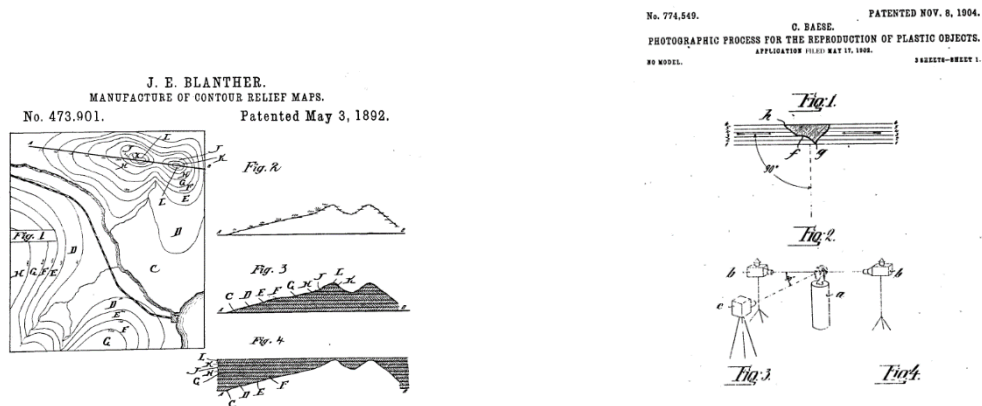


Fig. 7- Patente para fabricar un mapa en relieve 3D con el método por capas 1892 / Patente Técnica Foto escultura 1904 – tomado de las patentes originales - patents.google.com

En 1968 (W.K. Swainson) propuso y patentó un proceso para fabricar directamente un patrón de plástico a través de la selección y polimerización tridimensional de un polímero fotosensible en la intersección de dos rayos láser, lo que posteriormente y con el desarrollo de Hideo Kodama y Chuck Hull (Kodama 1981, Hull 1986) terminaría conociéndose en el mercado como Impresoras 3D de resina líquida o VAT.

Para 1989 (Richard Helinski) patenta su proceso por deposición de partículas, para luego ese mismo año Scott Crump (1989) patentar todo su sistema que denominó “*Apparatus and method for creating three-dimensional objects*”.

Como era de esperarse, las investigaciones en el área de la ingeniería, y el desarrollo tecnológico no se detuvieron. A comienzos de los 90’s la creación de empresas en el área tuvo su auge, pero debido a sus costes y alta inversión en I+D se perfilaron dos grandes empresas líderes del mercado, Stratasys líder en tecnologías por FDM (*Fused deposition method*) y 3D Systems como líder en tecnologías (VAT) por Fotopolimerización.

El gran éxito de estas empresas incurrió en su alta inversión en i+D mejorando los puntos críticos de la tecnología, se reconocen algunos elementos que fueron claves: desarrollo de nuevos materiales, mejora de tiempos de fabricación y velocidad de desplazamientos, precisión a escala de micrones controlada por sistemas digitales, calidad respecto a su capacidad de reproducción de piezas con un mínimo aceptable de requerimientos, como también sus acabados y detalles, y por último las características y propiedades tanto de los materiales como de las máquinas, esto proporcionó

reducción de costos, varios autores soportan la afirmación (Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. 2014; Ford, S. J., Mortara, L., & Minshall, T. H. 2015);

El desarrollo llegó a tal punto, que no pudo ser ignorado por investigadores en Europa y Japón, quienes desarrollaron dos investigaciones (NCMS<sup>6</sup>, WTEC<sup>7</sup>) una para determinar el nivel de empatía de la tecnología con aplicaciones industriales y otra para identificar los niveles de actividad en Europa de esta tecnología respectivamente. Fue a través de los resultados en sus investigaciones que se estableció la necesidad de desarrollar un mapa de ruta para la tecnología e identificar el futuro del proceso de fabricación digital aditiva (Bourell, D. L., Beaman, J. J., Leu, M. C., & Rosen, D. W. 2009);

El objetivo fue establecer los posibles caminos de ruta para investigaciones futuras, el workshop fue atendido por 65 expertos en manufactura aditiva desde la académica, la industria y el gobierno enfocados en la identificación de tendencias, barreras, oportunidades, logros y expansión de la terminología, las cuales se clasificaron en 8 categorías en diversas áreas de las cuales se mencionara una, y en la cual se resaltan específicamente 2 de sus componentes para efectos de la presente investigación:

La primera línea de investigación propuesta fue la de Diseño en la cual engloban 4 subcategorías.

---

<sup>6</sup> NCMS es una sociedad de seguridad profesional sin fines de lucro que ofrece oportunidades para el aprendizaje, la creación de redes y el desarrollo profesional a nivel local y nacional en la unión europea. Página oficial <https://classmgmt.com>

<sup>7</sup> WTEC es la organización líder en la realización de evaluaciones internacionales de tecnología. Durante la década de 1990, se llamó la División del Centro de Evaluación de Tecnología Mundial (WTEC) de la Universidad Loyola de Maryland. Página oficial <http://www.wtec.org/>



- DISEÑO

1. **Crear métodos de diseño conceptual para ayudar a los Diseñadores a definir y explorar los ESPACIOS de diseño potencializados por la AM.**
2. Producir nuevas bases para los sistemas de diseño asistido por computador debido a las limitaciones existentes en el modelado sólido representando geometrías complejas y múltiples materiales.
3. Proveer un modelo multiescalar y metodología de diseño inverso para la asistencia en la navegación compleja procesos - estructura- propiedades relacionales.
4. **Crear modelo para modelar y diseñar con viabilidad: forma, propiedades, PROCESOS, etc.**

A través de los resultados de esas investigaciones se establece una base fundamental para la exploración de la (FA) específicamente el modelado por deposición fundida o en inglés “*Fused deposition Molding*” (FDM) o lo que es más apropiado nombrar debido a razones culturales como “Fabricación Digital aditiva por Extrusión”. Se reconoce también a través del Workshop realizado (Bourell, D. L., Beaman, J. J., Leu, M. C., & Rosen, D. W. 2009) la necesidad de explorar los modelos de pensamiento para el desarrollo de productos con viabilidad, específicamente el pensamiento espacial y pensamiento técnico ya que y como se menciona en las subcategorías (1 y 4), se requiere establecer métodos de diseño con viabilidad que permita a los diseñadores explorar las capacidades técnicas y tecnológicas, pero para eso, se ha de identificar en primera instancia, los elementos que componen el pensamiento para la fabricación digital aditiva, identificando junto con él algunos rasgos del dispositivo en términos de Facultad de la (FA).

Continuando la línea cronológica del desarrollo técnico, el siguiente punto de inflexión ocurre en 2012, cuando Bree Pettis desarrollo y fabricó la primera máquina por deposición fundida para escritorio creando así MakerBot Industries (Lipson, H., & Kurman, M. 2013) dando un nuevo impulso a la tecnología, delimitando un nuevo segmento de mercado, el segmento de escritorio, lo que permitió a miles de personas fabricar productos industrialmente, ocasionando una descentralización de la producción y una personalización en los productos (Franke, N., & Piller, F. T. 2003) y lo que potencialmente se describió como Manufactura Digital Directa (MDD) (Westkämper, E. (2007); Z Czajkiewicz (2008); B. Muller (2012); Edgar, J., & Tint, S. (2015); Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015); Holmström, J., Holweg, M., Khajavi, S. H., & Partanen, J. (2016).

Los primeros años se caracterizaron por denominar la tecnología como Prototipado rápido (*PR*) o fabricación rápida, debido a que los objetos fabricados a través de esas técnicas tenían como única función cumplir con los análisis propios del proceso de diseño estipulado por Nigel Cross (Cross, N., & Roy, R. (1989) en el cual se evalúa la triada clásica en el diseño de productos en la fase de prototipado, Forma-Función-estructura (Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014), y como ya se mencionó, el avance tecnológico supero falencias que permitió que los prototipos fabricados se transformasen en productos terminados accesibles al consumidor.

Ciertamente seguiremos utilizando la máquina como herramienta de prototipado, pero hemos entrado a una etapa donde será común fabricar productos únicos, personalizados y a bajos volúmenes, acuñando así bajo esta premisa el concepto de manufactura digital directa (MDD), La capacidad de ofrecer a el mercado productos terminados manufacturados bajo las condiciones técnicas y tecnológicas de la fabricación digital aditiva.

“El verdadero beneficio detrás de la AM, es el hecho de que en realidad no necesitamos diseñar las partes de acuerdo con como estas serán manufacturadas, preferiremos entonces diseñar partes para cumplir funciones especializadas”. Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014)

### 2.1.3 LA MANUFACTURA DIGITAL DIRECTA (DDM)

Hoy, la fabricación directa de productos digitales es una realidad (Bernard, A., & Fischer, A. (2002); Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., & Withell, A. (2010); Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011); Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012); Lipson, H., & Kurman, M. (2013); Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... & Zavattieri, P. D. (2015); Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F. (2016); Muñoz-Mesa, L., & Sánchez-Trujillo, J. H. (2016) y en el camino se han desarrollado variantes técnicas que permiten cumplir este objetivo en mayor o menor medida (Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998); Wong, K. V., & Hernández, A. (2012); Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... & Zavattieri, P. D. (2015); Shah, P., Racasan, R., & Bills, P. (2016) y clasificadas según la *Plastics Technology México*, los cuales son una importante revista especializada en los aspectos para la transformación de polímeros en la industria plástica de Centro América, y además nos aportan algunas características relevantes para el diseño y desarrollo de producto:

### 2.1.3.1 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DIGITAL ADITIVA

- Fotopolimerización / *Vat Photopolimerization*/ Material: Resinas Foto curables
  - Fortalezas
    - Alto nivel de precisión y complejidad superficial y estructural
    - Acabado superficial detallado y suave
- Fusión de lecho en polvo / *Powder Bed Fusion* / Material: Polvo cerámico y Arena
  - Fortalezas
    - Alto nivel de complejidad geométrica
    - No necesita material de soporte
    - Amplio rango de materiales
- Inyección de aglutinante / *Binder Jetting*/ Materiales: Metales, Cerámicos, polímeros
  - Fortalezas
    - Fabricación a color
    - Alta productividad
    - Amplio rango de materiales
- Inyección de material / *Jetting Material*: Fotopolímeros, polímeros, ceras
  - Fortalezas
    - Alto nivel de precisión
    - Fabricación a color
    - Múltiples materiales en la misma pieza
- Laminación de hojas / *sheet lamination* / Material: láminas de Metal
  - Fortalezas

- Alta producción por volumen
- Costos bajos (excepto metales)
- Permite combinaciones con otros materiales
- Extrusión de material / *Extrusion Based* / Material: Termoplásticos
  - Fortalezas
    - Costos bajos
    - Permite múltiples colores
    - Puede ser usado en oficina
    - Las piezas presentan buenas propiedades estructurales

La técnica denominada extrusión de material se interpretará en esta investigación como

**“fabricación digital aditiva por extrusión”**

Varios autores proponen También un Séptimo proceso a Nano escala (*Carter, J. D., Cheng, N. N., Qu, Y., Suarez, G. D., & Guo, T. (2007); Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014)* llamado:

- Deposición Directa de Energía / *Direct Energy Deposition* / Material: arena, cerámicos,

Cabe resaltar que las técnicas aquí mencionados únicamente representan el espectro de tecnologías que se encuentran ya disponibles en el mercado, hay tecnologías que aún siguen en investigación y desarrollo, como los procesos con fibra de carbono (Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q., & Li, D. (2016); alimentos (Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015); Xu, W., Brandt, M., Sun, S., Elambasseril, J., Liu, Q., Latham, K., ... & Qian, M. (2015) y bio-tejidos (Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011); Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014); Ho, C. M. B., Ng, S. H., Li, K. H. H., & Yoon, Y. J. (2015),

Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015); Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015) entre otros.

“la utilización efectiva de los procesos de AM requiere no solo de conocimiento de los beneficios y limitaciones de la AM, si no, también, requerimientos en operaciones de acabados necesarios para finalizar la parte para el uso” – Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014)

También es importante mencionar que cada técnica (fotopolimerización, fusión de lecho en polvo, inyección de aglutinante, inyección de material, laminación de hojas, extrusión de material) requiere una estructura de pensamiento, destrezas técnicas, capacidad de solución de problemas y recursos cognitivos diversos referentes a temas como viabilidad económica, valor agregado o complejidad geométrica, debido a que si bien cada proceso recibe el mismo archivo base (. STL / . AMF), cada proceso posee factores susceptibles de ser aprovechados por un diseñador de Producto.

#### 2.1.4. MANUFACTURA ADITIVA, LA INDUSTRIA Y EL PRODUCTO

Todas estas variantes técnicas no habrían sido posibles de no percibirse una amplia variedad de industrias susceptibles y sedientas de tecnologías que estimulen la innovación; Entendida en esta investigación como un concepto moderno nacido en el seno de la economía para dar explicación teórica a situaciones fenomenológicas disruptivas o desestabilizadoras ocurridas por actividades de emprendedores mediante las cuales logran reducir sustancialmente los costos de producción o introducir mercancías nuevas. Específicamente la innovación ocurre cuando el producto impacta

significativamente el mercado, antes puede llegar a considerarse novedad científica. Autores como Schumpeter sostienen esta afirmación (j. Schumpeter 1939). No obstante, y siguiendo una línea similar, el Gobierno Nacional de Colombia a través de la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), Ha estipulado unos lineamientos claros para la definición de innovación como la capacidad de generar valor transformando el conocimiento y las ideas en soluciones nuevas para el mercado (CCB 2017), es debido a eso que la fabricación digital aditiva se ha convertido en una oportunidad de disrupción de los modelos actuales, pero nuevamente para eso, como diseñadores debemos dominar la técnica y la tecnológica de fabricación aditiva para el diseño y desarrollo de productos.

La caracterización de la fabricación digital aditiva como máquina o herramienta dentro de un proceso de creación ha sucumbido ante el inminente desarrollo del conocimiento en el área, al punto de que hoy, hablamos no solo de integrar la herramienta al proceso de diseño en sus últimas etapas de desarrollo (prototipado) si no, y más propositivo aún, integrar los avances del conocimiento al diseño, desarrollo y fabricación de productos desde las primeras etapas de concepción, conceptualización y toma de decisiones.

Esta caracterización como maquina o herramienta es quizá debido a sus orígenes en la ingeniería y es causante de que hoy haya una gran confusión entre autores de diversas ramas generando ruido en la comprensión de la relación de la (FA) con la ciencia, técnica y tecnología, pero hoy, ya no solo hablamos de la máquina de Impresión 3D como herramienta de prototipado, si no de la materialización de la técnica y la tecnología propias de un desarrollo del conocimiento humano entorno a la fabricación digital aditiva; Filósofos de la Tecnología como Miguel Quintanilla en (Quintanilla, M. A. 1998) y autores Colombianos como Carlos Osorio (Osorio, C. 2003) quienes

comparten su enfoque con Carl Mitcham filósofo de la tecnología (Mitcham 1994) proponen que las grandes orientaciones en las teorías sobre técnica y tecnología pueden ser agrupados en 3 apartados:

- 1) El enfoque instrumental u objetos de uso (artefactos) la más común, aquella que centra sus esfuerzos en el desarrollo artefactual, y son impulsados por presupuestos técnicos, políticos, económicos y sociales; Un enfoque seguramente limitado a la materialidad y superficialidad de los desarrollos tecnológicos.
- 2) El enfoque Cognitivo nos plantea el desarrollo tecnológico como un ente regulado por reglas tecnológicas, las cuales son abstraídas desde leyes científicas obtenidas mediante investigación científica. El enfoque cognitivo sería entonces la Ciencia aplicada, los avances en campos científicos nos brindaran el camino hacia el desarrollo tecnológico, pero nos deja sin bases para la aplicación y difusión de estas.
- 3) El enfoque sistémico abarca diversos escenarios de la praxis, la tecnología no es solo artefactual o científica, el desarrollo tecnológico está compuesto por múltiples conceptos, factores y elementos.

Fruto de la revisión bibliografía y posterior identificación de la divergencia en conceptualización de los términos y desde un enfoque sistémico, se propone un marco para la conceptualización de la Manufactura Aditiva desde 3 enfoques (Fig. 8) :

- 1) Como maquina u objeto técnico en términos de Simondón (2008) todos aquellos desarrollos objetuales de diferentes compañías como la Makerbot, Makergear, 3DSystems, Ender, RepRap, y Prusa entre muchas otras marcas que han desarrollado grandes éxitos como la impresora HP Jet Fusión.

- 2) Como Técnica, entorno al conocimiento para la transformación de la materia prima en productos terminados con valor agregado y a partir de un enfoque instrumental, el conocimiento y dominio sobre los materiales, las herramientas y los procesos. En términos prácticos, responde a las



más de 15 técnicas mencionadas anteriormente de las cuales se encuentran 7 disponibles en el mercado, todas configuran distintos dispositivos para la transformación de la materia.

3) Como tecnología, el conocimiento desarrollado en la fabricación aditiva ha superado los dominios instrumentales y operativos de la técnica, esto hace referencia al conocimiento desarrollado en otras áreas como diversos modelos de producción, modelos de distribución, y modelos de negocio, así como nuevos enfoques para las economías colaborativas y modelos de distribución de riqueza, conocimientos para la transformación de la sociedad, no solo para la fabricación objetual. Es un conjunto de conocimientos sistemáticos con base científica para el desarrollo de la calidad de vida de los seres humanos. autores como (Ford, S. J., Mortara, L., & Minshall, T. H 2015) sostienen lo propuesto.



**Fig. 8 - Descripción gráfica de la tecnología –elaboración propia**

Como se mencionaba “No cabe duda de que la AM es una tecnología disruptiva, que puede ser combinada con otras tecnologías para generar nuevos modelos de negocio” - Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. p173 (2014) a sí mismo, ser susceptibles de ser integradas a modelos de negocio ya existentes en diversas industrias. (Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011); Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011); Lipson, H., & Kurman, M. (2013); Vashnov Andrei (2013); Thiesse, F., Wirth, M., Kemper, H. G., Moisa, M., Morar, D., Lasi, H., ... & Minshall, T. (2015); Bogers, M., Hadar, R., & Bilberg, A. (2015); Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... & Zavattieri, P. D. (2015); Odremán, J. G. (2015); Ford, S., & Despeisse, M. (2016); Jiang, R., Kleer, R., & Piller, F. T. (2017); P Von Tell 2017, Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O’Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018) entre otros.

La integración de esta tecnología a modelos de negocio disruptivos podría comenzar en el hecho de que la necesidad de capital de inversión es sustancialmente menor al requerido con otros procesos o modelos de negocio Lipson, H., & Kurman, M. (2013), para ejemplificar, si un emprendedor desea iniciar su negocio de productos plásticos para el hogar, al definir desde la concepción y *canvas* los procesos tradicionales, tendrá que dentro de sus finanzas sumar altas inversiones iniciales como moldes, máquinas o tercerización, lo que lo obligaría a utilizar economías de escala para cubrir el endeudamiento; La fabricación digital aditiva nos permitiría desarrollar y producir los productos plásticos para el hogar a una tasa de inversión inferior a los procesos tradicionales, reduciendo así el riesgo de capital, atrayendo a más inversores y generando una ruta de acceso más rápida al mercado por tanto, más adaptativa en toda su dimensión, por no mencionar la

capacidad de adaptación de innovaciones al mercado, la velocidad de cambio de las tendencias, la facilidad de integrar la teoría darwiniana en cuestión de semanas (Evolución selectiva de productos) sin mayores pérdidas, así como la reducción de inventarios, y la fabricación bajo pedido.

*Odremán, J. G. (2015), y Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011)* evidencian en sus textos “Impresión 3D en la Industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la Industria Petrolera” y “*Could 3D printing change the world*” respectivamente, diversas industrias en las que ya se ha integrado la tecnologías con resultados positivos como la industria Aeroespacial *Joshi, S. C., & Sheikh, A. A. (2015)*, arquitectura *Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., & Morel, P. (2016)*, automoción *Cuartero, J., Larrodé, E., Castejón, L., & Clemente, R. (1998)*. Moda *Yap, Y. L., & Yeong, W. Y. (2014)*, Ortopedia *Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015)*, Educación *Canessa, E., Fonda, C., Zennaro (2013) M., & Deadline, N. (2013)*, Salud y Medicina *Ventola, C. L. (2014)*, Emprendimiento *Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013)* o alimentos *Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J. Y., & Hong, G. S. (2015)* entre otros.

### 2.1.5 LOS 10 PRINCIPIOS DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

Esta proliferación en la integración en diversas industrias es el resultado del dominio sobre las capacidades técnicas y tecnológicas de la (FA), el dominio sobre lo que Mel Kurtman y Hod Lipson en su libro “*Fabricated – the new world of 3d printing* Pag. 21” definen como los 10 principios o posibles reglas que dirigen la generación de productos; Estos principios fueron desarrollados a través de la entrevista de más de 30 profesionales en el área.

