



**Universidad Autónoma de Ciudad Juárez**

**Instituto de Arquitectura Diseño y Arte**

**Maestría en Diseño del Producto**

**DISEÑO DE UNA PRENDA DE VESTIR CON ALTO VALOR  
DESARROLLADA CON BASE A RESIDUOS PLÁSTICOS PET  
POSTCONSUMO**

Presentada por:

**María Paulina Restrepo Salgado**

Director:

**David Cortés Sáenz**

**NOVIEMBRE 2021**

## CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Problema de investigación.....	14
1.3.1. Preguntas de investigación .....	14
1.4. Justificación de la investigación.....	14
1.5. Objetivos.....	17
1.5.1. General.....	17
1.5.2. Específicos.....	17
1.6. Hipótesis.....	17
1.7. Alcances y delimitación del estudio .....	18
1.7.1. Alcances.....	18
1.7.2. Delimitaciones .....	18
 <b>2. CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y REFERENCIAL</b>	 <b>19</b>
2.2. Materiales .....	19
2.2.1. Plásticos .....	19
2.2.2. PET .....	20
2.2.3. Fibras .....	27
2.2.3.1. Fibras sintéticas .....	28
2.2.3.2. Manufactura de las fibras sintéticas: .....	28
2.2.3.3. Características de las fibras manufacturadas:.....	30
2.2.4. Manufactura aditiva (AM).....	35
2.2.4.1. Modelado por deposición fundida o fabricación por filamento fundido .....	36

2.3.	DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS .....	38
2.3.1.	Diseño y desarrollo de producto .....	38
2.3.2.	Diseño guiado por materiales (MDD) .....	39
2.3.3.	Diseño circular- diseño para la economía circular .....	41
2.3.4.	Diseño de vestuario.....	44
2.3.5.	Identificación del usuario final: .....	45
2.3.5.1.	Demandas del cuerpo: .....	45
2.3.5.2.	Demandas de la actividad del usuario final .....	46
2.3.5.3.	Demandas culturales.....	46
2.3.5.4.	Consideraciones estéticas .....	46
2.3.6.	Desarrollo del vestuario .....	46
2.3.6.1.	Sistema de capas.....	46
2.3.6.2.	Medición del cuerpo, dimensionamiento, desarrollo de patrones, clasificación, prototipos iniciales y ajuste .....	46
2.3.7.	Textiles impresos en 3D .....	48
2.4.	SOSTENIBILIDAD .....	63
2.4.1.	Ecodiseño.....	63
2.4.1.1.	Herramientas integradas y metodología CAD.....	64
2.4.1.2.	Herramientas de diagrama.....	64
2.4.1.3.	Lista de verificación y pautas .....	68
2.4.1.4.	Diseño para enfoques X.....	71
2.4.1.5.	Métodos para apoyar la implementación del ecodiseño en la compañía y la generación de eco-innovación.....	72
2.4.1.6.	Métodos para implementar todo el ciclo de vida y diseño centrado en el usuario para la sostenibilidad.....	72
2.4.1.7.	Métodos para integrar diferentes herramientas existentes.....	72
2.4.2.	Herramientas de LCA .....	73
2.4.3.	Economía circular .....	74
2.4.3.1.	LCA/LCI/LCIA (Life Cycle Assessment/ Life Cycle Inventory/ Life Cycle Impact Assessment).....	75

2.4.3.2.	Enfoques de criterios múltiples (MCDM) y lógica difusa .....	76
2.4.3.3.	DFX y pautas .....	76
2.4.3.4.	DEA y modelo de entradas y salidas .....	76
2.4.3.5.	MFA .....	76
2.4.3.6.	Enfoques basados en emergencia y exergía .....	76
2.4.3.7.	DES (Discrete Event Simulation and process simulation) .....	77
2.4.4.	Nueva economía textil basada en la economía circular .....	82
	.....	82
2.4.4.1.	Fase 2 incrementar el uso de la ropa: .....	82
2.4.4.2.	fase 3 mejorar radicalmente el reciclaje mediante la transformación del diseño, recolección y reprocesamiento de la ropa. ....	83
2.4.5.	Objetivos y metas de desarrollo sostenible.....	84
2.5.	Conclusiones.....	86
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>87</b>
3.1.	Problema de diseño.....	87
3.2.	Objetivos y alcances del diseño.....	87
3.3.	Descripción de la metodología .....	88
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO 4: ETAPA CONCEPTUAL .....</b>	<b>101</b>
4.1.	Conocer el material.....	101
4.1.1.	Fase 1: selección del textil impreso en 3D .....	101
4.1.2.	Fase 2: impresión y evaluación de los textiles impresos en 3D .....	101
4.1.2.1.	Selección del material de impresión:.....	101
4.1.2.2.	Características técnicas del material:.....	104
4.1.2.3.	Caracterización del proceso de impresión:.....	105
4.1.3.	Evaluación del textil: .....	109
4.2.	Fase 3.....	119

4.2.1. Definición de usuario.....	119
4.2.2. Definir prenda a diseñar.....	120
4.3. Fase 4.....	123
4.3.1. Medición del individuo.....	123
4.3.2. Creación patronaje y prenda modelada en 3D.....	123
<b>5. DESARROLLO .....</b>	<b>126</b>
5.1. Impresión del textil para generación de prenda.....	126
5.2. Validación del prototipo .....	128
5.2.1. Duración estética y funcional .....	128
5.2.2. Recuperación del material .....	129
5.2.3. Durabilidad técnica.....	131
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>135</b>

## CONTENIDO FIGURAS

Figura 1. Demanda De Plástico Y Desechos Plásticos Generados En Europa En El Año 2015 (European Commission, 2018).....	3
Figura 2. Crecimiento de venta de ropa y disminución de la utilización de la ropa desde el año 2000 (Herrmann, 2017).....	6
Figura 3. Sistema actual de consumo de ropa (Herrmann, 2017).....	7
Figura 4. Flujo global del material para el año 2015 (Herrmann, 2017). ....	7
Figura 5. Revisión contextual (Grain, 2016). ....	9
Figura 6. Resumen de técnicas de manufactura aditiva para la impresión 3D de vestuario .....	10
Figura 7. Hydro-shift ganadora del premio de la competición internacional de impresión 3D en Singapore (Yap & Yeong, 2014). ....	10
Figura 8. Adaptación de la información de la Figura 6. Prendas realizadas por Iris Van Herpen aplicando diferentes tecnologías AM. ....	11
Figura 9. Imágenes de las prendas realizadas por (Kim et al., 2019) .....	12
Figura 10. Ejemplos de textiles impresos en 3D (Lussenburg et al., 2014). ....	12
Figura 11. Modelo y prototipo final de la prenda (Lussenburg et al., 2014). ....	13
<i>Figura 12. Estrategias De Transición Para Acelerar El Cambio Hacia La Nueva Economía Del Plástico (Ellen MacArthur Foundation, 2017). ....</i>	<i>16</i>
Figura 13. Estructura principal de línea (A), con cadenas laterales (B) y macromoléculas reticuladas (C y D). La estructura de cadena (A) y (B) son tipos termoplásticos, estructuras con elastómeros de baja reticulación (C) y con termoestables de reticulación fuertes (D) (Klein, 2011).....	19
Figura 14. Clasificación de plásticos (Klein, 2011).....	20
Figura 15. Composición, precio y propiedades físicas del PET .....	21
Figura 16. Propiedades mecánicas del PET .....	21
Figura 17. Propiedades térmicas, eléctricas, magnéticas y ópticas del PET .....	22
Figura 18. propiedades de absorción, permeabilidad y procesamiento del PET .....	22
Figura 19. durabilidad del PET.....	23
Figura 20. propiedades ambientales.....	24
Figura 21. Demanda mundial de material plástico en 2015 (Growth, 2015).....	24

Figura 22. Procedimiento de preparación de las muestras, reciclado mecánico (Eriksen et al., 2019). .....	25
Figura 23. Método de manufactura para del poliéster reciclado (Grain, 2016).....	25
Figura 24. Clasificación de fibras textiles (Qin, 2016).....	27
<i>Figura 25. Esquema del hilado por fusión (Asmatulu &amp; Khan, 2019).</i> .....	29
Figura 26. Esquema de como el delustrante actúa sobre la fibra generando una apariencia no brillante o mate (Houck & Siegel, 2015).....	31
Figura 27. a) fibra bajo luz polarizada (un filtro). b) fibra bajo luz cruzada (ambos filtros) produciendo interferencia de colores (Houck & Siegel, 2015). .....	32
Figura 28. Fenómeno contraste simultáneo (Houck & Siegel, 2015).....	33
Figura 29. Fenómeno efecto camaleón (Houck & Siegel, 2015).....	34
Figura 30. Procesos de impresión tridimensional (Wong & Hernandez, 2012). .....	35
Figura 31. Flujo de información en el prototipado rápido (Wong & Hernandez, 2012). .....	36
Figura 32. Principio de funcionamiento del método FDM (Bikas et al., 2016) . .....	36
Figura 33. Etapas del diseño industrial (Ulrich & Eppinger, 2003). .....	38
Figura 34. actividades y responsabilidades habituales del departamento de diseño en el proceso genérico del desarrollo del producto (Ulrich & Eppinger, 2003). .....	39
<i>Figura 35. Estrategias de diseño circular (Medkova &amp; Fifield, 2016).</i> .....	42
<i>Figura 36. Los cuatro modelos de DCE, Diseño en Economía Circular (Niinimäki, 2018).</i> .....	43
Figura 37. Modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir contra los tres enfoques principales para el desarrollo de productos de confección. (Gill, 2015). .....	45
Figura 38. Ruta crítica que debe ser considerada en el proceso de diseño de una prenda inteligente (McCann et al., 2005) .....	47
Figura 39. Línea de tiempo de estructuras textiles impresas en 3D mediante tecnologías de AM, describe el diseñador, el material y el proceso, el año de fabricación y la categoría de estructura (Grain, 2018).....	59
Figura 40. Línea de tiempo de estructuras textiles impresas en 3D mediante tecnologías de AM, describe el diseñador, el material y el proceso, el año de fabricación y la categoría de estructura (Grain, 2018).....	60

Figura 41. Diagrama de análisis de funcionalidad (FDA) de las estructuras textiles impresas en 3D existentes (Grain, 2018).....	61
Figura 42. Diagrama de análisis de propiedades en estructuras textiles impresas en 3D (Grain, 2018). .....	61
Figura 43. Matriz MET (IHOBE, 2000) .....	66
Figura 44. DfE matriz. ( <a href="https://ritsustainabilitydesigncolab.files.wordpress.com/2010/10/explanation-of-product-dfe-matrix-1_page_02.jpg">https://ritsustainabilitydesigncolab.files.wordpress.com/2010/10/explanation-of-product-dfe-matrix-1_page_02.jpg</a> ).....	67
Figura 45. Rueda de lids (rueda estratégica del Ecodiseño) ( <a href="http://www.disost.com/2012/07/herramientas-de-ecodiseno.html">http://www.disost.com/2012/07/herramientas-de-ecodiseno.html</a> ) .....	68
Figura 46. Método ECODESIGN Checklist (Brezet, 2002).....	70
Figura 47. Descripción de las 10 reglas de oro para el ecodiseño (Luttropp & Lagerstedt, 2006).....	71
Figura 48. Esquema del diagrama PIT con "punteros" que muestran el uso previsto (Jones et al., 2001).....	73
Figura 49. Concepto De Economía Circular De Acuerdo a Ellen MacArthur Foundation (Van Acker, 2016).....	75
Figura 50. Marco de referencia de la economía circular (Elia et al., 2017). .....	78
Figura 51. Taxonomía con base a índices propuesta para metodologías (Elia et al., 2017). .....	78
Figura 52. Metodologías de evaluación ambiental y requerimientos de la economía circular (Elia et al., 2017). .....	81
Figura 53. Ambiciones para una nueva economía textil (Herrmann, 2017).....	82
Figura 54. Aspectos que se consideran importantes para la Economía circular (Niinimäki, 2018). .....	85
Figura 55. Diagrama resumen de la descripción de la metodología de investigación. ....	88
Figura 56. Descripción etapa documental.....	89
Figura 57. Etapa conceptual, selección y evaluación del textil impreso en 3D.....	94
Figura 58. Etapa conceptual, definición de usuario, prenda a diseñar y toma de medidas corporales.....	95
Figura 59. Etapa de desarrollo del concepto.....	96

Figura 60. Proceso de búsqueda y selección modelo del textil impreso en 3D.....	102
Figura 61. Propiedades físicas, mecánicas, térmicas y ópticas de ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020). .....	103
Figura 62. Información adicional de ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020). .....	103
Figura 63. Directrices generales de impresión para el filamento ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020). .....	103
Figura 64. Parámetros de impresión solicitados por el software UltimakerCura .....	105
Figura 65. Patrones seleccionados con sus respectivos parámetros de impresión. A) Circle maile tomado de <a href="https://www.thingiverse.com/thing:17895">https://www.thingiverse.com/thing:17895</a> , B) Chainmail tomado de <a href="https://www.thingiverse.com/thing:42850">https://www.thingiverse.com/thing:42850</a> , C) Chainmail. Tomada de <a href="https://www.thingiverse.com/thing:27653">https://www.thingiverse.com/thing:27653</a> , D) Chainmail coaster. Tomado de <a href="https://www.thingiverse.com/thing:91831">https://www.thingiverse.com/thing:91831</a> , E) Chainmail. Tomado de <a href="https://www.thingiverse.com/thing:2990070">https://www.thingiverse.com/thing:2990070</a> . .....	106
Figura 66. Características físicas y de trabajo de la impresora 3D ender 3 (Creality, 2020). .....	107
Figura 67. Impresiones correspondientes a los textiles seleccionados y mostrados en la Figura 65.....	108
Figura 68. Encuesta de forma y función. Provista por el autor. ....	110
Figura 69. Encuesta caracterización experiencial.....	110
Figura 70.. Respuesta de la caracterización experiencial en el nivel sensorial. ....	112
Figura 71. Resultados nivel performativo.....	113
Figura 72. Resultados nivel afectivo, frecuencia y puntuación media para la evaluación de los tres textiles impresos.....	115
Figura 73. Resultados nivel interpretativo. ....	116
Figura 74. Respuestas con mayor frecuencia de elección para encuesta de evaluación de geometría y función. ....	118
Figura 75. Modo board prendas atemporales.....	121
Figura 76. Modelado 3D y patronaje chaleco.....	124
Figura 77. Modelado 3d y patronaje poncho. ....	125
Figura 78. Representación de la capa confeccionada en marvelous designer. ....	126
Figura 79 prototipo .....	127

Figura 80. Encuesta de duración estética y funcional del prototipo .....	128
Figura 81. Máquina trituradora de plástico.....	129
Figura 82. Máquina extrusora.....	130
Figura 83. a) material triturado b) obtención de filamento.....	130

**CONTENIDO TABLAS**

Tabla 1. Descripción Matriz MECO (Wenzel, Henrik. Hauschild, Michael Z. Alting, 1997).....	65
Tabla 2. Matriz ERPA ( <a href="https://images.slideplayer.com/33/8221865/slides/slide_3.jpg">https://images.slideplayer.com/33/8221865/slides/slide_3.jpg</a> ). .....	67
Tabla 3. Operacionalización de variables. ....	97
Tabla 4. Comparación de algunas propiedades del ReForm™ - rPET vs PET .....	104
Tabla 5. Requerimientos del textil. ....	117
Tabla 6. Matriz de PUGH, comparación respecto al moodboard .....	122
Tabla 7. Medidas maniquí .....	123
Tabla 8. Matriz de evaluación.....	131

## 1. CAPÍTULO I

### 1.1.Introducción

Actualmente, el 79% de la población de América Latina y el Caribe se distribuye en pueblos y ciudades con más de 20.000 habitantes, representando una gran demanda de energía, incluyendo la provisión de servicios, la producción y consumo de materiales y bienes, su transporte y la movilidad. En consecuencia, los vertederos o rellenos sanitarios de las ciudades no cuentan con políticas públicas que los regule, esto representa no sólo una fuente de emisiones de metano y sitios de reproducción de vectores, sino también grandes cantidades de partículas finas por incendios accidentales y no accidentales, con aportaciones potenciales a la contaminación atmosférica en entornos urbanos (*OPS/OMS | Contaminación del Aire Ambiental, 2019*). Un ejemplo de lo anterior, es el plástico, el cual es el material más frecuentemente encontrado a escala global en costas y ambiente marino, llegando a acumularse en grandes vórtices como el ubicado frente a las costas de Chile. Además, se ha reportado la presencia de 5.000 piezas/ km<sup>2</sup> de plástico en el océano a una distancia aproximada de 1.000 kilómetros de la costa de Chile, y en las cercanías de la Isla de Pascua este valor llega a 50.000 piezas/km<sup>2</sup> (*ONU Medio Ambiente, 2018*)

En los últimos años ha venido creciendo la necesidad de realizar cambios en la cultura de producción y de consumo puesto que cada vez se explota de forma descontrolada los recursos naturales. Esto genera a su vez una gran cantidad de desechos, que en su mayoría no se aprovechan en otros procesos y terminan su ciclo de vida en los vertederos.

Por su parte, el diseño tradicional no ha considerado el impacto del producto durante todo su ciclo de vida, es decir, los productos no están diseñando para que sean duraderos, permitiendo que los nuevos modelos suplan las necesidades de los usuarios (*Medkova & Fifield, 2016*). Por lo tanto, es necesario desarrollar productos que desde la etapa de diseño tengan en cuenta cada una de las etapas del ciclo de vida, permitiendo que el mismo se reintegre a la cadena de suministro una vez termine su vida útil.

Para industrias como la textil y la petroquímica, abordar los problemas de sostenibilidad requiere nuevos conceptos innovadores de diseño de productos y procesos. La industria de la moda sigue siendo una de las más contaminantes, produciendo el 8% de las emisiones globales

de gases de efecto invernadero (Buchel et al., 2018). Es así, que adoptar el concepto de economía circular incluye beneficios tales como el uso mínimo de los recursos naturales, ya que los productos usados se convierten en un elemento integral de la materia prima, prácticamente cero desperdicio posterior al consumo, uso mínimo de energía, particularmente en la fabricación de fibras sintéticas que consumen energía sustancial en su producción, menor costo de fabricación y un mayor uso de mano de obra calificada en virtud de la creciente curva de aprendizaje (Elmogahzy, 2020).

En consecuencia, el diseño circular, busca entregar productos que son funcionales y fueron hechos de materiales óptimos para que se desempeñen de la mejor forma, minimizando los impactos negativos a través de todo su ciclo de vida (Medkova & Fifield, 2016).

En la relación a lo anterior, (Lussenburg et al., 2014) afirma que aprovechar al máximo las características innovadoras de los procesos nuevos y en crecimiento permite brindarle gran valor a un producto. Por ejemplo, la manufactura aditiva permite personalizar prendas y fabricarlas a la medida del usuario sin dejar de ser económicamente viable. Así mismo, las oportunidades para realizar variaciones de propiedad en el producto a imprimir (material o estructural) son un beneficio único del proceso, lo cual agrega valor emocional de mismo ampliando su expectativa de vida.

En conclusión, agregar valor a un producto es amplificar lo que realmente el cliente valora, incluyendo mejoras al producto como cambio de material, método de manufactura, cadena de suministro, etc. lo cual abre una mayor capacidad para innovar (Narayanan et al., 2021).

## 1.2. Antecedentes

En los últimos 50 años el rol y la importancia del plástico ha crecido debido al aumento de la población a nivel mundial junto con sus necesidades. Tanto así, que la producción de este material ha aumentado 20 veces desde 1960, alcanzando 322 millones de toneladas en 2015. En consecuencia, se espera que en los próximos 20 años se duplique (European Commission, 2018).

En la Figura 1, se observa la demanda de plástico y desechos plásticos generados en Europa en el año 2015. Alrededor de 25,8 millones de toneladas de desperdicio de plástico son generadas anualmente en Europa y menos del 30% de los desechos es reciclado. En este sentido, el sector con mayor contaminación de plástico es el de empaque, contribuyendo con el 59% de desperdicios. También, se estimó que la producción de plástico y la incineración de sus desechos, ha aumentado globalmente aproximadamente 400 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Adicionalmente, entre 5 y 13 millones de toneladas de plástico, es decir, entre el 1.5% y el 4% de la producción de plástico del mundo terminan en el océano cada año (European Commission, 2018).

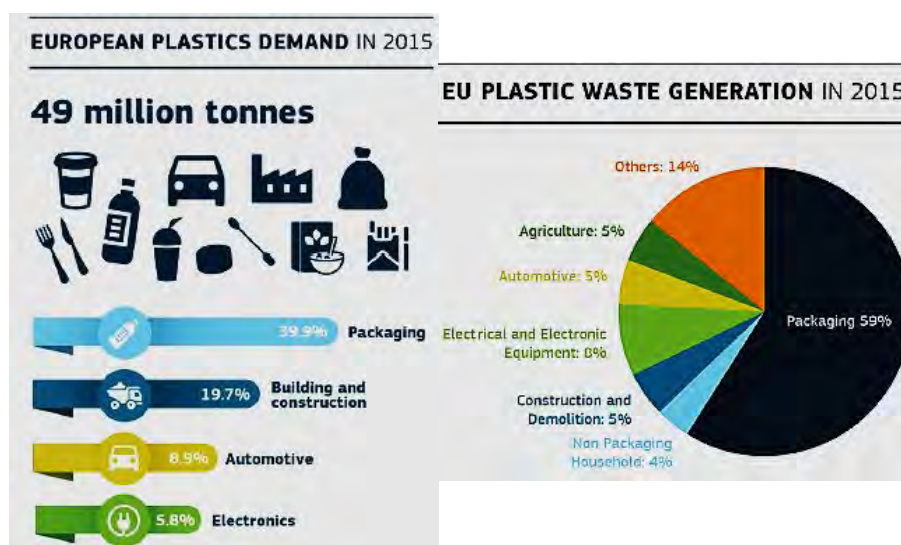


Figura 1. Demanda De Plástico Y Desechos Plásticos Generados En Europa En El Año 2015 (European Commission, 2018).

En el marco de las observaciones anteriores, la Comisión europea (European Commission, 2018) tiene una nueva visión para la economía de plásticos, que tiene dos objetivos: el primero habla sobre una industria de plásticos inteligente, innovadora y sostenible, donde el

diseño y la producción respetan plenamente las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje, trayendo crecimiento y empleos a Europa y que ayude a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles fósiles importados. Su segundo objetivo se centra en hacer un llamado a los ciudadanos europeos, a su gobierno y su industria para que apoyen patrones de consumo y producción más sostenibles y seguros para los plásticos. Esto proporciona un terreno fértil para la innovación social y el espíritu empresarial, creando una gran cantidad de oportunidades para todos los europeos.

De acuerdo a lo anterior, en Copenhague en 2017 realizaron un estudio que abordaba específicamente los desechos plásticos de origen separados de los hogares. El objetivo era proporcionar una composición detallada de los desechos plásticos rígidos separados, incluida información sobre el polímero: componente principal del producto, el tipo de producto, el diseño y la capacidad de separación del polímero, así como el color. Se descubrió que mejorar el diseño del producto, haciéndolo adecuado para el reciclaje, puede hacer crecer positivamente la cantidad de plástico reciclado en un 18-23%, en comparación con las condiciones actuales. El establecimiento de sistemas de reciclaje, donde los envases de alimentos se pueden separar de manera efectiva de los artículos no alimentarios, puede aumentar la proporción de plástico reciclado de alta calidad para alimentos de 0% a 40-62% (Eriksen & Astrup, 2019).

Por otro lado, en Brasil el acuerdo sectorial sobre envases plásticos de aceites lubricantes, prevé una cláusula por la cual los fabricantes quedan obligados a desarrollar tecnología que permita incorporar en la fabricación de nuevos envases parte del material recuperado (ONU Medio Ambiente, 2018).

Otro ejemplo claro sobre la gestión y uso del plástico reciclado se encuentra en Ecuador, de acuerdo a (ONU Medio Ambiente, 2018) “la diferencia en los precios de las materias vírgenes frente al reciclado no termina de convencer a la industria”. Una tonelada de tereftalato de polietileno (PET) virgen (que sirve para fabricar los envases de bebidas) se cotiza entre USD \$1.600 y \$2.000 –puesto en puerto ecuatoriano–, mientras que ese material reciclado se vende hasta en USD \$1.200 y \$1.300 por tonelada” En este país no hay una ley que obligue a las empresas usar plásticos peletizados (lavados, molidos y seleccionado). Es así que, la exportación es la que salva al sector de reciclaje porque el industrial no está obligado a utilizar en su producción material reciclado”

En México, una vez que los materiales que componen un teléfono celular son separados y reciclados, son reutilizados en otras industrias. Por ejemplo, los plásticos se emplean en la construcción, instrumentos musicales y otros usos variados (ONU Medio Ambiente, 2018).

De esta manera, a través del mundo se ha visto la actuación de un amplio grupo de países interesados. Los responsables de la formulación de políticas están introduciendo legislaciones, que afectan a los plásticos y los envases hechos de este material. De esta forma, en el 2016 aplicaron más regulaciones nacionales sobre bolsas de plástico de un solo uso en Indonesia, Colombia y Marruecos; prohibieron los cubiertos, vasos y platos de plástico no biodegradables en Francia. Además, prohibieron los empaques polietileno expandido (EPS) en San Francisco (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

En este sentido, (Aizenshtein, 2016) menciona que la utilización de basura y residuos sólidos de hogar (SHW) se ha convertido en un problema ecológico y económico. El volumen de negocios global en términos de tratamiento de basura ha alcanzado USD 50 mil millones / año. En muchos países europeos, más del 50% de SHW está sujeto a tratamiento. El plástico obtenido se utiliza para fabricar piezas de ropa y vajilla, muebles, materiales de construcción e incluso cruces de ferrocarril. De acuerdo a (Aizenshtein, 2016), todos los desechos de polímeros, incluidos el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), policarbonato (PC), poliuretano (PU), tereftalato de polietileno (PET), etc. comprenden más del 50% de SHW. Los desechos de PET, principalmente como botellas usadas, representan 25 wt. % (porcentaje en peso) del total de desechos de polímeros. Este plástico es tecnológicamente más adecuado para el tratamiento porque se homogeneiza fácilmente, no requiere plastificación y tiene una composición química relativamente estable. (Aizenshtein, 2016) también prevé un mayor crecimiento del procesamiento de PET mediante el reciclaje de hasta 13 millones de toneladas en 2018 y hasta 15 millones de toneladas en 2020. Hay varias formas de utilizar botellas de PET usadas. Por ejemplo, productos menos importantes como fibra cortada, relleno de fibra, etc. Por otra parte, las escamas de PET después de la granulación y el tratamiento especial, se utilizan para producir botellas nuevas (tecnología botella a botella) y fibras e hilos de alta calidad. Según el autor, en todo el mundo en 2014, aproximadamente el 71% de los paquetes de PET recolectados se procesaron en fibra (principalmente títulos gruesos para no tejidos y rellenos).

Del mismo modo, (R. Zhang et al., 2020) afirma que convertir una gran cantidad de desechos de botellas PET en productos textiles de alto valor es considerado una alternativa ecológica y económicamente eficiente con grandes beneficios ambientales. China ha sido el mayor consumidor de botellas de PET del mundo desde 2010. Las botellas de PET recicladas se utilizaron principalmente (alrededor del 71% en 2014) como materiales de fibra reciclada en todo el mundo. Así mismo, el 53% del total de botellas de PET recolectadas en todo el mundo es tratado actualmente en China, y se estima que el 30% de la producción total de fibra de poliéster del país provenga de botellas de PET recicladas.

Por otra parte, (Herrmann, 2017) menciona que los textiles y la ropa son parte fundamental de la vida cotidiana y parte muy importante de la economía. Así mismo, en los últimos 15 años la producción de ropa se ha duplicado y el número promedio de veces que se usa una prenda antes de desecharse ha disminuido como se observa en la Figura 2.