Normalmente las personas mencionan 3 ventajas de la fabricación aditiva recurrentes adquiridas desde los principios ingenieriles, reducción de tiempo, reducción de costos y libertad de complejidad formal, es así como también se establecen otros 7 principios para su aplicación eficiente:

- Principio uno: Complejidad de manufactura Gratuita
  - En la fabricación tradicional, entre más compleja sea su forma más costosa será su producción, con fabricación digital aditiva complejidad vale lo mismo que simplicidad. La libre complejidad transformará el costo tradicional de los modelos y modifica los rangos de costos de producción.
- Principio dos: La variedad es Gratis
  - Una impresora 3D sencilla puede realizar diversas formas consecutivas, con la fabricación tradicional, las líneas de producción deben detenerse a veces hasta días y semanas enteras para modificar el producto fabricar. La fabricación aditiva solo necesita cambiar el archivo CAD y estará lista.
- Principio tres: No se requiere ensamble
  - La fabricación tradicional requiere que las piezas sean ensambladas para terminar los productos, entre más complejo sea el producto más piezas tendrá, lo que aumentara el tiempo y dinero, con la fabricación aditiva se pueden fabricar los ensambles y encajes de múltiples piezas a la vez. Cadenas de producción más cortas reducirán la huella de carbono.
- Principio cuatro: Cero tiempos de espera
  - Una impresora 3D puede fabricar en demanda cuando un objeto es necesitado, la capacidad de fabricación en el punto reduce el espacio de almacenamiento. Modelos

de negocios distintos en servicios se convierten en posibles a medida que la tecnología va avanzando, especializándose y personalizándose – productos en demanda en respuesta a las órdenes del consumidor-.

- Principio Cinco: Espacio de Diseño sin límites
  - Las técnicas de fabricación tradicionales y los artistas pueden solo fabricar cierto tipo de formas. Nuestra capacidad para configurar formas está limitada por las herramientas que poseamos, a los dispositivos que consciente o inconscientemente elijamos. Por ejemplo, un torno de madera puede hacer solo objetos cilíndricos, una fresa puede hacer solo formas accesibles a una fresadora, una inyectora puede únicamente fabricar formas que sean desmoldantes. El dispositivo de fabricación digital aditiva nos libera de esas restricciones y nos abre a la fabricación de formas que solo eran posibles en la naturaleza hasta hoy.
- Principio Seis: Cero habilidades de manufactura
  - Los artistas tradicionales practican y se entrenan durante años para desempeñar un rol. La manufactura digital y las máquinas guiadas por computador reducen la necesidad de mano de obra calificada para la fabricación de los objetos, reduciendo costos.
- Principio Siete: Manufactura portable y compacta
  - Por volumen de producción, una impresora 3D tiene más capacidad de manufactura que una máquina de inyección tradicional. Por ejemplo, una máquina inyectora solo puede fabricar objetos significativamente más pequeños que ella, una impresora 3D puede fabricar objetos igual de grandes a ella.

- Principio Ocho: Menor desperdicio por producto
  - Las máquinas que trabajan con metal tienen una tasa de desperdicio significativamente menor al de técnicas de fabricación tradicional. Otros procesos de fabricación demandan grandes cantidades de materiales para desarrollar la serie, desperdiciando o subutilizando porcentajes significativos de material. La manufactura aditiva aprovecha el 100% del material utilizado.
- Principio Nueve: Gradaciones de material infinitas
  - Combinar distintos materiales en un producto es un proceso complejo usando las máquinas de hoy, debido a que estas escarban, cortan y moldean las piezas; A medida que la fabricación aditiva se desarrolla, obtendremos la capacidad de fundir y mezclar diversos materiales, nuevos materiales permitirán una nueva paleta de materiales con propiedades y comportamientos para el desarrollo de productos.
- Principio Diez: Reproducción física precisa
  - Hoy un archivo de música puede ser copiado múltiples veces sin perder calidad, la manufactura aditiva nos permite extender nuestro control y precisión sobre el mundo físico objetual, escanaremos, editaremos y duplicaremos objetos físicos creando réplicas de la original. Grandes obras de maestros artistas del renacimiento o del gótico pueden ser reproducidas con 100% de fidelidad nunca vista, así como artefactos y objetos religiosos de la edad feudal, la civilización griega o la edad de bronce.

Estos 10 principios planteados evidencian las ventajas y oportunidades susceptibles de ser utilizadas en el diseño y desarrollo de Producto, y son una guía para entender las nuevas dinámicas y modelos de negocio que la tecnología ofrece. Estos son resultados del avance de la técnica en el último siglo, pero, y como se ha hecho evidente hasta este punto, nuestro enfoque ha sido constantemente sobre la instrumentalización de la tecnología: la máquina y algunos de sus momentos clave en el desarrollo técnico y tecnológico; Pero hemos dejado - y apropósito- a un lado la perspectiva del operador, del ser humano detrás de la técnica y la tecnología, del diseñador. Como se muestra en la (Fig. 1) el avance homogéneo entre la técnica y tecnología de fabricación aditiva y el cambio del modelo de pensamiento no ha sucedido al mismo ritmo.

“La impresión 3D es el modelo de fabricación distribuida y colaborativa de la tercera revolución industrial, escalada lateralmente. Si intenta conectar y usar la impresión en 3D en la segunda plataforma de la revolución industrial, obtendrá poca productividad fuera de ella. Los desarrolladores de las impresoras 3D alemanas, entienden que tienen que enchufar y jugar sus operaciones en las infraestructuras de la tercera revolución industrial” Rifkin, J. Pag 6 (2014)

Lo mencionado en el párrafo anterior, lo comprende claramente el sociólogo y economista Jeremy Rifkin en su libro y publicación “*The Zero marginal cost society*” si bien su enfoque sigue siendo instrumentalista, la precisión con que reconoce los riesgos de mezclar la técnica y la tecnología con estadios de conocimiento anteriores nos es útil como fundamento; Esto adaptado a la presente investigación, nos otorga una sustentación teórica para comprender el error al utilizar avances en ciertas líneas de desarrollo técnico con modelos de pensamiento de otras técnicas; Para ejemplificar, y

como se mencionó en la justificación, es fácil encontrar usuarios haciendo uso de máquinas 3D para fabricar elementos (fig. 3) que otros procesos podrían fabricar perfectamente y aun mejor (fig. 2) (perfiles, tornillería, laminas hasta utensilios de cocina, elementos decorativos o prototipos de ingeniería); Y es que la problemática no se circunscribe en los resultados objetuales, o la materialización de las soluciones a determinadas problemáticas, la circunscripción ocurre en el hecho de utilizar procesos de pensamiento espacial y técnico desarrollados para otros dispositivos y adaptarlos sin más a la fabricación digital aditiva.



*Fig. 9 - ZYYX Vase. Diseñador por ZYYX3DPrinter*



*Fig. 10- Twisted Vase Diseñado por Immersed N3D*



*Fig. 11 - Woman Body Diseñado por kimmerkesdal*



*Fig. 12 - Pink Panther Woman Diseñado por roman\_heggin*

El dominio de la técnica y la tecnología hallada por otros diseñadores demuestran algunas de las configuraciones formales posibles (fig. 10 y fig. 12) frente a configuraciones formales bajo otros dispositivos de fabricación (fig. 9 y fig. 11) todos haciendo uso de impresión 3D.



## 2.2 PENSAMIENTO ESPACIAL Y PENSAMIENTO TECNICO PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

### 2.2.1 PENSAMIENTO ESPACIAL

El *Oxford English Dictionary* define el concepto pensamiento como la “Capacidad que tienen las personas de formar ideas y representaciones de la realidad en su mente, relacionando unas con otras” *Oxford dictionary of English. (2010)*. y el Diccionario de la lengua española lo define como la “Actividad del pensar” (Real Academia Española. (2001) el acto del pensamiento nos permite llegar a conclusiones, analizar puntos de vista y tomar decisiones; El espacio por otro lado, está directamente vinculado a un gran “elemento contenedor” de todo lo existente, el *Oxford English Dictionary* lo define como “el Medio físico en el que se sitúan los cuerpos y los movimientos, y que suele caracterizarse como homogéneo, continuo, tridimensional e ilimitado” *Oxford dictionary of English. (2010)* y el Diccionario de la lengua española lo define como la “*Extensión que contiene toda la materia existente.*” (Real Academia Española. (2001).

Se comprendería entonces que la relación entre estos dos elementos configuraría una reflexión frente a la configuración del medio físico de toda materia existente, un entorno en el cual, desde el enfoque del Diseño Industrial, es vital comprender y dominar ya que en el somos capaces de manipular, transformar y convertir objetos a partir de nuestro pensamiento en búsqueda de soluciones a problemáticas establecidas.

El concejo de investigación en educación “*National Research Council (NRC)*” encargado del desarrollo del *curriculum* de la educación pública en Estados Unidos, denominado “*K12*”, sugieren en su libro “*Learning to think Spatially (2006)*” la siguiente definición acerca del pensamiento espacial “Al vincular el **conocimiento espacial** a las **formas espaciales de pensar** y actuar, y las **capacidades espaciales** con una actitud espacial general tenemos **una forma de pensar** flexible y poderosa “**que es transferible y aplicable a una amplia gama de contextos**” *National Research Council, & Geographical Sciences Committee. (2005)*, refiriéndose a tres elementos clave:

- **Conocimiento espacial**: Información acerca de la composición y estructura del espacio, En términos de Downs & DeSouza, la estructura del espacio tiene 4 componentes:
  - **Elementos**: Conceptos del espacio (Proximidad, Proporción, Transición, Coordenadas, ubicación, simetría, orientación entre otros), **Herramientas De Representación Del Espacio** (Perspectiva, ortogonalidad, proyecciones, **espacio euclídeo, planos cartesianos** entre otros) y Procesos de razonamiento (conocimiento relacionado con factores de la realidad).
  - **Contextos**: Espacios de vida (Espacios en interacción diaria), Espacios físicos (Elementos de tamaño planetario) y espacio intelectual (Espacio conceptual de creación académica).
  - **Funciones**: Descriptiva (mencionar relaciones espaciales), analítica (Entendimiento de la estructura del espacio y los objetos en el) e inferencial (análisis y conclusiones sobre evolución y función de los objetos en el espacio y tiempo)
  - **Relaciones**: Topológicas (Abierto, cerrado, continuidad, proximidad, separación, orden entre otros) proyectivas (posición, ubicación, perspectiva entre otros)

euclidianas (Distancias, medidas y proporciones) *Alderete, E. O. (1983), Piaget, J. (2013).*

**Formas especiales de pensar** el espacio y actuar se refiere a las herramientas genéricas de representación (sistema de coordenadas cartesianas, **espacio euclídeo**, relaciones lineales y no lineales, transformaciones de escala y cambio de rotación y perspectiva), y con capacidades espaciales, se refieren probablemente a las “**Habilidades espaciales**” características de cada individuo. El conjunto de estos tres componentes relacionados genera una “Forma de pensar espacial” National Research Council & Geographical Sciences Committee. (2005).

Las frases anteriormente subrayadas y en negrilla son el fundamento conceptual para el diseño de los instrumentos de medición. Cap. 3.

El Ministerio de Educación Nacional ha sugerido una definición del pensamiento espacial en términos de lineamientos curriculares como “El manejo de información espacial para resolver problemas de ubicación, orientación y distribución de espacios” Ministerio de Educación Nacional - MEN. Pag 37 (1998), y autores colombianos como el profesor Adrián Alonso de la universidad de los Andes la definen como “El conjunto de procesos cognitivos mediante los cuales se construyen y se manipulan las representaciones mentales de los objetos en el espacio, las relaciones entre ellos, sus transformaciones, y sus diversas traducciones o representaciones materiales” Alonso, A. Pag 3 (2011).

La definición de la **Habilidad espacial** es tema de discusión entre diferentes autores relacionados al campo que generan bastante confusión y ruido al momento de realizar un abordaje

conceptual Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. (2008) citando a Akasah, Z. A., & Alias, M. (2006) ; Para interés de la investigación, la habilidad espacial es la capacidad de generación de imágenes tridimensionales a partir de representaciones bidimensionales, icónicas o simbólicas y entendiendo como los objetos se relacionan en el espacio. Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985); Lohman, D. F. (1996); Sjölander, M. (1998); Sutton, K. J., & Williams, A. P. (2007); Tristancho Ortiz, J. A., Contreras Bravo, L. E., & Vargas Tamayo, L. F. (2014), aunque a través de la revisión bibliografía se logró establecer un marco de definiciones relevantes con el fin de comprender distintas posiciones:

- Habilidad espacial: Habilidad de manipular, rotar, girar, o invertir mentalmente figuras gráficamente (*McGee, 1979*)
- Capacidad espacial: Funciones cognitivas que permiten a las personas enfrentarse eficazmente con las relaciones espaciales, tareas espaciales, visuales y orientación de objetos en el espacio *Sjölander, M. (1998)*.
- Capacidad espacial: rendimiento en tareas que requieren, rotación mental de objetos, entender cómo se ven los objetos en diferentes posiciones y conceptualizar como se relacionen los objetos entre sí en el espacio, una parte esencial es la comprensión tridimensional (3D) y la capacidad de extraer información sobre las propiedades 3D a partir de presentaciones bidimensionales (2D) *Sutton y Williams (2007)*.

#### 2.2.1.1 LOS COMPONENTES DE LA HABILIDAD ESPACIAL

Hay también poco consenso frente a los elementos que componen la habilidad espacial, Lohman, D. F. (1996), Linn M. C., & Petersen, A. C. (1985) establecen 3 componentes clave desde un enfoque psicométrico:

- Percepción espacial: Está relacionada con la determinación de las relaciones espaciales (distancia, dirección) e involucra la percepción.
- Orientación espacial o rotación mental: Suele relacionarse con la habilidad de rotar figuras bidimensionales o tridimensionales en el espacio rápida y precisamente en el espacio. (arriba, abajo, derecha, izquierda, atrás, adelante)
- Visualización espacial: Esta comúnmente asociada con las tareas que involucran manipulaciones complicadas de múltiples pasos de información presentada espacialmente. (perspectiva, proporcionalidad, dirección lineal y posición relativa en el espacio)

Para intereses de esta investigación, se fundamentara sobre las investigaciones más recientes en el área del diseño realizadas por Sutton, K. J., & Williams, A. P. (2007); Sutton, K., & Williams, A. (2010) y apoyados en investigaciones como Mc Gee, M.G (1979); Maier, P. H. (1998); Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. (2008), según sus investigaciones, la habilidad espacial posee 5 componentes: Relaciones espaciales (*SR*), Percepción espacial (*SP*), Visualización espacial (*SV*), Orientación Espacial (*SO*) y Rotación Mental (*MR*). Olkun, S. (2003) sugiere una clasificación de las dos más importantes: **Relaciones espaciales** (*SR*) y Visualización espacial (*SV*).

- ***Relaciones espaciales*** (*SR*) son las relaciones entre las partes de un objeto individual  
*Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. (2008).*
- *Visualización Espacial* (*SV*) nuevamente hay una gran discusión frente a la definición de este término, pero típicamente se refiere a la visualización de objetos en movimiento u objetos rotados *Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. (2008).*

Es importante mencionar la clasificación de las habilidades espaciales según diversos autores.  
tabla 4.

Las categorías de Sutton y Williams son relevantes para esta investigación debido a que agrupan en 5 componentes fundamentales los procesos espaciales que intervienen y están directamente relacionados al proceso de diseño y desarrollo de soluciones, que eventualmente devengan en materializaciones y es por esto, que en tanto el **conocimiento espacial** comprendido como conjunto de la estructura del espacio y la **habilidad espacial** comprendida como habilidad para intervenir el espacio, son dos componentes vitales para el diseño y desarrollo de productos fabricados bajo las posibilidades técnicas de la (FA).

Es de amplio conocimiento la importancia del desarrollo de las habilidades espaciales en artistas, Diseñadores e ingenieros National Research Council, & Geographical Sciences Committee. (2005); Sutton, K., & Allen, R. (2008); Sutton, K., & Williams, A. (2010); Biggio, M. N., Vázquez, S. M., & García, S. M (2011); Kelly Jr, W. F. (2014); Katsioloudis, P., Jovanovic, V., & Jones, M. (2014); Tristancho Ortiz, J. A., Contreras Bravo, L. E., & Vargas Tamayo, L. F. (2014); Ortiz, J. A.T., Tamayo, L. F. V., & Bravo, L. E. C. (2015); Maehigashi, A., Miwa, K., Oda, M., Nakamura,

Y., Mori, K., & Igami, T. (2016); Giraldo Triana, M. L., & Ruiz Cerquera, M. A. (2017) entre otros, y como habilidad es susceptible de ser desarrollada y mejorada Prieto, G., VELASCO, A. D., ARIAS-BARAHONA, R. O. S. A. R. I. O., ANIDO, M., NÚÑEZ, A., & C6, P (2008).

Autor	Clasificación de las Habilidades espaciales
(McGee 1979) (Maier 1996)	Percepción espacial Visualización espacial Rotaciones mentales Relaciones espaciales Orientación espacial
(Linn & Petersen 1985)	Percepción espacial Rotación mental Visualización espacial
(Lohman, D.F., Nichols 1990)	Visualización Rotación mental Orientación espacial
(Carroll 1993)	Visualización Rotación mental
(Gluck & Fitting 2003)	Test de capacidad espacial Rotación mental Orientación y navegación ambiental
(Olkun 2003)	Relaciones espaciales Visualización espacial
(Uttal et al. 2013) (Chatterjee, 2008; Palmer, 1978; Talmay, 2000)	Intrínseca Estática Intrínseca Dinámica Extrínseca Estática Extrínseca Dinámica

**Tabla 4** - Clasificación de los componentes de la habilidad espacial. Tomado de Villa Sicilia, A. (2016).

### 2.2.1.2 HERRAMIENTAS PARA LA VALORACIÓN PSICOMÉTRICA DE LA HABILIDAD ESPACIAL

El enfoque psicométrico de análisis de la habilidad espacial ha permitido el desarrollo de múltiples Test de análisis factorial a lo largo de los últimos 70 años, permitiendo que el desarrollo multidisciplinar del conocimiento se expanda a otras áreas del conocimiento, aunque se identifican algunos test relevantes que han sido mejorados constantemente, se reconoce una falta de continuidad

en la actualización a plataformas digitales a nivel de investigación, así como una falta de consenso en los test más relevantes y con alta confiabilidad Eliot y Smith (1983), así como una estandarización para la población Colombiana.

En las investigaciones relacionadas con habilidades espaciales en estudiantes, los test pueden ser utilizados como preprueba o posprueba con la intención de evidenciar resultados significativos Villa Sicilia, A. (2016),

Kelly Jr (2014) realizó una compilación de test de habilidad espacial relacionados con la expresión gráfica desde 1996 en revistas como *the American Society of Engineering Education (ASEE): Journal of Engineering Education, the Engineering Design Graphics Division (EDGD), Engineering Design Graphics Journal y Journal for Geometry and Graphics*. Su propósito fue establecer un banco de pruebas frecuentemente utilizadas por los investigadores, identificando 10 test, también revisó las pruebas disponibles en *Educational Testing Service (ETS)* recopilando 24 test adicionales (tabla 5).

Debemos entonces, tener presente siempre la distinción entre tres elementos importantes en el diseño y desarrollo de producto: El espacio, como esa estructura contenedora donde existen los objetos y el cual es intervenido y modificado con el uso de las **herramientas de representación del espacio**, específicamente el **sistema tridimensional**; Y el usuario, como aquel que interviene e interactúa de diversas maneras con el espacio, y requiere y desarrolla **habilidades espaciales** especializadas para manipular y controlar tanto su corporalidad como extensiones de esta a través de



la objetualidad, y la forma como resultado de la manipulación de determinados elementos en el espacio con el objetivo de aumentar su valor.

Desarrollo y Evaluación de las Habilidades Espaciales de los Estudiantes de Ingeniería		
Test	Autores	Descripción
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Rotations (PSVT:R)	(Guay 1977)	Aplicar a un sólido la misma rotación que otro ya rotado
Mental Rotations Test (MRT)	(Vandenberg & Kuse 1978)	Versión del test Mental Rotation Task de Shepard y Metzler (1971) Identificar formas en 3D como representaciones rotadas de un objeto
Mental Cutting Test (MCT)	(CEEB 1939)	Determinar la sección que produce un plano en un sólido
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Views	(Guay, 1977)	Indicar desde dónde se ha observado un objeto para visualizar una perspectiva dada.
Purdue Spatial Visualization Test: Visual. of Developments	(Guay, 1977)	Indicar a qué figura corresponde un desarrollo dado
Paper Folding Test (PFT)	Ekstrom, French y Harman, 1976	Escoger entre cuatro piezas desarrolladas de papel, cuál es la misma que el modelo plegado dado
Differential Aptitude Test-Space Relation (DAT-SR)	(Bennett et al. 1973)	Relacionar una forma tridimensional con la imagen de su desarrollo en 2D
3-Dimensional Cube Test (3DC)	Gittler, 1998	Elegir entre 6 vistas, la que corresponde a una rotación de un cubo dado. Opciones también de "no sé" o "ninguno".
Differential Aptitude Test- Mechanical Reasoning (DAT-MR)	Bennett, Seashore, y Wesman, 1973	Elegir entre dos opciones a partir de un dibujo sobre principios elementales de mecánica,
Haptic Visual Discrimination Test (HVDT)	McCarron y Dial, 1976	Requiere habilidades de sensibilidad táctil, síntesis espacial y capacidad de integrar información parcial de un objeto en su conjunto. Se manipula un objeto en una mano sin verlo, y se selecciona un objeto correspondiente en un gráfico de identificación con la mano libre.
<b>Missing Line Test</b>		
Guliford-Zimmerman Aptitude Survey- Spatial Orientation	Guliford y Zimmerman, 1948	Capacidad para ver cambios en dirección y posición. Marcar cómo ha cambiado la posición de un bote desde una primera imagen hasta otra segunda.
<b>Guliford-Zimmerman Aptitude Survey- Spatial Visualization</b>		
Surface Development Test	Ekstrom, French y Harman, 1976	Se dan un desarrollo y una perspectiva de un sólido. Consiste en relacionar caras o aristas entre las dos imágenes
Revised Minnesota Paper Form Board Test (RMPFB)	Rensis Likert y Quasha, 1995	Determinar si una pieza puede completarse con una serie de trozos de papel recortados
Closure Flexibility-Concealed Figures Task (CFT)	Thurstone and Jeffrey, 1984	Capacidad de mantener una configuración en mente a pesar de la distracción
Cube Comparisons Test (adapted from Thurstone's Cubes)	1976	Cada ítem presenta 2 dibujos de un cubo. Decir si pueden ser del mismo cubo o no.
Group Embedded Figures Test (Various adult and children's versions) (EFT, CEFT)	Witkin, 1950	Encontrar una figura simple incluida dentro de una imagen más compleja
Minnesota Paper Form Board Test	Likert y Quasha, 1994 (Revised)	Disceir los componentes de una figura desordenada y decidir qué figura muestra la unión ordenada de ellas.
SRA Mechanical Aptitudes- Space Relations	Science Research Associates, 1947	Valora aptitudes de mecánica
<b>Mutilated Cube Test (Clare V. Mann)</b>		
SRA Primary Mental Abilities	Optometric Extension Program, 1995	Elegir, entre cinco opciones, la parte que le falta a un cuadrado incompleto dado.