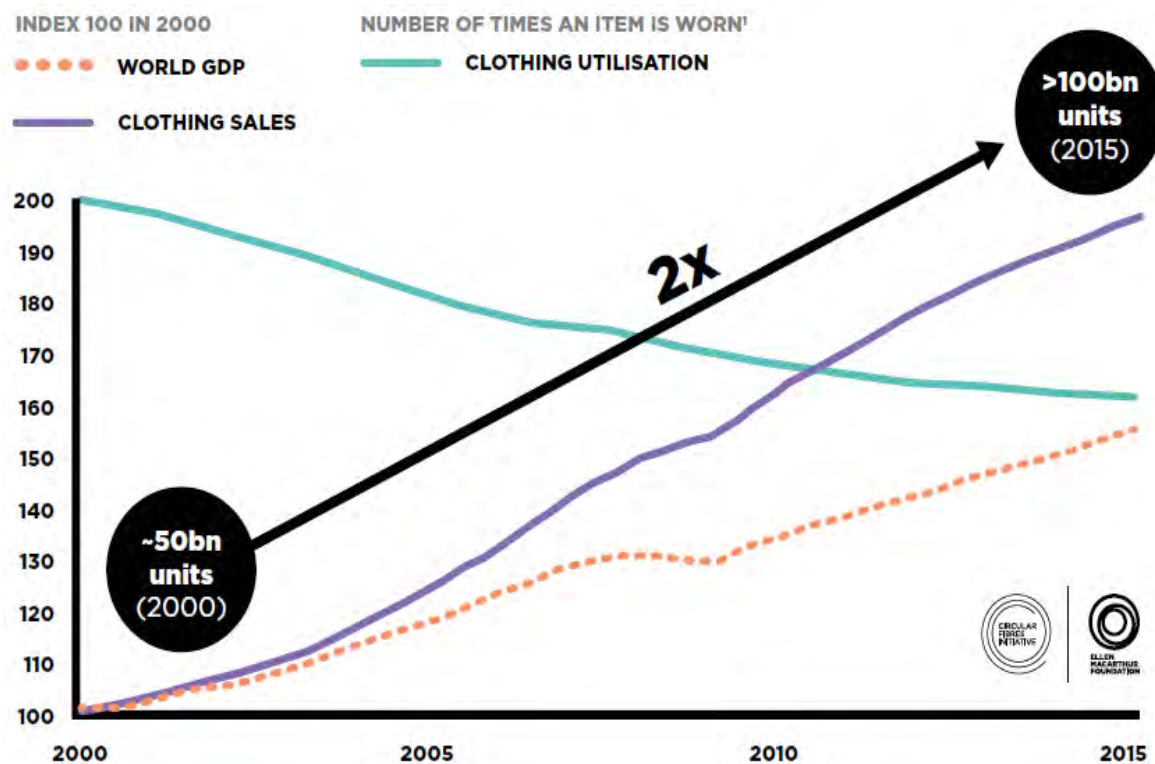


Figura 2. Crecimiento de venta de ropa y disminución de la utilización de la ropa desde el año 2000 (Herrmann, 2017)

Lo anterior, es impulsado por el fenómeno de “fast fashion” que se basa en cambio más rápido de nuevos estilos, un mayor número de colecciones ofrecidas por año y, a menudo, precios más bajos generando extracción de grandes cantidades de recursos no renovables (Figura 3 y Figura 4) (Herrmann, 2017) .

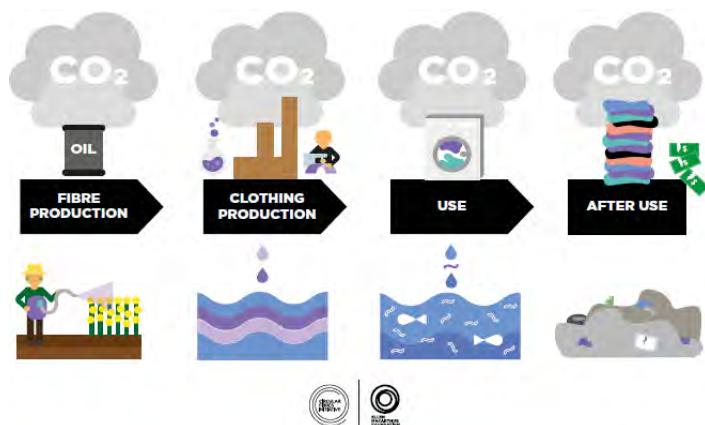


Figura 3. Sistema actual de consumo de ropa (Herrmann, 2017)

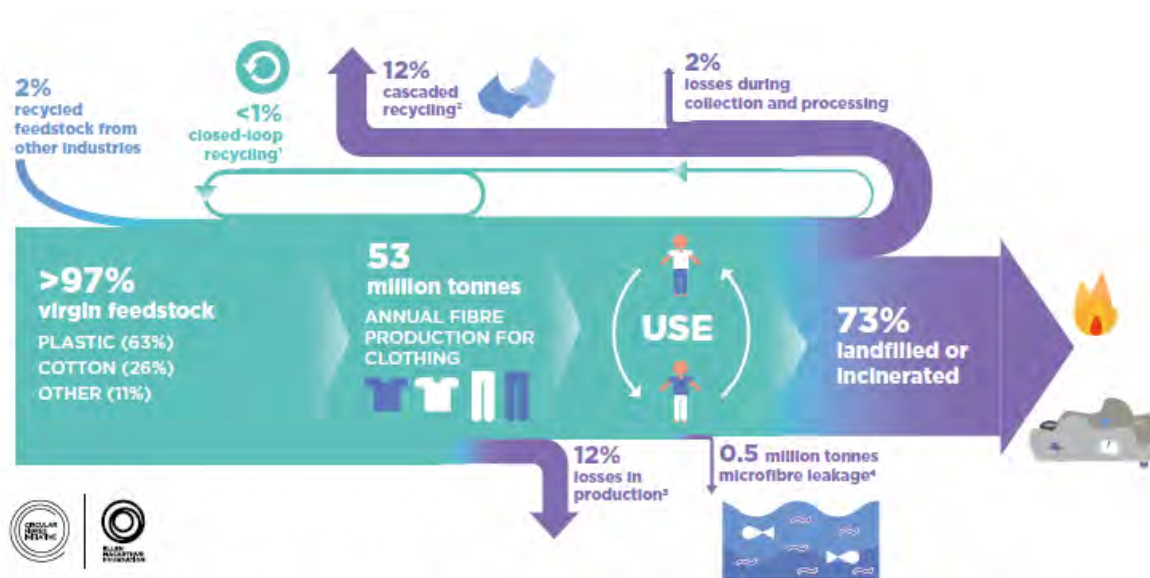


Figura 4. Flujo global del material para el año 2015 (Herrmann, 2017).

En consecuencia, cada vez son más las personas y empresas que se dedican a buscar nuevas alternativas para incorporar el PET reciclado a nuevos productos. Por su parte, (McCann et al., 2005) en su investigación da algunos ejemplos de cómo se ha utilizado el poliéster en el diseño de smart clothings. Por ejemplo, dice que “la lana de poliéster ha revolucionado la capa de aislamiento media, en el 'sistema de vestimenta', y ha reemplazado gradualmente las prendas tejidas para el deporte activo y, más recientemente, en la moda de ocio. Así mismo que, el poliéster reciclado está siendo manufacturado en Japón por Tajin para uso corporativo. También, da el ejemplo de una empresa estadounidense llamada Patagonia la cual tiene un gran compromiso ambiental, siendo la primera compañía norteamericana en especificar la lana de tereftalato de polietileno reciclado (rPET). De acuerdo a (Buchel et al., 2018; Grain, 2018; Herrmann, 2017) marcas como Patagonia, Eileen Fisher y Levi's han adoptado una estrategia explícita en torno a la ropa duradera y de alta calidad y han experimentado un fuerte crecimiento en la cuota de mercado y la rentabilidad. Así mismo, nombra marcas como Little navy dress, petit plí's children's clothes, cutecircuite garment que se han enfocado en el diseño de prendas personalizables y adaptables a la necesidad del usuario. Resaltan, como cada una de estas compañías han aprovechado los modelos de negocios, tecnologías y modelos de cadena de valor alternativos que ofrece el sistema de Economía Circular.

Debe señalarse también, que la innovación en la incorporación de estas materias primas recicladas ha llevado a la exploración y adaptación de los productos convencionales a las tecnologías en desarrollo como lo es la manufactura aditiva (AM). (Grain, 2016) en su investigación habla sobre la moda con impresión 3D y rPET. El objetivo fue examinar posibilidades para el diseño y fabricación de prendas de moda impresas en 3D, utilizando filamento rPET y así poder determinar si era factible utilizar este material para crear piezas de moda portátiles o escultóricas, a través del diseño, desarrollo, muestreo y pruebas, mientras se utiliza un material totalmente sostenible. En la Figura 5 se muestra la revisión bibliográfica que realizó para el desarrollo de la investigación.



Figura 5. Revisión contextual (Grain, 2016).

Así mismo, (Yap & Yeong, 2014) en su investigación muestra un resumen de técnicas de manufactura aditiva que se han usado para la creación de vestuario, como se observa en la Figura 6. Respecto a las prendas realizadas con la tecnología de manufactura aditiva de modelado por deposición fundida (FDM) se tiene la Figura 7, ganadora del premio de la competición internacional de impresión 3D en Singapore. Llamado Hydro-shift 'demuestra cómo se puede realizar la segmentación (las líneas rojas indican las líneas de corte).

AM Techniques	Mechanism	Materials	Examples
<b>Fused Deposition Modelling (FDM)</b> A material extrusion AM process in which material is selectively extruded through a nozzle	Thermoplastic filament is fed into an extrusion head and is heated to a semi-liquid state, before it is extruded and deposited in thin layers from the nozzle.	1. ABS 2. PLA 3. Flexible PLA	Winner from Singapore International 3D Printing Competition 2013 (Figure 1)
<b>Selective Laser Sintering (SLS)</b> A powder bed fusion AM process in which thermal energy selectively fuses a region of a powder bed	A CO <sub>2</sub> laser beam selectively melts or fuses a thin layer of powder particle. Powder not melted serves as a built-in support structure.	1. Polyamide	1. First 3D printed dress: Black Drape Dress created by Freedom of Creation in 2000 using polyamide 2. Iris van Herpen's Crystallization and Escapism dresses in 2010 and 2011 respectively using polyamide 3. Iris van Herpen's 'Voltage: Black Dress' in 2013 using TPU flexible material
<b>PolyJet</b> A material jetting AM process in which droplets of build material are selectively deposited	Thin layer of liquid photopolymer is deposited from jetting heads and immediately cures using UV light.	1. Multi-materials with different hardness shore value	1. Iris van Herpen's 'Voltage: Cape and Skirt'

ABS, acrylonitrile butadiene styrene; PLA, polylactic acid; TPU, thermoplastic polyurethane.

Figura 6. Resumen de técnicas de manufactura aditiva para la impresión 3D de vestuario



Figura 7. Hydro-shift ganadora del premio de la competición internacional de impresión 3D en Singapore (Yap & Yeong, 2014).

(Grain, 2018) habla sobre la colaboración de Iris Van Herpen y Julia Koerner en 2012 para su colección Hybrid Holism, donde se utilizó estéro litografía para crear vestidos esculturales (Figura 8).

De acuerdo a (Pei et al., 2015) “Freedom of Creation fue uno de los pioneros en utilizar AM para crear textiles y ropa a medida utilizando patrones que van desde estructuras entrelazadas hasta mallas de tejido apretado. Julia Koerner e Iris van Herpen trabajaron con Materialise para crear un vestido tejido en banda hecho de plástico sinterizado con láser (TPU 92A-1) que es flexible, duradero y lavable a máquina. Stratasys y Neri Oxman produjeron una gama de prendas orgánicas que se fabricaron con dos materiales diferentes que contienen secciones duras y blandas con tecnología PolyJet” (p.557)



*Figura 8. Adaptación de la información de la Figura 6. Prendas realizadas por Iris Van Herpen aplicando diferentes tecnologías AM.*

(Kim et al., 2019) en su investigación buscaban determinar algunas limitaciones de la tecnología FDM como método de manufactura de prendas de vestir. Realizaron 3 prendas de

vestir usando como material base filamento de poliuretano termoplástico (TPU) y Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) que se muestran en la Figura 9.

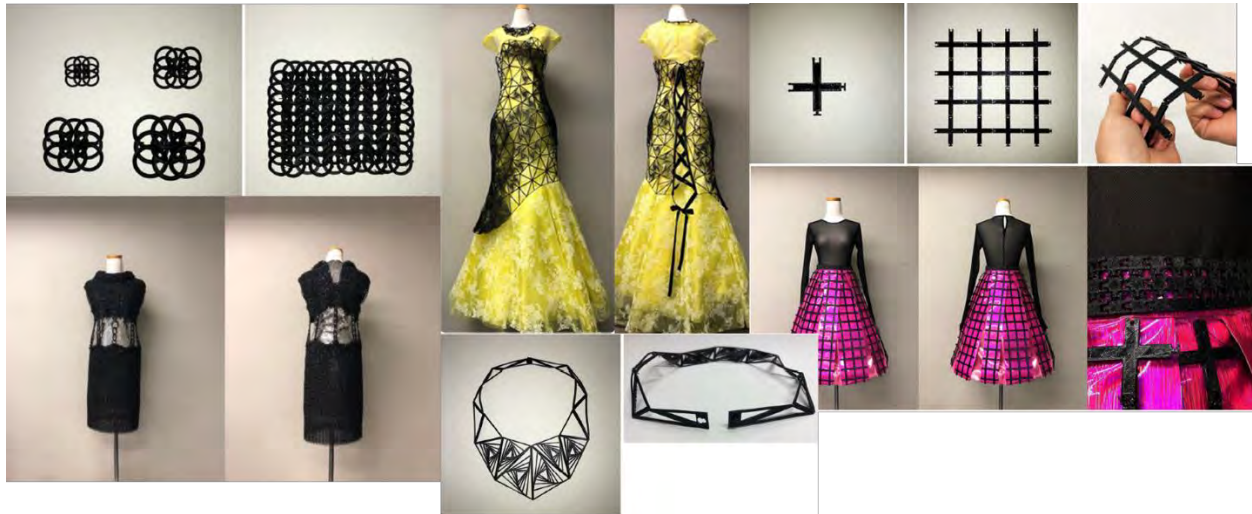


Figura 9. Imágenes de las prendas realizadas por (Kim et al., 2019)

Por su parte, (Lussenburg et al., 2014) realiza un estudio donde su objetivo principal es estudiar como el método MDD puede ser usado en un proyecto donde el método de manufactura principal es la manufactura aditiva. Es así, que realizan diferentes ejemplos de textiles impresos en 3D, algunos de estos ejemplos fueron obtenido de bases de datos de libre acceso, proveedores y diseñadores, mientras que otros fueron creados e impresos específicamente para este proyecto (Figura 10).

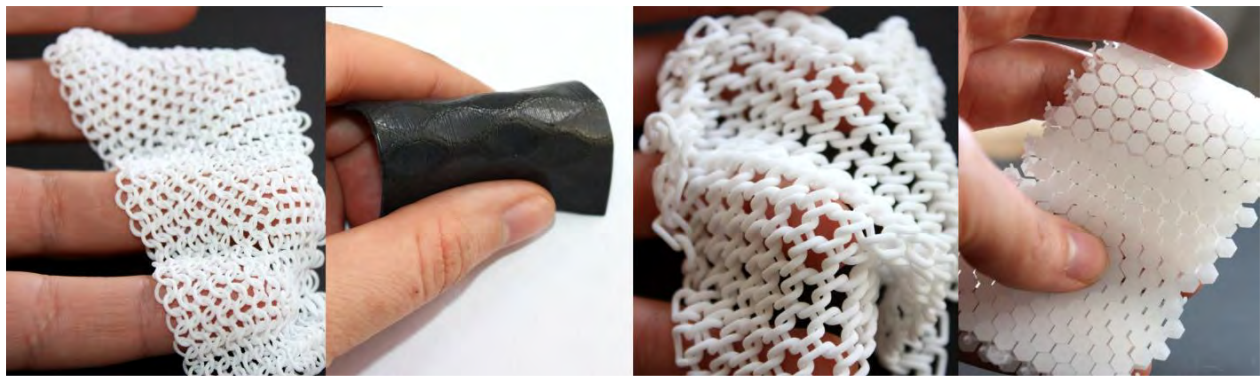


Figura 10. Ejemplos de textiles impresos en 3D (Lussenburg et al., 2014).

Después de aplicar toda la metodología de MDD, diseñan un modelo de prenda, posteriormente es prototipada (Figura 11). Sin embargo, advierten que solo uno de los ejemplos de textil impreso en 3D fue percibido como un textil. Así mismo, que los encuestados no lograban relacionar el plástico como el componente principal de un textil, no le era familiar al producto.



Figura 11. Modelo y prototipo final de la prenda (Lussenburg et al., 2014).

### **1.3. Problema de investigación**

Necesidad de diseño de productos innovadores y de alto valor desarrollados a partir de filamento de PET reciclado, que permitan la circularidad del proceso y la integración de las botellas PET desechadas a la cadena de suministro y que se ajusten a los lineamientos de la economía circular.

#### **1.3.1. Preguntas de investigación**

- ¿Cuál de los 4 niveles de la caracterización experiencial presenta mejores resultados para el diseño de una prenda fabricada con textiles impresos en 3d desarrollados con filamento rPET?
- ¿Cómo se determinan los parámetros para el diseño de una prenda textil manufacturada con rPET?
- ¿Cómo el diseño textil a partir de rPET puede ser considerado en un proceso de economía circular?

### **1.4. Justificación de la investigación**

Reciclar se ha convertido en un tema crucial en el ámbito económico y ecológico dado por la necesidad de limitar el impacto de los plásticos en el medio ambiente (Maris et al., 2018). Además, “las crecientes preocupaciones ambientales asociadas con la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente, han incentivado una considerable investigación sobre alternativas renovables y, más recientemente, estrategias alternativas de gestión de residuos” (Payne et al., 2019). Como respuesta, aparece el concepto de economía circular, el cual cuenta con 3 bases: “reducir los desechos de plástico y la polución a través del diseño de producto, retener recursos y productos en uso y regenerar y preservar los sistemas naturales... Recuperar el valor del material de los desechos para evitar la desmaterialización y reducir las pérdidas de ciclo” (Payne et al., 2019).

Actualmente, se han abierto un sin número de oportunidades para generar productos con materiales reciclados. Una de estas oportunidades se encuentra en la nueva corriente llamada UNA NUEVA ECONOMÍA TEXTIL (Dr. Herrmann, 2017) que se basa en los principios de la economía circular, y dentro de sus objetivos busca transformar la manera en que la ropa es

diseñada, vendida y usada, afirmando que empieza a existir un mercado interesado en adquirir la ropa que ya se ha usado y ya no se desea, pero que aún es lo suficientemente resistente como para volver a usarse, por lo tanto se deben diseñar prendas duraderas y de calidad. Así mismo, el consumo de prendas con estas características fomenta la explotación de nuevas tecnologías que ofrecen un mejor ajuste y personalización para la máxima satisfacción del cliente. Otro de sus objetivos es mejorar radicalmente el reciclaje al transformar el diseño, la recolección y la reprocesamiento de la ropa alineando la etapa de diseño con el fin de ciclo de vida del producto permitiendo un fácil reciclaje. Así mismo, estimulando la demanda de material reciclado lo que puede ayudar a aumentará los mercados de artículos que no se pueden usar, mejorando drásticamente la oportunidad para que los recolectores obtengan valor de estos materiales.

De acuerdo a (Ellen MacArthur Foundation, 2017) La mayoría de los envases de plástico se usan solo una vez y el 95% de su valor se pierde cada año. Lo anterior, representa entre 80-120 billones de dólares en la economía. Por lo tanto, se prevé que para el 2050 el océano podría contener más plástico que peces, de acuerdo a su relación en peso. Por lo tanto, sin un rediseño profundo e innovación, el 30% de los envases plástico podría no ser reciclado o reusado. En la Figura 12, se observan tres diferentes estrategias de transición para acelerar el cambio hacia la nueva economía de plástico. Sin embargo, los nuevos modelos de entrega y los patrones de uso están brindando una oportunidad de reutilización para al menos el 20% de los envases de plástico. Así mismo, la puesta en marcha de buenas prácticas y estándares en el diseño de envases y procesos de uso posterior como parte de un Protocolo Global de Plásticos, fortalecería el reciclaje como una alternativa económicamente atractiva al vertedero, a la incineración y a la recuperación de energía. Por lo tanto, agregaría un valor estimado de USD 190-290 a cada tonelada de envases plásticos mixtos recolectados, o USD 2-3 mil millones anuales en toda la OCDE (La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico).



Figura 12. Estrategias De Transición Para Acelerar El Cambio Hacia La Nueva Economía Del Plástico (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Los polímeros de postconsumo, en especial los desechos poliméricos mixtos, y el desarrollo de innovación y propósitos económicos lleva a hacer uso de polímeros de productos básicos abundantemente disponibles como materias primas baratas para fabricar materiales nuevos o incluso de mayor valor, dando a los polímeros posteriores al consumo una nueva vida, extendiendo así su vida útil (Hong & Chen, 2019). De acuerdo a (Raheem et al., 2019) se puede lograr un amplio alcance de aplicaciones a través del reciclaje mecánico. De manera semejante, el reciclaje químico permite la formación de productos más nuevos que sirven como productos intermedios para la fabricación de productos de valor agregado junto con el ahorro en los recursos.

## **1.5.Objetivos**

### **1.5.1. General**

Diseñar una prenda de vestir desarrollada con filamento rPET entorno al concepto de economía circular, donde se aplique la caracterización experiencial para proponer características innovadoras que agreguen valor al producto y brinden confort adecuadamente al usuario.

### **1.5.2. Específicos**

- Analizar las propiedades del PET reciclado para identificar sus características y aportaciones respecto al PET virgen y PETG.
- Evaluar las características experienciales del textil impreso para conocer el grado de aceptación del usuario.
- Generar un modelo a partir del concepto de la prenda de vestir para identificar si se ajusta correctamente al usuario.
- Analizar el proceso de manufactura por prenda de vestir para calcular los costos y consumo de material.

## **1.6. Hipótesis**

- Es posible el diseño y desarrollo de una prenda de vestir a partir de materiales postconsumo derivados del tereftalato de polietileno PET reciclado mediante técnicas de manufactura aditiva, y economía circular.
- La implementación del filamento PET reciclado junto a la tecnología de manufactura aditiva FDM en el diseño y desarrollo de productos en el sector de la confección, mejora el valor del producto mediante la creación de productos innovadores, derivados del análisis de la caracterización experiencial.

## **1.7. Alcances y delimitación del estudio**

### **1.7.1. Alcances.**

Se realizará una investigación en la región de Ciudad Juárez, investigación mixta enfocada a dar cumplimiento a la meta 9.4 del objetivo industria, innovación e infraestructura y a las metas 12.4 y 12.5 del objetivo producción y consumo responsable (ONU, 2020).

Sin embargo, la aplicabilidad del proyecto puede ser en cualquier sitio por las grandes ventajas que brinda la tecnología FDM y los materiales rPET.

### **1.7.2. Delimitaciones**

- Se trabajará con filamento de PET reciclado (rPET).
- Se hará uso de la tecnología de manufactura aditiva FDM
- Se trabajará con recursos disponibles de la UACJ y propios.

## 2. CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA Y REFERENCIAL

### 2.2. Materiales

#### 2.2.1. Plásticos

Los polímeros son la unión de cadenas simples de monómeros. Los plásticos están compuestos por la mezcla de dos o más polímeros, su estructura puede ser homogénea o heterogénea. De acuerdo a su composición macromolecular y características físicas dependientes de la temperatura, los plásticos se dividen en diferentes clases, en la

Figura 13 se observa la estructura principal de línea de los polímeros, y en la Figura 14 se muestran la clasificación de los plásticos. En cuanto a los termoplásticos y los termoestables ambos son definidos con elasticidad dura o resistentes, pero difieren en que el primero puede fundirse mediante el aporte de energía sea mecánica, eléctrica o de radiación, el segundo no se puede fundir. También, se encuentran los elastómeros que son de resistencia baja y no se pueden derretir. (Klein, 2011).

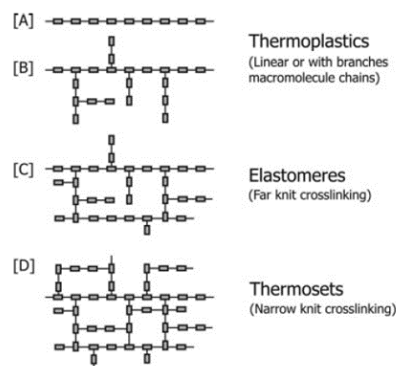


Figura 13. Estructura principal de línea (A), con cadenas laterales (B) y macromoléculas reticuladas (C y D). La estructura de cadena (A) y (B) son tipos termoplásticos, estructuras con elastómeros de baja reticulación (C) y con termoestables de reticulación fuertes (D) (Klein, 2011).

En cuanto a las estructuras homogéneas son por ejemplo los copolímeros o los termoplásticos elastómeros, construido por la composición química de dos o más unidades monoméricas diferentes en macromoléculas. Adicionalmente, los monómeros termoplásticos se pueden fundir mediante procesos térmicos. Por otra parte, las estructuras heterogéneas son, por ejemplo, mezclas de polímeros o elastómeros termoplásticos, contruidos mediante la

composición física de fases separadas de diferentes polímeros. Este tipo de mezclas de polímeros con componentes termoplásticos también pueden fundirse mediante procesos térmicos. Así mismo, los compuestos plásticos consisten en una matriz polimérica con partículas o fibras integradas. Si se usan termoplásticos como matriz, el compuesto podrá fundirse. Por el contrario, si se usan termoestables como matriz, el compuesto no se podrá fundir. (Klein, 2011).

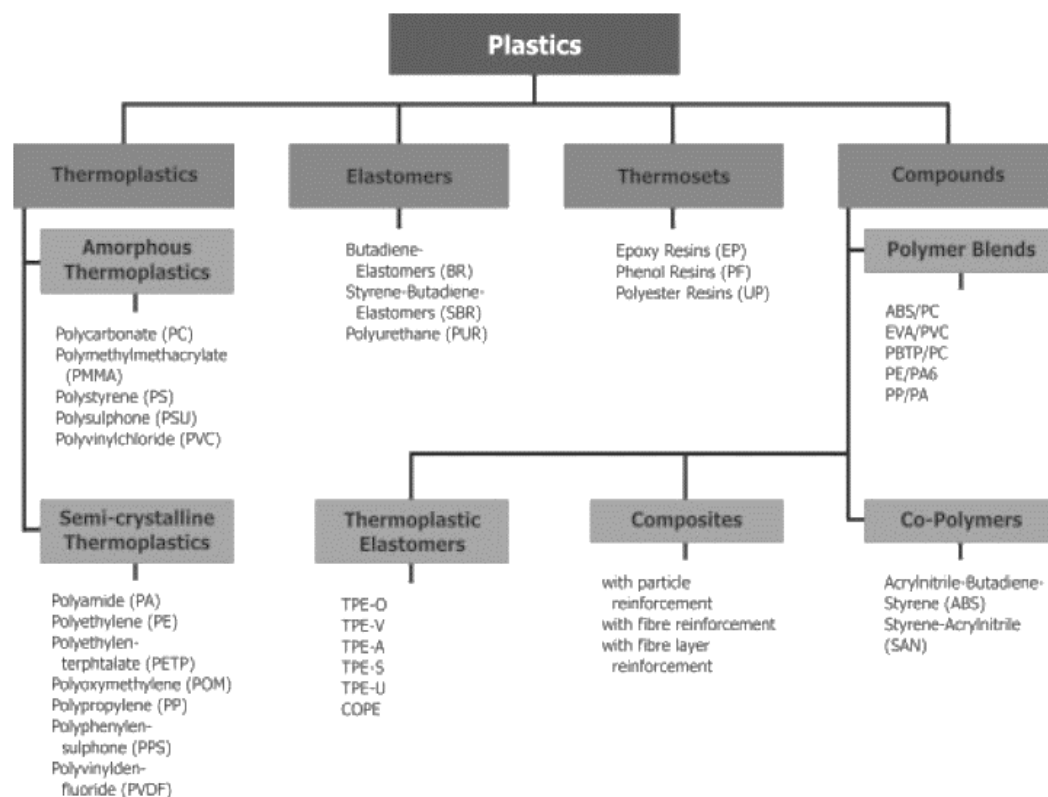


Figura 14. Clasificación de plásticos (Klein, 2011).

### 2.2.2. PET

El tereftalato de polietileno es un polímero producido y usado en masa (Zhang et al., 2019). Este polímero fue desarrollado por DuPont a mediados de la década de 1940, inicialmente fue producido como fibra para uso textil (Dracon), posteriormente se usó en la fabricación de películas plásticas debido a su transparencia natural y sus propiedades tanto de barrera como inastillable (Taniguchi et al., 2019).

De acuerdo a la clasificación de la Figura 14, el PET es un termoplástico semi-cristalino. A continuación, en las Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20 se muestran las propiedades del PET que brinda la base de datos y herramienta computacional CES EduPack.

### Composition overview

#### Compositional summary

(CO-(C6H4)-CO-O-(CH2)2-O) <sub>n</sub>	
Material family	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline)
Base material	PET (Polyethylene terephthalate)
Polymer code	PET

#### Composition detail (polymers and natural materials)

Polymer	100	%
---------	-----	---

#### Price

Price	* 26.5	- 32.3	MXN/kg
-------	--------	--------	--------

#### Physical properties

Density	1.37e3	- 1.4e3	kg/m <sup>3</sup>
---------	--------	---------	-------------------

Figura 15. Composición, precio y propiedades físicas del PET

Para el 2015 el PET representaba aproximadamente el 7% de demanda de plástico como se observa en la Figura 21, lo que equivale a 18.8 millones de toneladas de 269 millones de toneladas de plástico total producido (Growth, 2015).

### Mechanical properties

Young's modulus	2.76	- 3.1	GPa
Yield strength (elastic limit)	* 65	- 70	MPa
Tensile strength	70	- 75	MPa
Elongation	65	- 75	% strain
Compressive modulus	* 2.76	- 4.14	GPa
Compressive strength	* 75.8	- 103	MPa
Flexural modulus	2.99	- 3.09	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 70	- 75	MPa
Shear modulus	* 0.994	- 1.49	GPa
Bulk modulus	* 4.94	- 5.19	GPa
Poisson's ratio	* 0.381	- 0.396	
Shape factor	4.9		
Hardness - Vickers	* 17	- 20	HV
Hardness - Rockwell M	82	- 87	
Hardness - Rockwell R	120	- 125	
Fatigue strength at 10 <sup>7</sup> cycles	* 19.3	- 29	MPa
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00966	- 0.0145	

Figura 16. Propiedades mecánicas del PET

**Thermal properties**

Melting point	255	-	265	°C
Glass temperature	68	-	80	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	105	-	115	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	70	-	80	°C
Maximum service temperature	115	-	120	°C
Minimum service temperature	* -58	-	-38	°C
Thermal conductivity	0.138	-	0.151	W/m.°C
Specific heat capacity	1.1e3	-	1.2e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	75	-	80	µstrain/°C

**Electrical properties**

Electrical resistivity	3.3e20	-	3e21	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	3.5	-	3.7	
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0.002	-	0.003	
Dielectric strength (dielectric breakdown)	16.5	-	18	MV/m
Comparative tracking index	200	-	325	V

**Magnetic properties**

Magnetic type	Non-magnetic			
---------------	--------------	--	--	--

**Optical properties**

Refractive index	1.57	-	1.58	
Transparency	Opaque			

Figura 17. Propiedades térmicas, eléctricas, magnéticas y ópticas del PET

De acuerdo al anexo (Directiva sobre la reducción del impacto de ciertos productos plásticos en el medio ambiente) de la (European Commissions, 2019), uno de los objetivos de la Comisión Europea es mezclar al menos el 25% del plástico reciclado para la fabricación de botellas PET para bebidas a partir del 2025.

**Absorption & permeability**

Water absorption @ 24 hrs	0.1	-	0.2	%
Water vapor transmission	0.464	-	0.707	g.mm/m <sup>2</sup> .day
Permeability (O <sub>2</sub> )	1.2	-	2.77	cm <sup>3</sup> .mm/m <sup>2</sup> .day.atm

**Processing properties**

Polymer injection molding	Acceptable			
Polymer extrusion	Limited use			
Polymer thermoforming	Acceptable			
Linear mold shrinkage	1.5	-	1.7	%
Melt temperature	260	-	280	°C
Mold temperature	125	-	145	°C
Molding pressure range	13.8	-	48.1	MPa

Figura 18. propiedades de absorción, permeabilidad y procesamiento del PET

<b>Durability</b>	
Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Acceptable
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Limited use
Organic solvents	Limited use
Oxidation at 500C	Unacceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Flammability	Highly flammable

Figura 19. durabilidad del PET.

De acuerdo a la fundación Aquae (Aquae, 2021) se estima que una botella PET puede tardará hasta 1000 años en degradarse completamente. (Eriksen et al., 2019) dice que los desechos de PET que entran al ciclo final de reciclaje son en un 95% empaques de comida. Además, en su investigación, después de realizarle el proceso de reciclaje descrito en la Figura 22, se realizaron análisis TGA (análisis termogravimétrico) la cual arrojó entre el 12.1 y 13.5% de residuos en todas las muestras, lo que se le atribuye a la degradación incompleta de los elementos aromáticos, lo que es característico del PET virgen sin relleno. En cuanto a sus propiedades mecánicas, su esfuerzo a la tensión (12.9-34.6 MPa) y resistencia al impacto (2.2-10kJ/m<sup>2</sup>) se vieron reducidos en comparación al PET virgen. Una propiedad importante para la aplicabilidad del PET es la viscosidad intrínseca (VI) la cual representa una medida de longitud de los polímeros, por ejemplo, para la producción de botellas se necesita un VI elevada en comparación a la producción de láminas o películas. Cuando se realiza un reproceso esta medida disminuye, lo que se ve reflejado en la disminución de las características mecánicas. Se reporta que la VI tiene un valor de 0.7495 dl/g para hojuelas (flakes) limpias sin contaminantes (Dimitrov et al., 2013) . Si se desea reprocesar múltiples veces el PET y mantener sus propiedades sin que se degraden, el reciclaje debe ser semi-químico, es decir, que comprenda la descontaminación y la repolimerización para restaurar la viscosidad intrínseca y en consecuencia sus propiedades mecánicas. (Rieckmann et al., 2011).

### Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	78.9	- 87	MJ/kg
Sources 59.4 MJ/kg (Patel, 2003); 74.2 MJ/kg (Franklin Associates, 2010); 77 MJ/kg (Shen and Patel, 2008); 78.2 MJ/kg (Song, Youn, Gutowski, 2009); 78.8 MJ/kg (Thiriez and Gutowski, 2006); 82.8 MJ/kg (Habersatter et al., 1996); 89.2 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008); 96 MJ/kg (Song, Youn, Gutowski, 2009); 110 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008)			
CO2 footprint, primary production	4.28	- 4.72	kg/kg
Sources 2.75 kg/kg (Franklin Associates, 2010); 6.24 kg/kg (Voet, van der and Oers, van, 2003)			
Water usage	* 126	- 140	l/kg

### Processing energy, CO2 footprint & water

Polymer extrusion energy	* 5.8	- 6.42	MJ/kg
Polymer extrusion CO2	* 0.435	- 0.481	kg/kg
Polymer extrusion water	* 4.82	- 7.23	l/kg
Polymer molding energy	* 18.2	- 20.1	MJ/kg
Polymer molding CO2	* 1.36	- 1.51	kg/kg
Polymer molding water	* 12.4	- 18.6	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1.08	- 1.19	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0811	- 0.0896	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 6.54	- 7.22	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.49	- 0.542	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 12.6	- 13.9	MJ/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.945	- 1.04	kg/kg

Figura 20. propiedades ambientales.

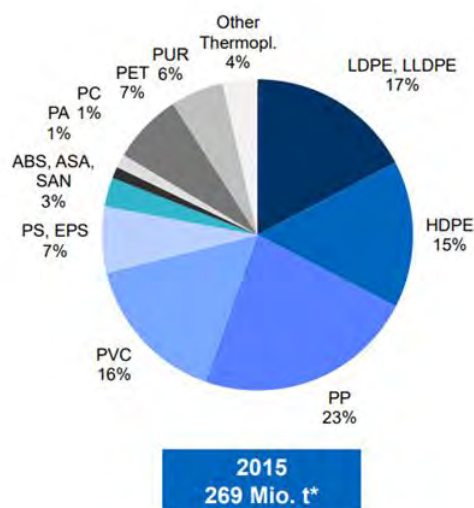


Figura 21. Demanda mundial de material plástico en 2015 (Growth, 2015).

Igualmente, (Grain, 2016) describe de manera breve en la Figura 23 el método de manufactura del poliéster reciclado. Los productos de poliéster / PET se desmenuzan, luego, a través de un proceso químico de polimerización, se convierten en gránulos y luego los gránulos se extruyen en un filamento / hilo fino antes de hilarlos en bobinas y volver a ser tejido y transformado en telas de poliéster.

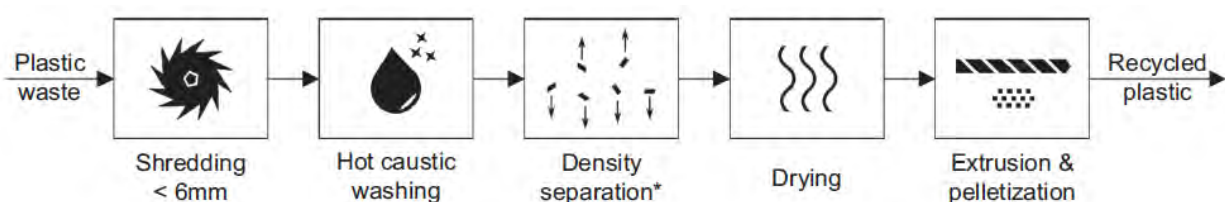


Figura 22. Procedimiento de preparación de las muestras, reciclado mecánico (Eriksen et al., 2019).



Figura 23. Método de manufactura para del poliéster reciclado (Grain, 2016)

Existe disponibilidad de filamento rPET para la fabricación de piezas por medio de la tecnología de manufactura aditiva FDM(Grain, 2016). “Mecánicamente hablando, los materiales poliméricos utilizados para la técnica FDM tienen un esfuerzo por unidad de volumen de 30 a 100 MPa y un módulo de elasticidad de 1.3-3.6 GPa. El PET cuenta con un esfuerzo de 70MPa y

un módulo de 3.1GPa. por lo tanto, de acuerdo a las propiedades mecánicas del PET, este podría ser un material adecuado para implementar en el proceso de FDM. Sin embargo, actualmente no existe una materia prima comercial de PET FDM virgen. El filamento de PET disponible comercialmente es la versión modificada con glicol de PET o PET-G y empresas como Refil® y BPET® producen filamento de PET reciclado químicamente modificado o PET reciclado y virgen mixto”(Zander et al., 2018) (p.175)

### 2.2.3. Fibras

La fibra es la unidad de materia de todo textil, aun si es natural o manufacturada ésta forma el elemento básico de telas y otras estructuras textiles. Están caracterizadas por tener una longitud 100 veces mayor a su diámetro o ancho. En consecuencia, pueden hilarse en hilos o convertirse en telas mediante diversos métodos, tales como tejido, tejido de punto, trenzado, fieltro y torsión. Los requisitos esenciales para hilar fibras en hilos incluyen una longitud de al menos 5mm, flexibilidad, cohesión y resistencia suficiente. Así mismo, propiedades importantes como lo son la elasticidad, finura, uniformidad, durabilidad y brillo. (Qin, 2016).

Las fibras son clasificadas en naturales y manufacturadas. Las fibras naturales son todas aquellas que existen como fibras en su estado natural. La fibra manufacturada resulta de un proceso de manufactura a partir de una sustancia que en algún punto del proceso de manufactura no es una fibra. Así mismo, pueden estar diseñadas a partir de su composición química como proteínas, celulósica, minerales o sustancias sintéticas (Houck & Siegel, 2015). Se muestra la clasificación de las fibras textiles en la Figura 24 de acuerdo a (Qin, 2016). Por lo tanto, el filamento PET se clasifica como una fibra sintética.

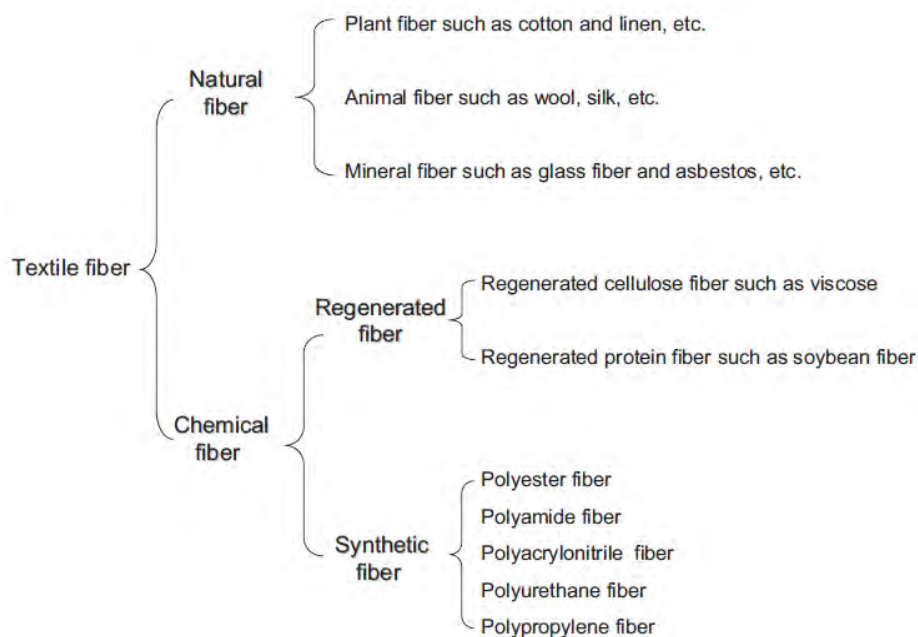


Figura 24. Clasificación de fibras textiles (Qin, 2016).

Otra clasificación que se propone de acuerdo a la longitud. De esta forma, si la fibra tiene una longitud indefinida o extrema se le conoce como **filamento**, como la seda o una fibra fabricada. Por otra parte, las fibras naturales a excepción de la seda o que típicamente tienen una longitud de 7/8 a 8 pulgadas (2.2 a 28.5 cm) se conocen como **fibras cortadas o filamento cortado** (Houck & Siegel, 2015).

### 2.2.3.1. Fibras sintéticas

Las fibras manufacturadas están compuestas por diversas familias de fibras producidas a partir de sustancias formadoras de fibras, como polímeros sintetizados, polímeros naturales modificados o transformados, o vidrio. Cabe agregar, que todas las fibras sintéticas son manufacturadas, pero no todas las fibras manufacturadas son sintéticas (Houck & Siegel, 2015).

Las fibras sintéticas, aumentaron exponencialmente en la industria textil debido a sus propiedades superiores y reemplazaron lentamente las fibras naturales en amplias aplicaciones (Fei, 2017). Las fibras sintéticas están hechas de polímeros que se originan a partir de pequeñas moléculas orgánicas que se combinan con agua y aire (Houck & Siegel, 2015).

### 2.2.3.2. Manufactura de las fibras sintéticas:

Las fibras sintéticas son formadas a partir de la extrusión de una sustancia viscosa en una máquina llamada **spinning dope**, a través de orificios en un dispositivo similar a un cabezal de ducha llamado **hilera** como se muestra en la Figura 25 (Houck & Siegel, 2015). Los polímeros formadores de fibra son sólidos en su estado inicial y deben estar en un estado fluido antes de la extrusión, esto se logra fundiendo el polímero si es termoplástico, o disolviéndolo en un disolvente adecuado si no pueden formar una masa fundida estable a altas temperatura. Es así que los polímeros se pueden convertir en filamentos continuos que posteriormente se convertirán en telas textiles (Qin, 2016).

(Qin, 2016) Menciona que debido a los requisitos del proceso de formación de fibras y los requisitos para las propiedades mecánicas de las fibras resultantes, los polímeros formadores de fibras deben tener las siguientes características:

- Deben tener una estructura de cadena lineal sin cadena lateral o grupos laterales grandes (Qin, 2016).

- Idealmente deberían tener grupos polares en la estructura para dar un rendimiento favorable con respecto a la solubilidad, temperatura de transición vítrea, absorción y otras propiedades que son importantes para su aplicación como material fibroso (Qin, 2016).
- Deben tener estructuras de cadena relativamente flexibles (Qin, 2016).
- Deben tener estructuras químicas y estructura estereo regulares para que las fibras resultantes puedan tener una estructura supramolecular apropiada (Qin, 2016).
- Deben tener una buena estabilidad térmica, con una temperatura de reblandecimiento superior a la temperatura de su aplicación de rutina (Qin, 2016).
- Deben ser estables en disolventes convencionales como agua, etanol, etc. (Qin, 2016).
- El peso molecular y su distribución también son importantes para los polímeros formadores de fibras. Si el peso molecular es demasiado alto, el proceso de fabricación de fibra se vuelve difícil. Por otro lado, si el peso molecular es demasiado bajo, las fibras resultantes tendrían propiedades mecánicas insuficientes (Qin, 2016).

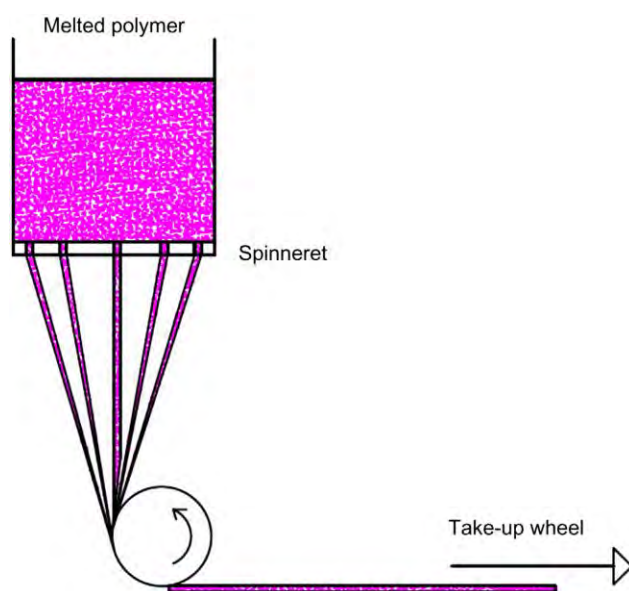


Figura 25. Esquema del hilado por fusión (Asmatulu & Khan, 2019).

### 2.2.3.3. Características de las fibras manufacturadas:

Las características se imparten a las fibras fabricadas con usos finales particulares en mente. Más allá del tamaño y tipo de fibra, muchos otros rasgos sirven para diferenciar las fibras textiles. (Houck & Siegel, 2015).

- Trenzado

El trenzado es la ondulación de una fibra expresada como rizos por unidad de longitud, el trenzado puede ser en dos o tres dimensiones en la naturaleza, además hay fibras que son naturalmente trenzadas, mientras que en las fibras manufacturadas debe de ser impartida (Houck & Siegel, 2015).

- Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas se relacionan con las temperaturas de ablandamiento y fusión de las fibras fabricadas y los cambios que exhibe la fibra cuando se calienta.

- Características microscópicas

Las características microscópicas de las fibras fabricadas son las características básicas utilizadas para distinguirlas. Éstas difieren físicamente en su forma, tamaño, propiedades internas y apariencia (Houck & Siegel, 2015)

La forma en que se mide el diámetro de una fibra depende de su forma de sección transversal. La sección transversal se refiere a la forma de un filamento individual cuando se corta en ángulo recto con respecto a su eje longitudinal, es una característica crítica del análisis de fibra. Las formas de las fibras fabricadas varían según el diseño; Hay alrededor de 500 secciones transversales diferentes utilizadas para fibras sintéticas (Houck & Siegel, 2015).

Hay más de una forma de medir el diámetro de una fibra no redonda. Las fibras fabricadas pueden fabricarse en diámetros desde aproximadamente 6  $\mu\text{m}$  (las llamadas microfibras) hasta un tamaño limitado por el ancho de los agujeros de las hileras (Houck & Siegel, 2015).

Adicionalmente, a las fibras se les puede agregar delustrantes. Éstos, son partículas de materiales finamente molidos, como el dióxido de titanio, que se introducen al spinning dope con la intención de que ayudan a difractar la luz que pasa a través de las fibras y así reducir su brillo, como se ilustra en la Figura 26. Así mismo, se debe tener en cuenta el tamaño, la forma, la distribución y la concentración del delustrante (Houck & Siegel, 2015).

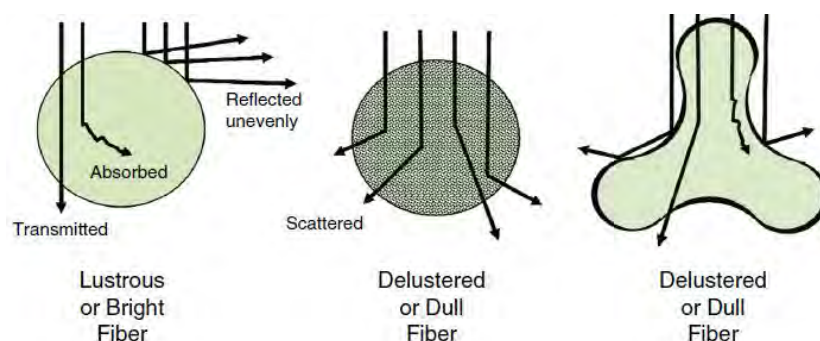


Figura 26. Esquema de como el delustrante actúa sobre la fibra generando una apariencia no brillante o mate (Houck & Siegel, 2015)..

- Propiedades ópticas

Estas propiedades puede aportar una gran cantidad de información sobre química, producción, uso final y ambiente (Houck & Siegel, 2015).

**Índice de refracción:** las fibras varían en forma, pero casi siempre son más gruesas en el centro que cerca de sus bordes. En consecuencia, actúan como lentes burdos, ya sea concentrando o dispersando la luz que las atraviesa. Si una fibra tiene un índice de refracción más alto que el medio en el que está, actúa como una lente convergente, concentrando la luz dentro de ella. Si la fibra tiene un índice de refracción más bajo que el medio, actúa como una lente "divergente" y los rayos de luz divergen de ella. Es así, que aparece como una línea delgada y brillante, llamada **línea Becke**, el fenómeno aparece en la interfaz entre la fibra y el medio de montaje. Los índices de refracción de una fibra se pueden medir directamente colocando la fibra en una serie de líquidos de índices de refracción específicos hasta que los índices de refracción de la fibra y el líquido sean iguales. Entonces, la fibra "desaparece" porque la fibra y el líquido ahora

son isotrópicos, lo que significa que la luz viaja a la misma velocidad a través de la fibra y el líquido. (Houck & Siegel, 2015).

**Birrefringencia o doble refracción:** Uno de los rasgos más distintivos de una fibra es su birrefringencia. Los colores de interferencia observados después de cruzar los filtros polarizadores se relacionan con la naturaleza, orientación y cristalinidad del material de una fibra como se observa en la Figura 27. Adicionalmente, los colores de interferencia se pueden usar para ayudar a determinar qué tipo de fibra se está examinando. La mayoría de las fibras naturales y sintéticas tienen una birrefringencia de 0.001 a 1.8. El índice de refracción se mide con la fibra paralela al filtro polarizador ( $n_{||}$ ) y perpendicular a él ( $n_{\perp}$ ). La diferencia entre los dos es la birrefringencia.

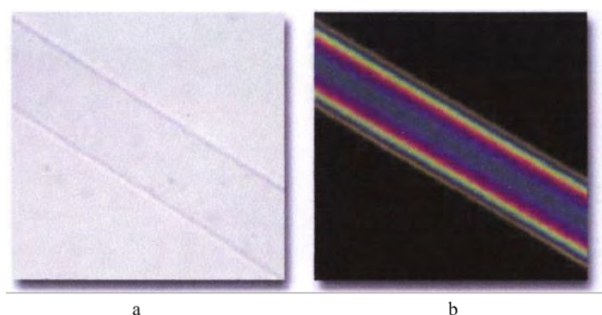


Figura 27. a) fibra bajo luz polarizada (un filtro). b) fibra bajo luz cruzada (ambos filtros) produciendo interferencia de colores (Houck & Siegel, 2015).

**Fluorescencia:** algunas tinturas usadas para colorear textiles contienen componentes fluorescentes, los cuales se pueden utilizar para comparar fibras textiles. Sin embargo, no todos los tintes textiles contienen componentes fluorescentes. Independientemente de esto, la comparación por fluorescencia debe realizarse, puesto que sigue siendo un punto de comparación significativo aun si las fibras comparadas no logran fluorescer. Las fibras teñidas con tintes similares deben exhibir las mismas características de fluorescencia, a menos que las fibras y / o tintes hayan sido degradados por exposición a rayos UV, blanqueamiento u otros medios similares (Houck & Siegel, 2015).

## Color

El color, es introducido a las fibras manufacturadas por medio de tintes o pigmentos. El color puede variar a lo largo de una fibra debido a la absorción diferencial de tinte o porque el color se ha impreso en la tela, en lugar de teñirse (Houck & Siegel, 2015).

De acuerdo a (Houck & Siegel, 2015) **el color en los textiles** es una de las características más críticas a la hora de realizar comparaciones. De acuerdo al tipo de producto y su uso final se elige un color particular con el cual se tinturará el producto, el número de colores que se pueden producir es casi infinito, lo cual convierte al color en una característica que permite realizar una fácil discriminación cuando se realiza una comparación. La percepción del color que tiene el ser humano es subjetiva, esta depende de diferentes factores como edad, genes y ambiente. El fenómeno llamado contraste simultaneo es la percepción del color basado en un contexto. La Figura 28, ejemplifica dicho fenómeno, haciendo pensar al observador que la flecha en el fondo amarillo es más clara que la flecha de fondo azul. Sin embargo, ambas flechas tienen el mismo tipo de gris. Otro ejemplo de percepción de color basado en un contexto es el efecto camaleón que se muestra en la Figura 29, donde los colores cambian de acuerdo a los colores circundantes. Por lo tanto, la evaluación visual realizada por una persona debe ser verificada posteriormente mediante un método objetivo de medición del color.

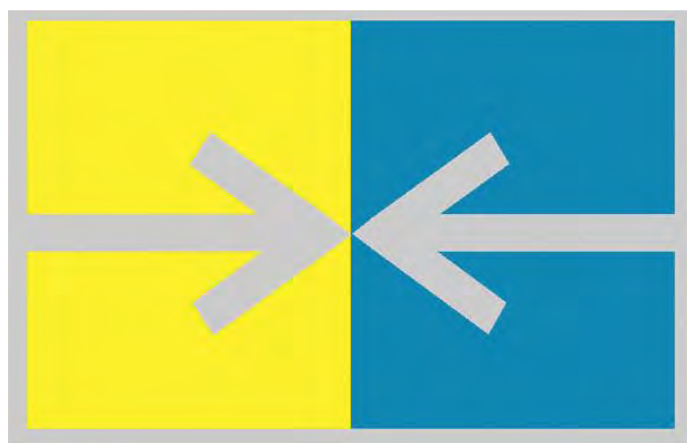


Figura 28. Fenómeno contraste simultaneo (Houck & Siegel, 2015)



Figura 29. Fenómeno efecto camaleón (Houck & Siegel, 2015)

### 2.2.4. Manufactura aditiva (AM)

La manufactura aditiva (AM) es un proceso de manufactura que crea productos personalizados, estos se realizan capa por capa a partir de un modelo computarizado (CAD) tridimensional (Zander et al., 2018). Por otra parte la ASTM dice que AM es un principio y no una técnica y que los equipos que se basan en este principio son llamadas tecnologías de AM y se pueden definirse como técnicas de manufactura que se basa en la adición de material en vez de la sustracción (Singh & Singh, 2017).

De acuerdo a (Wong & Hernandez, 2012), existen diversos procesos dentro de la manufactura aditiva (AM) como se muestra en Figura 30.