*Tabla 5 - Test seleccionados por Kelly (2014) ordenados por preferencia de los investigadores, tomado de Villa Sicilia, A. (2016).*

Es importante aclarar que, para la configuración de la forma, no solo intervienen el espacio y su relación con el pensamiento espacial, la configuración de la forma es un resultado en el que intervienen múltiples procesos cognitivos en sinergia, el pensamiento geométrico en dos y tres dimensiones (2D-3D) está directamente relacionado con la configuración de la forma Pittalis, M., & Christou, C. (2010), así como otros conjuntos de procesos cognitivos que se ven integrados bajo este tipo de tareas.

Se sugiere en futuras investigaciones integrar el pensamiento geométrico con el pensamiento espacial en relación con las capacidades técnicas y avances tecnológicos de la (FA) para establecer a través de una investigación científica los modelos de pensamiento pertinentes para la configuración de distintas posibilidades formales.

### 2.2.1.3 PENSAR EL ESPACIO Y DISEÑO DE PRODUCTO

A través de diversas investigaciones es claro que el perfil del diseñador industrial se compone de diversas competencias para la innovación Álvarez, F., & Martínez, E. (2010) y sustentados por otras investigaciones como MARIS VÁZQUEZ, S. T. E. L. L. A., & Noriega Biggio, M. (2011), Alonso, A. (2011) y Ortiz, J. A. T., Tamayo, L. F. V., & Bravo, L. E. C. (2015).

Álvarez y Martínez establecen a través de su investigación 5 competencias clave que debe desarrollar el estudiante de Diseño: Procesamiento de la información (estilo cognitivo), Solución de problemas, Representación, Destrezas Técnicas y Pensamiento Espacial, estas dos últimas relacionadas directamente con esta investigación en términos del pensamiento espacial en relación a las capacidades de fabricación y por ende nuevas configuraciones formales en el espacio y la destreza técnica en relación al pensamiento de la técnica para la fabricación de objetos.

El pensamiento espacial constantemente interviene en la formulación y desarrollo de soluciones objetuales, en la materialización de las soluciones y en la transformación de la materia prima en productos terminados con valor agregado, para esto requerimos una concepción espacial estructurada a través de los postulados de Euclides, en la Grecia del 550a.C construía y delimitaba los principios del espacio Euclidiano (0D,1D,2D,3D) así como los cinco principios básicos de la geometría euclidiana, Platón a través de estos avances en la comprensión del espacio y la matemática, propuso lo que aún hoy se conoce como sólidos platónicos (Cubo, Cilindro, Pirámide, esfera) abstraídos de la transformación dimensional de las figuras geométricas en 2 dimensiones.

De esta manera se configuro un entendimiento del espacio delimitado por estas figuras básicas ( así como también los sólidos de Arquímedes y otros más) lo que condiciono nuestra comprensión del espacio y condiciono nuestra capacidad técnica Villar, B. I. V. (2017) esto ocasiono que los desarrollos de producto se encontrasen limitados debido a que y como menciona Manzini “el desarrollo formal se sitúa en la intersección entre las líneas de desarrollo de pensamiento (modelos mentales, estructuras culturales) y las del desarrollo técnico (disponibilidad de materiales, técnicas de transformación entre otros) limitándonos entre los “pensable” y lo posible” Manzini (1993, pág. 17), es por esto que es vital que el desarrollo del conocimiento frente a las posibilidades espaciales de la fabricación aditiva este al mismo nivel que el desarrollo de la técnica y la tecnología, una adecuada comprensión del espacio permitiría a los diseñadores concebir formas no limitas por los dispositivos tradicionales y un adecuado dominio de la Técnica les permitiría llevar a la realidad (fabricación industrial) sus más diversos Diseños, llevando a otro nivel lo “*Pensable y lo posible*” o lo que Kolarevik en otros términos escribe:

“Los procesos generativos digitales están poniendo en marcha nuevos territorios para la exploración conceptual y formal, articulando una morfología arquitectónica centrada en la emergente adaptación de las propiedades de la forma. Los cambios de énfasis desde el “hacer la forma” al “hallazgo de la forma”, que diversas técnicas generativas basadas digitalmente parecen llevar sobre intencionalmente. (Kolarevik, 2012, p. 13)

Esta comprensión de la forma convergió a la par del desarrollo de las técnicas tanto de diseño como de producción análogas, pero hoy y como menciona Kolarevik (2012), puede existir un cambio de perspectiva en el desarrollo de la forma en relación a los elementos significativos entorno a la producción digital, es quizá necesario un entendimiento del espacio tal y como lo plantea Villamil Villar, B. I. (2018) en su Tesis Doctoral, y en la cual plantea 4 acercamientos al entendimiento no limitado por la geometría euclidiana y los sólidos platónicos (Diseño generativo y morfogénesis, Formas topológicas, Generación informática de alternativas y Diseño paramétrico), lo que en pocas palabras, demuestra la factibilidad de la comprensión de una nueva configuración de la forma en una estructura espacial tradicional (Euclides, Platón y Descartes), la cual no es comprendida a través de figuras geométricas, si no a través de principios generadores de forma, no limitados por las capacidades técnicas, permitiéndonos todo un campo de posibilidades para explorar.

### 2.2.2 PENSAMIENTO TÉCNICO

No es del interés de la presente investigación, establecer un consenso entre las múltiples discusiones frente al concepto técnica en términos etimológicos, históricos, filosóficos o epistemológicos, es debido a eso que nos permitiremos dejar pasar esa discusión para centrarnos en

los enfoques necesarios para entender la relación con la (FA), a través de una perspectiva de los elementos técnicos para la fabricación aditiva.

En primera instancia, el *diccionario de Oxford* define la técnica como un “Conjunto de procedimientos o recursos que se usan en un arte, en una ciencia o en una actividad determinada, en especial cuando se adquieren por medio de su práctica y requieren habilidad” (Dictionary, O. (2010). es evidente en esta definición, el enfoque instrumental orientado como un conjunto de procedimientos o recursos, en otras palabras, procesos, maquinarias, materiales y operarios entre otros, si bien este es un enfoque ampliamente aceptado en el área académica. Para hablar sobre la técnica no podemos desprendernos de otros dos conceptos claves relacionados con él, la Ciencia y la tecnología, podríamos decir que entre la ciencia, la técnica y la tecnología hay siempre una retroalimentación permanente, y que son dependientes entre sí y todas son igual de relevantes Chamorro, C. D. (2014), en términos epistemológicos, podemos entender la ciencia como la búsqueda de la verdad para alcanzar métodos que permitan acceder al conocimiento, la técnica por otro lado, se enfoca en los desarrollos prácticos, relacionados a un “saber cómo” y la tecnología un “saber por qué”

“La técnica puede ser considerada, como una acumulación de procedimientos operativos útiles desde el punto de vista práctico para la consecución de fines particulares y constituyen un saber cómo, sin implicar necesariamente un saber por qué” (Agazzi, 1996, pág. 97), Agazzi nos propone un enfoque netamente instrumentalista, en el cual se integran el conjunto de técnicas requeridas para fabricar los productos, por ejemplo, para elaborar vasos, es requerida la técnica de inyección de plástico, pero a su vez, es requerida la técnica que fabrica los pellets de plástico, que a su vez requiere de la técnica de purificación del petróleo, que a su vez, requiere técnicas de extracción mineras, las cuales en términos de Gille Bertrand componen un “Conjunto Técnico” Gille, B. (1989).

Heidegger en su texto filosofía de la ciencia y técnica sugiere un enfoque filosófico, alejado de la instrumentalización ofrecida por otros autores Quintanilla, M. Á. (1998), Gille, B. (1989), en este define la técnica como “un proceso en el cual se estimula a la naturaleza a liberar los recursos que tiene que ofrecer” Vinck, D. (2012) citando a Heidegger, M. (1958), Heidegger habla sobre la técnica como un modo de “develamiento”, un proceso que nos permite encontrar y hallar nuevos elementos.

El enfoque filosófico de Heidegger nos permite una gran disertación y reflexión frente a las herramientas con que exploramos las posibilidades, pero la presente investigación se estructura a través de un enfoque instrumental en términos de Gille, B. (1989) aunque la técnica no se restringe exclusivamente a la fabricación de objetos materiales, en esta investigación se considerara a través de la (FA) como instrumento para la fabricación de objetos técnicos.

Entendida la técnica en esta investigación como un sistema compuesto de diversos conjuntos de conocimiento *del hacer* para la transformación de materias prima en productos terminados con valor agregado, y como se mencionó anteriormente, el pensamiento como: “La capacidad que tienen las personas de formar ideas y representaciones de la realidad en su mente, relacionando unas con otras” (Dictionary, O. 2010), se entenderá en esta investigación el concepto “**Pensamiento técnico**” como el conjunto de conocimientos para la transformación de la materia relacionados con la (FA), específicamente la fabricación digital aditiva por extrusión y del como los usuarios hacen uso de este para el desarrollo de producto.

#### 2.2.2.1 PENSAR LA TÉCNICA Y EL DISEÑO DE PRODUCTO

Cuando se menciona pensamiento técnico, no se hace referencia en ningún caso durante esta investigación, a una técnica para pensar o una técnica del pensamiento, en cambio se enfocará la técnica como un conjunto de conocimientos para el desarrollo de producto; Los elementos de la técnica (maquinas, herramientas, procesos) deben ser pensados apropiadamente comprendiendo sus capacidades para la fabricación de productos.

Recordemos la interpretación del pensamiento como la capacidad que tienen las personas de formar ideas y representaciones de la realidad en su mente, relacionando unas con otras, esas relaciones y dinámicas entre conjuntos de conocimiento técnico posibilitan la formación de ideas creativas. No hablamos entonces de una técnica para pensar sino de un pensar la técnica para el desarrollo de producto.

El siguiente segmento, pretende dar respuesta al objetivo específico “Caracterizar algunos de los principios operacionales de la fabricación digital aditiva por extrusión” se definirán algunos lineamientos básicos y se mencionarán algunas características de los principios operacionales, específicamente de la técnica de fabricación digital aditiva por extrusión, a partir de la revisión bibliográfica y de la experiencia a lo largo de 4 años en el área.

#### 2.2.2.2. PRINCIPIO OPERACIONAL

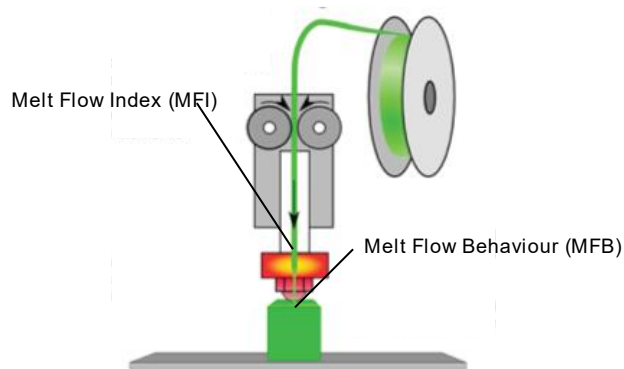
Un principio es una norma o idea fundamental que rige el pensamiento o la conducta, Real Academia Española. (2001) en términos de la técnica, hablaríamos de una configuración y disposición única de determinados elementos que rigen las acciones de la máquina, las posibilidades que ofrece el material, las herramientas y el proceso; Operacional responde a un conjunto de elementos que operan bajo unos límites, condiciones y requerimientos.

Un principio de operación es entonces un conjunto de elementos que determinan el proceso de operación de una maquina en particular. Desde el entorno de Patentes, los principios operacionales son elementos susceptibles de ser patentados, David Leyton citando a Michael Polanyi lo interpreta como lo que debe estar integrado en una patente, explicando el cómo sus partes características determinan su función especial. Layton, D. (1993) p. 48.

Se entenderá entonces como los factores que determinan la operatividad de la máquina y que permiten a diseñadores hacer una elección racional de saberes para el diseño y desarrollo de producto, se identificaron 4 principios: *Melt flow index (MFI)*, Espacio euclídeo, Programación y Adicción.



- MELT FLOW INDEX (MFI)
  - Es generalmente considerada como una medida simple para la reología<sup>8</sup>, su comportamiento y procesabilidad se correlaciona con propiedades del producto final. Investigaciones recientes de Wang, S., Capoen, L., D'hooge, D. R., & Cardon, L. (2018) entorno al Melt Flow Índice (MFI) para la Fabricación digital aditiva por Extrusión de Productos evidencia a través de sus resultados como él (*MFI*) está directamente relacionado con los acabados finales del producto, mientras que por otro lado el Melt Flow Behaviour (*MFB*) es un parámetro fundamental debido a que está directamente relacionado con la precisión y la adhesión entre planos (capas). este parámetro no está relacionado únicamente con el (MFI), si no también se ve afectada por configuraciones de la maquina como los grados Psi de presión, la velocidad, los grados de temperatura, la temperatura de fundición y la plasticidad Fig. 13.



**Fig. 13-** Diagrama de la "Fabricación digital aditiva por Extrusión (FDM) – elaboración propia

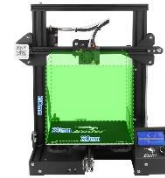
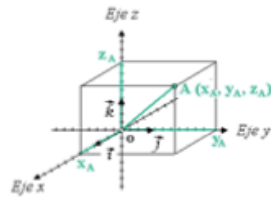
---

<sup>8</sup> Rama de la Física que estudia el comportamiento y la fluidez de los materiales.

Para determinar e interpretar el índice de fluidez de un polímero termoplástico o (MFI) se recurre normalmente a la ISO 1133, en la cual un polímero fluye a través de una boquilla a determinada temperatura (temperatura de la boquilla) con una carga de 2.16kg a determinada temperatura (temperatura del material).

- PLANO CARTESIANO / ESPACIO EUCLIDEO

- El espacio euclídeo es la interpretación de la multidimensionalidad del espacio (0D, 1D, 2D, 3D) Peña, M., & Camoruco, B. L. (1970). Descartes propuso las coordenadas cartesianas (Fig. 14 y Fig. 15), inscritas en el plano tridimensional proveyéndonos una Herramienta de representación para el espacio, este elemento está profundamente relacionado a la fabricación aditiva debido a que la mayoría de las técnicas de fabricación funciona bajo este principio<sup>9</sup>. Entenderíamos entonces que el conocimiento y apropiación de esta herramienta es fundamental para el Diseño y Desarrollo de Producto Fig. 16 y Fig. 17.



*Fig. 14 Sistema tridimensional Fig. 15 Máquina de fabricación aditiva por extrusión*

---

<sup>9</sup> Es importante resaltar que este principio no es el único utilizado en la fabricación aditiva, hay técnicas que utilizan herramientas bajo principios distintos de orientación en el espacio. Estos son: Configuración Delta, Orientación Polar, y Brazo robótico.

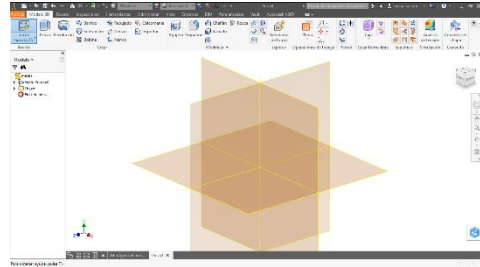
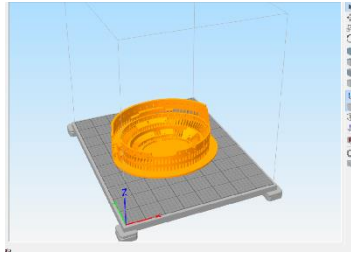


Fig. 16 y Fig. 17 Software Simplify 3D y Software Inventor haciendo uso de las herramientas de representación

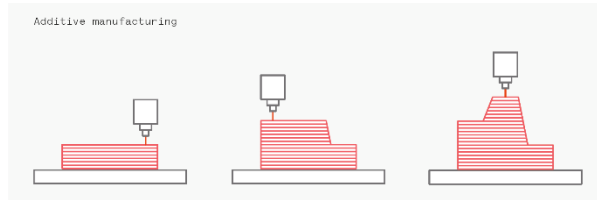
- PROGRAMACION

- En términos de sistemas computarizados el concepto de programación suele relacionarse con el *software*, el *hardware*, números binarios y lenguajes de programación, pero en términos generales, el programa es relacionado directamente con secuencia, serie de pasos, de protocolo, proyecto o algoritmo, este último concepto es vital para determinar lo que en términos de técnicas de fabricación aditiva significa la programación.
- Los algoritmos son estructuras de control que determinan y limitan las funciones de máquinas y herramientas, extrapolando el concepto a la fabricación digital aditiva, hablaríamos específicamente de los elementos que componen esa estructura de control bajo la cual operan las máquinas de fabricación digital aditiva, a continuación, se listarán algunos elementos que componen el algoritmo:
  - Porcentaje % de extrusión y retracción
  - Ancho de Capa
  - Relleno / Soportes / Falda / Puente / Pilar / Escudo

- Temperatura/enfriamiento
    - Velocidad de movimiento en los Ejes / Velocidad de extrusión
    - Controles específicos
    - Entre otros.
  - El conocimiento y dominio de estos elementos compromete el algoritmo para la programación de la máquina de impresión 3D, la correcta programación de la maquina es directamente proporcional a la calidad y precisión de los objetos fabricados e incluso interfieren en la viabilidad de fabricación de este. En trabajos de grado e investigaciones de Juan Albuquerque, A. (2014) y García Domínguez, A., Claver Gil, J., & Sebastián Pérez, M. Á. (2017) respectivamente se puede hallar información detalla respecto a estos elementos.
- ADICIÓN

Tim Minshall es profesor en innovación de la Universidad de Cambridge, y director del instituto para manufactura y director del centro de administración tecnológica (CTM), su línea de investigación, su catedra y sus actividades están enfocadas en la relación entre manufactura e innovación; es por eso que ha desarrollo importantes investigaciones ya mencionadas en este documento. Dentro de esas investigaciones, Tim ha propuesto 4 maneras en las que fabricamos industrialmente los productos: Manufactura Sustractiva, la cual sustrae o retira material para la fabricación de la forma, el torno o la fresadora son buenos ejemplos, la Manufactura Formativa en la cual de material es formado hasta conseguir la forma deseada, la plastilina y la arcilla son buenos ejemplos, la Manufactura Moldeativa en la cual se utilizan moldes y preformas para la obtención de la

forma final, soplado y termoformado son buenos ejemplos y la Manufactura Aditiva (Fig. 18), la cual genera la forma a partir de el depósito de material extruido plano por plano, en la página del instituto se pueden encontrar información y un recurso fílmico del propio Tim Marshall en TedxCambridge en el que profundiza los conceptos.



*Fig. 18 - Representación gráfica concepto adición por capas*

## 2.3 DE LA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES Y EL DISEÑO DE PRODUCTO

Hasta este punto, se estableció un marco teórico en el que se integraron elementos de las 3 variables del proyecto, así como elementos conceptuales, históricos, tipológicos y aplicación de la tecnología de **fabricación digital aditiva pro extrusion** al **pensamiento espacial y pensamiento técnico** con el fin de construir la fundamentación de la investigación y la construcción metodológica.

La Manufactura aditiva (AM) o Fabricación digital aditiva es un conjunto de técnicas para la producción mediada por sistemas computarizados que además nos provee de una lógica de fabricación distinta (dispositivo de fabricación aditiva), un conjunto técnico que nos provee capacidades de configuración formal distintas a las tradicionales. Pero si bien el desarrollo tecnico y

tecnológico ha sido relevante, está requiere de lo que se definió previamente como un pensamiento espacial y un pensamiento técnico coherentes, un modelo de pensamiento integrado y no forzado a este dispositivo de fabricación.

Las posibilidades de fabricación, configuración formal y valor agregado son relevantes, valdría la pena desarrollar el conocimiento adecuado para la Fabricación Aditiva que responda apropiadamente a sus posibilidades.

Mencionado esto, se realizó un mapeo de variables junto con sus componentes y elementos para identificar de manera exploratoria, los factores clave que intervienen en el diseño y desarrollo de producto para la fabricación digital aditiva, el resultado de este mapeo fue el diagrama de variables (Fig.19 y Anexos)

“Está fundamentado que para saber cómo una persona piensa el espacio, primero es necesario saber cómo entiende los Conceptos básicos” Van Der Merwe, F (2011) los conceptos básicos a los que Van der Merwe se refiere hacen parte de los “elementos del espacio” en términos del National Research Council & Geographical Sciences Committee. (2005), analizar como las personas hacen uso de este es vital para un pensamiento espacial coherente, pero además de los Conceptos del espacio, las **herramientas de representación espacial**, o las **relaciones espaciales** (habilidades espaciales) en términos de Piaget, J. (2013) son base fundamental para comprender como una persona piensa el espacio, por consiguiente, como hace uso de él, y lo emplea en el diseño y desarrollo de producto.