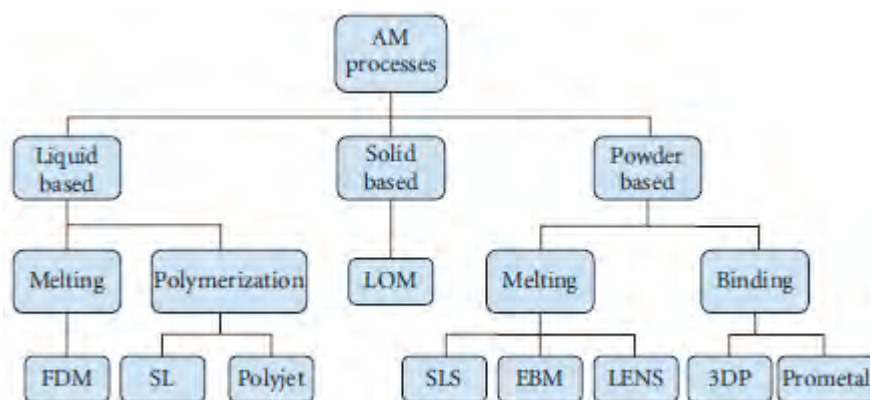


Figura 30. Procesos de impresión tridimensional (Wong & Hernandez, 2012).

En la Figura 31, se describe el proceso o flujo de información para el diseño y desarrollo de una pieza en una máquina de MA. De acuerdo a (Wong & Hernandez, 2012), una de las partes más importantes de este proceso es la conversión de la pieza en archivo CAD a la interfaz STL o Lenguaje de teselación estándar. Este lenguaje traduce la geometría continua de la pieza CAD a triángulos pequeños o una lista de tripletes de coordenadas x, y, z y el vector normal a los triángulos, que posteriormente permitirán la construcción de la pieza real en cualquiera de las tecnologías de AM.

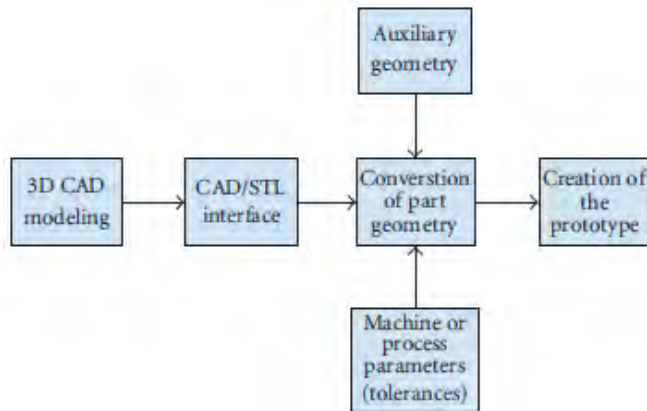


Figura 31. Flujo de información en el prototipado rápido (Wong & Hernandez, 2012).

#### 2.2.4.1. Modelado por deposición fundida o fabricación por filamento fundido

El modelado por deposición fundida (FDM) es un proceso basado en el principio AM, en el cual un filamento plástico alimenta un cabezal de impresión (Wong & Hernandez, 2012). En el cabezal hay una boquilla controlada por una computadora que se encarga de calentar y fundir el filamento para crea capas en direcciones horizontales, así mismo realiza un movimiento vertical igual al grosor de las capas antes de que comience la siguiente capa horizontal, haciendo que cada capa se funda junto con las capas subyacentes (Bruder & Bruder, 2019). En la Figura 32 se observa el principio de funcionamiento del FDM.

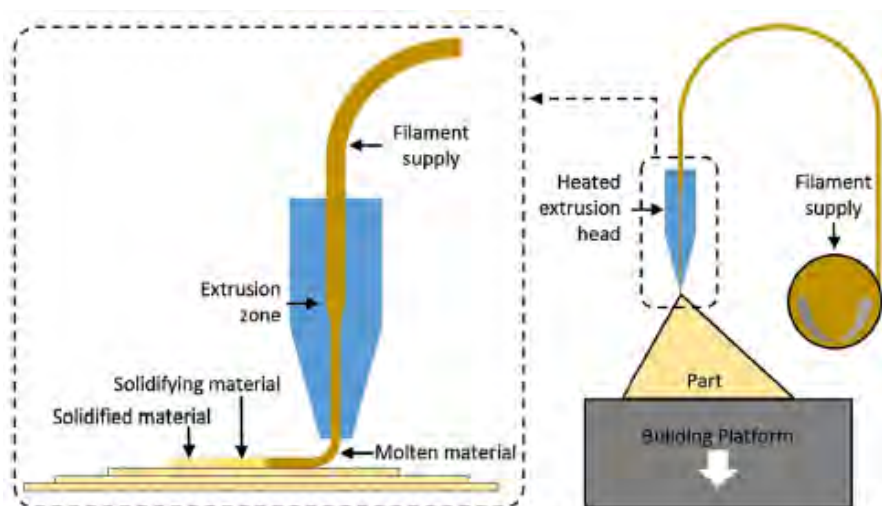


Figura 32. Principio de funcionamiento del método FDM (Bikas et al., 2016).

De acuerdo a (Bruder & Bruder, 2019; Wong & Hernandez, 2012) el método de FDM cuenta con las siguientes ventajas:

- Disponibilidad de diversos filamentos termoplásticos amorfos con excelentes propiedades.
- Disponibilidad de materiales con resistencia a altas temperaturas.
- Se pueden realizar piezas con geometrías complejas y paredes delgadas sin estrés interno y con alta exactitud.
- Tolerancias de hasta 0,127 mm
- espesor de pared de hasta 0,25 mm
- La buena reproducibilidad hace que FDM sea adecuado para la producción en serie a pequeña escala.
- Las piezas no requieren post proceso químico.
- No hay resinas para curar
- Las máquinas son de bajo costo.

## 2.3.DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

### 2.3.1. Diseño y desarrollo de producto

De acuerdo a (Baxter, 1995), el diseño y desarrollo de productos debe cubrir diferentes aspectos como el diseño visual, la manufactura del producto, se deben conocer las necesidades del mercado, también diseñar para reducir costos, para mantener o aumentar la fiabilidad y para ser amigable con el medio ambiente.

“Un producto es algo vendido por una empresa a sus clientes. Desarrollo de producto es el conjunto de actividades que se inicia con la percepción de una oportunidad de mercado y termina en la producción, venta y entrega de un producto” (Ulrich & Eppinger, 2003)(p.2).

“La función de diseño desempeña el papel principal en definir la forma física del producto para que satisfaga mejor las necesidades del cliente. En este contexto, la función de diseño incluye crear el diseño de ingeniería (mecánico, eléctrico, software, etc.) y el diseño industrial (estético, ergonómico, interfases de usuarios)” (Ulrich & Eppinger, 2003)(p.3).

De acuerdo a (Ulrich & Eppinger, 2003) el proceso de diseño industrial está conformado por las etapas que se observan en la Figura 33. Así mismo, en la Figura 34 se muestran actividades y responsabilidades habituales del departamento de diseño en el proceso genérico del desarrollo del producto propuesto por (Ulrich & Eppinger, 2003).

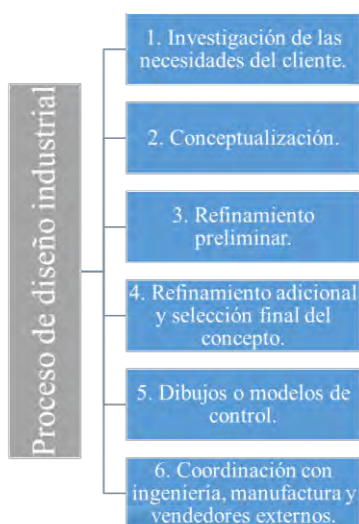


Figura 33. Etapas del diseño industrial (Ulrich & Eppinger, 2003).

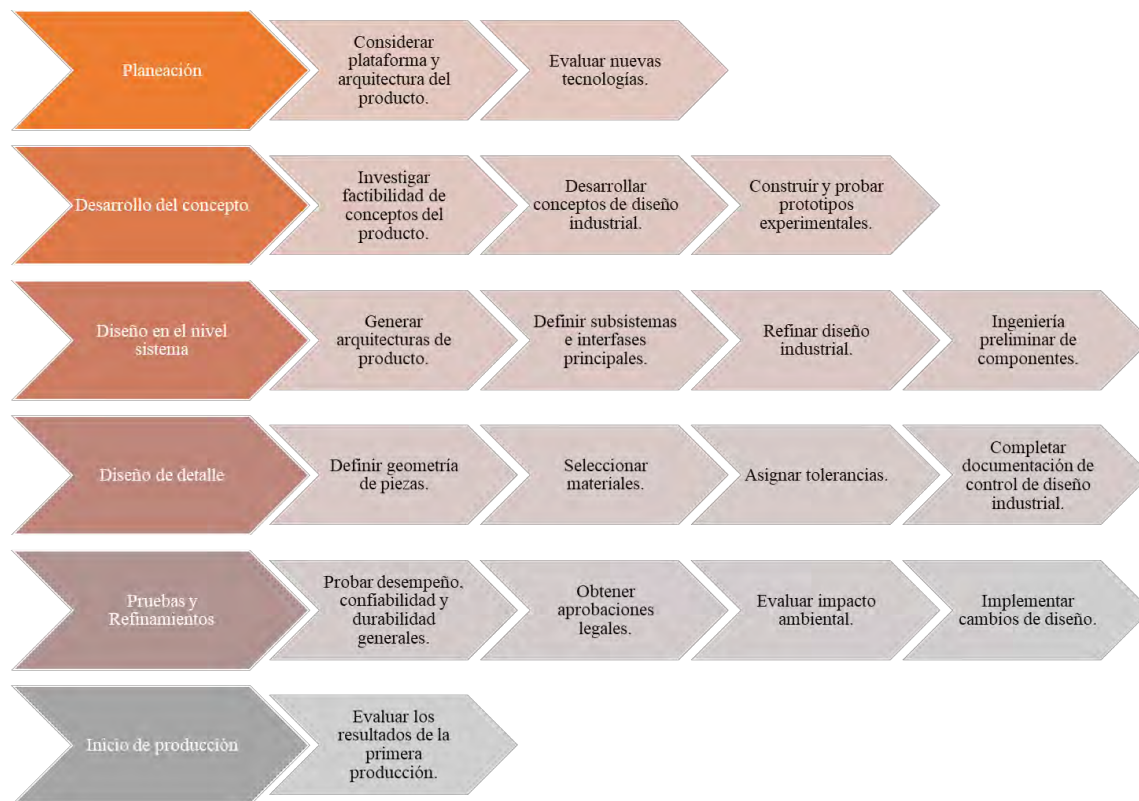


Figura 34. actividades y responsabilidades habituales del departamento de diseño en el proceso genérico del desarrollo del producto (Ulrich & Eppinger, 2003).

### 2.3.2. Diseño guiado por materiales (MDD)

De acuerdo a (Karana et al., 2015), la mayoría de métodos se han dirigido hacia la selección correcta de un material de acuerdo a la forma y manufactura de un producto. También, se han realizado muchos estudios para informar cómo se percibe un material. Sin embargo, la forma de diseñar para las experiencias con y para un material en particular sigue siendo poco conocida hasta la fecha. Esto requiere calificar el material no solo por lo que es, sino también por lo que hace, lo que expresa, lo que extrae y lo que nos hace hacer. En este sentido (Karana et al., 2015), propone una metodología llamada Diseño Guiado por Materiales para facilitar el diseño de experiencias para un material

Así mismo, (Karana et al., 2015) dice que en lugar de preguntar "¿qué es?" en referencia a un material recién conocido, los diseñadores deben preguntar "¿qué hace?". La última pregunta refleja la comprensión de que un material con sus propiedades, aplicaciones potenciales y rendimiento afecta a los usuarios y da lugar a experiencias de usuario únicas. Como ejemplo, el

autor habla sobre el plástico y sus orígenes, dice que al principio este material representaba el bajo precio, la baja calidad y la falta de autenticidad siendo su experiencia insatisfactoria para las personas puesto que no eran brillantes ni tan pesados o duros como la porcelana o el hierro. Una de las estrategias más populares adoptadas por los diseñadores que buscaban animar las cualidades de la superficie de los plásticos fue imitar las cualidades de los materiales naturales como la madera o el mármol.

El método de MDD se basa en las siguientes premisas:

La experiencia de un producto puede ser moderada por la realidad física del diseño, es decir, su material. Por lo tanto, en cualquier proyecto de diseño (basado en materiales), se debe tener en cuenta cómo se espera que los materiales den forma y afecten la experiencia general del usuario (Karana et al., 2015).

Diseñar con un material implica una comprensión profunda del material para descubrir sus cualidades y limitaciones únicas en comparación con otros materiales. Esto se puede lograr mediante "tinkering with the material", una especie de proceso exploratorio de creación y evaluación, comenzando desde el primer encuentro con el material, hasta su encarnación del producto final al final del proceso (Karana et al., 2015).

Diseñar con un material particular requiere pasos a seguir que son comparables a un proceso de diseño de producto convencional: comprender el dominio, es decir, investigación en el campo, evaluación comparativa, análisis de mercado, etc., crear requisitos y objetivos de diseño, crear conceptos, y seleccionando y detallando uno de los conceptos hacia la realización del producto (Karana et al., 2015).

Cuando la "experiencia" es el resultado esperado de un proyecto de diseño guiado por el material, se establece un recorrido desde las propiedades del material y las cualidades experimentales hasta la visión de la experiencia de los materiales dentro de un contexto más amplio (propósito de la existencia) (Karana et al., 2015).

De acuerdo a (Karana et al., 2015) se han definido cuatro niveles de experiencia en materiales como: sensorial (por ejemplo, encontramos materiales fríos, lisos, brillantes, etc.), interpretativo (significados) (por ejemplo, creemos que los materiales son modernos, sexys,

acogedores, etc.), afectivo (emociones) (p. ej., los materiales nos hacen sentir asombrados, sorprendidos, aburridos, etc.) y performativo. En este orden de ideas, el método se divide en los siguientes pasos:

- Entender el material: caracterización técnica y experiencial
- Crear una visión de la experiencia del material
- Manifiestar los patrones de experiencia del material
- Crear conceptos material/producto

### 2.3.3. Diseño circular- diseño para la economía circular

El diseño circular comienza con la optimización del potencial económico de los recursos a través de nuevos modelos de negocio y busca minimizar el consumo de materia prima y reducir la pérdida de valor incrustada en los productos y materiales, manteniéndolos circulando en bucles cerrados ( reutilización, reparación, remanufactura, renovación o reciclaje) que buscan extender el ciclo de vida del producto y mejorar la productividad del mismo (Medkova & Fifield, 2016).

De acuerdo a (Medkova & Fifield, 2016) Los diseñadores tienen la oportunidad de considerar la durabilidad, compatibilidad, modularidad o funciones multitarea de los productos diseñados. Además, (Medkova & Fifield, 2016) nombra seis nuevos modelos de negocio que ayudan al diseñador a adaptarse a la economía circular, estas estrategias son las siguientes:

**modelo clásico de larga duración:** se enfoca en la venta de productos de alta calidad y larga duración

**modelo híbrido:** combina productos duraderos, diseñados para ser fácilmente desarmados, son productos de corta vida y ciclo rápido y se venden repetidamente.

**modelo de explorador de brechas:** utiliza el valor sobrante en productos o componentes, que todavía son funcionales, rotos o descartados y revende productos, componentes o servicios reparados o restaurados.

**modelo de acceso:** brinda acceso a un producto en lugar de su propiedad.

**modelo de rendimiento:** proporciona el rendimiento del producto en lugar del producto en sí. Los productos están diseñados para un fácil mantenimiento, durabilidad y larga vida.

**simbiosis industrial:** orientada a procesos, que utiliza los residuos del proceso para convertirlos en materia prima para otros procesos.

De acuerdo a lo anterior, (Medkova & Fifield, 2016) identificó seis estrategias para el diseño circular del producto (Figura 35) que tienen como objetivo contrarrestar la obsolescencia y mantener al producto lo más cerca de su propósito original. A continuación, se nombran las seis estrategias.

- Diseño para la fijación y confianza del producto (diseño para la durabilidad emocional)
- Diseño para la durabilidad del producto (productos físicamente durables)
- Diseño para la estandarización y compatibilidad (lucha contra la obsolescencia sistémica mediante el diseño de piezas e interfaces del producto adecuadas para otros productos y apunta a la multifuncionalidad y modularidad)
- Diseño para fácil mantenimiento y reparación
- Diseño para actualización y adaptabilidad
- Diseño para el desensamble y reensamble.



Figura 35. Estrategias de diseño circular (Medkova & Fifield, 2016).

Por otra parte, (Niinimäki, 2018) habla sobre el modelo de diseño en la economía circular (Figura 36), que fue construido por RSA (Royal Society for the Encouragement of Arts, Manufactures and Commerce, programa “Great Recovery” 2013) y es un buen modelo para aplicar en la industria de la moda. Este modelo está conformado por 4 niveles. “En su primer nivel, incluye el comportamiento del consumidor y su objetivo es extender la fase de uso del producto. El segundo incluye empresas y nuevos tipos de modelos de negocio (por ejemplo, PSS de sistemas de producto-servicio) para ampliar o intensificar el uso de productos. El tercero desafía a los fabricantes al incorporar nuevas formas de extender el tiempo de uso del producto a través de la remanufactura. El cuarto nivel se concentra en la recuperación de materiales, utilizando residuos para fabricar nuevas fibras e hilos” (p.8)

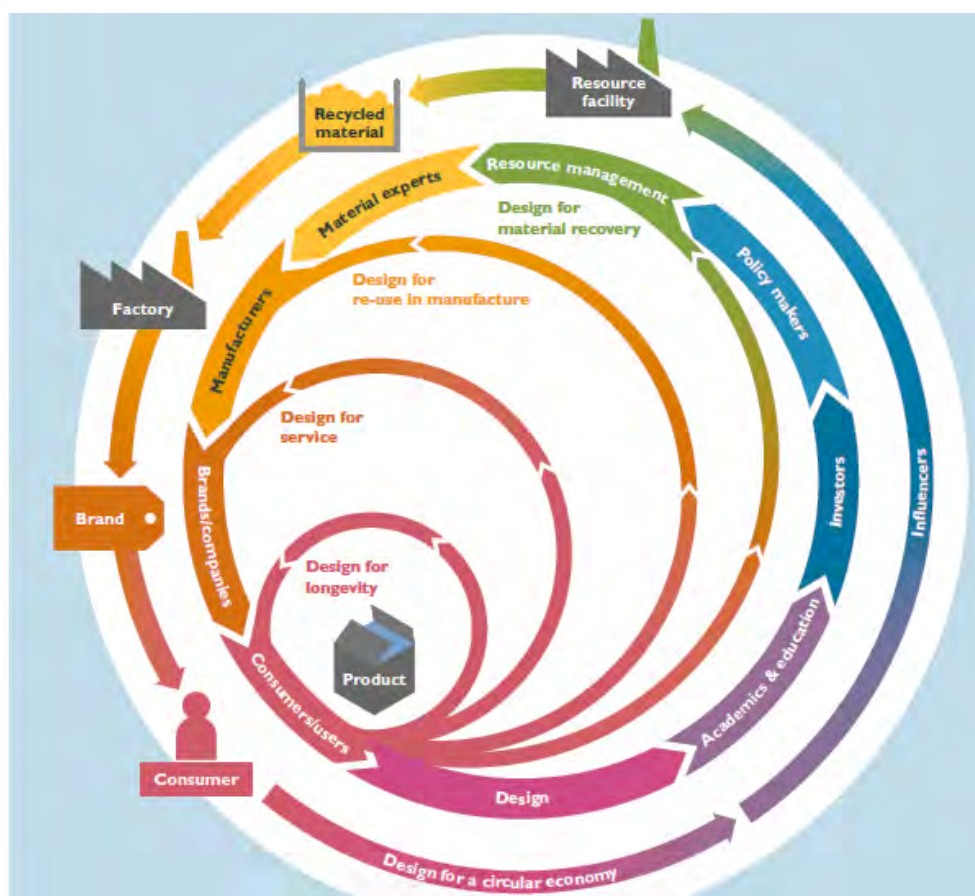


Figura 36. Los cuatro modelos de DCE, Diseño en Economía Circular (Niinimäki, 2018).

#### 2.3.4. Diseño de vestuario

De acuerdo a (Gill, 2015), es de gran importancia para el equipo de diseño y desarrollo de producto que las prendas se ajusten bien al público al cual va dirigido. Las nuevas herramientas y software para el escaneo corporal y el desarrollo de productos mejoran las formas en que se puede abordar el tamaño y la adaptación.

Así mismo, (Gill, 2015) dice que en el siglo XX se diseñaban bloques de patrones estándares para definir las tallas de la población. Sin embargo, la idea que agrupa a las personas por demografía, estilo de vida, tipologías de consumo, ingresos y prioridades presupuestarias y atributos deseados del producto no se cumple en su totalidad puesto que, estos conceptos teóricos no siempre predicen la similitud en la antropometría. Además, el autor dice que existen enfoques para el desarrollo de productos de prendas de vestir que a menudo incluyen algunos pasos clave para definir las dimensiones básicas de las formas de patrones / productos: (1) creación de bloques de patrones individuales para dimensiones individuales o estándar / promedio, (2) creación de bloques en tamaños estándar, a través de la calificación, y (3) igualar los requisitos de los mercados objetivo. En la Figura 37 se muestran el modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir contra los tres enfoques principales para el desarrollo de productos de confección. Así mismo, hay tres enfoques para producción de ropa: (1) Listo para usar (RTW), donde grandes volúmenes de ropa se fabrican en masa a tamaños estándar, (2) a medida (bespoke), donde los sastres o confeccionistas hacen prendas para individuos particulares, y (3) personalización en masa, donde las prendas estándar se ajustan para adaptarse a figuras individuales durante o después de la producción.

En la investigación de (Gill, 2015), se puede encontrar diferentes software de evaluación de ajuste de forma detallada, que permiten la evaluación virtual de prendas en 3D.

Así mismo, (McCann et al., 2005) propone una ruta crítica para el diseño y desarrollo de prendas inteligentes que se muestra en la Figura 38. Dentro de las sugerencias de (McCann et al., 2005) para el diseño de una prenda de vestir se encuentra identificar el usuario final y tener en cuenta el desarrollo del vestuario. A continuación, se describen estas dos etapas de acuerdo a lo reportado por el autor.

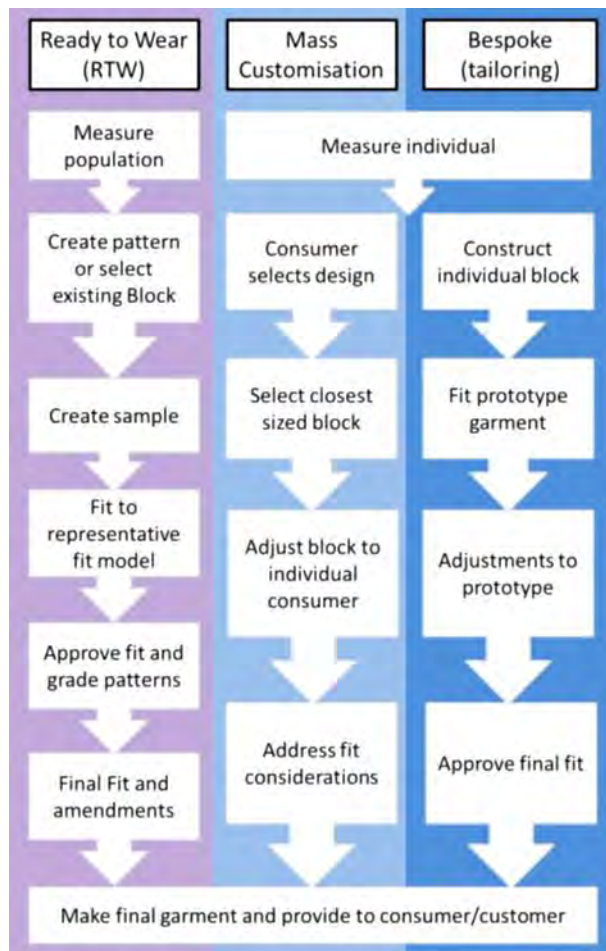


Figura 37. Modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir contra los tres enfoques principales para el desarrollo de productos de confección. (Gill, 2015).

## 2.3.5. Identificación del usuario final:

### 2.3.5.1. Demandas del cuerpo:

por razones climáticas y ambientales, la ropa ha sido adoptada y modificada a lo largo de los siglos en un intento por alcanzar el estado neutral de "comodidad". La incomodidad solo se hace evidente cuando el cuerpo se siente demasiado caliente o demasiado frío, donde la ropa impide o restringe el movimiento o la visibilidad y carece del ajuste deseado, especialmente en el caso de la ropa de alto rendimiento para mujeres (McCullar et al., 2016).

Para proporcionar un 'microclima' cómodo para un uso final específico, los diseñadores deben observar y obtener comentarios verbales de los usuarios finales con respecto a cuestiones

tales como la carga de trabajo, la gestión de la humedad, la regulación térmica y la protección de una gama de entornos potencialmente hostiles (McCann et al., 2005).

#### **2.3.5.2. Demandas de la actividad del usuario final**

Los diseñadores deben identificar las actividades principales o la secuencia de eventos que realizan los usuarios finales, si es que este realiza una actividad en específico mirar los manuales o videos de capacitación relevantes, así como la investigación primaria para observar y obtener comentarios para identificar las necesidades del usuario final (McCann et al., 2005).

#### **2.3.5.3. Demandas culturales**

Los diseñadores necesitan una comprensión profunda de las necesidades del usuario final desde una perspectiva cultural y el reconocimiento de que sea "adecuado para el propósito" requiere un equilibrio apropiado entre la función de la prenda y su apariencia (McCann et al., 2005).

#### **2.3.5.4. Consideraciones estéticas**

La estética de las prendas funcionales, en términos de color, estilo, atractivo de moda y promoción, no siempre ha sido de gran importancia. El equilibrio de los atributos técnicos versus la estética normalmente se rige por el uso final previsto (McCann et al., 2005).

### **2.3.6. Desarrollo del vestuario**

#### **2.3.6.1. Sistema de capas**

Dentro de la amplitud del mercado de ropa, la ropa funcional generalmente adopta un 'sistema de capas', el cual permite la selección apropiada de combinaciones de textiles técnicos para la ropa que tiene como función proteger el cuerpo en diferentes actividades, condiciones ambientales y climáticas (McCann et al., 2005).

#### **2.3.6.2. Medición del cuerpo, dimensionamiento, desarrollo de patrones, clasificación, prototipos iniciales y ajuste**

El desarrollo de telas transpirables permite prendas más personalizadas con un calce más ajustado. La tecnología asociada con el diseño, corte y fabricación de ropa de alto rendimiento es altamente compleja. Hay poca orientación disponible para ayudar al diseñador en el desarrollo de patrones de prendas para una postura extrema y movimiento corporal con detalles funcionales como 'levantamiento de brazos', construcciones articuladas de codo y rodilla. Las tablas, los diagramas y los maniqués del sastre de la prenda estándar atienden movimientos relativamente restringidos y el corte tradicional se representa en poses erectas de 'moda' (McCann et al., 2005).

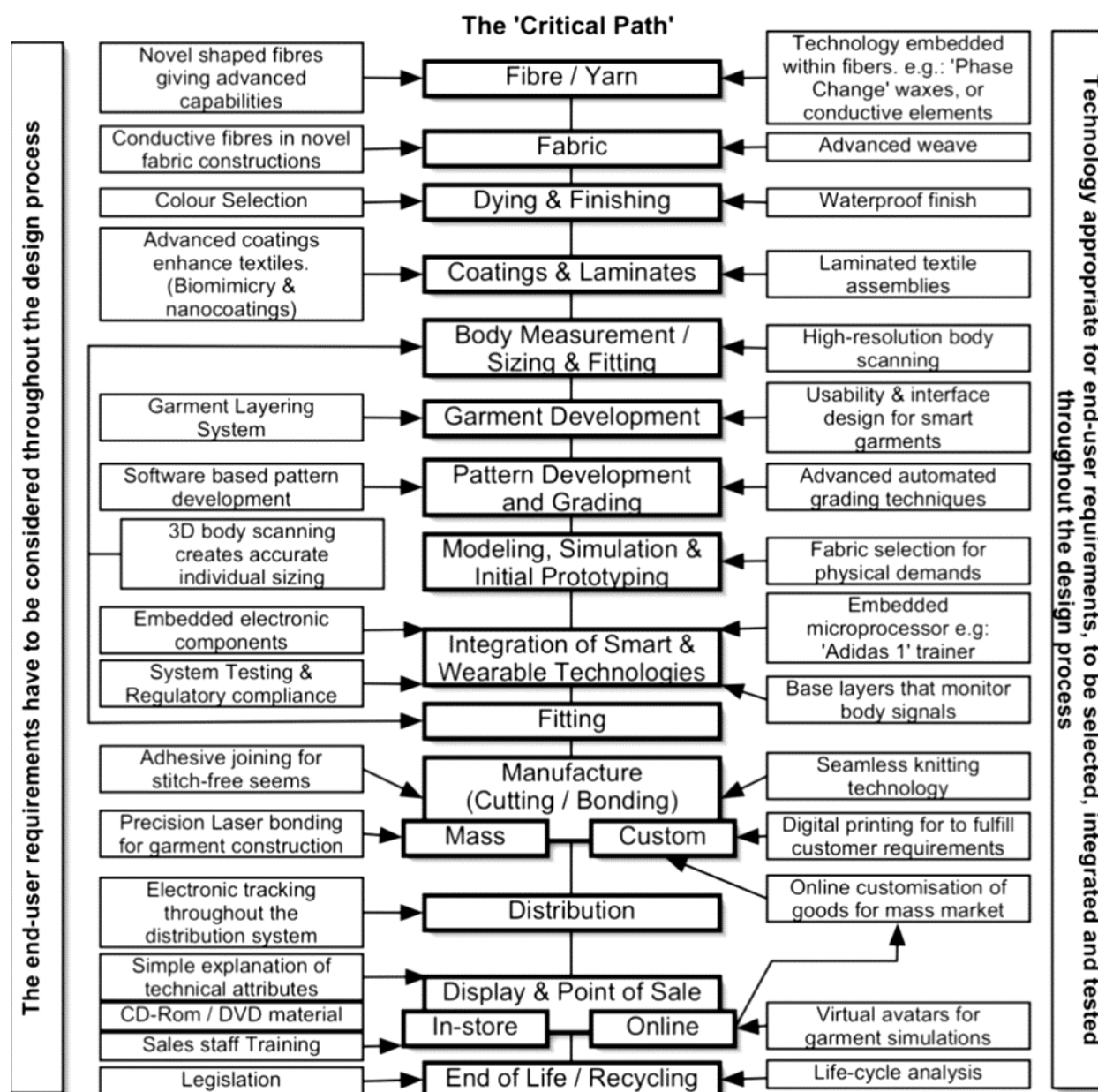


Figura 38. Ruta crítica que debe ser considerada en el proceso de diseño de una prenda inteligente (McCann et al., 2005)

### 2.3.7. Textiles impresos en 3D

De acuerdo a (Grain, 2018) “ha habido una extensa investigación alrededor del diseño y la manufactura de estructuras textiles impresas en 3D desde que Jiri Eivenhaus produjo la forma más antigua en 1999. También, afirma que mediante la utilización de manufactura rápida (RM) es totalmente posible fabricar una estructura que incorpore propiedades de caída y libre movimiento directamente comparables con los textiles convencionales” (p.6).

Para usar o adaptar las tecnologías 3DP en la manufactura textil se debe entender que la meta principal es poder simular las propiedades esenciales de los textiles como suavidad, flexibilidad, resistencia, y porosidad (Chatterjee & Ghosh, 2020).

(Chatterjee & Ghosh, 2020) afirma que la capacidad de fabricar productos en tiradas de baja producción y la facilidad de personalización tanto en tamaño como en forma, hace que 3DP sea muy atractivo para la fabricación de textiles. También dice que los textiles manufacturado en 3DP tiene el potencial de ser más limpios y sostenibles.

En la Figura 39, Figura 40 se muestra todas las estructuras textiles impresas en 3D recolectadas por (Grain, 2018) y en la Figura 40 se resaltó por medio de un cuadro azul las estructuras textiles impresas por medio de la técnica de FDM.

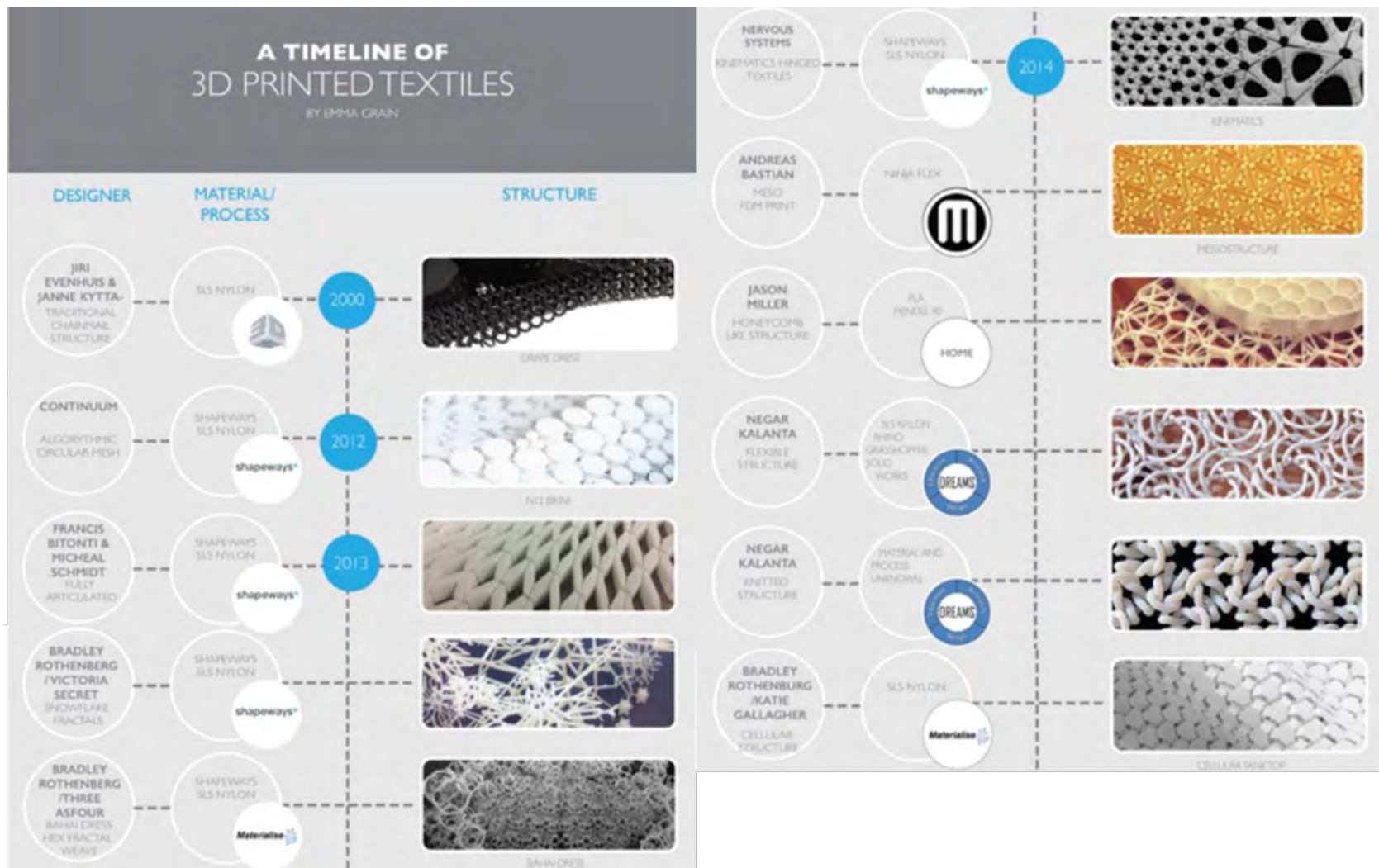


Figura 39. Línea de tiempo de estructuras textiles impresas en 3D mediante tecnologías de AM, describe el diseñador, el material y el proceso, el año de fabricación y la categoría de estructura (Grain, 2018).

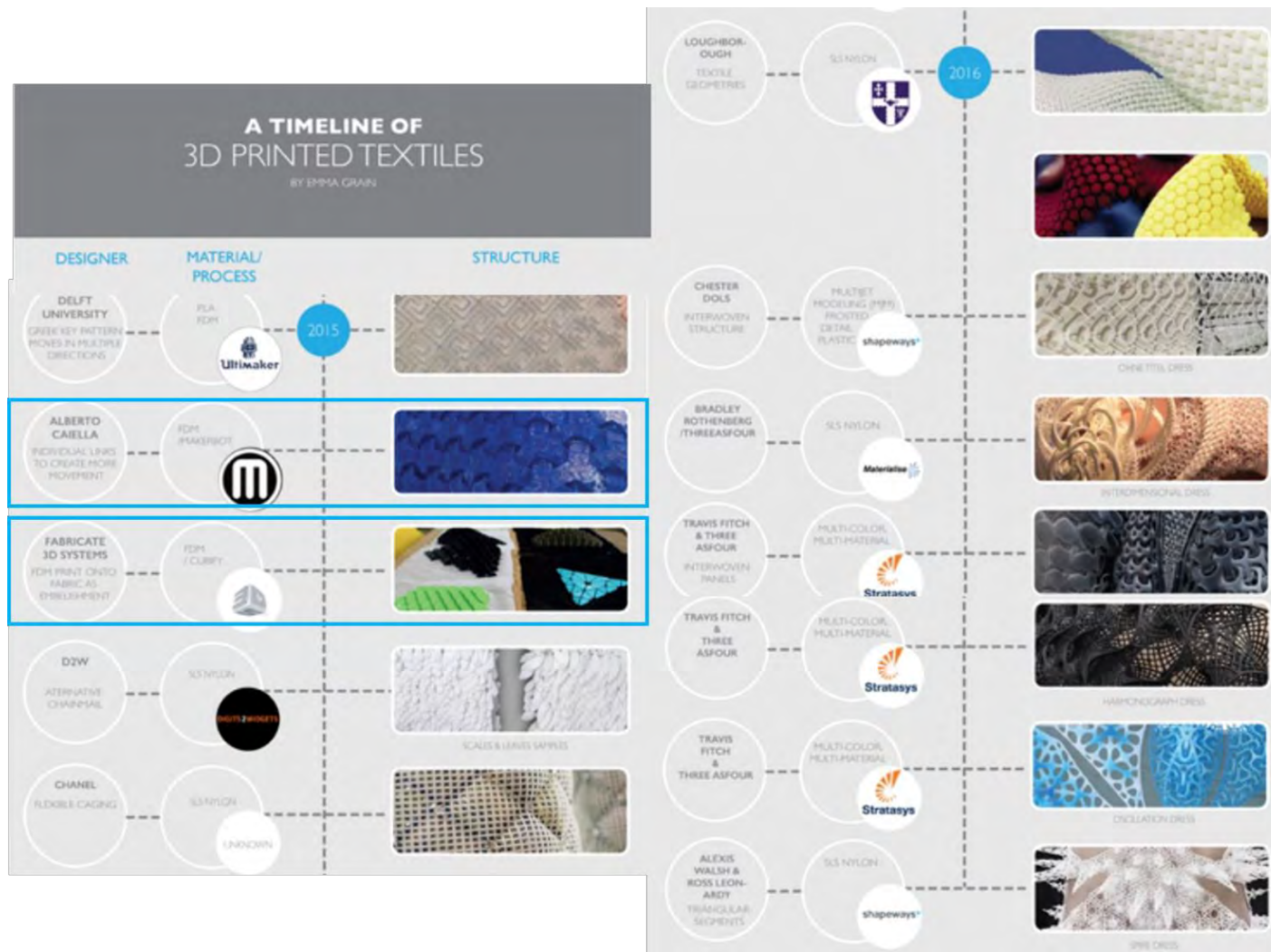


Figura 40. Línea de tiempo de estructuras textiles impresas en 3D mediante tecnologías de AM, describe el diseñador, el material y el proceso, el año de fabricación y la categoría de estructura (Grain, 2018).

Así mismo, (Grain, 2018) realizó un análisis funcional utilizando un diagrama de análisis funcional (FDA) Figura 41. El autor categorizó las estructuras existentes en 5 áreas: unido, con bisagras, mесо, flexible, generativo y evaluó características como: complejidad del diseño, detalle, flexibilidad, fluidez, FDM, SLS, multimaterial, usabilidad, innovativa, uso de rPET, alto costo, bajo costo.

Finalmente, en la Figura 42 se visualiza el diagrama que realizó (Grain, 2018) para analizar propiedades como: diseño, flexibilidad, innovación pros y contras de las 5 áreas que categorizó con anterioridad.

STRUCTURE	COMPLEX DESIGN	DETAIL	FLEXIBLE	FLUID	FDM	SLS	MULTI MATERIAL	WEARABILITY	INNOVATIVE	CAN USE RPET	HIGH COST	LOW COST
LINKED		△		△		△		△			△	
HINGED	△	△		△		△		△	△		△	
MESSO	△	△	△	△	△			△	△	△		△
FLEXIBLE	△	△	△				△	△	△		△	
GENERATIVE	△	△	△			△		△			△	

Figura 41. Diagrama de análisis de funcionalidad (FDA) de las estructuras textiles impresas en 3D existentes (Grain, 2018).

STRUCTURE	DESIGN	FLEXIBILITY	INNOVATION	PROS & CONS
LINKED	BASED ON TRADITIONAL CHAIN MAIL DATING BACK TO THE MIDDLE AGES	THE SMALLER THE INDIVIDUAL COMPONENT THE MORE FLUID THE 3D PRINTED TEXTILE	CHAINMAIL IS AN ALREADY EXISTING STRUCTURE AS IS KNITTED AND WOVEN STRUCTURES	SIMPLE AND KNOWN TO WORK AS MANY PRE EXISTING DESIGNS CAN BE MADE
HINGED	HINGES ARE PRINTED FUNCTIONING, WORKS BEST USING SLS	THE SMALLER THE INDIVIDUAL COMPONENT THE MORE FLUID THE 3D PRINTED TEXTILE	KINEMATICS BY NERVOUS SYSTEMS IS 4D PRINTED AND PRINTS FOLDED UP ALLOWING A MUCH BIGGER ITEM TO BE PRINTED	HAS A SWING LIKE MOVEMENT AS THERE ARE ONLY 2 DIRECTIONS A HINGE CAN MOVE IN
MESSO	COMPLEX DESIGN WITH SPECIFIC WHICH MUST HAVE SYNCLASTIC BENDING AND AUXETIC BEHAVIOR	STRETCHES IN ALL DIRECTIONS AND MORE SO IF PRINTED IN A FLEXIBLE MATERIAL	ANDREAS BASTIAN'S MESSO STRUCTURES HAVE BEEN USED IN FASHION BY DANIT PELEG SUCCESSFULLY	MOST REALISTIC FABRIC MOVEMENT
FLEXIBLE	DESIGNS CAN BE MOULDED OR ANY OF THE OTHER CATEGORIES	THE MATERIAL ITSELF IS FLEXIBLE THEREFORE THE WHOLE STRUCTURE IS	TRAVIS FITCH COLAB THREE ASFOUR	FEELS BETTER ON THE BODY AND CAN TAKE MORE MOVEMENT THOUGH IT FEELS RUBBERY
GENERATIVE	DESIGN GENERATED BY NUMBERS IN SOFTWARE OR INSPIRED BY NATURE	DEPENDANT ON THE DESIGN AND MATERIAL CHOSEN	ALESSANDRO ZOMPARELLI	DOESNT ALWAYS HAVE FLEXIBILITY IN MIND BUT CREATES UNIQUE SHAPES LIKE NO OTHER

Figura 42. Diagrama de análisis de propiedades en estructuras textiles impresas en 3D (Grain, 2018).

De acuerdo a (Chatterjee & Ghosh, 2020) se han explorado tres posibles rutas para emplear 3DP en la fabricación de textiles en varios niveles jerárquicos:

i) impresión de estructuras de fibras o hilos que se pueden integrar en una tela para diversas aplicaciones, más comúnmente para textiles electrónicos

ii) imprimir toda la estructura textil combinando 3DP con técnicas como el electrohilado o el soplado en fusión o la impresión de unidades estructurales que se pueden ensamblar en un producto textil final, utilizando técnicas como SLS y FDM.

iii) imprimir estructuras híbridas que utilizan textiles como sustrato para imprimir estructuras específicas que pueden impartir nuevas propiedades o mejorar las propiedades del textil

Por su parte, (Lussenburg et al., 2014) menciona que la MDD clasifica los textiles impresos en 3D como un material semi desarrollado, esto quiere decir que, el textil impreso en 3D es una combinación de material, estructura y proceso (MSP por sus siglas en inglés) y cada uno de estos factores influyen en el otro. Afirma, que MDD permite determinar los límites del MSP para darle una aplicación acertada o dar retroalimentación para investigaciones futuras.

## **2.4.SOSTENIBILIDAD**

### **2.4.1. Ecodiseño**

De acuerdo a (IHOBE, 2000) “en la actualidad es necesario empezar a producir bienes conservando los recursos naturales y generando la cantidad menor de residuos. Por lo tanto, el concepto de ecodiseño supone introducir criterios ambientales en el diseño de productos, tratando de minimizar los principales impactos ambientales en TODO el CICLO DE VIDA del producto” (p.5)

En este sentido, “el ecodiseño o diseño para el medio ambiente es una metodología que considera la variable ambiental como un criterio más en el proceso de diseño de productos industriales, sumándose así a otros factores previos como los costes económicos o la calidad. Su objetivo final es mejorar el rendimiento medioambiental de los productos a lo largo de su ciclo de vida”(IHOBE, n.d.).

El ecodiseño también se puede definir como un enfoque de gestión ambiental proactivo que integra la problemática medioambiental en el diseño del producto para minimizar su impacto en el entorno durante todo su ciclo de vida de la extracción de la materia prima, fabricación y proceso, hasta su uso y fin de vida útil (Pigosso & Rozenfeld, 2012).

Se han desarrollado diferentes metodologías alrededor del concepto de ecodiseño, entre las cuales se tienen El Manual Práctico de Ecodiseño (operativa de implantación en 7 pasos) diseñado por IHOBE (Sociedad Pública del Gobierno Vasco), el manual busca familiarizar a quien lo lea con el significado de ecodiseño. Este manual busca “explicar en 7 pasos una sencilla metodología para la integración de criterios medioambientales en el diseño de productos industriales. Está enfocado tanto para grandes empresas como para PYMES, que realizan diseño industrial, o al menos tienen influencia sobre el diseño de sus productos”(IHOBE, 2000)(p.introducción).

Así mismo, el manual práctico de ecodiseño de (IHOBE, 2000) enuncia los métodos de análisis de los aspectos ambientales del producto y establecimiento de prioridades. Estos métodos pueden ser cualitativos o cuantitativos, pero todos se enfocan en la evaluación de todas las fases

del ciclo de vida del producto, lo cual brinda una visión a detalle de los aspectos ambientales del producto y así dan prioridad los aspectos más importantes.

De acuerdo a la revisión de métodos realizada por (Rossi et al., 2016) se dividieron los métodos en ocho grupos, enmarcando las herramientas que más se han utilizado en la literatura presentados con importancia para la implementación del diseño ecológico. A continuación, se hablará de 7 grupos.

#### **2.4.1.1. Herramientas integradas y metodología CAD**

Nace de la necesidad de evaluar el producto en términos ambientales en su primera fase de diseño, y evaluar las consecuencias de una elección de diseño. Estas herramientas permiten alimentar la base de dato de ciclo de vida con la información del modelo CAD. Se ha presentado un algoritmo que permite transferencia recíproca de datos entre el CAD (SolidEdge) y la herramienta LCA (SimaPro), otros han conectado CATIA CAD a la herramienta EIME SLCA, de manera similar han surgido diferentes propuestas y modelos (Rossi et al., 2016).

#### **2.4.1.2. Herramientas de diagrama**

esta herramienta propone una evaluación cuantitativa o semi-cuantitativa que se realiza cuando no hay información detallada disponible sobre la forma del producto y el ciclo de vida, un ejemplo de esta herramienta es la MECO Matix que se observa en la

Tabla 1, la cual evalúa de forma simplificada las etapas del ciclo de vida calculando materiales, químicos y otras sustancias involucradas en el ciclo de vida del producto (Rossi et al., 2016).

Tabla 1. Descripción Matriz MECO (Wenzel, Henrik. Hauschild, Michael Z. Alting, 1997)

	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>CONSUMO DE RECURSOS</b>	<b>IMPACTO EN EL AMBIENTE DE TRABAJO</b>
<b>MATERIAL</b>	Residuos a granel escorias y cenizas	Recursos usados en los materiales  Principalmente consumo reversible	
<b>ENERGY</b>	Calentamiento global formación de ozono fotoquímico acidificación enriquecimiento de nutrientes residuos a granel, escorias y cenizas	Portadores de energía, especialmente consumo de recursos fósiles y madera, principalmente consumo irreversible	
<b>CHEMICAL</b>	Agotamiento de ozono Formación de ozono fotoquímico Toxicidad persistente Ecotoxicidad Toxicidad humana	Recursos usados en la producción de químicos	Impacto relacionado con la exposición a químicos: cáncer, daño al sistema reproductor, alergias y daño al sistema nervioso.
<b>OTHER</b>			Trabajo monótono repetitivo, ruido, accidentes de trabajo.

Otro ejemplo es la matriz de diseño estratégico que proporciona como resultado los impactos ambientales contra los requisitos funcionales del producto. La matriz MET (Figura 43) realiza el análisis completando una tabla donde las filas representan las fases de ciclo de vida y las columnas representan el material, consumo de energía y sustancias tóxicas usadas o producidas por el producto (Rossi et al., 2016).






	<b>Uso de MATERIALES</b> (Entradas) <b>M</b>	<b>Uso de ENERGÍA</b> (Entradas) <b>E</b>	<b>EMISIONES TÓXICAS</b> (Salidas: emisiones, vertidos, residuos) <b>T</b>
<b>Obtención y consumo de materiales y componentes</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos los materiales, piezas y componentes necesarios que son comprados tal cual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumos de energía necesarios para la obtención en bruto de los materiales comprados.</li> <li>- Energía necesaria para obtener los materiales en el estado en que son adquiridos (laminados, tratamiento superficial,...)</li> <li>- Consumo de energía para el transporte de los materiales comprados hasta fábrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos tóxicos generados en la obtención y transformación de los materiales adquiridos antes de su llegada a la empresa.</li> </ul>
<b>Producción en fábrica</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales auxiliares comprados tal cual (tornillería, elementos eléctricos,...).</li> <li>- Sustancias auxiliares que son usadas en el proceso de producción y no incluidas en la etapa anterior (elementos para soldadura, pintado, moldeo de fibra de vidrio,...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumos de energía en los procesos empleados en fábrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos tóxicos producidos en fábrica.</li> <li>- Restos de materiales: recortes, rechazos,...</li> </ul>
<b>Distribución</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Embalajes del producto.</li> <li>- Elementos de reembalaje empleados para el transporte y distribución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumos de energía en el empaquetado y embalaje (caso de ser significativos).</li> <li>- Transporte desde fábrica a los distribuidores finales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos de la combustión producidos durante el transporte.</li> <li>- Residuos de embalaje.</li> </ul>
<b>Uso o utilización</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumibles.</li> <li>- Piezas de repuesto estimadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía consumida por el producto a lo largo de su vida útil estimada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos de consumibles.</li> <li>- Residuos de piezas de repuesto.</li> </ul>
<b>Sistema de fin de vida</b> <b>Eliminación final</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de materias primas y auxiliares para el tratamiento de fin de vida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energía utilizada en alguno de los sistemas fin de vida de materiales o partes (incineración, desmontaje, reciclado,...)</li> <li>- Energía para el transporte a los sistemas de fin de vida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos tóxicos que genera el producto y que son destinados a gestor autorizado.</li> <li>- Materiales a vertedero.</li> <li>- Reciclaje de materiales.</li> <li>- Residuos de la combustión.</li> </ul>

Figura 43. Matriz MET (IHOBE, 2000)

Otras herramientas como el método de la matriz ERPA (Tabla 2) y la matriz DFE (Figura 44) proveen una evaluación ambiental del producto después de realizar un método de cuatro pasos el cual empieza con identificación de alta prioridad del producto, análisis de referencia y compensación, finalmente se presentan una serie de preguntas para evaluar diferentes alternativas de diseño de productos. Para la matriz DFE, la ubicación de la matriz está indicada por los números en la parte superior izquierda de cada casilla. Puntuación total máxima sin los elementos de la fila A=100 puntos; puntuación total máxima incluyendo los elementos de la fila A=125 puntos (Rossi et al., 2016).

Tabla 2. Matriz ERPA ([https://images.slideplayer.com/33/8221865/slides/slide\\_3.jpg](https://images.slideplayer.com/33/8221865/slides/slide_3.jpg)).

### THE ENVIROMENTALLY RESPONSIBLE PRODUCT ASSESSMENT MATRIX (ERPA)

LIFE CYCLE STAGE	Materials choice	Energy use	Solid residues	Liquid residues	Gaseous residues
PREMANUFACTURE					
PRODUCT MANUFACTURE					
PRODUCT DELIVERY					
PRODUCT USE					
REFURBISHMENT, RECYLING, DISPOSAL					

### Product Design Matix: Design Enviroment Toolkit

LIFE STAGE	Enviromental Concern					Total
	1 Materials	2 Energy Use	3 Solid Residue	4 Liquid Residue	5 Gaseous Residue	
A Premanufacture	(A.1)	(A.2)	(A.3)	(A.4)	(A.5)	
B Product manufacture	(B.1)	(B.2)	(B.3)	(B.4)	(B.5)	
C Distribution, packaging	(C.1)	(C.2)	(C.3)	(C.4)	(C.5)	
D Product use, maintenance	(D.1)	(D.2)	(D.3)	(D.4)	(D.5)	
E End of life	(E.1)	(E.2)	(E.3)	(E.4)	(E.5)	
<b>Total</b>						

Adapted from Industrial Ecology. T.E Gradel and B. R. Allerby. Englewood Cliffs, New Jersey. Practice Hall, 1995. Used by permission of authors

Matrix locations are indicated by the numbers in the upper left hand corner of each box.

Maximum Total Score **without** Matrix Element A = **100 points**

Maximum Total Score **including** Matrix Element A = **125 points**

Figura 44. DfE matriz. ([https://ritsustainabilitydesigncolab.files.wordpress.com/2010/10/explanation-of-product-dfe-matrix-1\\_page\\_02.jpg](https://ritsustainabilitydesigncolab.files.wordpress.com/2010/10/explanation-of-product-dfe-matrix-1_page_02.jpg)).