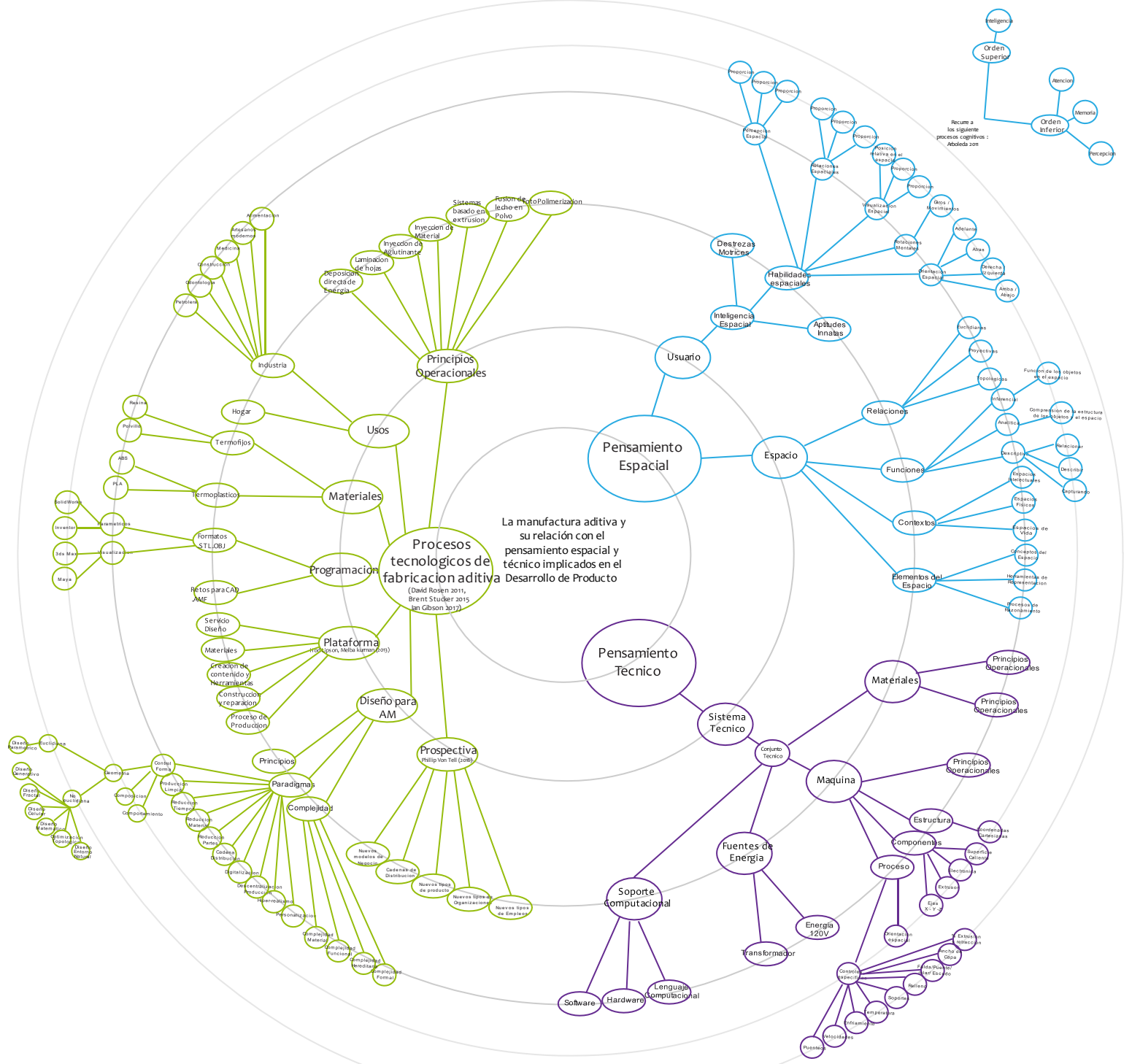
Es así como a partir del mapeo de las variables se identificaron 5 factores clave:

- Habilidades Espaciales (Pensamiento espacial)
- Herramientas de Representación del Espacio (Pensamiento Espacial)
- Materiales (Pensamiento técnico)
- Herramientas (Pensamiento técnico)
- Procesos (Pensamiento técnico)

Comprendidas las variables que se relacionan entre sí con el Diseño de producto, se construyó una metodología la cual busca en primera medida verificar las variables mencionados en relación a la fabricación digital aditiva, segundo pretende determinar el estado actual de conocimientos en el área, para luego a través de los resultados verificar y establecer la relación de los elementos mencionados previamente en este documento, tercero y último, construir una investigación partiendo de los elementos conocidos y de la experiencia para entender lo que es desconocido y a través de un proceso de validación llegar a una base de planteamientos teóricos provisionales<sup>10</sup> que permitan el desarrollo de futuras investigaciones.

---

<sup>10</sup> *Extracto parafraseado del artículo* Fresneda Moreno, D. A. *Estrategia creativa para el desarrollo de un proceso de diseño* (Bachelor's thesis, Facultad de Arquitectura y Diseño).



**Fig. 19** - Diagrama de Variables y elementos que las componen – Elaboración Propia. Anexos



# CAPÍTULO 3

Metodología

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>69</b>
3.1.1	ETAPAS DEL PROYECTO	69
3.1.2	HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS	70
3.1.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	71
3.1.4.	INSTRUMENTOS	72
3.1.4.1	INSTRUMENTO 1	74
3.1.4.2	INSTRUMENTO 2	76
3.1.4.3	INSTRUMENTO 3	78
<b>3.2</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>81</b>

El presente capítulo propone y describe la toma de decisiones y estructura para la consecución de los objetivos planteados. Pretende a través de herramientas, técnicas, métodos y procesos dar respuesta a la pregunta planteada para la investigación en relación a la Impresión 3D con el pensamiento espacial y pensamiento técnicos descritos.

## 3. CAPÍTULO 3

### 3.1 METODOLOGÍA

#### 3.1.1 ETAPAS DEL PROYECTO

- Anteproyecto
  - Diagnóstico
  - Revisión bibliográfica
  - Construcción del marco teórico
  - Planteamiento de problemática, justificación y objetivos
  - Grupos de discusión
- Proyecto de investigación
  - Desarrollo metodológico
  - Definición de instrumentos
  - Aplicación de instrumentos
    - Prueba piloto habilidades espaciales
    - Test habilidades espaciales
    - Test dominio herramientas de representación del espacio (planos cartesianos)
    - Test dominio principios operacionales (extrusión de material, construcción por coordenadas y planos en el Eje Z, lógica de la continuidad fabricar sin interrupciones)
  - Análisis de resultados

- Discusión

### 3.1.2 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS

Coherente con el objetivo de investigación, se realizó un tipo de estudio *Exploratorio* en un nivel *Perceptivo* Hurtado, J. (2005) con un enfoque Mixto (Hernández Sampieri, et. al. 2008) y de análisis factorial sobre las dimensiones fundamentales de las variables; El desarrollo de la investigación se basa en un modelo epistémico positivista (postura filosófica frente a la noción de conocimiento) en términos de Jackelin Hurtado citando a *Kerlinger y Lee* “La investigación es un proceso sistemático, controlado, empírico, amoral, público y crítico de fenómenos naturales, que se guía por la teoría y las hipótesis sobre las presuntas relaciones entre los fenómenos” Kerlinger y Lee (2002).

En términos de Hurtado y (Hernández Sampieri, et. al. 2008) la investigación exploratoria consiste en la aproximación a un evento poco conocido, le permite al investigador familiarizarse con las situaciones y los contactos para abrir camino hacia otro tipo de investigación más compleja. A través de la revisión bibliográfica y el uso de técnicas bibliométricas, fue evidente un avance del pensamiento relacionado con espacio, y las técnicas de fabricación digital, pero también debido a los recientes avances técnicos y tecnológicos (como se mencionó en el marco teórico) no ha dado tiempo suficiente a la investigación y la teoría.

### 3.1.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El grupo de personas objeto de investigación estuvo compuesto por (231) alumnos que actualmente cursan las rutas de Objeto, Interacción y Contexto en la carrera de Diseño Industrial de la facultad de Artes y Diseño de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL), los estudiantes que componen la población están familiarizados con elementos del espacio y tienen habilidades para intervenirlo, y puesto que cursan semestres entre 4 y 7, tienen elementos que los facultan para ser altamente propositivos objetualmente.

El tipo de muestreo fue no probabilístico y por conveniencia. Compuesto específicamente por (75) estudiantes que cursan los talleres de la ruta de Objeto, (Estructura de la forma, Actividad y Forma, Taller Vertical, Concretos y Lógica de la Forma) pertenecientes a los semestres anteriormente mencionados del pregrado. Cada taller está compuesto por un numero particular de estudiantes, discriminados en 6 grupos de la siguiente manera:

Grupo	Asignatura	N°
X1	Estructura de la Forma	17
X2	Actividad y Forma	15
X3	Concretos	12
X4	Estructura de la Forma	8
X5	Actividad y Forma	9
X6	Logica de la Forma	14

### 3.1.4. INSTRUMENTOS

En este apartado se describen los instrumentos diseñados y utilizados para recolectar la información necesaria para desarrollar los objetivos propuestos, los instrumentos fueron diseñados específicamente para esta construcción metodológica, ya que, y como se verifico en la bibliografía, no se hallaron instrumentos adecuados para evaluar las habilidades espaciales, elementos del espacio y elementos técnicos en relación a la fabricación aditiva. En la tabla 6 se presenta una descripción del objetivo que se persiguió con cada uno de ellos y en la fig. 20 una representación gráfica.

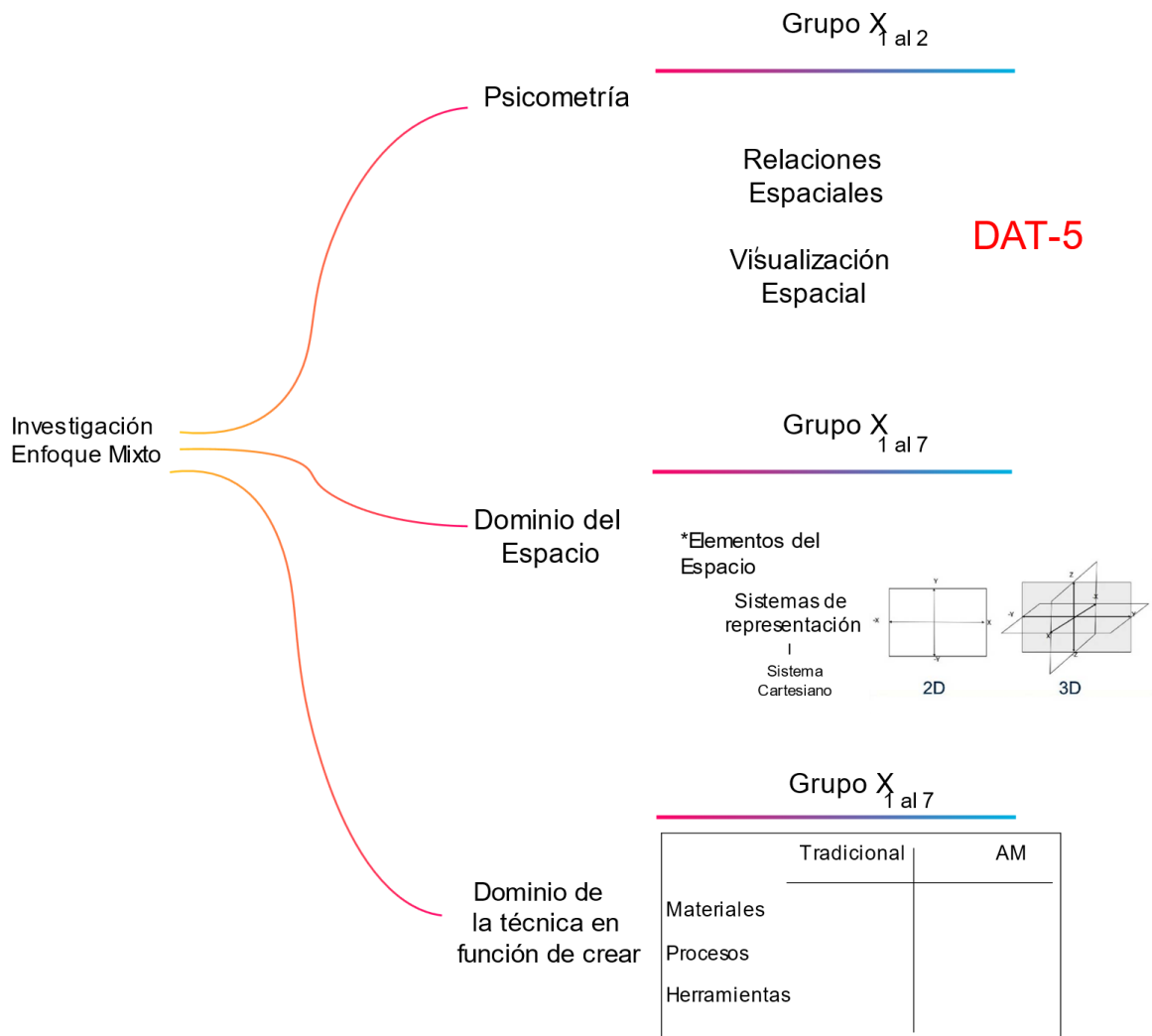
<b>INSTRUMENTO 1</b>	<b>INSTRUMENTO 2</b>	<b>INSTRUMENTO 3</b>
<b>Dominio sobre las relaciones espaciales (abierto, cerrado, próximo etc.) "Dominio sobre el espacio para el desarrollo de producto" DAT-5</b>	<b>Análisis e identificación de los ejes cartesianos en un espacio Euclídeo "Dominio de las herramientas de representación del Espacio para el desarrollo de Producto"</b>	<b>Identificación y aplicación de la fabricación digital aditiva "Dominio de la Técnica para el desarrollo de producto"</b>
<b>Habilidad Espacial</b>	<b>Elementos del Espacio</b>	<b>Elementos Técnicos</b>

*Tabla 6 - Descripción de los instrumentos*

De acuerdo con el primer objetivo específico (*Reconocer los cambios implicados en el Pensamiento Espacial y Pensamiento Técnico en consideración a las características de la Fabricación digital aditiva por Extrusión*) se establecieron 3 determinantes para su consecución:

- Nivel de dominio en la relación con el espacio (Habilidad espacial – Instrumento 1)

- Nivel de dominio de los objetos en el espacio (Herramientas Representación – Instrumento 2)
- Dominio de los elementos técnicos en función de la creación (Materiales, herramientas, procesos – Instrumento 3)



**Fig. 20 - Representación gráfica instrumentos aplicados**

A continuación, se describirán detalladamente los instrumentos, luego de la revisión bibliográfica se decidió por el diseño de (3) Instrumentos.



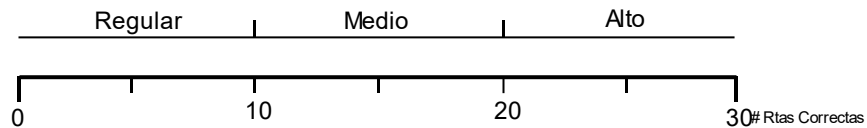
En cada una de las 30 preguntas (Fig. 21) (Fig. 22) de la prueba se reflejaban no solo las variables anteriormente mencionadas, *Relaciones espaciales (SR)* y *Visualización espacial (SV)*, sino también y en gran medida otras que intervienen activamente en el proceso:

- Pensamiento Espacial (mapeo de variables)
  - Relaciones espaciales
    - Topológicas
    - Proyectivas
    - Euclidianas
- Función
  - Analítica
- Elementos del espacio
  - Conceptos del espacio
  - Herramientas de Representación (espacio euclídeo)
- Habilidades espaciales
  - Rotación Mental (*MR*)
  - Orientación Espacial (*SO*)

Debido a la naturaleza de los procesos de pensamiento, para evaluar una variable es imprescindible siempre tener en cuenta que otros procesos mentales operan inconscientemente para hallar solución a los problemas.



Para ponderar la prueba se delimitaron 3 niveles los cuales encasillan el dominio de las habilidades espaciales en función del número de respuestas correctas en esta prueba psicométrica, los niveles fueron asignados proporcionalmente.



*Fig. 23 – Distribución respuestas Test Psicométrico*

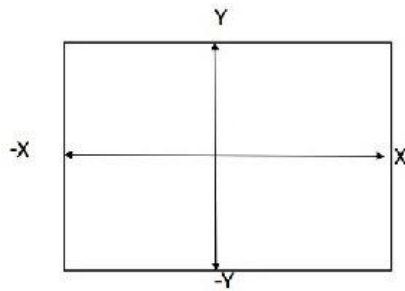
La prueba fue aplicada, controlada y analizada por profesionales en psicología de la Institución Pontificia Universidad Javeriana y dirigidos por el Psicólogo Leonardo Alberto Rodríguez Doctor en “Psicología criminal” de la Universidad Complutense de Madrid.

#### 3.1.4.2 INSTRUMENTO 2

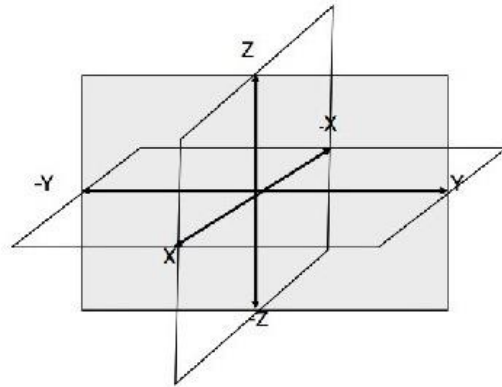
Analizar e identificar el dominio sobre las herramientas de representación del espacio (planos cartesianos, espacio euclídeo/espacio tridimensional); la nomenclatura estándar para el plano Cartesiano es “X” y “Y” (Fig. 24), la tercera dimensión, agrega un tercer plano denominado eje “Z” (Fig. 25), es de vital importancia para el diseñador y desarrollador de productos entender la configuración del espacio euclidiano ya que bajo ella es que la Fabricación digital aditiva transforma la materia prima en objetos.

Establece la concepción y conocimiento de los planos cartesianos contenidos por el espacio euclidiano, dirección de los ejes y manipulación de los objetos relacionados a él. (Anexo Instrumento

2)



2D



3D

Fig. 24 - Plano Cartesiano

Fig. 25 - Espacio Euclídeo

### Elementos del Espacio

Número \_\_\_\_\_

Coordenadas Cartesianas

Apellido \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Correo Electrónico \_\_\_\_\_

La siguiente pregunta es de respuesta múltiple con **única** respuesta, marque con (X).

¿Qué nomenclatura es usada para definir los ejes en un plano Cartesiano?

a

(A)

Y

(B)

Alpha

(C)

1

(D)

A continuación, se le presentarán unas coordenadas, enuncia los ejes utilizando la nomenclatura para Manufactura Aditiva, ubíquelas en el plano cartesiano y complete la figura.

Coordenadas  
x,y,z

1. (1,1,0)
2. (1,4,0)
3. (4,4,0)
4. (4,1,0)
5. (3,3,3)

Trazos para completar la figura

- A (Coordenada 1 a la 2)
- B (Coordenada 2 a la 3)
- C (Coordenada 3 a la 4)
- D (Coordenada 4 a la 1)
- E (Coordenada 1 a la 5)
- 2 a la 5
- 3 a la 5
- 4 a la 5)

Modificaciones Pepsas 2019.

Fig. 26 - Prueba Elementos del espacio (anexos)

La (Fig. 26) presenta la prueba aplicada, subdividida en dos preguntas:

la pregunta número (1) dirigida a determinar la concepción del plano cartesiano (2D) a través de la configuración y disposición de los ejes, el plano vertical “Y” y el plano horizontal “X”.

La pregunta número (2) dirigida a la concepción del espacio euclídeo o plano tridimensional (3D) a través de la configuración y disposición de sus ejes, ubicando y develando la figura preestablecida y partir de unas coordenadas propuestas para entender su disposición en el espacio.

La disposición correcta de los ejes se presenta en la (Fig. 25), el eje vertical toma la tercera dimensión o eje “Z”, desplazando la “X” y “Y” al plano base.

Luego de la revisión bibliográfica, no se encontraron pruebas relacionadas con los constructos descritos, por lo que se propone este instrumento como un primer acercamiento a la posibilidad de su medición, así como su confiabilidad y validación.

### 3.1.4.3 INSTRUMENTO 3

Determina los conocimientos sobre las diferentes técnicas de fabricación para el desarrollo de producto específicamente los materiales, las herramientas y el proceso que intervienen en la transformación de las materias primas en productos terminados con valor agregado. Se plantean dos objetos diferentes (una casa Fig.27 y un árbol Fig. 28, ambos objetos tridimensionales) a continuación se les pide que describan la técnica de fabricación tradicional (Inyección, termoformado, vaciado, soplado etc.) privilegiando materiales de baja densidad y en la siguiente columna la técnica de fabricación aditiva (Impresión 3D) para elaborar los objetos expuestos.

**Elementos  
Técnicos**  
Materiales, proceso  
y herramientas

Número \_\_\_\_\_

Apellido \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Correo Electrónico \_\_\_\_\_

La prueba busca determinar sus conocimientos en relación con la fabricación tradicional (inyección, termoformado, vaciado etc.) y la fabricación aditiva (Impresión 3D).