También, incluyen herramientas tales como Eco Compass, La Rueda De Estrategia De Diseño Ecológico (Figura 45) y la Ecodesign Web que identifican los principales impulsores para mejorar el producto en términos ambientales (Rossi et al., 2016)

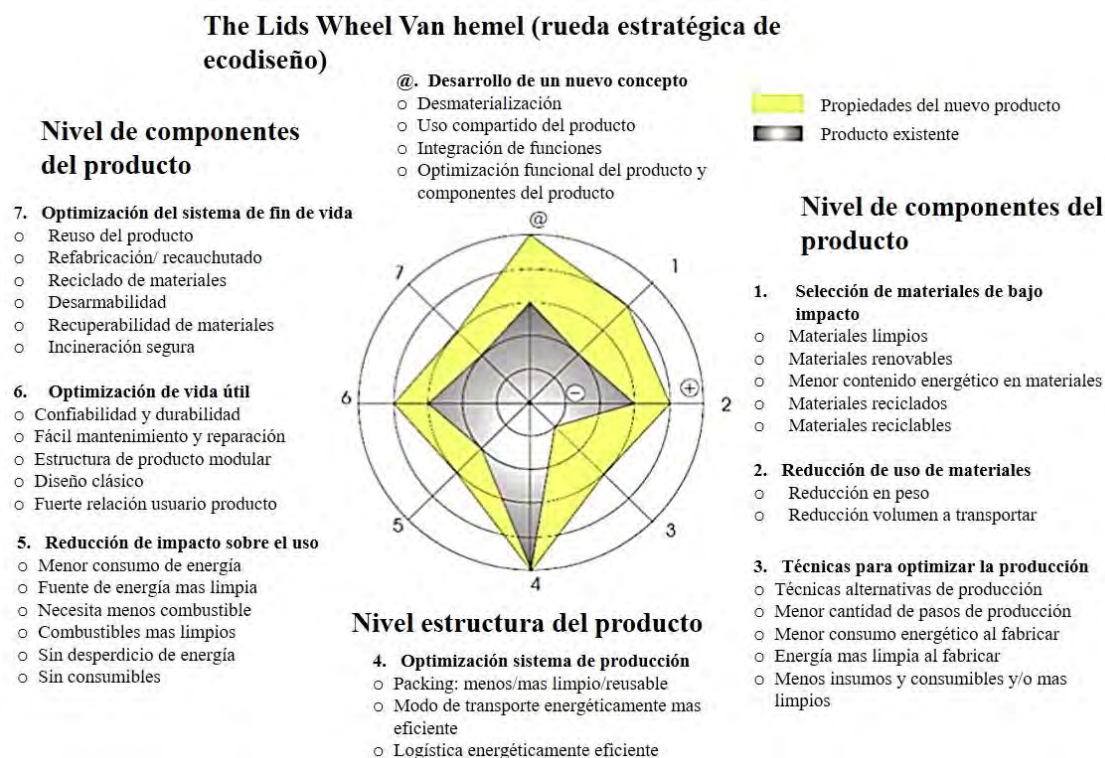


Figura 45. Rueda de lids (rueda estratégica del Ecodiseño) (<http://www.disost.com/2012/07/herramientas-de-ecodiseño.html>)

### 2.4.1.3. Lista de verificación y pautas

Esta herramienta es usada para una evaluación rápida del perfil ambiental del producto, sus resultados son muy útiles en la primera fase de diseño del producto. Su propósito es brindar al diseñador preguntas y sugerencias inteligentes con las cuales el equipo de diseño podrá tomar decisiones y resolver problemas. Algunos ejemplos de esta herramienta son ECODESING Checklist Method (ECM) Figura 46, The Ten Golden Rules (Figura 47), The Prescribing tools Strategy List, entre otras (Rossi et al., 2016).

## The EcoDesign Checklist

Needs Analysis		Life cycle stage 3: Distribution	
<p><b>How does the product system actually fulfill social needs?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• What are the product's main and auxiliary functions?</li> <li>• Does the product fulfil these functions effectively and efficiently?</li> <li>• What user needs does the product currently meet?</li> <li>• Can the product functions be expanded or improved to fulfil user's needs better?</li> <li>• Will this need change over a period of time?</li> <li>• Can we anticipate this through (radical) product innovation?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy @ New Concept Development</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dematerialisation</li> <li>• Shared use of the product</li> <li>• Integration of functions</li> <li>• Functional optimisation of product (components)</li> </ul>	<p><b>What problems can arise in the distribution of the product to the customer?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• What kind of transport packaging, bulk packaging, and retail packaging are used (volume, weights, materials, reusability)?</li> <li>• Which means of transport are used?</li> <li>• Is transport efficiently organised?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy 2: Reduction of material usage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduction in weight</li> <li>• Reduction in (transport) volume</li> </ul> <p><b>EcoDesign Strategy 4: Optimisation of the distribution system</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Less/clean/reusable packaging</li> <li>• Energy-efficient transport mode</li> <li>• Energy-efficient logistics</li> </ul>
Life cycle stage 1: Production and supply of materials and components		Life cycle stage 4: Utilisation	
<p><b>What problems arise in the production and supply of materials and components?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• How much, and what types of plastic and rubber are used?</li> <li>• How much, and what types of additives are used?</li> <li>• How much, and what types of metals are used?</li> <li>• How much, and what other types of materials (glass, ceramics, etc.) are used?</li> <li>• How much, and which type of surface treatment is used?</li> <li>• What is the environmental profile of the components?</li> <li>• How much energy is required to transport the components and materials?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy 1: Selection of low-impact materials</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clean materials</li> <li>• Renewable materials</li> <li>• Low energy content materials</li> <li>• Recycled materials</li> <li>• Recyclable materials</li> </ul> <p><b>EcoDesign Strategy 2: Reduction of material usage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduction in weight</li> <li>• Reduction in (transport) volume</li> </ul>	<p><b>What problems arise when using, operating, servicing and repairing the product?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• How much, and what type of energy is required, direct or indirect?</li> <li>• How much, and what kind of consumables are needed?</li> <li>• What is the technical lifetime?</li> <li>• How much maintenance and repairs are needed?</li> <li>• What and how much auxiliary materials and energy are required for operating, servicing and repair?</li> <li>• Can the product be disassembled by a layman?</li> <li>• Are those parts often requiring replacement detachable?</li> <li>• What is the aesthetic lifetime of the product?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy 5: Reduction of impact in the used stage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low energy consumption</li> <li>• Clean energy source</li> <li>• Few consumables</li> <li>• Clean consumables</li> <li>• No wastage of energy or consumables</li> </ul> <p><b>EcoDesign Strategy 6: Optimisation of initial lifetime</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reliability and durability</li> <li>• Easy maintenance and repair</li> <li>• Modular product structure</li> <li>• Classic Design</li> <li>• Strong product-user relation</li> </ul>
Life cycle stage 2: In-house production		Life cycle stage 5: Recovery and disposal	
<p><b>What problems can arise in the production process in your own company?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• How many, and what types of production processes are used? (including connections, surface treatments, printing and labeling)</li> <li>• How much, and what types of auxiliary materials are needed?</li> <li>• How high is the energy consumption?</li> <li>• How much waste is generated?</li> <li>• How many products don't meet the required quality norms?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy 3: Optimisation of production techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternative production techniques</li> <li>• Fewer production steps</li> <li>• Low/clean energy consumption</li> <li>• Less production waste</li> <li>• Few/clean production consumables</li> </ul>	<p><b>What problems arise in the recovery and disposal of the product?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• How is the product currently disposed of?</li> <li>• Are components or materials being reused?</li> <li>• What components could be reused?</li> <li>• Can the components be reassembled without damage?</li> <li>• What materials are recyclable?</li> <li>• Are the materials identifiable</li> <li>• Can they be detached quickly?</li> <li>• Are any incompatible inks, surface treatments or stickers used?</li> <li>• Are any hazardous components easily detachable?</li> <li>• Do problems occur while incinerating non-reusable product parts?</li> </ul>	<p><b>EcoDesign Strategy 7: Optimisation of the end-of-life system</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuse of product (components)</li> <li>• Remanufacturing/refurbishing</li> <li>• Recycling of materials</li> <li>• Safe incineration</li> </ul>

Figura 46. Método ECODESIGN Checklist (Brezet, 2002).

1	No use sustancias tóxicas y utilice bucles cerrados para las necesarias pero tóxicas.	6	Promueva una larga vida, especialmente para productos con aspectos ambientales significativos fuera de la fase de uso.
2	Minimice el consumo de energía y recursos en la fase de producción y transporte a través de gestión interna	7	Invierta en mejores materiales, tratamientos de superficie o arreglos estructurales para proteger los productos de la suciedad, la corrosión y el desgaste, asegurando así un mantenimiento reducido y una vida útil más larga del producto.
3	Utilice características estructurales y materiales de alta calidad para minimizar el peso en el productos, sólo si tales elecciones no interfieren con la flexibilidad necesaria, la resistencia al impacto u otras prioridades funcionales.	8	Organice de manera anticipada la actualización, reparación y reciclaje a través de la capacidad de acceso, etiquetado, módulos, puntos de ruptura y manuales.
4	Minimizar el consumo de energía y recursos en la fase de uso, especialmente para productos con los aspectos más significativos en la fase de uso.	9	Promueva la actualización, reparación y reciclaje utilizando materiales simples, reciclados, no mezclados y sin aleaciones.
5	Promueva la reparación y actualización, especialmente para productos dependientes del sistema. (por ejemplo, teléfonos celulares, computadoras y reproductores de CD).	10	Use la menor cantidad posible de elementos de unión y use tornillos, adhesivos, soldadura, ajustes a presión, bloqueo geométrico, etc., de acuerdo con el escenario del ciclo de vida

Figura 47. Descripción de las 10 reglas de oro para el ecodiseño (Luttropp & Lagerstedt, 2006).

#### 2.4.1.4. Diseño para enfoques X

El diseño para el concepto X fue desarrollado para optimizar específicamente los requerimientos del producto, con el objetivo principal de satisfacer las necesidades del cliente y responder a la alta presión de márketing para la competitividad del producto. Esta herramienta permite identificar el diseño para el desmontaje, el diseño para la remanufactura, el diseño para la recuperación y el reciclaje de materiales y los enfoques de diseño para la eficiencia energética (Rossi et al., 2016).

#### **2.4.1.5. Métodos para apoyar la implementación del ecodiseño en la compañía y la generación de eco-innovación**

La implementación del método de eco-innovación y ecodiseño puede ser usada gracias a la aplicación organizada y estructurada de métodos y procedimientos. Uno de los métodos más recientes es el de ecodesign maturity model, el cual propone un marco de referencia basado en un acercamiento paso a paso, con el objetivo de ayudar a las empresas a implementar el ecodiseño. Está compuesto por 3 elementos principales: prácticas de ecodiseño, niveles de madurez del ecodiseño y métodos de aplicación. En cuanto a las herramientas de generación de ideas eco-innovadoras se tiene el Product Ideas Tree diagram (PIT) (Figura 48), el cual facilita la generación de sesiones de ideas, haciéndolas más constructivas (Rossi et al., 2016).

#### **2.4.1.6. Métodos para implementar todo el ciclo de vida y diseño centrado en el usuario para la sostenibilidad**

Según (Rossi et al., 2016), diferentes autores han propuesto un acercamiento que prevé la implementación de estrategias que apuntan a modificar el perfil de uso del producto hacia uno más sostenible. Es muy útil, para productos caracterizados por un alto impacto ambiental durante la fase de uso. Cuando la eficiencia energética de estos productos es alta y no se pueden lograr mejoras adicionales, una posible estrategia de sostenibilidad está representada por un efecto positivo en el comportamiento del usuario. Las estrategias de diseño centradas en el usuario consideran la adaptación de la arquitectura del producto, así como la implementación de estrategias de retroalimentación para inducir el uso correcto de un producto.

#### **2.4.1.7. Métodos para integrar diferentes herramientas existentes**

Diferentes métodos han sido desarrollados con el objetivo principal de integrar las herramientas de diseño ecológico existentes en respuesta de mejorar su usabilidad y favorecer su implementación real y efectiva en las empresas. Para nombrar algunos ejemplos se tiene que, se ha integrado environmental effect analysis (EEA) y LCA. También, han combinado las directrices del LCA, CAD y ecodiseño para que converjan en una metodología de Diseño Integrado para el Medio Ambiente (Rossi et al., 2016)

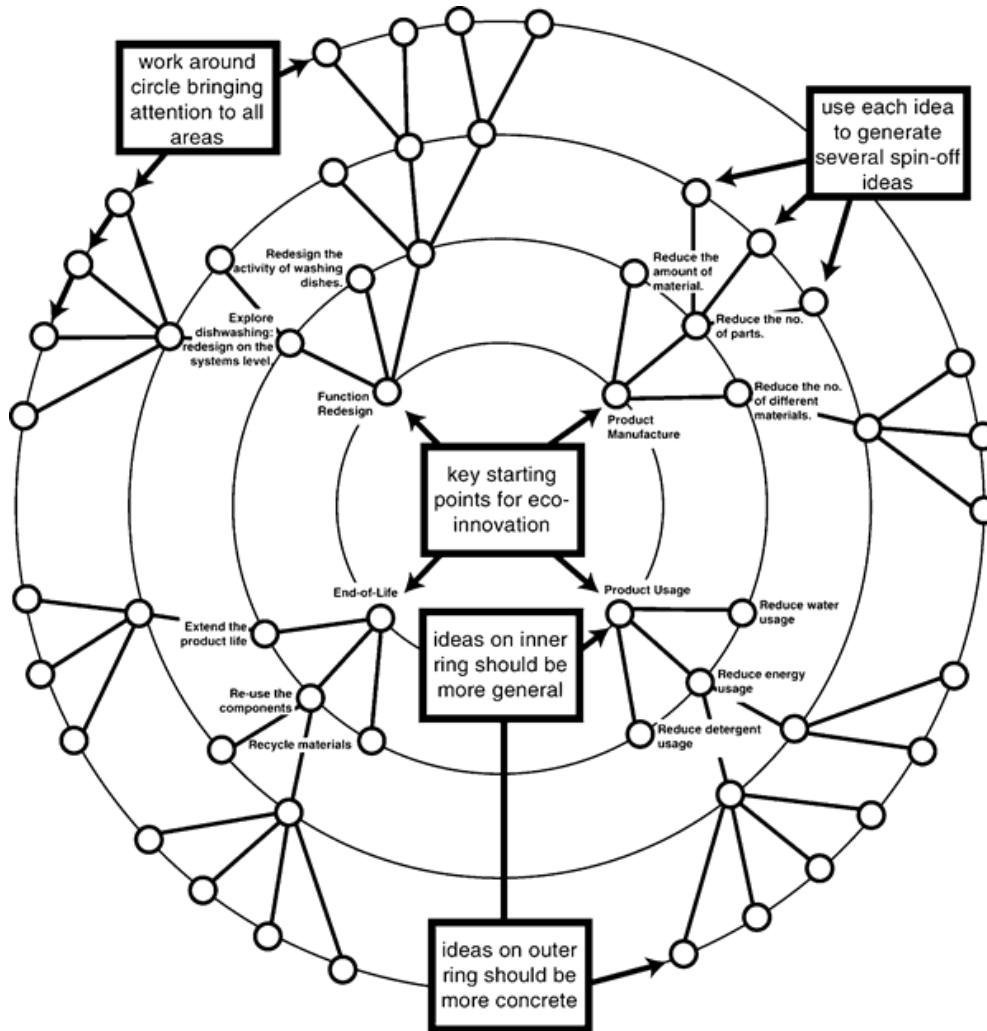


Figura 48. Esquema del diagrama PIT con "punteros" que muestran el uso previsto (Jones et al., 2001).

#### 2.4.2. Herramientas de LCA

De forma paralela al ecodiseño existe esta metodología. La evaluación de ciclo de vida (LCA) es una metodología que permite cuantificar el impacto medioambiental de productos o servicios a lo largo de sus fases de ciclo de vida. GaBi y SimaPro representan las herramientas más vendidas en el mercado y utilizadas por los investigadores. Estas herramientas ayudan a cuantificar el impacto ambiental generado por un producto. Adicionalmente, cuentan con bases de datos completas, específicas y variadas, lo que las hace aplicables a diferentes sectores. Así mismo, tiene diferentes interfases de usuario que permite apoyar la interpretación y explotación de los resultados. Por otro lado, existe la herramienta computacional OpenLCA, la cual es de uso

libre y realiza LCA y evaluación de huella de carbono, su estructura la hace flexible para trabajar con otras bases de datos como bases de datos de entrada y salida multirregionales, que pueden respaldar el análisis de aspectos sociales (Rossi et al., 2016).

### **2.4.3. Economía circular**

El concepto de economía circular nace en el año 2005 cuando Ellen MacArthur se convirtió en la navegante solitaria más rápida en dar la vuelta al mundo. Su bote se había convertido en su mundo y siempre estaba al tanto del límite de sus suministros y del significado de recursos finitos, cuando llega a tierra se da cuenta que el mundo no es tan diferente a su vivencia y que hay mucho trabajo por realizar (Ellen MacArthur Foundation, n.d.). Este concepto se puede definir como un sistema industrial que es restaurativo o regenerativo. Su intención es cerrar el ciclo del ciclo de vida lineal del producto, sustituyendo el concepto de fin de vida con la restauración, es decir, eliminar la economía lineal tradicional basada en tomar materiales de la naturaleza, generar productos, consumirlos y eliminarlos (Sassanelli et al., 2019). Así mismo, esta filosofía busca recuperar y valorizar los desechos, permitiéndoles ser reutilizados en la cadena de suministros, desacoplando el crecimiento de la economía de las pérdidas ambientales (Elia et al., 2017).

De acuerdo a (Niinimäki, 2018) “el enfoque de economía circular en la moda tiene como objetivo desarrollar un sistema más sostenible y de circuito cerrado donde el objetivo sea extender la vida útil de las prendas y mantener el valor de los productos y materiales el mayor tiempo posible. Esto significa que todos los materiales se reciclarán en varias rondas. Los productos están diseñados para ser incluidos en un sistema donde todos los aspectos apoyan la circularidad. El diseño original debe tener en cuenta varios ciclos de vida. Los materiales deben fluir dentro del sistema y los desechos deben recolectarse y apreciarse como un material valioso para el reciclaje y la recuperación de materiales. Todos los productos deben recuperarse una vez finalizado su tiempo útil” (p.7)

(IHOBE & Vasco, 2018) dice que la economía circular (Figura 49) ha tomado el medio ambiente como factor clave de competitividad por el enorme potencial del que disponen las empresas para ahorrar costosos recursos y materias primas. Una fuente real de oportunidades

económicas para el emprendimiento de empresas innovadoras, la diversificación e internacionalización de las que ya existen, la inversión en nuevas tecnologías más limpias y amigables con el medio ambiente y la creación de empleo.

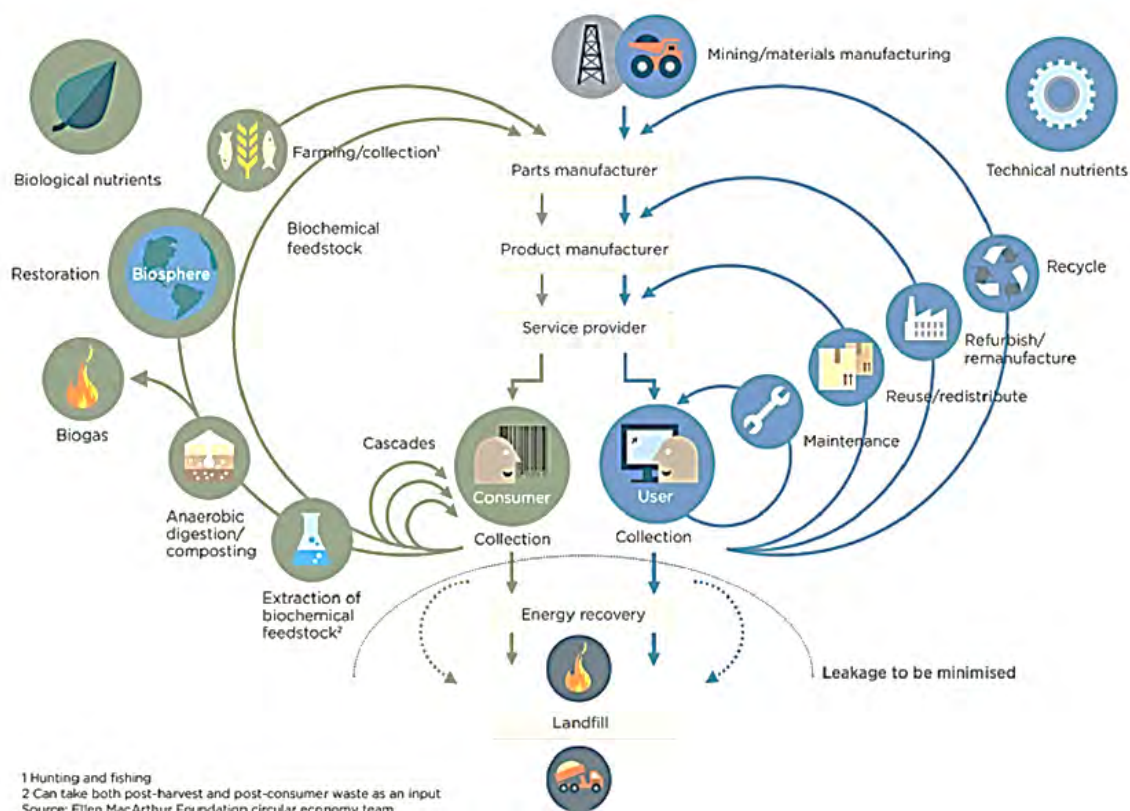


Figura 49. Concepto De Economía Circular De Acuerdo a Ellen MacArthur Foundation (Van Acker, 2016).

En su investigación (Sassanelli et al., 2019) habla sobre el actual estado del arte de los métodos de evaluación de la economía circular dividiéndolos en ocho grupos que a continuación se nombran:

#### 2.4.3.1. LCA/LCI/LCIA (Life Cycle Assessment/ Life Cycle Inventory/ Life Cycle Impact Assessment)

La metodología más usada es la de LCA. (Sassanelli et al., 2019) nombra algunos casos de aplicación entre esos que se creó un marco de referencia basado en LCA para evaluar la eficiencia ecológica en la industria de teñido textil. Otro de sus hallazgos en la investigación es la

propuesta de indicadores cuantitativos de Economía circular mayormente basados en el MFA (análisis de flujo de material), MFCA (contabilidad de costos de flujo de materiales) y LCA con el fin de evaluar el desempeño de la economía circular en las organizaciones, así mismo nombra otros ejemplos de aplicación.

#### **2.4.3.2. Enfoques de criterios múltiples (MCDM) y lógica difusa**

Considerando la complejidad intrínseca de los sistemas circulares, (Sassanelli et al., 2019) dice que diferentes autores han adoptado enfoques de múltiple criterio y lógica difusa para evaluarlos.

#### **2.4.3.3. DFX y pautas**

De acuerdo a (Sassanelli et al., 2019) otros se han enfocado en la fase diseño permitiendo la circularidad mediante el enfoque de Design for X (DFX) y pautas.

#### **2.4.3.4. DEA y modelo de entradas y salidas**

Según la investigación de (Sassanelli et al., 2019) otros autores han decidido evaluar variables involucradas en el sistema, han trabajado con los modelos de entrada y salidas como por ejemplo el DEA (Data Envelopment Analysis). Así mismo, otros han recurrido al enfoque MFA y MFCA.

#### **2.4.3.5. MFA**

Dice (Sassanelli et al., 2019) que los investigadores no suelen recurrir al uso del MFA para evaluar la economía circular. Sin embargo, existen aplicaciones interesantes como, la propuesta de un nuevo índice para la evaluación del desempeño ambiental vinculado a la CE, combinando enfoques no monetarios (un método basado en la longevidad) y MFA. De igual forma, otros investigadores han aplicado algunas modificaciones al método clásico de MFA para realizar una evaluación integral del metabolismo urbano, basado en los conceptos de Entrada directa de material (DMI) y Consumo de material doméstico (DMC) (Sassanelli et al., 2019).

#### **2.4.3.6. Enfoques basados en emergencia y exergía**

De acuerdo a (Sassanelli et al., 2019) algunos investigadores se han dedicado a solo evaluar una variable involucrada en un sistema, por ejemplo, energía a través de la exploración de

conceptos como emergencia y exergía. Un primer caso es, la exploración de emergencia para evaluar los beneficios del reciclaje y la reutilización en parques industriales a través de diversos índices. En el segundo caso se presentó el indicador de rendimiento de economía circular (CPI), un índice relacionado con la economía circular capaz de medir la energía mínima requerida para fabricar un producto. El CPI considera la exergía de los recursos naturales como la relación de los beneficios ambientales reales relacionados con los procesos actuales de tratamiento de residuos y los beneficios ambientales ideales.

#### **2.4.3.7. DES (Discrete Event Simulation and process simulation)**

(Sassanelli et al., 2019) dice que se ha combinado el DES y la Evaluación de Sustentabilidad del Ciclo de Vida (LCSA) para medir el contexto del desarrollo del producto sostenible (SPD) y de la evaluación del desempeño sostenible. Así mismo, han usado una matriz de análisis de valor ecológico para construir un marco de referencia que permite medir el desempeño en el Mantenimiento basado en condiciones sostenibles (SCBM).

(Elia et al., 2017) en su investigación “medición de estrategias de economía circular a través de métodos de índice” analiza la literatura actual sobre evaluación de la economía circular y propone un marco de referencia para la fase de monitoreo de las estrategias de economía circular. En la Figura 50 se puede observar el marco de referencia de cuatro niveles de la economía circular que apoya la adopción de los paradigmas de CE, los cuatro niveles descritos son los procesos para monitorear, las acciones involucradas, los requisitos a medir y, los niveles de implementación del paradigma de CE. En la Figura 51 se observa un resumen de las técnicas seleccionadas que contribuyen a la medida efectiva de la adopción de la CE basadas en el marco de referencia propuesto. Adicionalmente, en la Figura 52 resume las potencialidades de cada metodología para evaluar la CE de acuerdo con sus características principales.

En la Figura 52 (Elia et al., 2017) describe la clasificación de la literatura basada en la "capacidad" de cada método para medir los cinco requisitos de CE. Adicionalmente, (Elia et al., 2017) dice que al centrarse en los estudios a nivel micro, todos los estudios adoptan métodos de índice único no estandarizados para medir el rendimiento del reciclaje, la reutilización y la circularidad del flujo. Por lo tanto, todos estos indicadores están vinculados a dos requisitos particulares de CE, es decir, el uso de recursos reciclables y el aporte de recursos naturales. Solo

el indicador de circularidad del material propuesto por la Fundación Ellen MacArthur muestra un intento de incluir en el análisis la pérdida de materiales y la durabilidad del producto.

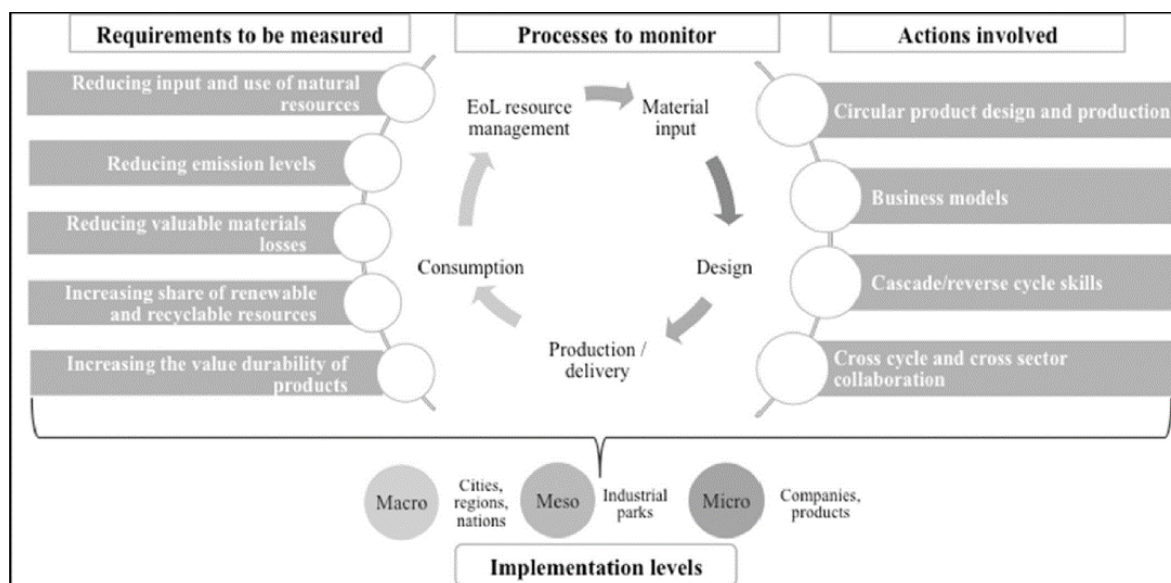


Figura 50. Marco de referencia de la economía circular (Elia et al., 2017).

Type	Single indicator	Multiple indicators
Material flow	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Water Footprint</li> <li>- Material Inputs per Unit of Service</li> <li>- Ecological Rucksack</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material Flow Analysis</li> <li>- Substance Flow Analysis</li> </ul>
Energy flow	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumulative Energy Demand</li> <li>- Embodied Energy</li> <li>- Energy Analysis</li> <li>- Exergy Analysis</li> </ul>	
Land use & consumption	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecological Footprint</li> <li>- Sustainable Process Index</li> <li>- Dissipation Area Index</li> </ul>	
Other life cycle based	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carbon Footprint</li> <li>- Ecosystem Damage Potential</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Life Cycle Assessment</li> <li>- Environmental Performance Strategy Map</li> <li>- Sustainable Environmental Performance Indicator</li> </ul>

Figura 51. Taxonomía con base a índices propuesta para metodologías (Elia et al., 2017).