A continuación se le presentarán dos objetos, de acuerdo a sus conocimientos determine el material apropiado mas liviano, las herramientas necesarias y el proceso para su fabricación.



Fabricación Tradicional	Fabricación Aditiva
Material	Material
Herramientas	Herramientas
Proceso	Proceso

Modificaciones Propias 2019.

**Elementos  
Técnicos**  
Materiales, proceso  
y herramientas



Fabricación Tradicional	Fabricación Aditiva
Material	Material
Herramientas	Herramientas
Proceso	Proceso

Modificaciones Propias 2019.

**Fig. 27 - Elementos técnicos pregunta 1**      **Fig. 28 - Elementos técnicos pregunta 2 (anexos)**

En cada uno de los espacios de respuesta de la prueba (Fig. 27 y Fig. 28) se ha planteado un concepto el cual será pilar para la posterior clasificación en los niveles que se proponen en la tabla 5.

Fabricación Tradicional	Fabricación Aditiva
<b>Densidad</b>	<b>Densidad</b>
<b>Nivel de Formadon</b>	<b>Nivel de Formacion</b>
<b># etapas</b>	<b># etapas</b>

**Tabla 7 – Concepto a evaluar**

Para determinar el estado actual de los 75 estudiantes, se propusieron dos mediciones con el fin de determinar el dominio sobre las técnicas de fabricación, para Fabricación Tradicional se

proponen 5 niveles que difieren progresivamente en cantidad y profundidad de los conocimientos reflejados en la prueba.

Alta	Balso, icopor, silicona, caucho, propone 2 o más alternativas de fabricación, domina las herramientas y el proceso en todas sus propuestas, es consistente y propone soluciones no previstas.
MedioAlto	Arcilla, Porcelana, Vidrio, acrílico, cartón paja, Domina y propone herramientas diversas así como distintos procesos para su fabricación
Medio	Resina, ABS, TPU, caucho, Porcelánico, describe con términos técnicos y del área de conocimiento, determina las herramientas y su transformación
MedioBajo	Hierro, bronce, plata, concretos, Conoce las herramientas involucradas en el proceso, pero no domina los detalles
Baja	Bloques Oasis, poliuretano, Madera, no conoce herramientas adecuadas ni el proceso para su transformación

*Tabla 8 – Niveles de dominio para fabricación tradicional*

Para la fabricación aditiva se proponen 5 niveles los cuales aumentan progresivamente en cantidad y profundidad de los conocimientos reflejados en la prueba.

Alta	Está al tanto de avances en Materiales y Softwares, integra nuevas herramientas al proceso, Diseña y Gestiona sus propias secuencias de Fabricación, Domina terminología.
MedioAlto	Domina varios Materiales y Software, sabe de todas las herramientas que intervienen en el proceso, Diseña sus propias secuencias de fabricación. Conoce de terminología
Medio	Conoce de Materiales y Software, conoce las herramientas básicas que intervienen en el proceso, conoce las secuencias de flujo. Reconoce la terminología
MedioBajo	Distingue materiales básicos, no conoce sobre las herramientas que intervienen en el proceso, ni las secuencias de fabricación. La terminología le es desconocida
Baja	No posee conocimientos relacionados al área

*Tabla 9 – Niveles de dominio para Fabricación Aditiva*

Los dos baremos (Tabla 8 y Tabla 9) nos permitirán posteriormente clasificar los resultados de los 75 estudiantes respecto a su conocimiento en fabricación tradicional y fabricación aditiva. Se propone para futuras investigaciones determinar el nivel de confianza y validez de los instrumentos propuestos.

### 3.2 PROCEDIMIENTO

Una vez definida la muestra por conveniencia (Grupo  $X_{1-6}$ ), la aplicación de las pruebas se dividió en dos etapas tabla 10.

	Grupo	Instrumento 1	Instrumento 2	Instrumento 3
Etapa 1	1	X	X	X
	2	X	X	X
Etapa 2	3		X	X
	4		X	X
	5		X	X
	6		X	X

*Tabla 10 - Cuadro aplicación de instrumentos en los grupos*

En la **etapa 1** se aplicaron los instrumentos (1,2 y 3) exclusivamente a los grupos  $X_{1-2}$ , y se construyó un método de aplicación de la siguiente manera:

- **Sesión 1:** Junto con un profesional en psicología y según su experticia se dividió en 3 momentos:

1 – Bienvenida, razón de aplicación, beneficios para la investigación y beneficios para los evaluados.

2 – Instrucciones de aplicación:

- Alistamiento de implementos (lápiz, borrador, esfero)
- Hoja de respuestas
- Cuadernillo de preguntas
- Explicación ejemplo 1
- Explicación ejemplo 2
- Explicación forma y tiempo para responder
- ¡Comenzad!

3 – Terminar la prueba, recoger cuadernillos junto con sus hojas de respuesta.

En la **etapa 2** se aplicaron exclusivamente los Instrumentos 2 y 3 a los grupos  $X_{3-4-5-6}$ , los tiempos de desarrollo de la prueba se recurrió únicamente a 1 sesión de 20 – 25 minutos de aplicación y se procedió de manera muy similar a la anterior.

La aplicación se llevó acabo de manera controlada, el entorno fue seleccionado previamente con el fin de controlar la disposición para su realización, así como su atención, percepción y memoria estuviesen dispuestas y preparadas para la prueba. Todas las pruebas se aplicaron dentro de un salón de clase, con condiciones medioambientales y contaminantes tanto visuales y auditivas controladas.

### 3.2.1 MOTIVACIÓN

La motivación es un factor relevante para el estado de disposición de la persona al momento de realizar la prueba, es probable que una persona poco motivada provea datos poco fiables debido probablemente a su falta de interés, se recurrió a una estrategia de motivación a través de la competitividad entre los estudiantes.

### 3.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez recopilados los datos se realizó un análisis estadístico para establecer las primeras conclusiones, un análisis correlacional para identificar congruencias o posibles relaciones entre los resultados para terminar con una discusión de resultados junto con la teoría.





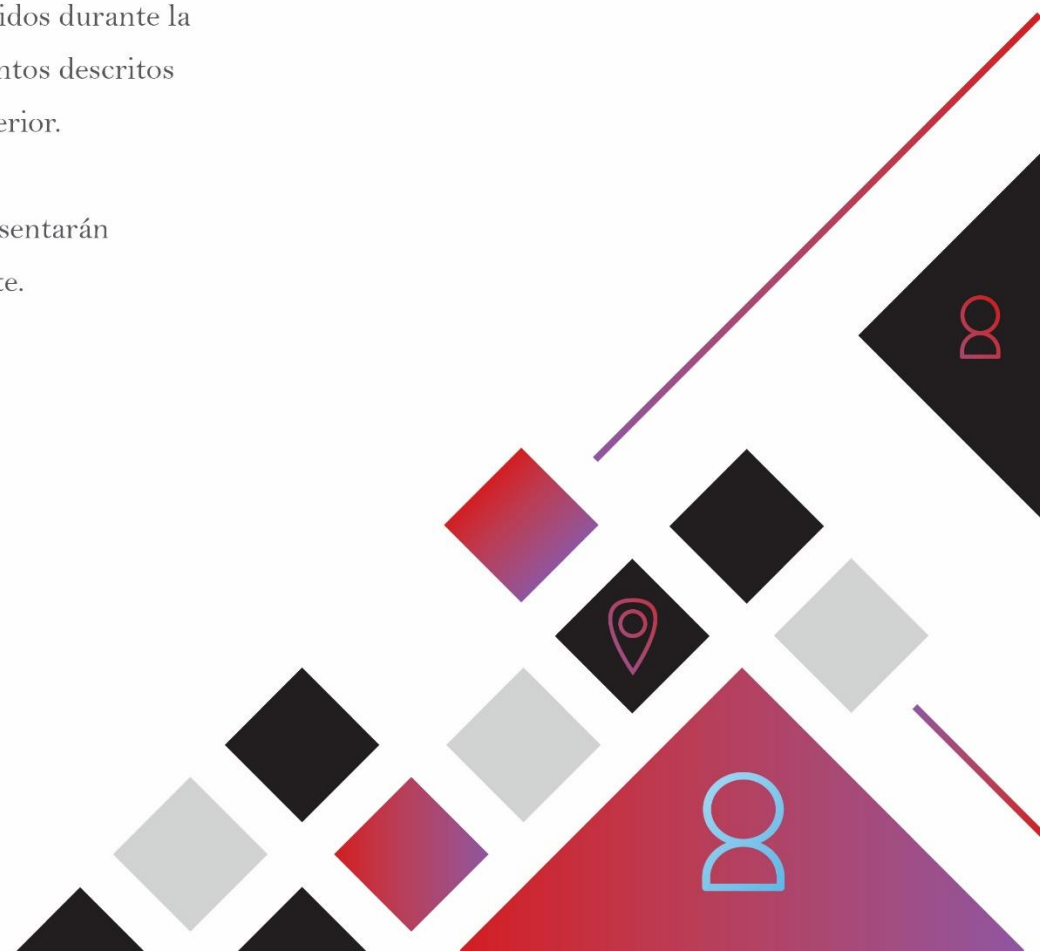
# CAPÍTULO 4

Resultados

<b>4.1 RESULTADOS</b>	<b>85</b>
<b>4.1.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA</b>	<b>85</b>
<b>4.2 CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
<b>4.3 DISCUSION</b>	<b>97</b>

En el presente capítulo se presentará el análisis de resultados obtenidos durante la aplicación de los instrumentos descritos en el capítulo anterior.

Los resultados se presentarán individualmente.



## 4. CAPÍTULO 4

En el presente capítulo se presentarán los datos, las tabulaciones y los resultados obtenidos de la aplicación de los 3 instrumentos mencionados en el capítulo anterior, realizadas con el profesor Manuel Ricardo Contenido Rubio, Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y el investigador independiente Diego Sebastián Mahecha Rodríguez, especialista en Gerencia de Empresas de la Universidad del Rosario. Los resultados se presentarán individualmente junto con sus correspondientes gráficas.

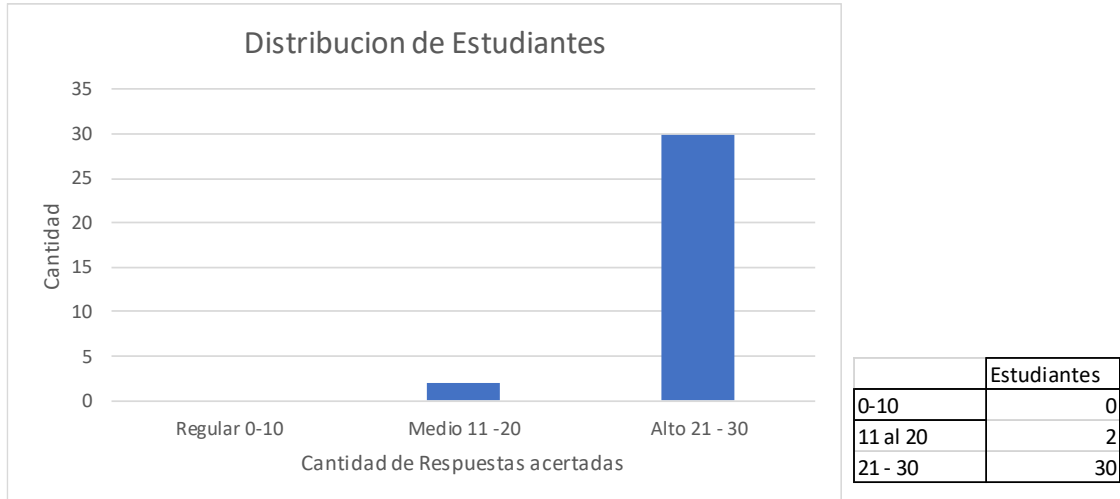
### 4.1 RESULTADOS

De manera general los datos se consignaron independientemente en distintas matrices construidas en Microsoft Excel, consistió en una serie de categorías las cuales tenían como objetivo identificar las variables mencionadas en el capítulo 3, de tal manera se logró consolidar una base de datos de 1.875 datos.

#### 4.1.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Se presentarán los resultados de los instrumentos (1,2,3) junto con sus análisis estadísticos compuestos por promedio, mediana, moda y desviación estándar, junto con sus representaciones gráficas.

#### 4.1.1.1 INSTRUMENTO 1



**Fig. 29 – Cantidad de respuestas acertadas**

Luego de las tabulaciones y análisis de los resultados obtenidos de la prueba Psicométrica se llegó a la conclusión que el 93% de los estudiantes encuestados obtuvieron más de 21 de 30 respuestas correctas en la prueba (Nivel Alto respecto a la muestra), mientras que 6% se encuentra entre las 11 y 20 respuestas correctas (Nivel medio respecto a la muestra).

Investigaciones como (Alderete, E. O 1983) y (Piaget, J. 2013) citando los trabajos de Piaget, J., & Inhelder, B. (1956). *The Child's Conception of Space* mencionan el desarrollo de la concepción espacial compuesto por 3 etapas fundamentales: relaciones topológicas en la cual se establece y desarrolla los conceptos de arriba, abajo, adentro, afuera, abierto, cerrado, próximo, lejanos entre otros, relaciones proyectivas, en las cuales la personas ya conceptualiza y domina elementos como tamaño, dirección y distancia entre otros, y las relaciones Euclidianas, en las cuales la persona domina

elementos como Perspectiva, proporciones y posición relativa en el espacio, si bien, la prueba aplicada DAT-5 evalúa varios aspectos de la habilidad espacial en términos de (McGee, M.G 1979) y Sutton, K. J., & Williams, A. P. (2007), se enfoca en relaciones espaciales (SR), lo que nos permitiría concluir que el 93% de los estudiantes poseen una alta capacidad sobre las relaciones espaciales en los objetos (los 3 niveles propuestos por Piaget), esto debido quizá a que la formación recibida como Diseñadores Industriales tiene un componente fuerte sobre la creación y desarrollo de superficies, que -relacionadas- entre ellas configuran la forma.

Debido a los resultados positivos obtenidos a través de este primer instrumento, se optó por no aplicarlo en la segunda etapa del muestreo, fundamentado en investigaciones de autores como (Prieto, G. 2008), (Tristancho Ortiz 2014), (Ortiz, J 2015) y (Sicilia, M. A. V. 2016) entre otros, quienes sostienen que, debido a la naturaleza de programas académicos como la ingeniería y Diseño, los estudiantes desarrollan altos niveles de dominio sobre las habilidades espaciales.

#### TIEMPOS DE RESPUESTA, EDAD Y GENERO DE LA MUESTRA

Es importante resaltar que la prueba fue solucionada en un promedio de (26min) con una desviación estándar de (8min), un mínimo de (10min) y máximo de (48min) la prueba aplicada tiene un tiempo de aplicación de (13min), lo que nos plantea la incógnita respecto a cómo el desarrollo de la habilidad espacial se ha visto limitado por la integración de sistemas informáticos que solucionan en gran medida los problemas espaciales o por el contrario, benefician su desarrollo pero limitan la interacción con sistemas análogos.

El promedio de edades fue de 19 años, a través de una regresión lineal Fig. 30 se descartó la posibilidad de una relación entre tiempo-edad (a mayor edad, mayor tiempo).

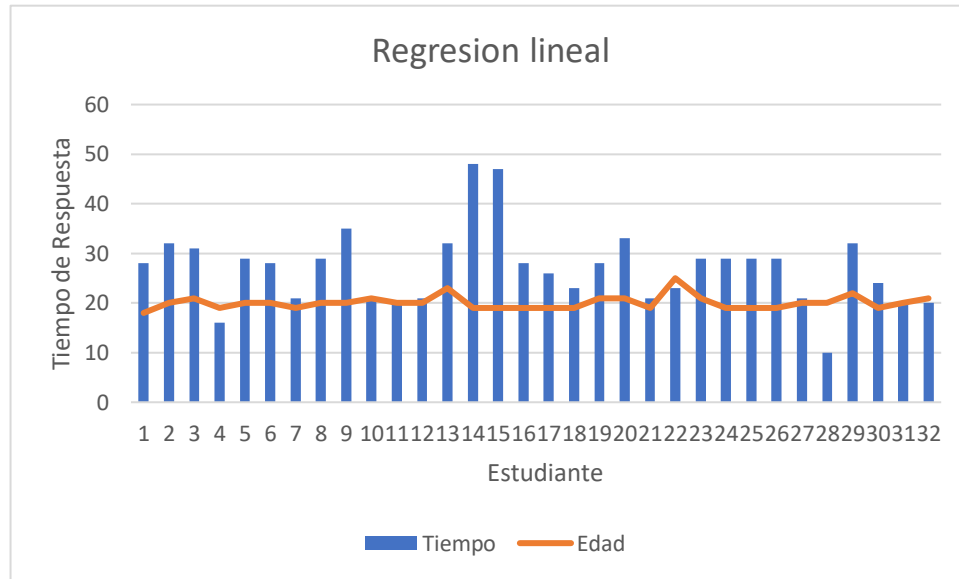


Fig. 30- Regresión lineal, no hay relación entre el tiempo y la edad

La muestra en su primera etapa estuvo compuesta por 50% de Hombres y 50% de Mujeres, pero los resultados obtenidos reflejan que los hombres tuvieron un 52% de respuestas correctas sobre un 48% de las mujeres (Fig. 31), distintas afirmaciones sostienen que los hombres desarrollan habilidades espaciales ligeramente superiores a la de las mujeres. Estos resultados también los confirman investigaciones como (Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. 2010; Maris Vázquez, S. T. E. L. L. A., & Noriega Biggio, M 2011; Alonso, A. 2011) entre otras.

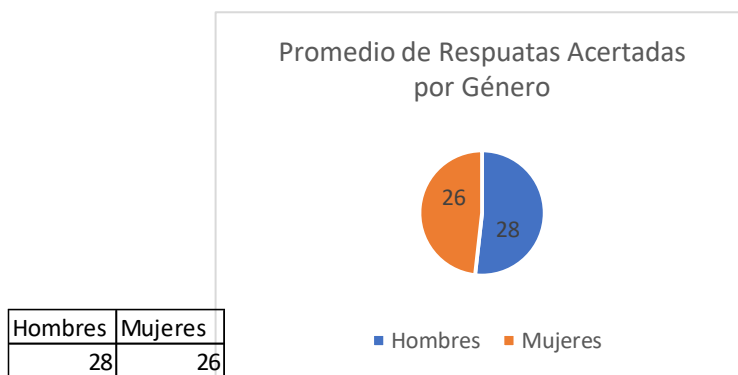
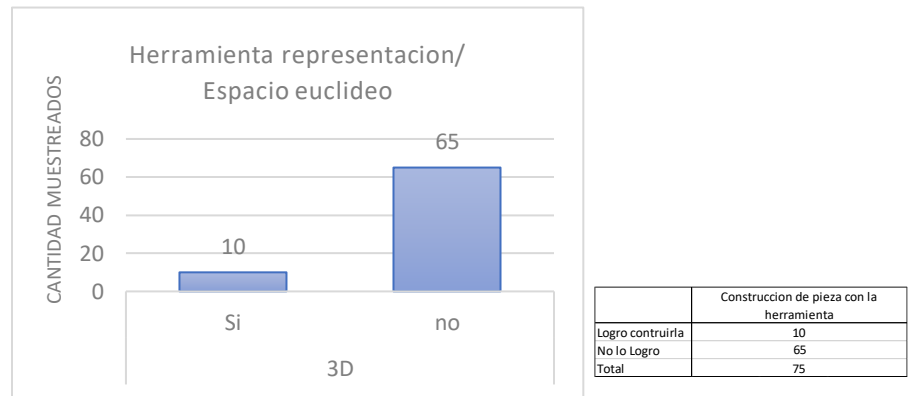


Fig. 31 – Promedio de respuestas acertadas por género

#### 4.1.1.2 INSTRUMENTO 2

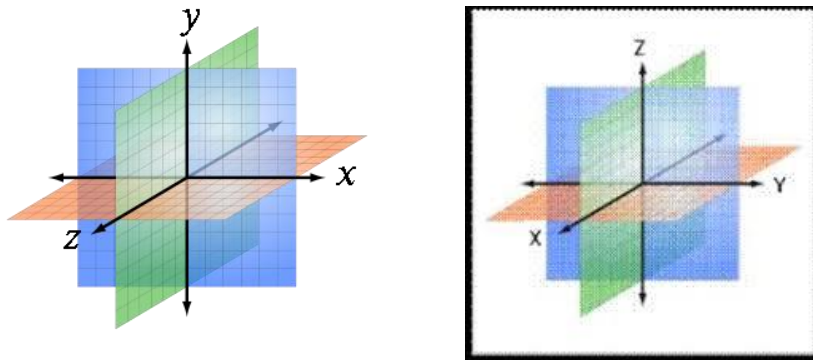
Debido a los resultados obtenidos en la etapa (1) de aplicación, se decidió unicamente por aplicar el instrumento 2 y 3 en la etapa (2) de aplicación.

Los resultados obtenidos de este instrumento son altamente propositivos debido a que a través de la investigación exploratoria se permitió establecer el marco para definir claramente una de las problemáticas más evidentes en la fabricación digital por adición, el uso inadecuado de las herramientas de representación del espacio, (planos cartesianos, espacio euclídeo) para el diseño y desarrollo de producto, específicamente, los datos de los (75) participantes reflejan una valoración positiva en el uso de herramientas de representación en dos (2) dimensiones con un 100% de aciertos, pero en la herramienta de presentación de tres (3) dimensiones es inevitable resaltar el hecho de que únicamente el 11% (10) participantes lograron resolver acertadamente la figura en un el espacio euclídeo, mientras que el 89% (65) participantes restantes no logro orientar adecuadamente los planos (Fig. 32).



**Fig. 32 – porcentaje de aciertos en el uso de las herramientas de representación del espacio para fabricación digital aditiva (sistema tridimensional)**

Los resultados anteriores podrían explicarse a través de la siguiente imagen:



**Fig. 33 sistema tridimensional en representación bidimensional (izquierda) y Fig. 34 sistema tridimensional en representación tridimensional (derecha)**

Como se muestra en la imagen anterior (Fig. 33), el eje “Z” ha sido mal definido en relación con la fabricación digital, debido a que el eje “Z” se encuentra en posición vertical a (90 grados) respecto a los ejes ‘X’ y ‘Y’ (Fig. 34). En primera instancia, podríamos aludir esta falta de apropiación de la herramienta a los software CAD, pero en realidad la deficiencia en la apropiación y utilización puede

remontarse hasta la educación secundaria, en esta etapa se realizan las primeras aproximaciones a los planos cartesianos y a los planos tridimensionales pero y debido posiblemente a las herramientas para la explicación de la misma (tablero, y marcador) se han olvidado mencionar a los estudiantes, que el plano cartesiano se ubica paralelo al suelo, y no perpendicular a este, ocasionando que los estudiantes lo interpreten erróneamente, un elemento que quizá ha pasado desapercibido pero que hoy, a través de la fabricación digital ha tomado relevancia y se ha configurado como un problema en el proceso de desarrollo con fabricación digital, también, y valdría la pena establecer una línea de investigación, respecto a cómo se relaciona este problema con estadios posteriores del desarrollo de producto con fabricación digital, es decir, si los estudiantes en este caso, no están pensando adecuadamente el espacio (Van Der Merwe, F 2011; Biggio, M. N., Vázquez, S. M., & García, S. M 2011), es probable también, que no estén pensando estadios posteriores del proceso, como porcentajes de extrusión del material, temperaturas o velocidades de movimiento y fabricación, en otros términos, es posible que al no pensar adecuadamente el espacio, tampoco piensen adecuadamente la técnica. ¿Sin un pensamiento espacial adecuado no se puede hacer uso de un pensamiento técnico eficiente?

El 89% de la muestra, refleja una confusión entre la relación del sistema tridimensional y los planos de vista Fig. 33 y Fig. 34.

#### 4.1.2 INSTRUMENTO 3

De los resultados obtenidos es llamativo resaltar el hecho de que alrededor de un 57%-66% de los estudiantes se encuentran en los niveles medio, medio-alto y alto de la escala en conocimientos técnicos para la transformación del material en productos terminados con valor agregado, por otro



lado los conocimientos técnicos para la transformación del material en productos terminados con valor agregado con fabricación aditiva alrededor de un 21% de los estudiantes se encuentran en los niveles medio, medio-alto y alto (tabla 11).

	F. Tradicional 1	F. aditiva 1	F. Tradicional 2	F. aditiva 2
Bajo	6	37	11	43
Medio-Bajo	19	19	20	15
Medio	4	16	4	13
Medio-Alto	19	3	12	3
Alto	27	0	27	0
Total 3 niveles	50	19	43	16
Porcentaje	66.7	25.3	57.3	21.3

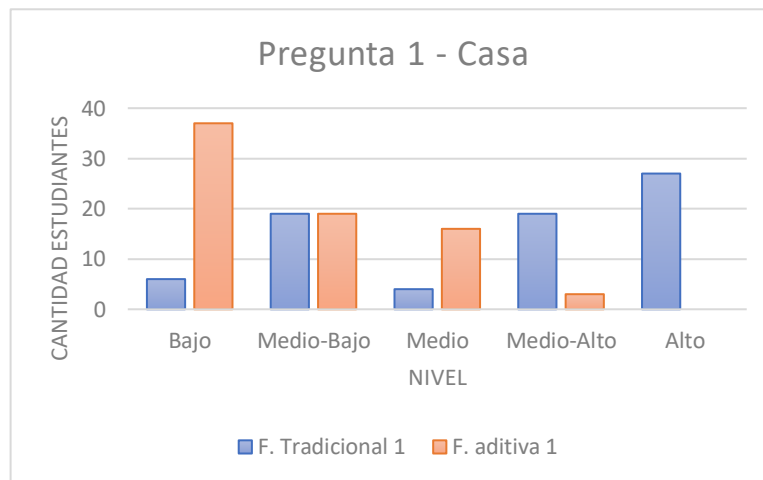
**Tabla 11– distribución por niveles de aciertos en los elementos técnicos para fabricación tradicional y fabricación aditiva.**

Los resultados reflejan que el 21%-25% domina la técnica para la fabricación digital aditiva, y quizá sea debido a esto que la tecnología se ha relegado al uso exclusivo de pruebas y prototipos con ayuda de expertos u operarios que dominen la técnica.

## MATERIALES, HERRAMIENTAS Y PROCESOS

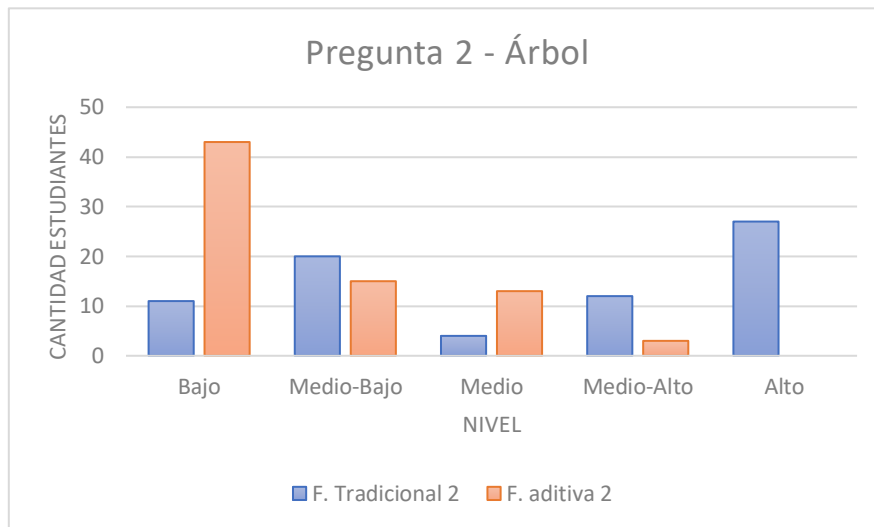
El 21% de los estudiantes domina los elementos de la técnica evaluados, conoce de materiales estándar (*ABS* y *PLA*), los *Software* más nombrados fueron para modelado digital (*SolidWorks*, *Inventor*, *3dsMax*), es interesante ver como únicamente 1 persona de toda la muestra reconoció utilizar software para la generación del G-Code (Código alfanumérico de posicionamiento del extrusor) paso inevitable en la fabricación aditiva.

El 21% reconoce las herramientas básicas que intervienen en el proceso, tales como la propia máquina y herramientas de corte, conocen las secuencias de flujo básicas, tales como la “modelación digital, exportación, e impresión” dejando por fuera otras etapas críticas como nuevamente la generación del G-code, las herramientas de calibración de la base pasando por otras herramientas de limpieza y reemplazo de boquilla según los requerimientos propuestos en el diseño y por ultimo reconoce la terminología básica como “Impresión 3D, Manufactura aditiva y Fabricación aditiva”



**Fig. 35 – distribución por niveles de aciertos pregunta 1 – elementos técnicos**

Las gráficas fig. 35 y fig.36 reflejan como la distribución de los muestreados en los diferentes niveles de dominio de la técnica, se puede observar como en ambos ejemplos dados en la prueba, los muestreados reflejan un muy buen nivel de dominio sobre los elementos técnicos para fabricación tradicional, pero para fabricación digital aditiva la distribución de los estudiantes frente a los elementos técnicos es inversa.

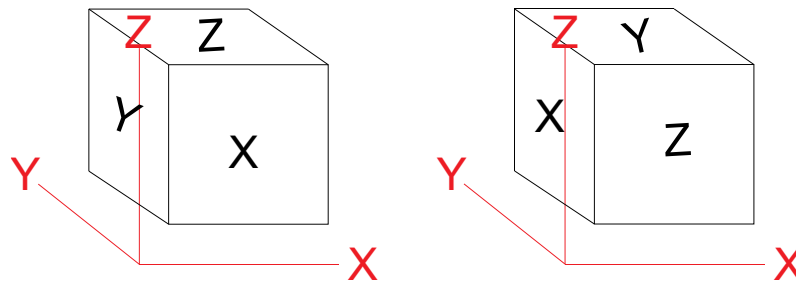


**Fig. 36 – Distribución por niveles de aciertos pregunta 2 – elementos técnicos**

“la utilización efectiva de los procesos de AM requiere no solo de conocimiento de los beneficios y limitaciones de la AM, si no, también, requerimientos en operaciones de acabados necesarios para finalizar la parte para el uso” – Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2014)

## 4.2 DISCUSION

Es probable y aun es parte de reflexión que la dificultad reflejada en el instrumento 2 no se encuentre en la aplicación y uso de las herramientas de representación del espacio (sistema cartesiano, sistema euclídeo) en un espacio bidimensional, si no, y como se refleja en los resultados, el problema se encuentra en utilizar las herramientas de representación (sistema cartesiano, sistema euclídeo) en un espacio tridimensional, puede que también influyan otras herramientas de representación espacial como los planos de vista, (vistas frontales, vistas superiores) ocasionando una confusión entre la aplicación de las dos herramientas como se muestra en la Fig. 37.



*Fig. 37 – Relación entre sistema tridimensional y planos de vista*

De acuerdo con los resultados obtenidos en el instrumento 2, no se está pensando el espacio adecuadamente para la fabricación digital aditiva o por el contrario debemos desarrollar un programa en el cual los diseñadores adquieran los conocimientos y destrezas requeridas en el área para el diseño y desarrollo de productos de fabricación digital. Debemos tener presente también que el pensamiento espacial es un factor vital para la fabricación digital aditiva por extrusión

La técnica de fabricación aditiva contempla un modelo de pensamiento específico, no es solo un proceso de fabricación en el cual interviene una herramienta, si no por el contrario, es todo un conjunto de conocimiento técnicos y tecnológicos para el diseño y desarrollo de producto; Esto implicaría que enseñasen en primeros semestres, ya que no se pretende enseñar la operatividad de la máquina como hoy sucede, si no una forma de pensar distinta, configurando una lógica de pensamiento diferente para los procesos aditivos, en términos de Tim Minshall,

Los programas de educación podrían ser responsables de la limitante que impida a los estudiantes pensar el espacio y la técnica para la fabricación aditiva, privilegiando dispositivos de fabricación tradicionales reflejando un sentido hegemónico, y en la cual valdría la pena establecer hasta qué punto puede o no llegar a ser contraproducente.

En términos de Simondon, G. (2007) los estudiantes están siendo utilizados a través de un dispositivo de fabricación tradicional, lo que se debe pretender es hallar y definir el dispositivo para la fabricación digital aditiva, permitiendo nuevas posibilidades formales y oportunidades de diseño, pareciera por los resultados obtenidos que los programas de formación no aprovechan las capacidades de la fabricación digital aditiva

La identificación de un conjunto de conocimientos no previstos refleja que posiblemente valga la pena trabajar modelos educativos paralelos en los cuales, no se privilegie los procesos de fabricación tradicionales si no, se les permita a los estudiantes dominar de manera homogénea cualquier proceso de fabricación de productos.

El tema parece tener más profundidad de la que se pensaba, valdría la pena explorar como a partir de esto se puede llegar a profundizaciones de conocimiento, fijándonos en los elementos evaluados y los resultados obtenidos sería posible que los conocimientos sin descubrir superen la profundidad de lo hallado, posibilitando nuevas configuraciones formales. El rizoma elaborado (Fig.19) refleja dimensiones y escenarios de profundidad que vale la pena analizar en búsqueda de descubrir nuevos elementos, las posibilidades de nuevos hallazgos son significativos.

### 4.3 CONCLUSIONES

- Debido a la naturaleza de los programas Diseño, los estudiantes están en contacto y estimulación constante con la forma de los objetos en el espacio para el diseño y desarrollo de sus proyectos, la configuración de soluciones objetuales a problemáticas identificadas en la investigación en una situación cotidiana Álvarez, F., & Martínez, E. (2010). *Los pensum* desarrollados en estas áreas actualmente en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano estimulan favorablemente las habilidades espaciales en los estudiantes, permitiéndoles un desarrollo adecuado de los 5 componentes de la habilidad espacial mencionados por Sutton & Williams (2008) en el marco teórico (relaciones, visualización, percepción, orientación y orientación espacial).

- Los resultados obtenidos del instrumento 1 permiten corroborar los resultados obtenidos en otras investigaciones (Lohman, D. F. 1996; Linn, M. C., & Petersen, A. C 1985 entre otros), frente a las diferencias de género en relación a las habilidades espaciales, las investigaciones de Lohman y Linn reflejan como el género masculino tiene un porcentaje de aciertos mayor al del género femenino; Las

tres investigaciones concuerdan en que la desviación estándar es de no más de 4%, lo que si bien de manera categórica podría interpretarse como una superioridad masculina en el tema, en realidad los datos reflejan que la diferencia de resultados no es significativa, sus diferencias en porcentaje y cantidad de aciertos es reducida y debido a la naturaleza exploratoria de la presente investigación, no se pretendía determinar las diferencias exactas entre ambos géneros. Es importante recordar que los resultados no pueden ser generalizados a toda la población o universo debido a que la muestra seleccionada es NO probabilística.

-Luego de la aplicación del instrumento 2, la recopilación de los datos, y su posterior clasificación y como se mencionó en la Fig. 32 y Fig. 33, existen dos maneras de representar un espacio euclídeo (tridimensional), a través de (un medio) una superficie bidimensional Fig. 32, o a través de (un medio) un espacio tridimensional, este elemento es fundamental ya que dependiendo el medio elegido para su representación la notación y orientación de los ejes parece modificarse (El eje “Z” en orientación horizontal Fig. 32, mientras que el eje “Z” en orientación vertical Fig.33), la situación problemática aquí, es que visualmente ambas representaciones parecen no diferir ampliamente, pero un análisis a profundidad nos revela que únicamente la notación del eje vertical como “Eje Z” es correcta, siempre y cuando sean coherente con su (medio) de representación y las limitantes técnicas. Para futuras investigaciones es imprescindible tener estas dos variaciones en cuenta al momento de diseñar o modificar los instrumentos. Es un elemento el cual no desmerita los resultados obtenidos, pero si se perfila como una consideración fundamental para futuras investigaciones relacionadas en el área.

-Los estudiantes dominan procesos de fabricación tradicionales en los cuales podemos mencionar (procesos sustractivos, formativos, moldeativos), reflejando como más de la mitad de estudiantes (66%) se clasificaron en el nivel alto (Materiales balsa, icopor, silicona, caucho, propone 2 o más alternativas de fabricación, menciona coherentemente y en orden las herramientas y el proceso en todas sus propuestas, es consistente y propone soluciones no previstas.) reflejando una efectividad en los programas de educación universitaria; Pero también nos permite percibir un bajo nivel de dominio sobre técnicas de fabricación digital aditiva (procesos aditivos), específicamente, fabricación digital aditiva por extrusión, un (0%) se ubicó en el nivel alto, mientras que el (80%) se ubica en los niveles bajo y medio-bajo. Los resultados reflejan que el programa de educación está cumpliendo su propósito frente a los procesos de fabricación digitales, Lo importante para resaltar aquí es el bajo dominio de conocimiento entorno a los desarrollos en materiales, herramientas y procesos para la fabricación digital de productos.

-En relación con los objetivos planteados para la investigación, se han configurado una serie de elementos los cuales se relacionan con la fabricación digital por extrusión; Las herramientas de representación del espacio (pensamiento espacial) en términos de Van Der Merwe “si queremos fijarnos como una persona piensa el espacio, primero debemos determinar cómo esta persona hace uso de los elementos del espacio (Van Der Merwe, F 2011) (Recordemos los elementos del espacio son: conceptos del espacio, **herramientas de representación espacial** y procesos de razonamiento) así como también establecer el estado de sus **habilidades espaciales** para la interacción con el mismo. National Research Council, & Geographical Sciences Committee (2005).

Se estableció de manera directa como el **pensamiento espacial** se relaciona directamente con la fabricación digital aditiva por extrusión a través de las herramientas de representación espaciales, y



un conjunto de habilidades espaciales requeridas para la intervención del espacio, así como el pensamiento técnico está ampliamente relacionado a través de distintos materiales, herramientas y procesos que intervienen en la transformación de la materia prima en productos con valor agregado con fabricación digital aditiva por extrusión. Se consolida además la disertación del por qué si la fabricación digital es una tecnología para el beneficio social y una técnica para la fabricación de productos (pág. 39-40), de esta manera y junto con el análisis en el marco teórico se reflejan las razones que las que los elementos anteriormente descritos se convierten en un factor necesario para diseñadores profesionales en siguientes generaciones.

Como se planteó en los antecedentes capítulo 1, la digitalización de la fabricación es un hecho, la tendencia de adopción nuevas tecnologías por la industria es significativamente relevante, los puestos de trabajo se verán profundamente modificados en los próximos años, sobre todo continuando la integración de todos los elementos de una 4ta revolución industrial, las habilidades operativas, y puestos de trabajo rígidos y repetitivos serán reemplazados por maquinas significativamente más productivas. Es por eso que esta investigación no se centró en los elementos operativos para el uso y control de la máquina, ya en los próximos años esos elementos se vean modificados constantemente, en cambio la investigación se centró en los conocimientos tecnológicos, propios del dominio tecnológico para el Diseño y Desarrollo de producto.

En los próximos años la fabricación digital tomara impulso en diversas industrias, actualmente hay diversas personas trabajando en los elementos operativos de la técnica, pero hay una gran y amplia confusión entre los elementos técnicos y tecnológicos de la fabricación aditiva; **El enfoque que me permite esta investigación no es transferir conocimientos operacionales de las**

**técnicas (como usar las maquinas) si no, como debo pensar las posibilidades espaciales y técnicas para el Diseño y Desarrollo de producto (como pensar la tecnología),** lo que lo convierte en un elemento altamente propositivo para profesionales y magíster en el área.

DEFINITIVAMENTE LAS FALENCIAS PRESENTADAS EN ALS SOLUCIONES OBETUALES PROPUESTAS EN ESTE CASO ESTUDIANTES, SI TIENES RELACION CON UN INADECUADO USO DEL PENSAMIENTO ESPACIAL Y TECNICO PARA DESARROLLAR PRODUCTOS.

La presente investigación exploratoria, más que hallar respuestas y soluciones, nos ha abierto múltiples líneas de investigación a futuro, posibilitando la generación de conocimiento adicional, convirtiéndose en una base, un punto de partida para futuros desarrollos de conocimiento en el área;

¿Existirá el mismo problema con otros procesos de fabricación como la moldeativa y la sustractiva?

¿Existen otros procesos de pensamiento integrados al proceso de desarrollo de producto con fabricación aditiva? ¿Cuales? ¿Como identificarlos? ¿Como estimularlos?

¿Cómo se integra el diseño generativo, topología, generación informática y diseño paramétrico al proceso de diseño con fabricación aditiva?

¿Estimulan las posibilidades espaciales y técnicas de la fabricación aditiva la creatividad?

Entre otras.



# CAPÍTULO 5

Propuesta

Como **complemento adicional** y a partir de los resultados obtenidos, se propone la **primera versión** de un elemento mediador, el cual a través de una actividad estimula la concepción adecuada de las herramientas de representación del espacio así como varios de los principios operacionales básicos de la fabricación digital aditiva por extrusión.

5.1	PROPUESTA	103
5.2	LÍMITES Y ALCANCES	109



## 5. CAPÍTULO 5

Como **complemento adicional** para la investigación y a partir de los resultados obtenidos, se propone la **primera versión** de un elemento mediador, el cual a través de una actividad estimula la concepción adecuada de las herramientas de representación del **espacio** (espacio euclídeo/tridimensional), así como varios de los **principios operacionales** básicos de la fabricación digital aditiva por extrusión, componente esencial de la **técnica** (materiales, herramientas y procesos).

### 5.1 PROPUESTA

#### 5.1.1 CARACTERISTICAS GENERALES

##### 5.1.1.1 FICHA TECNICA

**Nombre:** Repostería 3D

**Autor:** Sergio Alejandro Mahecha Rodríguez

**Procedencia:** Grupo de pensamiento espacial, Universidad Jorge Tadeo Lozano

**Ámbito de aplicación:** Colegio en grado decimo y once con enfoque técnico o productivo, Universidades con programas de Diseño, Ingeniería, Administración o afines enfocados en la enseñanza de nuevas tecnologías.

**Duración:** 50min

**Finalidad:** Estimulación de la concepción y uso de herramientas de representación espaciales y comprensión e integración de los conocimientos técnicos para desarrollo de producto.

### 5.1.2 CONCEPTO

La repostería desarrollo una herramienta (Fig.38) que les permite tener control total sobre la extrusión de distintas cremas para la decoración de todo tipo de productos culinarios.



Fig. 38 Manga Pastelera. Repostería.