## Environmental assessment methodologies and CE requirements.

Methodology	CE requirements				
	Reducing input and use of natural resources	Increasing share of renewable and recyclables resources	Reducing emissions	Reducing valuable material losses	Increasing the value durability of products
LCA	Direct quantification	Indirect quantification	Direct quantification	Direct quantification	
SFA	Direct quantification	Direct quantification	Direct quantification (hazardous substances flows)	Direct quantification	
MFA	Direct quantification	Direct quantification		Direct quantification	
WF	Direct quantification (water)		Direct quantification (pollutants in water)	Direct quantification (water)	
CF	Indirect quantification	Indirect quantification	Direct quantification (GHG)		
EPMS/SEPI	Indirect quantification	Indirect quantification	Direct quantification (GHG)		
SPI/DAI	Indirect quantification	Indirect quantification (energy)	Indirect quantification		
EF	Indirect quantification		Indirect quantification		
MIPS	Direct quantification (material intensity)				
EDP	Indirect quantification				
CED		Direct quantification (energy)			
EE		Direct quantification (energy)			
EMA		Direct quantification (energy quantity and quality)			
EXA		Direct quantification (energy quantity and quality)			

Figura 52. Metodologías de evaluación ambiental y requerimientos de la economía circular (Elia et al., 2017).

#### 2.4.4. Nueva economía textil basada en la economía circular.

El reporte de (Herrmann, 2017) está alineado a los principios de la economía circular. Como se observa en la Figura 53 busca que la ropa, los tejidos y las fibras se mantengan su valor más alto durante el uso y vuelvan a entrar en la economía después de su uso, sin terminar nunca como desperdicio. Esto, permitiría capturar oportunidades que se pierden en el sistema lineal actual y obtener mejores resultados ambientales, económicos y sociales

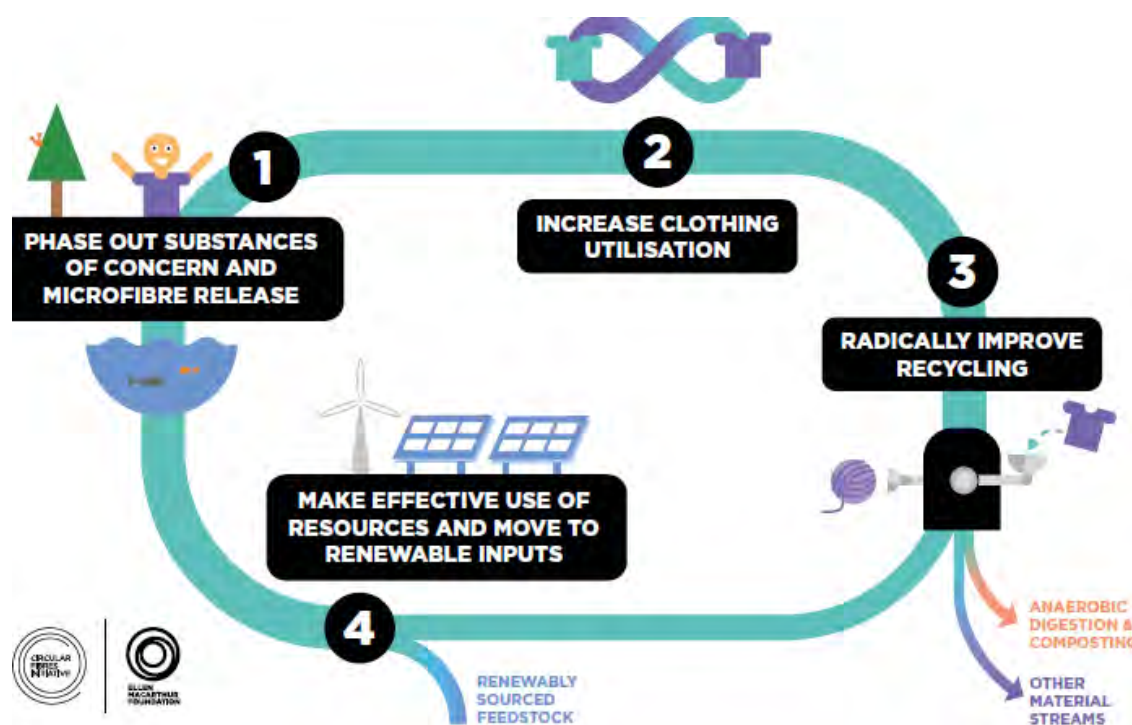


Figura 53. Ambiciones para una nueva economía textil (Herrmann, 2017).

A continuación, se explica de forma más amplia la fase 2 y 3 de la Figura 53 que son las que específicamente le competen a este proyecto.

##### 2.4.4.1. Fase 2 incrementar el uso de la ropa:

de acuerdo a (Herrmann, 2017) para poder hacer realidad esta ambición, se debe transformar el modo en que la ropa es diseñada, vendida y usada para liberarla de su naturaleza

desechable. Es así, que aumentar las veces que se usa una prenda y diseñar para eliminar los desechos y la contaminación en el sistema textil es la forma más efectiva para capturar valor. Existen cuatro áreas que podrían acelerar la fase de transición que se nombran a continuación:

- Ampliar el alquiler de ropa a corto plazo
- Hacer que el término durabilidad sea más atractivo (la calidad y la durabilidad pueden ser valiosas incluso si solo hay uno o unos pocos usuarios) aprovechando oportunidades de segmento donde es valorada la durabilidad, como los básicos de vestuario, los estilos no estacionales, la ropa funcional y la ropa íntima (Herrmann, 2017).
- La personalización de prendas y el diseño de ropa que se ajuste a las necesidades cambiantes, crea la necesidad de adoptar tecnologías de escaneo 3D que ayuden a mapear de forma correcta el cuerpo y el uso de impresión 3D para crear prendas. Lo anterior, puede permitir diseñar prendas para que el cliente las ensamble y desensamble fácilmente, y de esta forma sean multipropósitos, adaptables y actualizables. Por lo tanto, se genera una oportunidad para crear productos solo donde y cuando se necesiten (Herrmann, 2017).
- Aumentar aún más la utilización de ropa a través de compromisos y políticas de marca (Herrmann, 2017)

#### **2.4.4.2. fase 3 mejorar radicalmente el reciclaje mediante la transformación del diseño, recolección y reprocesamiento de la ropa.**

Para lograr este objetivo existen cuatro tareas que pueden llevarse a cabo:

- Alinear el diseño de la prenda con el proceso de reciclado, es decir, pensar desde la etapa de diseño qué sucederá con el producto en el fin de su vida, con la convergencia hacia una variedad de materiales (incluidas las mezclas donde se necesitan para la funcionalidad) y el desarrollo de procesos de reciclaje eficientes para estos. También, se sugiere utilizar el mismo material para la prenda y sus accesorios (botones, cremalleras, hilo, etc.) (Herrmann, 2017)

- Buscar la innovación tecnológica para mejorar la economía y la calidad del reciclaje (Herrmann, 2017).
- Estimular demanda para los materiales reciclado (Herrmann, 2017).
- Implementar la colección de ropa a escala, es decir, la colección de ropa debe ampliarse drásticamente junto con las tecnologías de reciclaje (Herrmann, 2017).

#### **2.4.5. Objetivos y metas de desarrollo sostenible**

“El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años” (ONU, 2020). A continuación, se nombran dos de los objetivos de desarrollo sostenibles propuestos por la ONU que son de interés para este proyecto y esenciales para la economía circular de acuerdo a la Figura 54.

##### **Objetivo 9: Industria innovación e infraestructura**

**Meta 9.4:** De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.

##### **Objetivo 12: producción y consumo responsable**

**Meta 12.4:** De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente

**Meta 12.5:** De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización



Figura 54. Aspectos que se consideran importantes para la Economía circular (Niinimäki, 2018).

## 2.5. Conclusiones

Cada uno de los puntos descritos en el marco teórico juegan un papel muy importante para la realización de esta investigación y posteriormente el diseño y desarrollo del producto. Conocer los métodos y herramientas que soportan los conceptos de ecodiseño y economía circular permite seleccionar adecuadamente uno que se adapte a las necesidades de la investigación. De alguna forma, estas herramientas permiten sea cuantitativa o cualitativamente describir el proceso, encontrar puntos débiles y proponer mejoras. Así mismo, conocer el flujo de material, consumo de energía en cada una de las etapas de ciclo de vida y conocer si existe circularidad en el proceso.

Por otra parte, las etapas del proceso de diseño y desarrollo de un producto son una guía para la ejecución del proyecto y permiten que este se realice de forma más ordenada y sistemática. Así mismo, el diseño guiado por materiales permite entender y conocer el material desde el inicio para saber qué hace, qué expresa y cómo hace sentir al usuario al respecto. Aun así, las propiedades técnicas también son de gran relevancia. Para esta metodología el material es el centro del desarrollo de los conceptos. Por otra parte, el diseño de vestuario se centra más en los requerimientos del usuario, en conocer sus necesidades y su entorno, en como lo hace sentir la prenda si esta es confortable o no.

Finalmente, para poder ejecutar con éxito las dos ideas anteriores es necesario conocer los orígenes del material, sus características, como es procesados, es decir, desde que se recolectan las botellas y finalmente lo transforman en filamento de poliéster reciclado y por su puesto las características de este nuevo filamento.

Las estrategias propuestas en el diseño circular son coherentes con lo que propone la nueva economía textil de (Herrmann, 2017). Así mismo, en la búsqueda bibliográfica se observó que el método de Diseño para X ayuda a implementar algunas de las estrategias dadas en el diseño circular.

### 3. CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

En busca de mejorar la utilización del producto y mejorar radicalmente el reciclaje del mismo basadas en las propuestas de la nueva economía textil, se pretende integrar al diseño de la prenda 3 de las estrategias dadas en el diseño circular, que se enuncian a continuación:

- Diseño para la durabilidad del producto (productos físicamente durables)
- Diseño para fácil mantenimiento y reparación
- Diseño para el desensamble y reensamble.

Por lo tanto, en este capítulo se expone el paso a paso del diseño metodológico, es decir, cada una de las etapas que guían la investigación y los métodos y herramientas que se ejecutan para dar respuesta a las preguntas de investigación, dar cumplimiento a el objetivo principal y objetivos específicos, pero sobre todo para diseñar un producto con las características anteriormente planteadas propias de la economía circular.

#### 3.1. Problema de diseño

Aceptación del material, estructura y proceso que componen el textil impreso en 3d por parte del usuario como una nueva alternativa para confeccionar prendas de vestir.

#### 3.2. Objetivos y alcances del diseño

- Seleccionar correctamente un modelo de prenda que se ajuste a las características del textil impreso en 3d.
- Confeccionar la prenda de tal forma que su mantenimiento y reparación sea fácil.
- Rediseñar los eslabones propuestos por el (citar diseñador) los cuales permiten el ensamble o desensamble de los módulos que componen la prenda para que esta tarea sea más sencilla.
- Garantizar la flexibilidad del textil para un correcto uso de la prenda.

### 3.3.Descripción de la metodología

De acuerdo a (Hernández Sampieri, 2014) el enfoque mixto “representa un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio”(p.534). por lo tanto, este proyecto de investigación al pretender recolectar y analizar datos cualitativos (caracterización experiencial, percepción del usuario, etc.) y cuantitativos (el procesamiento estadístico de encuestas, evaluación de impacto ambiental, etc.) toma un enfoque mixto. Inicialmente, se realizó un análisis documental donde se trató de buscar y recolectar información relacionada con diseño de producto, materiales y sostenibilidad. Así mismo, el análisis tomará una perspectiva correlativa en busca de señalar que variables y factores de la investigación están relacionados y cómo lo están. Ver Figura 55.

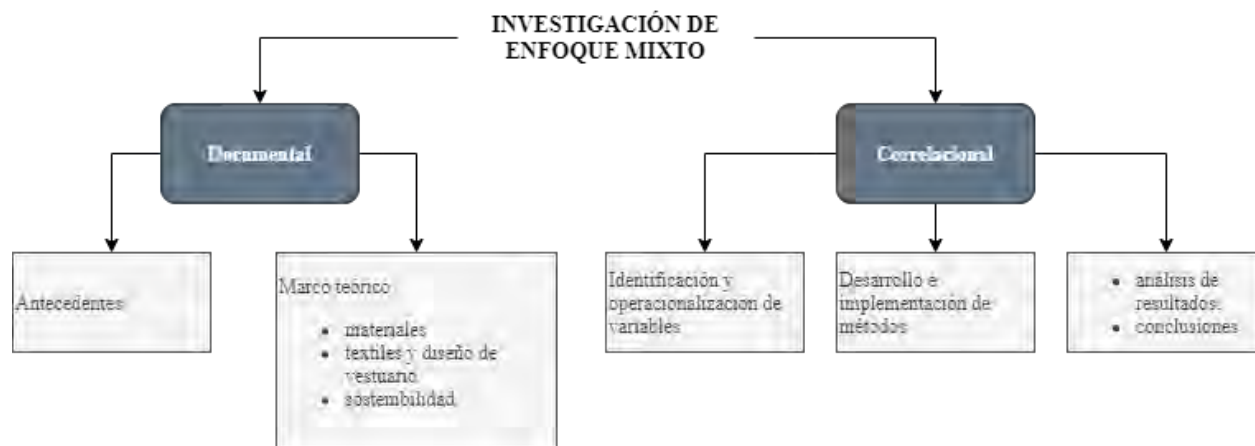


Figura 55. Diagrama resumen de la descripción de la metodología de investigación.

Se realizó una búsqueda de antecedentes y una revisión teórica en bases de datos como ScienceDirect, Springer y Scopus y buscadores como Google Scholar (Figura 56). Se revisaron antecedentes relacionados con diseño de productos, prototipado, plásticos reciclados y sostenibilidad. A partir de esta búsqueda, se pudo encontrar un nicho de oportunidad en el diseño y desarrollo de accesorios y prendas con ayuda de la tecnología (FDM).

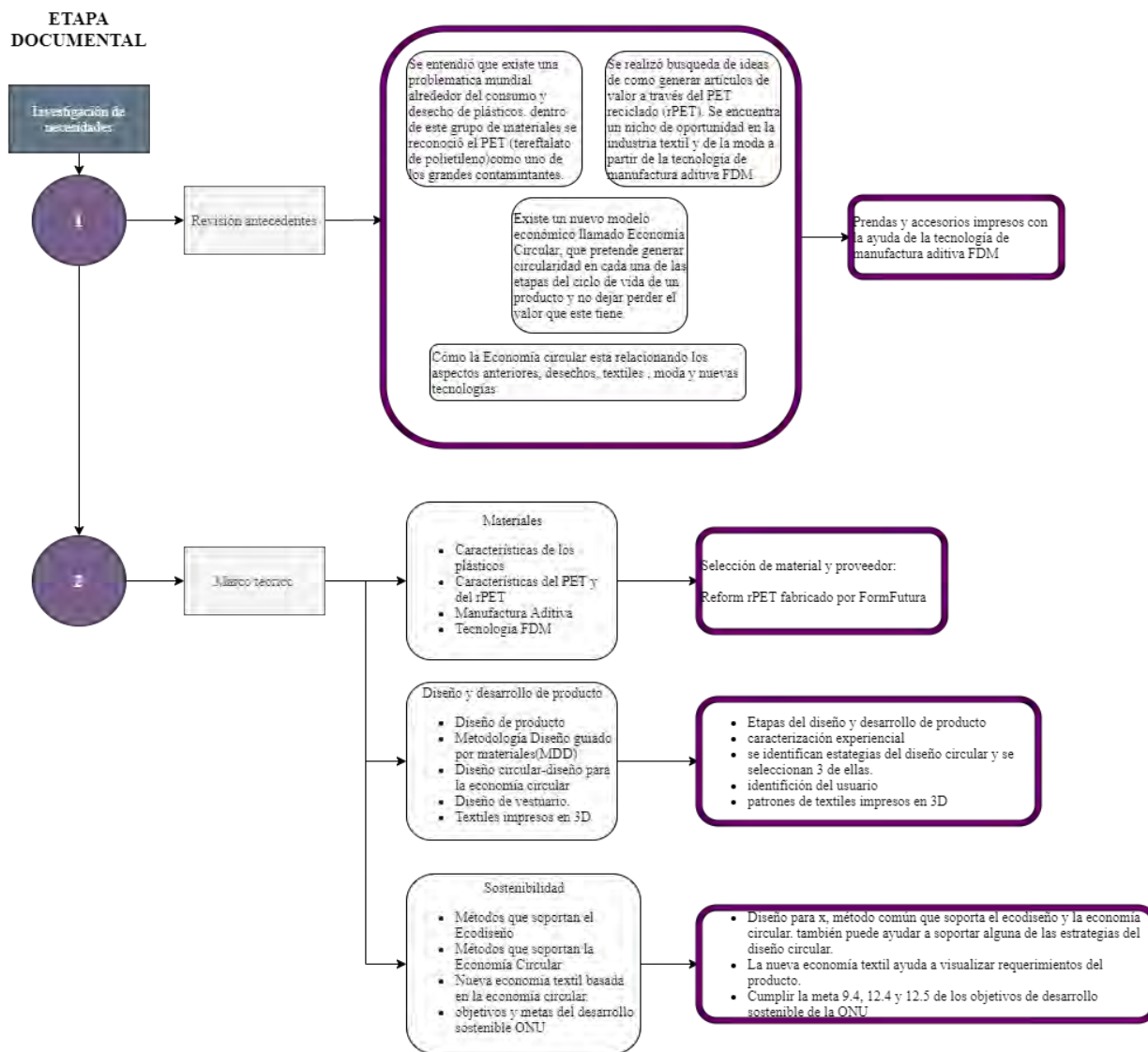


Figura 56. Descripción etapa documental.

Posteriormente, se realiza la conceptualización del producto la cual consta de cuatro fases que se nombran a continuación: selección del textil impreso en 3d, impresión y evaluación de los textiles impresos en 3d, definición del usuario y proceso representativo para el desarrollo actual de prendas de vestir. Para las dos primeras fases se utiliza la primera etapa del MDD propuesto por (Karana et al., 2015) que permite conocer el material a partir de características técnicas y experienciales. Así mismo, las otras dos se basan en diferentes herramientas metodológicas para poder desarrollarse, como se muestra en las Figura 57, Figura 58.

Posteriormente en la Figura 59, se describe la etapa de desarrollo del concepto. Aquí se construye un prototipo del producto y se validan diferentes características.

Finalmente, en la Tabla 3 se muestra la operacionalización de variables. Allí se es más específico, se da la definición del concepto, definición operacional, requerimientos cualitativos y cuantitativos y propuesta conceptual.



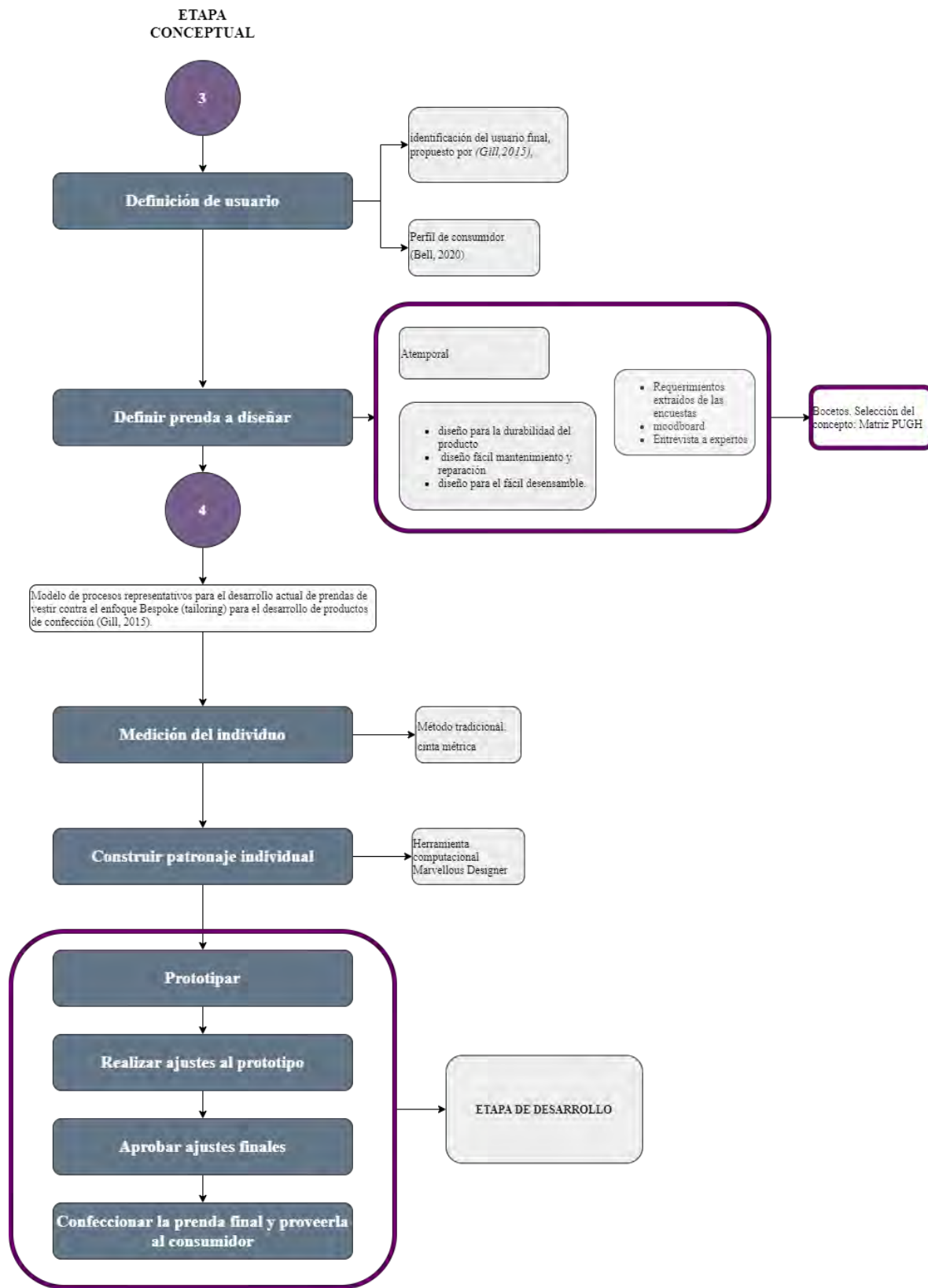


Figura 58. Etapa conceptual, definición de usuario, prenda a diseñar y toma de medidas corporales.

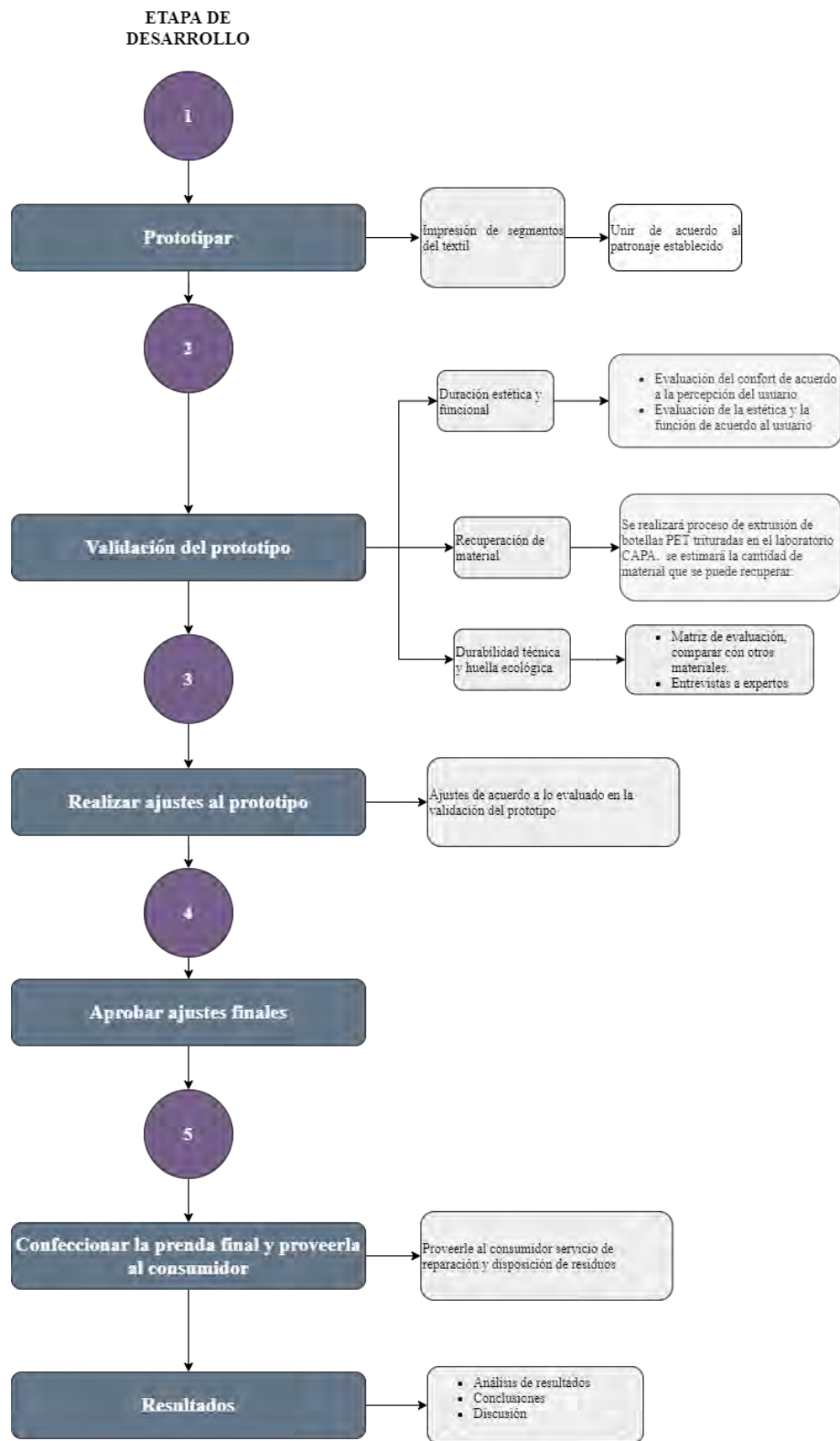


Figura 59. Etapa de desarrollo del concepto.

Tabla 3. Operacionalización de variables.