Si transferimos el concepto presente en la herramienta de impresión 3D (la maquina) “extrusión controlada de material en un espacio tridimensional segmentado por planos” nos permite identificar una relación directa entre la fabricación digital aditiva y la manga pastelera utilizada en la repostería (máquina de fabricación aditiva por extrusión Fig. 4, manga pastelera fig. 29), es por esto, que plantear un ejercicio de repostería basado en la relación conceptual hallada es pertinente ya que además, ambas herramientas operan bajo elementos espaciales y técnicos similares, se mencionan algunos a continuación:

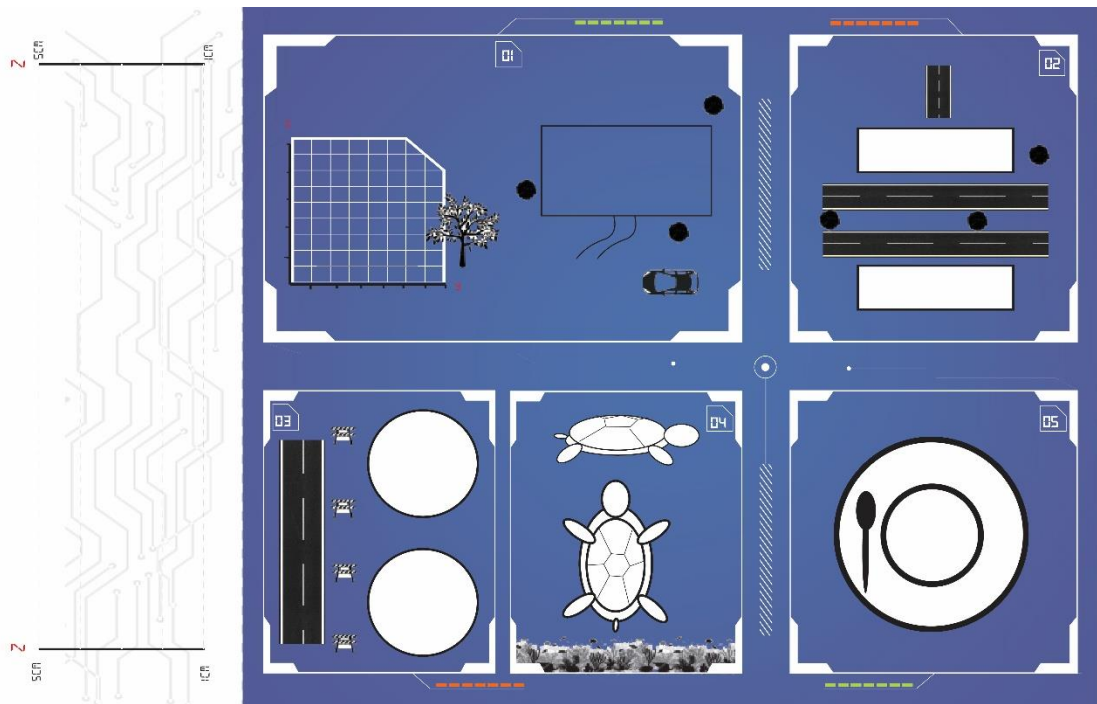
- *Extrusion material controlada*
- *Boquilla antiadherente*

- *Adición de material por planos*
- *Espacio cartesiano y euclídeo*
- *Superficie móvil adherente*

### 5.1.3 MATERIALES Y UTENSILIOS

Se listarán a continuación los utensilios materiales requeridos para la actividad:

- Kit repostería 3D (Manga Pastelera, Conjunto de boquillas, superficie de trabajo Fig. 39, Instrucciones)
- Cremas para repostería (crema de chocolate, crema de mantequilla)
- Guantes y delantal



*Fig. 39 – Superficie de trabajo- Anexo E*

#### 5.1.4 NORMAS DE APLICACIÓN Y CORRECIÓN

##### 5.1.4.1 Instrucciones Generales de aplicación

Además de las condiciones habituales de espacios pedagógicos para la aplicación colectiva de actividades y pruebas (espacio convenientemente ventilado e iluminado, mesas de trabajo cómodas, suficientemente separadas, evitación de cualquier motivo de interrupción o distracción, manteniendo un clima de tranquilidad, colaboración, trabajo en equipo, apoyo y confianza entre los sujetos integrados a la actividad)

- \* Leer completamente las instrucciones específicas
- \* Distribuir e identificar las herramientas y superficies de trabajo

- \* En el ejemplo, utilizar todo el tiempo que sea preciso para que los sujetos comprendan adecuadamente las dinámicas de la actividad, si es necesario repetir, pero nunca utilizar otros distintos a los propuestos.
- \* Una vez iniciada la actividad, comprobar constantemente que los sujetos utilicen adecuadamente las herramientas brindadas (manga pastelera, material, plano de trabajo), comprobar el uso de la herramienta espacial (plano tridimensional) y conocimientos técnicos (extrusión de material por capas)
- \* Una vez terminada la actividad, analizar los resultados, comprobar si han utilizado los principios necesarios, y permitir al sujeto autoevaluar sus resultados.

#### 5.1.4.2 Instrucciones Específicas de Aplicación

A continuación, se indican de forma concreta, y paso a paso, las instrucciones de aplicación que debe seguir la actividad, incluso cuando se trate de una persona experimentada, es conveniente que tenga a la vista la presente descripción y que en lo posible y de manera rigurosa.

Una vez colocados los sujetos en sus respectivos puestos, se dará a los sujetos una breve explicación del motivo por el que realizan la actividad, los objetivos que se pretende alcanzar, y convertirlos en parte actividad y propositiva de la estimulación de su pensamiento espacial y técnico en relación a la fabricación aditiva, insistiendo en el interés que tienen ellos para realizarlo bien, de modo que consigan la disposición adecuada para realizar la actividad con tranquilidad y el máximo de motivación.



## Contenido de Cada Paso en la Actividad

La actividad está diseñada para grupos de 3 o 4 personas, y dirigidos por un guía que oriente el desarrollo material de los elementos sobre la superficie de trabajo.

Se reparten las herramientas contenidas en la caja (superficie de trabajo, manga pastelera y material) para cada uno de los estudiantes del grupo, se les brinda ayuda en el ensamble de las boquillas para realizar la extrusión y en la carga de material adicional. (El material utilizado en esta actividad es 100% reusable hasta 5 veces aprox.)

A continuación, se les solicita leer detenidamente y atentamente la hoja de instrucciones al reverso de la superficie de trabajo, para posteriormente realizar el doble en la superficie de trabajo, logrando la tercera dimensión (Eje Z) en la superficie de trabajo.

Preguntar abiertamente respecto a la comprensión de la actividad, para estar completamente seguros, realizar el 1er paso en conjunto con los sujetos, se debe realizar con calma, verificando constantemente la atención de los sujetos en los detalles.

Teniendo en cuenta los elementos mencionados, la actividad se desarrolla a través de 5 pasos:

### 1. Paso

- En el plano bidimensional construir la silueta de una casa, luego construirla en un plano tridimensional, agregando volumen. (El paso busca que se comprendan la concepción espacial adecuada, así como varios elementos técnicos como la orientación, ancho de capa, plano cartesiano, rellenos.)

### 2. Paso

- Construya tridimensionalmente una superficie “puente” que le permita unir los dos pilares apropiadamente. (El paso busca que se comprendan elementos técnicos como la orientación y los soportes)

### 3. Paso

- Se presentan dos circunferencias, construir en ellos 2 conos tridimensionales con distinto diámetro de boquilla (El paso busca que se entiendan elementos técnicos como diámetros de boquilla y tipos y porcentajes de rellenos)

### 4. Paso

- Construir un animal (tortuga) en un espacio tridimensional el usuario deberá identificar la diferencia entre una disposición constructiva inadecuada y una adecuada con su objetivo (Busca que se entiendan elementos espaciales como la disposición, orientación, y elementos técnicos como el proceso, rellenos y cantidad de paredes)

### 5. Paso

- Construir un elemento contenedor de bebidas, a partir de los elementos identificados anteriormente.

En el ANEXO F se incluyen las instrucciones que se les darán a los sujetos para solucionar cada punto.

#### 5.1.4.4 Condiciones para la verificación de la actividad

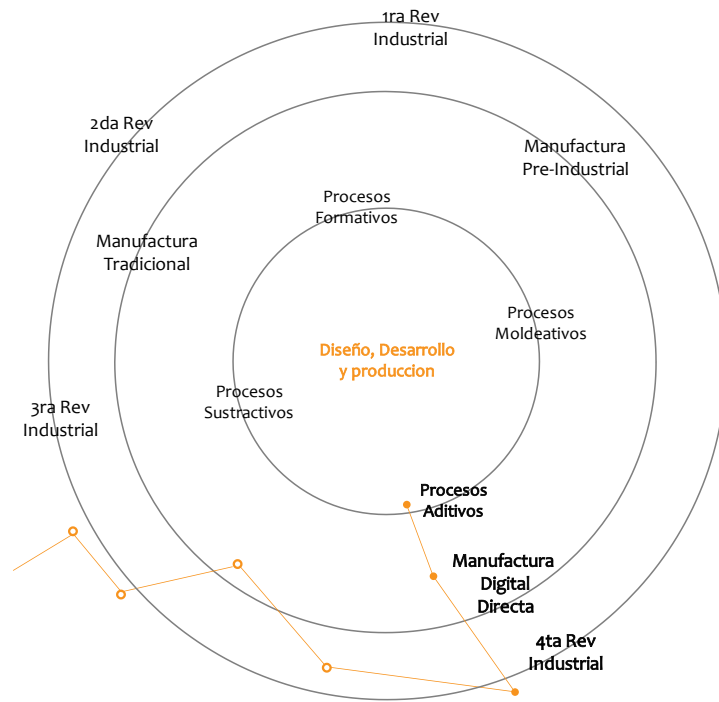
Los ejercicios planteados, básicamente tienen una amplia variabilidad en las soluciones, por lo que, en términos de la estimulación creativa, pretender que todos los sujetos desarrollen la misma

solución es inviable. En cambio, y de manera indiscutible, se debe incentivar a los estudiantes a hallar soluciones factibles a los problemas propuestos, pero siempre teniendo en cuenta la comprensión del contenido tecnológico de la actividad (El conocimiento, dominio y aplicación del plano tridimensional y elementos técnicos para el desarrollo de producto con fabricación aditiva por extrusión – mencionados al inicio de este capítulo)

La actividad no posee carácter evaluativo, por lo que no se diseñaron niveles o baremos para su calificación.

### 5.1.5 LÍMITES Y ALCANCES

Tim Minshall como se mencionó en el marco teórico, propone una agrupación clara de los procesos para la fabricación de productos (manufactura sustractiva, manufactura moldeativa, manufactura formativa, manufactura aditiva), en la fig.39 se muestra una diagramación sobre la clasificación realizada por el profesor. La herramienta se encuentra en su primera etapa de desarrollo, está diseñada para estimular la concepción espacial y algunos principios operacionales en la fabricación digital aditiva por extrusión, y no otras técnicas de fabricación digital aditiva, como el (VAT) o *ink jet printing*, y en ningún otro caso para otros tipos de procesos como sustractivos o formativos.



*Fig. 40- Clasificación procesos de transformación del material- Elaboración propia*



# ALEJANDRO MAHECHA

## DIRECTOR DE INNOVACIÓN



### EXPERIENCIA

2018 - 2019

U. Jorge Tadeo Lozano

#### INVESTIGADOR EN DISEÑO

Planteamiento, gestión y desarrollo de investigaciones para el avance tecnológico en el área de la fabricación digital de productos .

2016 - actualidad

Industrias 3D

#### CEO - EMPRENDEDOR

Emprendimiento en fabricación aditiva (Impresión 3D), actual diseñador de productos tanto bienes de consumo, prototipos y herramientas pedagógicas que permitan estimular la innovación a través de esta tendencia.

2017- 2018

Calzado Caprino

#### CONSULTORÍA EN I+D

Diagnóstico, planteamiento y diseño de un programa de innovación sostenible a 2 años en la industria del calzado nacional, propuestas de posibles líneas de investigación que estimulen el desarrollo tecnológico.



### EDUCACIÓN

2017 - actualidad

Fundación Universitaria  
Jorge Tadeo Lozano

#### MAESTRÍA EN DISEÑO DE PRODUCTO

Maestrante a la espera de sustentación de Proyecto de investigación. Conocimientos en metodologías para la investigación, I+D, desarrollo tecnológico, patentes, metodologías para la innovación y aumento de valor agregado a través del conocimiento aplicado.

2018

Cámara de Comercio  
de Bogotá - CCB

#### OPORTUNIDADES DE NEGOCIO

Conocimiento en gestión de la innovación, identificación de oportunidades de intervención, y oportunidades de diseño que generen beneficios sociales posicionando la marca a través de valor agregado estimulando los ingresos.

2017

Cámara de Comercio  
de Bogotá - CCB

#### FUNDAMENTOS DE INNOVACIÓN

Alineamiento con los principios y fundamentos para la innovación establecidos por la Cámara de Comercio de Bogotá.

2012 - 2017

Fundación Universitaria  
Jorge Tadeo Lozano

#### PROFESIONAL EN DISEÑO INDUSTRIAL

Conocimientos técnicos, tecnológicos, metodológicos y habilidades directivas para el Diseño y Desarrollo de soluciones industriales para el beneficio de la calidad de vida de las poblaciones a través de bienes o servicios.



### REFERENCIAS

Leonardo Rodriguez

Doctor en criminalística  
Psicologo Profesor U. Javeriana  
Cel: 310 - 8856886

Fernando Álvarez

Doctorando en Creatividad y Diseño  
Diseñador Prof. U. Jorge Tadeo Lozano  
Cel: 320 - 5066796

## ¡Hola! Un poco sobre mi

28 Años

Abierto al dialogo, critico, creativo, propositivo y práctico, tengo destrezas para la formulación de proyectos que demanden dinámicas como gestor para la innovación, Investigación y Desarrollo (I+D).

Competitividad a través del diseño y desarrollo de productos, diseño de experiencias y ambientes.

Transferencia tecnológica desde el diseño y el posicionamiento de marca a través del valor agregado en los productos.

## ¿CÓMO CONTACTARME?

 Dirección  
Cll 1D Bis #27a25

 Cel  
314 - 3029967

 Web  
sergioa.mahechar@gmail.com

## SÍGUEME EN REDES



Alejandro Mahecha  
www.facebook.com/  
alejo.mahecha.100

## BIBLIOGRAFIA

- Agazzi, E. (1998). From technique to technology: The role of modern science. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 4(2), 80-85.
- Alderete, E. O. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. *Estudios de psicología*, 4(14-15), 93-108.
- Alonso, A. (2011). Desarrollo del pensamiento espacial y sistema geométrico en el aprendizaje de los sólidos regulares mediante el modelo de Van Hiele, con los estudiantes de 6 grado del colegio San José de la comunidad marista.
- Álvarez, F., & Martínez, E. (2010). Competencias para la innovación: Identificación de competencias cognitivas significativas del profesional de diseño. *Actas de Diseño*, (8), 77-79.
- Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., & Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological forecasting and social change*, 102, 193-201.
- Bernard, A., & Fischer, A. (2002). New trends in rapid product development. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 51(2), 635-652.
- Biehler, J., & Fane, B. (2014). *3D Printing with Autodesk: Create and Print 3D Objects with 123D, AutoCAD and Inventor*. Publishing.
- Biggio, M. N., Vázquez, S. M., & García, S. M. (2011). Componentes de la competencia espacial: exploración en ingresantes a la facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. *Revista de orientación educacional*, (47), 95-112.
- Bogers, M., Hadar, R., & Bilberg, A. (2015). Business Models for Additive Manufacturing: Exploring Digital Technologies, Consumer Roles, and Supply Chains.
- Bourell, D. L., Beaman, J. J., Leu, M. C., & Rosen, D. W. (2009). A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead. *Proceedings of RapidTech*, 24-25.
- Burns, M. (1993). Automated fabrication: improving productivity in manufacturing.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid prototyping journal*, 18(4), 255-258.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC.
- Canessa, E., Fonda, C., Zennaro, M., & Deadline, N. (2013). Low-cost 3D printing for science, education and sustainable development. *Low-Cost 3D Printing*, 11.
- Carter, J. D., Cheng, N. N., Qu, Y., Suarez, G. D., & Guo, T. (2007). Nanoscale energy deposition by X-ray absorbing nanostructures. *The Journal of Physical Chemistry B*, 111(40), 11622-11625.

- Chamorro, C. D. (2014). Conceptos de ciencia, técnica y tecnología para el diseño de objetos técnicos. *Revista Nexus Comunicación*.
- Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015). Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of biological engineering*, 9(1), 4.
- COTEC. Fabricación Aditiva. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A. (2011).
- Cross, N., & Roy, R. (1989). *Engineering design methods* (Vol. 4). New York: Wiley.
- Cuartero, J., Larrodé, E., Castejón, L., & Clemente, R. (1998). *New Three Dimensional Composite Preforms and its Application on Automotion* (No. 980070). SAE Technical Paper.
- Dahlbäck, N. (1998). *Exploring navigation: Towards a framework for design and evaluation of navigation in electronic spaces*. Swedish Institute of Computer Science.
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British dental journal*, 219(11), 521.
- Deleuze, G. (1990). ¿Qué es un dispositivo? *Michel foucault, filósofo*, 155-163.
- Despeisse, M., Yang, M., Evans, S., Ford, S., & Minshall, T. (2017). Sustainable Value Roadmapping Framework for Additive Manufacturing.
- Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., & Withell, A. (2010). Tools for sustainable product design: additive manufacturing.
- Dow, S. R. (2012). Técnica, tecno-logía: más allá de la sinonimia y la objetualidad. *Universitas Philosophica*, 29(58).
- Edgar, J., & Tint, S. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. *Johnson Matthey Technology Review*, 59(3), 193-198.
- Eliot, J., & Smith, I. M. (1983). *An international directory of spatial tests*. Cengage Learning Emea.
- Ford, S. J., Mortara, L., & Minshall, T. H. (2015). The emergence of additive manufacturing: introduction to the special issue.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573-1587.
- Foucault, M. (1988). El sujeto y el poder. *Revista mexicana de sociología*, 50(3), 3-20.
- Franke, N., & Piller, F. T. (2003). Key research issues in user interaction with user toolkits in a mass customisation system. *International Journal of Technology Management*, 26(5-6), 578-599.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... & Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65-89.
- García Domínguez, A., Claver Gil, J., & Sebastián Pérez, M. Á. (2017). Aproximación metodológica a la optimización multiobjetivo de piezas obtenidas por impresión 3D.

- García, I. E. H. (2006). Muntadas: Dispositivos. *Cuadernos de Música, Artes Visuales y Artes Escénicas*, 2(2), 221
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2014). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). New York: Springer.
- Gille, B., & i Tuèbols, S. R. (1999). *Introducción a la historia de las técnicas*. Crítica.
- Giraldo Triana, M. L., & Ruiz Cerquera, M. A. (2017). Aprendizaje significativo del pensamiento espacial y sistemas geométrico, integrando las TIC'sa través de actividades lúdicas en el primer ciclo de básica.
- Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., & Morel, P. (2016). Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete—a new processing route for architects and builders. *Materials & Design*, 100, 102-109.
- Gross, B. C., Erkal, J. L., Lockwood, S. Y., Chen, C., & Spence, D. M. (2014). Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences.
- Hällgren, S., Pejryd, L., & Ekengren, J. (2016). (Re) Design for Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, 50, 246-251.
- Heidegger, M. (1958). La pregunta por la técnica. *Revista de Filosofía*, 5(1), 55-79.
- Heidegger, M. (1997). Filosofía, Ciencia y Técnica, *Tercera edición de Ciencia y Técnica*, Editorial Universitaria
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, R., & Baptista, P. (2008). Metodología de la Investigación, 5ta Edicion McGraw-Hill.
- Ho, C. M. B., Ng, S. H., Li, K. H. H., & Yoon, Y. J. (2015). 3D printed microfluidics for biological applications. *Lab on a Chip*, 15(18), 3627-3637.
- Holmström, J., Holweg, M., Khajavi, S. H., & Partanen, J. (2016). The direct digital manufacturing (r) evolution: definition of a research agenda. *Operations Management Research*, 9(1-2), 1-10.
- Hurtado, J. (2005). Cómo formular objetivos de investigación “un acercamiento desde la investigación holística”. *Instituto universitario de tecnología: José Antonio Anzoategui. Quirón ediciones-Fundación Sypal. Caracas*.
- J. Schumpeter (1939), *Business Cycles*, Nueva York: McGraw-Hill, Vol. I, pp. 84 y 87-88
- Jiang, R., Kleer, R., & Piller, F. T. (2017). Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 84-97.
- Joshi, S. C., & Sheikh, A. A. (2015). 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(4), 175-185.
- Juan Alburquerque, A. (2014). Optimización y caracterización de piezas de PLA fabricadas mediante técnicas aditivas (*Bachelor's thesis*).



- Katsioloudis, P., Jovanovic, V., & Jones, M. (2014). A Comparative Analysis of Spatial Visualization Ability and Drafting Models for Industrial and Technology Education Students. *Journal of Technology Education*, 26(1), 88-101.
- Kelly Jr, W. F. (2014). Spatial Ability Measurement in an Introductory Graphic Communications Course. *age*, 24,
- Kolarevik, B. (2012). *Digital morphogenesis. de Universidad de las Vegas*.
- Layton, D. (1993). *Technology's Challenge to Science Education. Developing Science and Technology Series*. Taylor and Francis, 1900 Frost Road, Suite 101, Bristol, PA 19007.
- Lincura Matamala, R. (2017). En torno a la técnica y su esencia: el camino del pensar de Heidegger para un habitar genuino.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, 1479-1498.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.
- Lipton, J. I., Cutler, M., Nigl, F., Cohen, D., & Lipson, H. (2015). Additive manufacturing for the food industry. *Trends in food science & technology*, 43(1), 114-123.
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and g. *Human abilities: Their nature and measurement*, 97, 116.
- Maehigashi, A., Miwa, K., Oda, M., Nakamura, Y., Mori, K., & Igami, T. (2016). Influence of 3D images and 3D-printed objects on spatial reasoning. In *CogSci*.
- Maier, P. H. (1998). Spatial geometry and spatial ability: ¿How to make solid geometry solid? In E. Cohors-Fresenborg, K. Reiss, G. Toener, & H.-G Weigand (Eds.), *Selected papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics 1996*, Osnabreck, 63-75.
- MARIS VÁZQUEZ, S. T. E. L. L. A., & Noriega Biggio, M. (2011). Razonamiento espacial y rendimiento académico. *Interdisciplinaria*, 28(1).
- McGee, M.G., 1979. Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic Ministerio de Educación Nacional - MEN. (1998). Lineamientos curriculares en matemáticas. Bogotá: MEN
- Mueller, B. (2012). Additive manufacturing technologies—Rapid prototyping to direct digital manufacturing. *Assembly Automation*, 32(2).
- Muñoz-Mesa, L., & Sánchez-Trujillo, J. H. (2016). El impacto de la impresión 3D en la joyería. *Lámpsakos*, 1(16), 89-97.
- National Research Council, & Geographical Sciences Committee. (2005). *Learning to think spatially*. National Academies Press.
- Odremán, J. G. (2015). Impresión 3D en la Industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la Industria Petrolera. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 18(73) Recuperado de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212014000400003](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212014000400003)

- Olkun, S. (2003). Making connections: Improving spatial abilities with engineering drawing activities. *International Journal of Mathematics Teaching and Learning*, 3(1), 1-10.
- Oriozabala-Brit, J. A., & del Mar, M. Oportunidades de la fabricación aditiva para optimizar el diseño de productos.
- Ortiz, J. A. T., Tamayo, L. F. V., & Bravo, L. E. C. (2015). Propuesta y aplicación de nuevas herramientas para el desarrollo de habilidades espaciales en la asignatura Dibujo de Ingeniería. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (46), 200-216.
- Osorio, C. (2003). Aproximaciones a la tecnología desde los enfoques en CTS. *Organización de Estados Iberoamericanos (OEI), Universidad del Valle, Colombia. Ciudad de Panamá Octubre*. [www.campus-oei.org/salacts/osorioshtm](http://www.campus-oei.org/salacts/osorioshtm).
- Oxford dictionary of English. (2010). Oxford Dictionary of English, (3rd ed). Consultado en <https://www.oxforddictionaries.com/>
- Petrack, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, 56(6), 12-16.
- Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), 1061-1079.
- Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. *International Journal of machine tools and manufacture*, 38(10-11), 1257-1287.
- Piaget, J. (2013). *Child's conception of space: Selected works* (Vol. 4). Routledge.
- Pittalis, M., & Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in mathematics*, 75(2), 191-212.
- Prieto, G., VELASCO, A. D., ARIAS-BARAHONA, R. O. S. A. R. I. O., ANIDO, M., NÚÑEZ, A., & Có, P. (2008). ¿Mejora la visualización espacial con el aprendizaje del dibujo técnico? *Revista Mexicana de psicología*, 25(1).
- Quintanilla, M. Á. (1998). Técnica y cultura. *Teorema: Revista Internacional de Filosofía*, 49-69.
- Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.aed.). Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>
- Rifkin Jeremy (2014) *La tercera revolucion industrial, la sociedad de coste marginal cero* – Editorial Paidós, septiembre de 2014. Recuperado de (<http://www.euroseniorpremia.net/arxiu/tercerarevolucioindustrialesp.pdf>)
- Sandström, C. G. (2016). The non-disruptive emergence of an ecosystem for 3D Printing—Insights from the hearing aid industry's transition 1989–2008. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 160-168.
- Shah, P., Racasan, R., & Bills, P. (2016). Comparison of different additive manufacturing methods using computed tomography. *Case studies in nondestructive testing and evaluation*, 6, 69-78.

- Sicilia, M. A. V. (2016). *Desarrollo y evaluación de las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería: actividades y estrategias de resolución de tareas espaciales* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)). Tesis Doctoral
- Simondon, G. (2007). *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Prometeo Libros Editorial.
- Sjölinder, M. (1998). Spatial cognition and environmental descriptions. *Exploring navigation: towards a framework for design and evaluation of navigation in electronic spaces*, 47-58.
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J. Y., & Hong, G. S. (2015). An overview of 3D printing technologies for food fabrication. *Food and bioprocess technology*, 8(8), 1605-1615.
- Sutton, K. J., & Williams, A. P. (2007). Spatial cognition and its implications for design. *International Association of Societies of Design Research, Hong Kong, China*.
- Sutton, K., & Williams, A. (2010). Implications of spatial abilities on design thinking. *Design & Complexity. Design Research Society, Montreal (Quebec), Canada*.
- Thiesse, F., Wirth, M., Kemper, H. G., Moisa, M., Morar, D., Lasi, H., ... & Minshall, T. (2015). Economic implications of additive manufacturing and the contribution of MIS. *Business & Information Systems Engineering*, 57(2), 139-148.
- Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., ... & Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP annals*, 65(2), 737-760.
- Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q., & Li, D. (2016). Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 198-205.
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Tristancho Ortiz, J. A., Contreras Bravo, L. E., & Vargas Tamayo, L. F. (2014). Evaluación de técnicas tradicionales y TIC para el desarrollo de habilidades espaciales en estudiantes de primer semestre de ingeniería industrial. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 4(43), 34-50.
- Van Der Merwe, F. (2011). Concepts of Space in Spatial Thinking.
- Vashnov Andrei (2013) *Impresion 3D, Como va a cambiar el mundo?* Recuperado de (<http://castellano.andreivashnov.net/wp-content/uploads/2016/02/impresion3d.pdf>)
- Ventola, C. L. (2014). Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704.
- Villar, B. I. V. (2017). *De la abstracción geométrica a la morfogénesis digital. Metaforma: dominio del diseño en el desarrollo de productos* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Vinck, D. (2012). Pensar la técnica. *Universitas Philosophica*, 29(58).

Wang, S., Capoen, L., D'hooge, D. R., & Cardon, L. (2018). ¿Can the melt flow index be used to predict the success of fused deposition modelling of commercial poly (lactic acid) filaments into 3D printed materials? *Plastics, Rubber and Composites*, 47(1), 9-16.

Westkämper, E. (2007). Digital Manufacturing in the global Era. In *Digital Enterprise Technology* (pp. 3-14). Springer, Boston, MA.

Williams, A., Sutton, K., & Allen, R. (2008). Spatial ability: Issues associated with engineering and gender. In *19th Annual Conference of the Australasian Association for Engineering Education: To Industry and Beyond; Proceedings of the* (p. 228). Institution of Engineers, Australia.

Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012.

Xu, W., Brandt, M., Sun, S., Elambasseril, J., Liu, Q., Latham, K., ... & Qian, M. (2015). Additive manufacturing of strong and ductile Ti-6Al-4V by selective laser melting via in situ martensite decomposition. *Acta Materialia*, 85, 74-84.

Yap, Y. L., & Yeong, W. Y. (2014). Additive manufacture of fashion and jewellery products: A mini review: This paper provides an insight into the future of 3d printing industries for fashion and jewellery products. *Virtual and Physical Prototyping*, 9(3), 195-201.

#### ARCHIVOS DE VIDEO

Chris Williams (febrero 2015) Disruptive design via additive manufacturing: Chris Williams at TEDxVirginiaTech <https://www.youtube.com/watch?v=IbldztMOomI>

Minshall T. (junio de 2016) "How 3D printing is enabling the 4th industrial revolution - Dr. Tim Minshall – TEDxOBridge [Archivo de video] recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=IsJLZ1UYxGc>).

#### PATENTES

J.E. Blather, "Manufacture of Contour Relief Maps", US Patent #473,901, 1892.

B.V. Perera, "Process of Making Relief Maps", US Patent #2,189,592, 1940.

E.E. Zang, "Vitavue Relief Model Technique" US Patent #3,137,080, 1964.

T.A. Gaskin, "Earth Science Teaching Device" US Patent #3,751,827, 1973.

K. Matsubara, "Molding Method of Casting Using Photocurable Substance", Japanese Kokai Patent Application, Sho 51 [1976]-10813, 1974.

P.L. DiMatteo, "Method of Generating and Constructing Three-Dimensional Bodies", US Patent #3,932,923, 1976.

T. Nakagawa, et al, "Blanking Tool by Stacked Bainite Steel Plates", *Press Technique*, 1979, pp. 93-

101 I. Morioka, "Process for Plastically Reproducing Objects", US Patent #2,350,796, 1944.

O.J. Munz, "Photo-Glyph Recording", US Patent #2,775,758, 1956.

W.K. Swainson, "Method, Medium and Apparatus for Producing Three-Dimensional Figure Product", US Patent #4,041,476, 1977



# ANEXOS



# ANEXO A

INSTRUMENTO 1 – Hoja de Respuestas

## DAT-5

Número \_\_\_\_\_

Relaciones Espaciales  
Hoja de Respuestas

Apellido \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Correo Electrónico \_\_\_\_\_

Marque con una (X), si se equivoca, rellene el círculo y marque la respuesta correcta.

1. A  B  C  D   
2. A  B  C  D   
3. A  B  C  D   
4. A  B  C  D   
5. A  B  C  D

6. A  B  C  D   
7. A  B  C  D   
8. A  B  C  D   
9. A  B  C  D   
10. A  B  C  D

11. A  B  C  D   
12. A  B  C  D   
13. A  B  C  D   
14. A  B  C  D   
15. A  B  C  D

16. A  B  C  D   
17. A  B  C  D   
18. A  B  C  D   
19. A  B  C  D   
20. A  B  C  D

21. A  B  C  D   
22. A  B  C  D   
23. A  B  C  D   
24. A  B  C  D   
25. A  B  C  D

26. A  B  C  D   
27. A  B  C  D   
28. A  B  C  D   
29. A  B  C  D   
30. A  B  C  D

# ANEXO B

## INSTRUMENTO 2

# Elementos del Espacio

Número \_\_\_\_\_

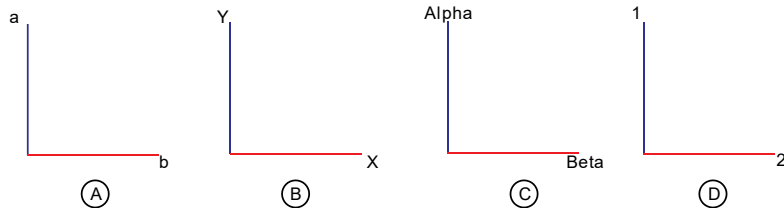
Coordenadas Cartesianas

Apellido \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Correo Electrónico \_\_\_\_\_

La siguiente pregunta es de respuesta múltiple con una única respuesta, marque con (X).

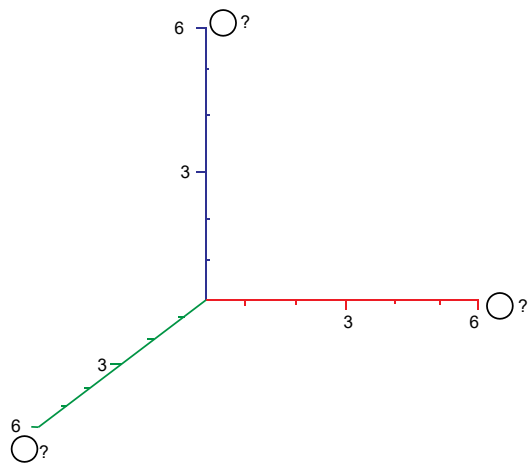
¿Qué nomenclatura es usada para definir los ejes en un plano Cartesiano ?



A continuación, se le presentaran unas coordenadas, enuncia los ejes utilizando la nomenclatura para Manufactura Aditiva, ubíquelas en el plano cartesiano y complete la figura.

Coordenadas  
x,y,z  
1. (1,1,0)  
2. (1,4,0)  
3. (4,4,0)  
4. (4,1,0)  
5. (3,3,3)

Trazos para completar la figura  
A (Coordenada 1 a la 2)  
B (Coordenada 2 a la 3)  
C (Coordenada 3 a la 4)  
D (Coordenada 4 a la 1)  
E (Coordenada 1 a la 5)  
2 a la 5  
3 a la 5  
4 a la 5



Modificaciones Propias 2019.

# ANEXO C

## INSTRUMENTO 3 (Lado A)

### Elementos Técnicos

Número \_\_\_\_\_

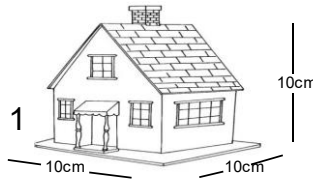
Materiales, proceso  
y herramientas

Apellido \_\_\_\_\_ Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Correo Electrónico \_\_\_\_\_

La prueba busca determinar sus conocimientos en relación con la fabricación tradicional (inyección, termoformado, vaciado etc.) y la fabricación aditiva (Impresión 3D).

A continuación se le presentarán dos objetos, de acuerdo a sus conocimientos determine el material apropiado más liviano, las herramientas necesarias y el proceso para su fabricación.



Fabricación Tradicional	Fabricación Aditiva
Material	Material
Herramientas	Herramientas
Proceso	Proceso



# ANEXO C

## INSTRUMENTO 3 (Lado B)

### Elementos Técnicos

Materiales, proceso  
y herramientas

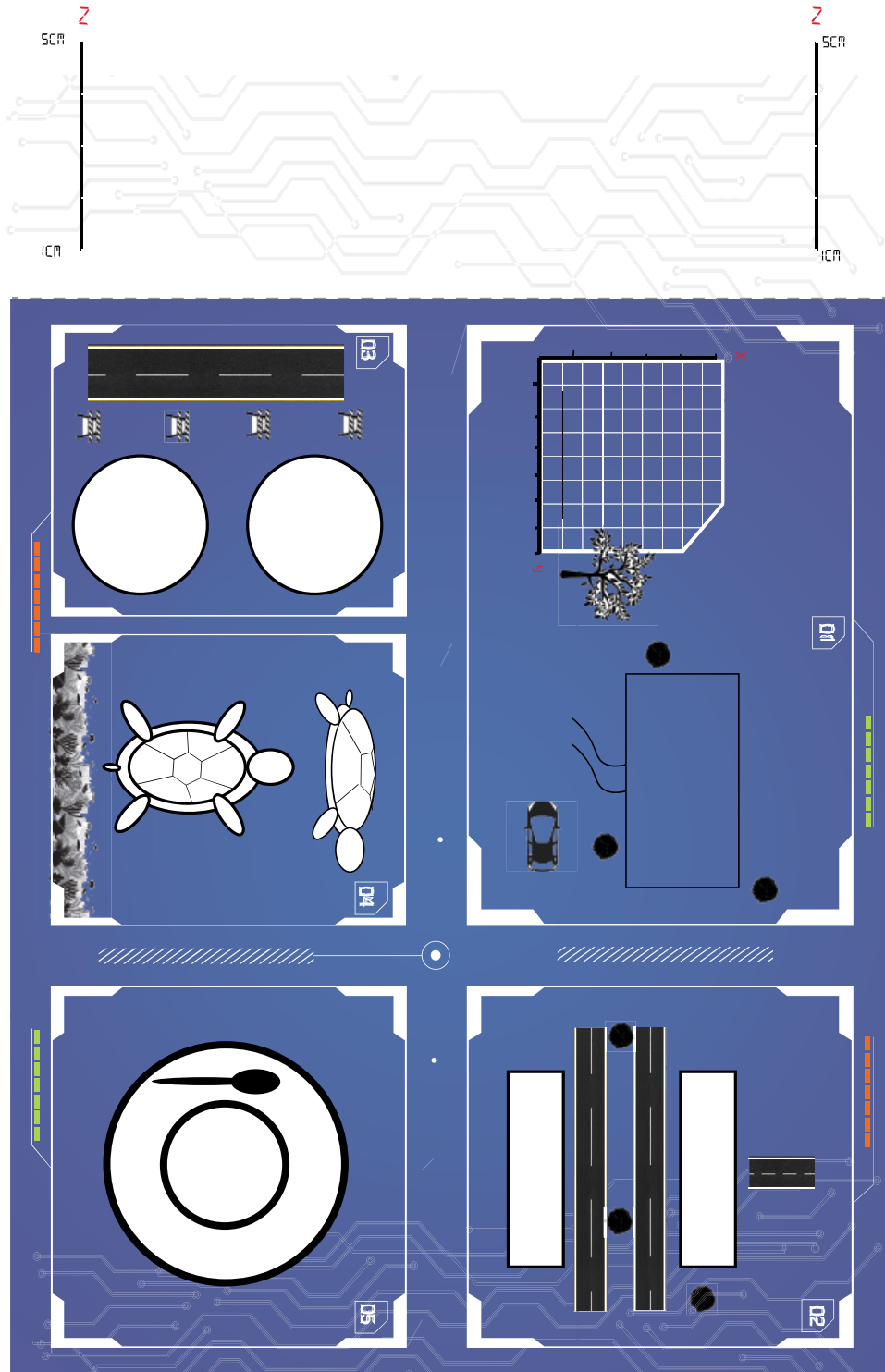
2



Fabricación Tradicional	Fabricación Aditiva
Material	Material
Herramientas	Herramientas
Proceso	Proceso



# ANEXO E



## ANEXO F

### Instrucciones

01

Luis no puede encontrar su casa, En el plano bidimensional construya la silueta de una casa, luego construir la en un plano tridimensional

02

Luis necesita construir un puente para atravesar la calle, Construya tridimensionalmente una superficie "puente" que le permita unir los dos pilares apropiadamente

03

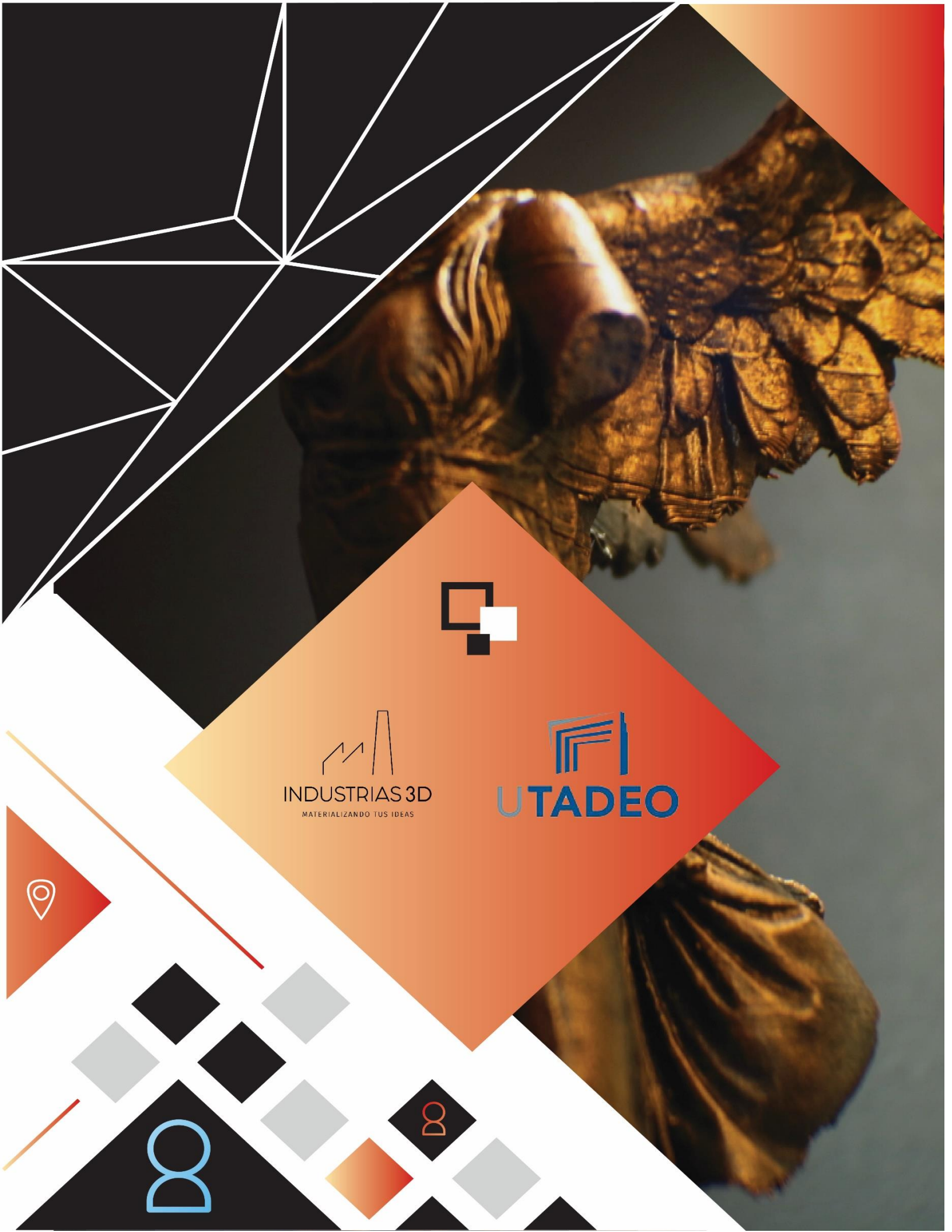
LUIS QUIERE PROTEGER LAS TORTUGAS, construye 2 conos tridimensionales para prevenir al tráfico

04

Luis no puede encontrar las tortugas, fabrícale una tortuga en un espacio tridimensional apropiadamente

05

Luis acabó su día y desea tomar un vaso de té, fabrícale una tassa con tus nuevas destrezas!



  
INDUSTRIAS3D  
MATERIALIZANDO TUS IDEAS

  
UTADEO



DO