Variable		Definición conceptual	Definición operacional	Requerimiento cualitativo	Requerimiento cuantitativo
flexibilidad	Geometría del eslabón	Los eslabones son pequeñas piezas con una geometría específica. La unión de dos o más conforman la estructura que define la tela impresa en 3D.	Proceso de validación por medio de escala de Likert. Nivel de satisfacción.  Se encuestarán 5 personas, se evaluarán los patrones de forma aleatoria.	Estos eslabones deben tener geometría pequeña y con aristas poco pronunciadas, preferiblemente curvas.	Sus dimensiones se adaptarán a lo que se encuentre en las diferentes librerías web. Que se adapte al cuerpo.
	material	ReForm™ - rPET. es un filamento de PETG reciclado hecho a partir de desechos postindustriales de un fabricante de botellas ubicado en las cercanías.	Matriz de comparación entre el PET virgen y el ReForm™ - rPET	Se utilizarán colores neutros. En lo posible la impresión no debe tener mucha rugosidad.	Sus características técnicas ya están definidas por el fabricante.
	proceso	FDM. Es un proceso basado en el principio AM, en el cual un filamento plástico alimenta un cabezal de impresión.	Se realizará una inspección visual a cada una de las estructuras impresas y se registrará en una matriz, para observar el comportamiento del material en el proceso de acuerdo a la estructura impresa.	Que la estructura impresa tenga poco material residual, es decir, se esperar una impresión limpia.  Estructura que se adapte mejor al proceso, que no necesite soportes para ser impresas.	----

Continuación tabla 3

<b>Usabilidad</b>	Masa total de la pieza	Cantidad de materia que contiene un cuerpo.	Matriz de comparación de pesos entre las diferentes estructuras impresas. Se multiplicará por el número de piezas impresas necesarias para crear la prenda	----	Masa mínima
	Fácil mantenimiento	Todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida	----	*Que la persona pueda limpiarlo de forma rápida y eficaz.  *Si una de las piezas que conforma la prenda se daña pueda, esta pueda ser reemplazada fácilmente.	*Tiempo mínimo de limpieza  *Tiempo mínimo de impresión de repuestos.
	Ensamble/desensamble	Es unir dos o más partes entre sí para formar un conjunto o subconjunto completo. La unión de las partes se puede lograr con soldadura de arco o de gas, soldadura blanda o dura o con el uso de sujetadores mecánicos o de adhesivos.	Se usarán 10 participantes, se pondrán a unir y luego a separar dos piezas de cada una de los patrones impresos, se encuestará de acuerdo a su percepción cual fue el más fácil de ensamblar.	Más comodidad y menos dificultada le genere al usuario	Nivel de dificultad escala likert

Continuación tabla 3

Estética	Características experienciales	se han definido cuatro niveles de experiencia en materiales como: sensorial (por ejemplo, encontramos materiales fríos, lisos, brillantes, etc.), interpretativo (significados) (por ejemplo, creemos que los materiales son modernos, sexys, acogedores, etc.), afectivo (emociones) (p. ej., los materiales nos hacen sentir asombrados, sorprendidos, aburridos, etc.) y performativo.	Se realizará una encuesta a 5 personas. Se les darán tres textiles impresos y se evaluará por medio de una encuesta en escala Likert los 4 niveles de experiencias.	Se espera conocer la percepción del usuario y las características que le otorgan al material.	Se realizará un análisis estadístico para entender si la encuesta es consistente.
	Percepción del usuario	Conjunto de conceptos y actitudes que construye a partir de sus expectativas y la satisfacción de sus necesidades. Indicador de calidad.	Evaluar comentarios de los encuestados.  Evaluar si cree que el textil se adaptará a la forma anatómica del cuerpo.	Conocer que les gusta y que no les gusta.	----

Continuación tabla 3

Fin de vida	Recuperación en proceso circular	Cuanto material está siendo recuperado y reintegrado a la cadena de suministro.	Se realizará una simulación para tener datos estimados. Esta simulación tendrá lugar en el laboratorio CAPA de la UACJ, se triturarán botellas PET, se pasarán por una extrusora y se medirá cuanto material se obtuvo.	----	Gramos de material que entran a la procesadora y gramos que salen de la extrusora.
	Duración de la prenda de acuerdo a sus propiedades técnicas	Durabilidad física	Matriz de evaluación, con otros materiales q existen. Con personas y expertos		
	Duración de la prenda de acuerdo a sus propiedades estéticas	Durabilidad emocional	Ligado a la percepción del usuario, evaluar resultados de la caracterización experiencial	Que sea concebida como una prenda duradera, que empodere a quien la use.	

## **4. CAPÍTULO 4: ETAPA CONCEPTUAL**

Esta etapa está compuesta por cuatro fases. Las primeras dos fases se realizaron con ayuda de la primera etapa del diseño guiado por materiales (MDD) propuesto por (Karana et al., 2015). Su objetivo fue conocer el material, desde características técnicas como características 216 experienciales

### **4.1. Conocer el material**

#### **4.1.1. Fase 1: selección del textil impreso en 3D**

Se realizó revisión de la estructura del textil impreso en 3D en diferentes motores de búsqueda y librerías web que contienen gran variedad de modelos 3D. De acuerdo a (Lussenburg et al., 2014), en su investigación sólo una estructura fue descrita por los participantes como textil. Ésta fue una estructura fina de múltiples ensambles que los encuestados describieron como suave y drapeada. Por lo tanto, siguiendo los resultados de esta investigación, se seleccionan los patrones que cumplen con dichos requerimientos. En la Figura 60 se muestra un diagrama el cual describe el paso a paso de esta búsqueda.

#### **4.1.2. Fase 2: impresión y evaluación de los textiles impresos en 3D**

##### **4.1.2.1. Selección del material de impresión:**

Después de revisar el diferentes proveedores de filamento rPET, se logró adquirir el filamento Reform rPET (Formfutura, 2020). El carrete cuenta con más o menos 327m de filamento equivalentes a 1kg. A partir de la ficha técnica (Figura 61, Figura 62, Figura 63) entregada por el fabricante se establecieron los parámetros de impresión tales como: temperatura de impresión, temperatura de cama y velocidad del ventilador.

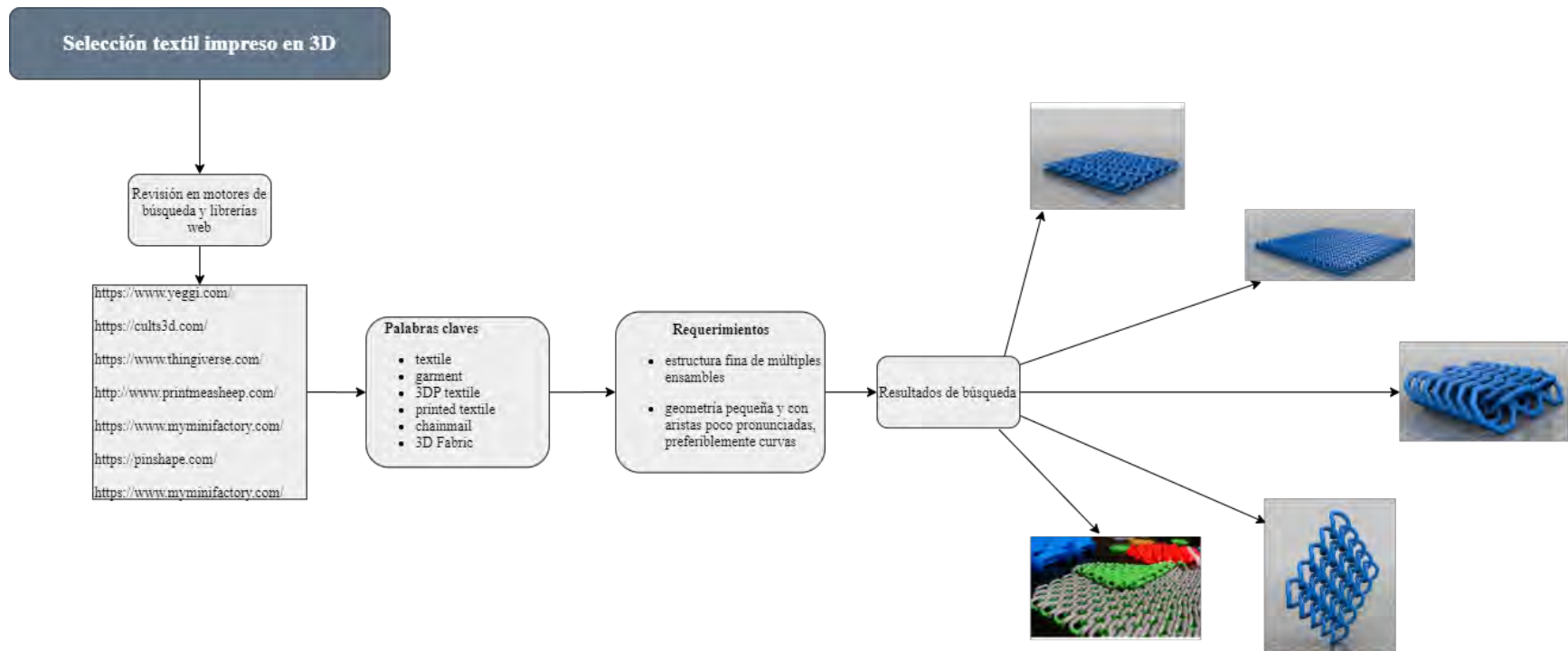


Figura 60. Proceso de búsqueda y selección modelo del textil impreso en 3D.

Properties	Typical value	Test Method	Test condition
<b>Physical</b>			
Specific gravity	1.27 g/cc	ASTM D792	-
Melt flow rate	-	-	-
Water absorption	-	-	-
Moisture absorption	0.13%	ASTM D570	-
<b>Mechanical</b>			
Impact strength	7.2 KJ/m <sup>2</sup>	ASTM D256	Izod Notched @23° C (73° F)
Tensile strength	50Mpa	ASTM D638	@Yield 50mm/min (2 inch/min)
Tensile modulus	1940 Mpa	ISO 527	1mm/min
Elongation at break	120%	ASTM D638	50mm/min (2 inch/min)
Flexural strength	70.6 Mpa	ASTM D790	1.27mm/min (0.05 inch/min)
Flexural modulus	2147.6 Mpa	ASTM D790	1.27mm/min (0.05 inch/min)
Hardness	105	ASTM D785	Rockwell R-scale
<b>Thermal</b>			
Print temperature	± 195 - 225° C	-	-
Melting temperature	-	-	-
Viscat softening temp.	± 70° C	ASTM D648	@ 0.455 Mpa (66psi)
<b>Optical</b>			
Haze	<1.0%	ASTM D1003	-
Transmittance	90%	ASTM D1003	-
Gloss	-	-	-

Figura 61. Propiedades físicas, mecánicas, térmicas y ópticas de ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020).

Product details, certifications and compliance		Diameter	Tolerance	Roundness
HS Code	39169090	1.75mm	± 0.05mm	≥ 95%
REACH compliant	Yes	2.85mm	± 0.10mm	≥ 95%
RoHS certified	Yes			
FDA compliant	Yes			

Figura 62. Información adicional de ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020).

Nozzle size: ≥ 0.15mm	Layer height: ≥ 0.1mm	Flow rate: ± 110%
Print temp: ± 200 - 240° C	Print speed: High	Retraction: Yes ± 6mm
Heat bed: ± 65 - 75° C	Fan speed: 0-30%	Experience level: Beginner

Figura 63. Directrices generales de impresión para el filamento ReForm™ - rPET (Formfutura, 2020).

#### 4.1.2.2. Características técnicas del material:

En la Tabla 4, se observa la comparación entre el ReForm-rPET, PET y tereftalato de polietileno glicol (PETG) permitiendo conocer si las características técnicas de este filamento compuesto por material reciclado tienen características similares a la de los otros dos materiales que no contienen material reciclado. Se observa que algunos de los valores que más difieren son los del módulo de Young, siendo más alto para el PET. También, la elongación a la rotura es mucho más alta para el ReForm™ - rPET. Se aprecia que el ReForm™ - rPET tiene propiedades similares al del PETG.

Tabla 4. Comparación de algunas propiedades del ReForm™ - rPET vs PET

Propiedad	ReForm™ - rPET	PET	PETG
Densidad	$1.27e^3 \frac{kg}{m^3}$	$1.37e^3 \frac{kg}{m^3} - 1.4e^3 \frac{kg}{m^3}$	$1.26e^3 \frac{kg}{m^3} - 1.28e^3 \frac{kg}{m^3}$
Resistencia a la tensión	50Mpa	70MPa - 75MPa	60MPa – 66MPa
Módulo de young	1.99 GPa	2.76GPa - 3.1GPa	2.01GPa – 2.11 GPa
Elongación a la rotura	120% a tensión	65% – 75% a tensión	102% – 118 % a tensión
Esfuerzo flector (módulo de rotura)	70.6 MPa	70MPa – 75MPa	67MPa– 73.8MPa
Módulo flector	2.15 GPa	2.99 GPa – 3.09GPa	2.01GPa – 2.11GPa
Dureza	105 rockwell R	120 – 125 rockwell R	101 – 111 rockwell R

### 4.1.2.3. Caracterización del proceso de impresión:

Se usó el software de impresión 3D UltimakerCura (Ultimaker, 2020) para preparar el archivo STL. En este software se modifican los parámetros de impresión y posteriormente se transforma el archivo STL a código G. Los parámetros de impresión que se modificaron se muestran en la Figura 64. Así mismo, esta herramienta computacional proveyó información como el tiempo de fabricación y cantidad de material utilizado. Después, estos parámetros se organizaron en tablas para cada uno de los 5 textiles seleccionados (Figura 65). Una vez se ajustan los parámetros de impresión, se realiza la impresión de los modelos de textiles haciendo uso de una impresora 3d, en este caso la impresora es marca Creality modelo Ender 3 de tecnología FDM (Figura 66). Además, se observa el comportamiento del material durante la impresión y posterior a ella para determinar si se debían ajustar los parámetros de impresión.

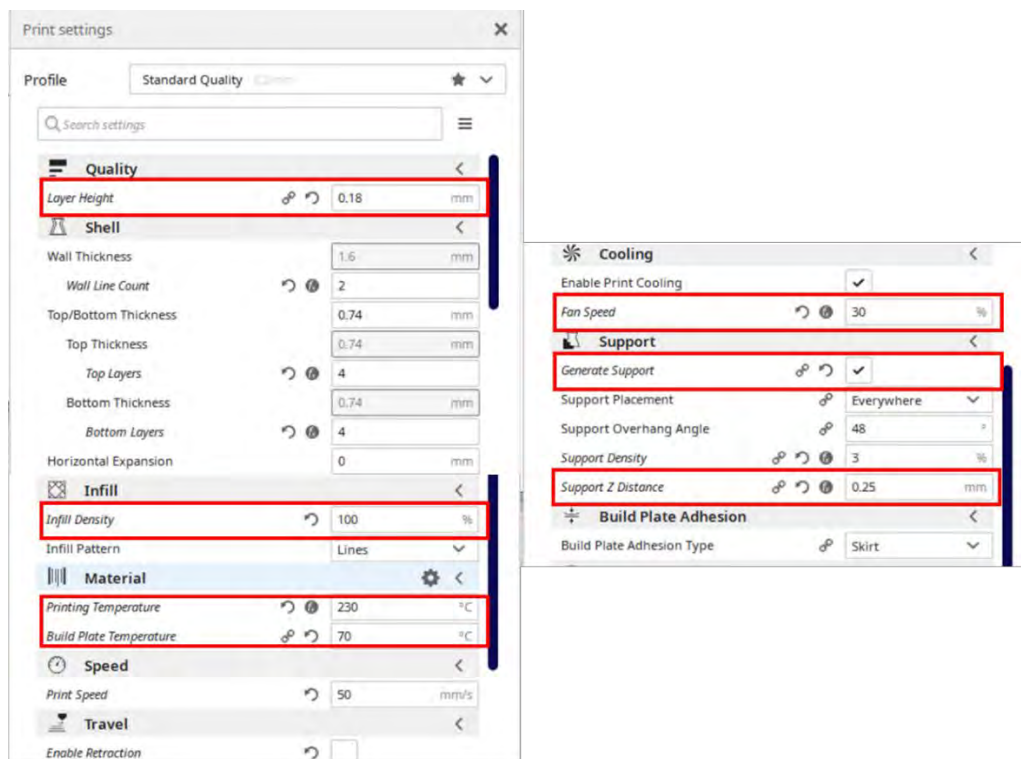


Figura 64. Parámetros de impresión solicitados por el software UltimakerCura

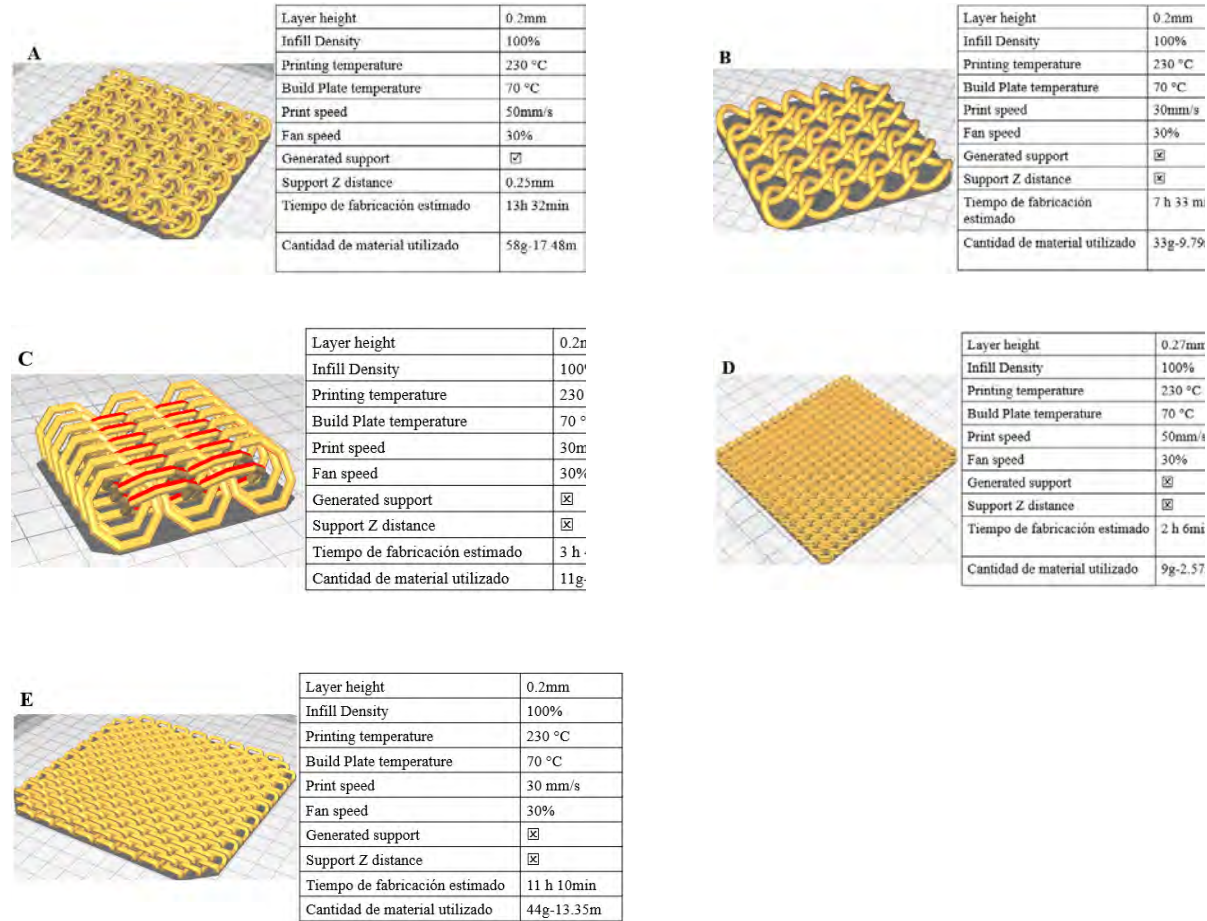


Figura 65. Patrones seleccionados con sus respectivos parámetros de impresión. A) Circle maile tomado de <https://www.thingiverse.com/thing:17895>, B) Chainmail tomado de <https://www.thingiverse.com/thing:42850>, C) Chainmail. Tomada de <https://www.thingiverse.com/thing:27653>, D) Chainmail coaster. Tomado de <https://www.thingiverse.com/thing:91831>, E) Chainmail. Tomado de <https://www.thingiverse.com/thing:2990070>.

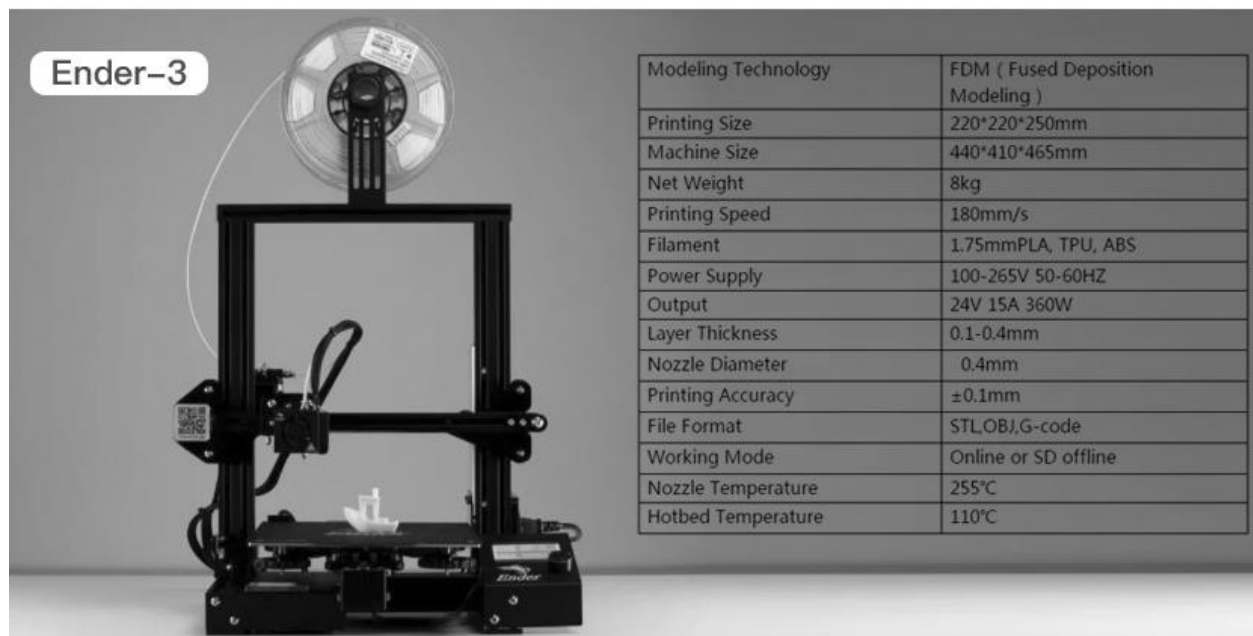


Figura 66. Características físicas y de trabajo de la impresora 3D ender 3 (Creality, 2020).

A continuación, se muestran las impresiones obtenidas. Como se puede observar en la Figura 67 A, se imprimió con soportes lo que generó una estructura rígida. Su post proceso fue difícil, no se pudieron quitar los soportes en su totalidad.

De forma similar, la estructura de la Figura 67 B, tiene formas curvas. Sin embargo, fue posible imprimirla sin necesidad de soportes, esto hizo más fácil poder despegarla y post procesarla.

En la Figura 67 C, se observa que la impresión obtenida es más limpia, se trata de octógonos y la estructura no cuenta con curvas pronunciadas, tiende a ser plana y recta. Tampoco fue necesario el uso de soportes para su impresión.

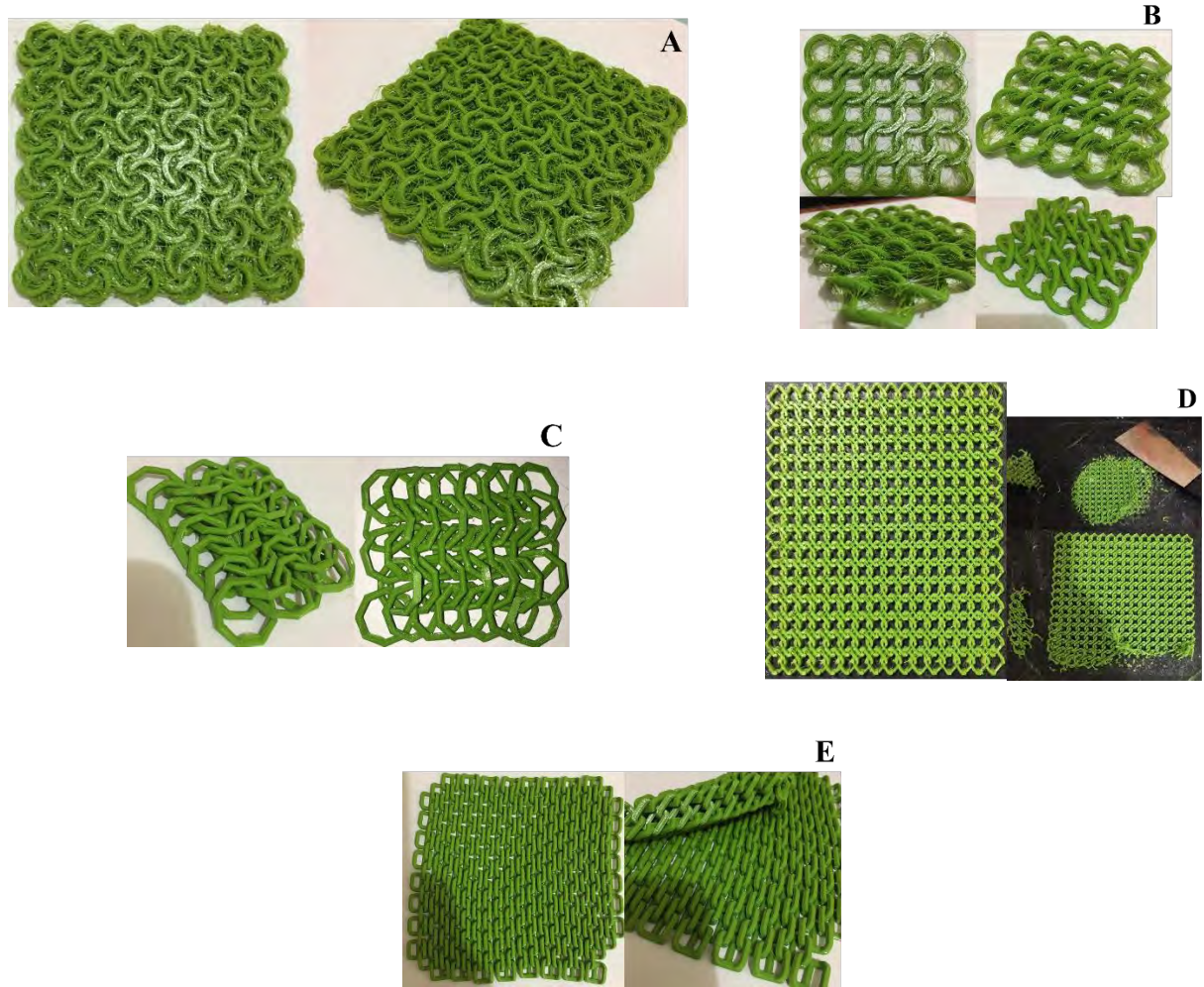


Figura 67. Impresiones correspondientes a los textiles seleccionados y mostrados en la Figura 65

La impresión que se observa en la Figura 67 D, es una estructura fina que se acercaba a lo deseado. Sin embargo, al ser tan pequeña y delgada fue difícil retirarla de la cama, tuvo mucha adherencia.

La impresión que se observa en la Figura 67 E, es una estructura con aristas curvas, pero de geometría recta. No necesitó de soportes para ser impresa y como se observa salió completamente limpia sin material residual.

#### **4.1.3. Evaluación del textil:**

Se evaluaron los textiles de las Figura 67 B, C, E. De ahora en adelante se llamarán textil 1, textil 2 y textil 3 respectivamente. Se aplicaron dos encuestas, una donde se evalúan aspectos geométricos, de tamaño y función. La otra encuesta, evalúa características experienciales. Las encuestas se adaptaron a Google forms, fueron aplicadas a 10 personas (Lussenburg et al., 2014) (6 hombres, 4 mujeres) con un promedio de edad entre 19 y 55 años, su oficio varía entre diseñador y estudiante de maestría y doctorado.

- **Encuesta 1:** a partir de la encuesta de la Figura 68, se evaluó la percepción del usuario sobre la geometría, tamaño y calibre del eslabón (piezas que conforman el textil impreso). Así mismo, se preguntó sobre la flexibilidad del material (es decir, si caía libremente), si este se ajustaba a la forma anatómica del cuerpo. Finalmente, se les pidió ensamblar dos secciones de textil y calificar el nivel de dificultad de la tarea.
- **Encuesta 2:** la caracterización experiencial del material se basó en la metodología de MDD, se utilizó la herramienta propuesta por (Camera & Karana, 2018) que se presenta de forma gráfica en la Figura 69. Así mismo, se evaluaron las reacciones, comentarios resultado de la interacción de los participantes con las diferentes textiles como lo sugiere (Lussenburg et al., 2014) en su estudio.

¿Qué tanto le agrada la geometría del eslabón?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 Poco       Mucho

¿Le parece adecuado el calibre (grosor) del eslabón?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 Poco       Mucho

¿Qué tanto le agrada el tamaño del eslabón?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 Poco       Mucho

¿Cómo percibió la tarea de ensamblar dos secciones del textil impreso?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 Fácil       Difícil

¿Cree que el textil es flexible (es decir, que cae libremente, se dobla) de acuerdo a los eslabones que lo conforman?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 Poco       Mucho

¿Cree que el textil impreso se ajusta a la forma anatómica del cuerpo?

Marca solo un óvalo.

0 1 2 3 4 5  
 no       sí

Figura 68. Encuesta de forma y función. Provista por el autor.

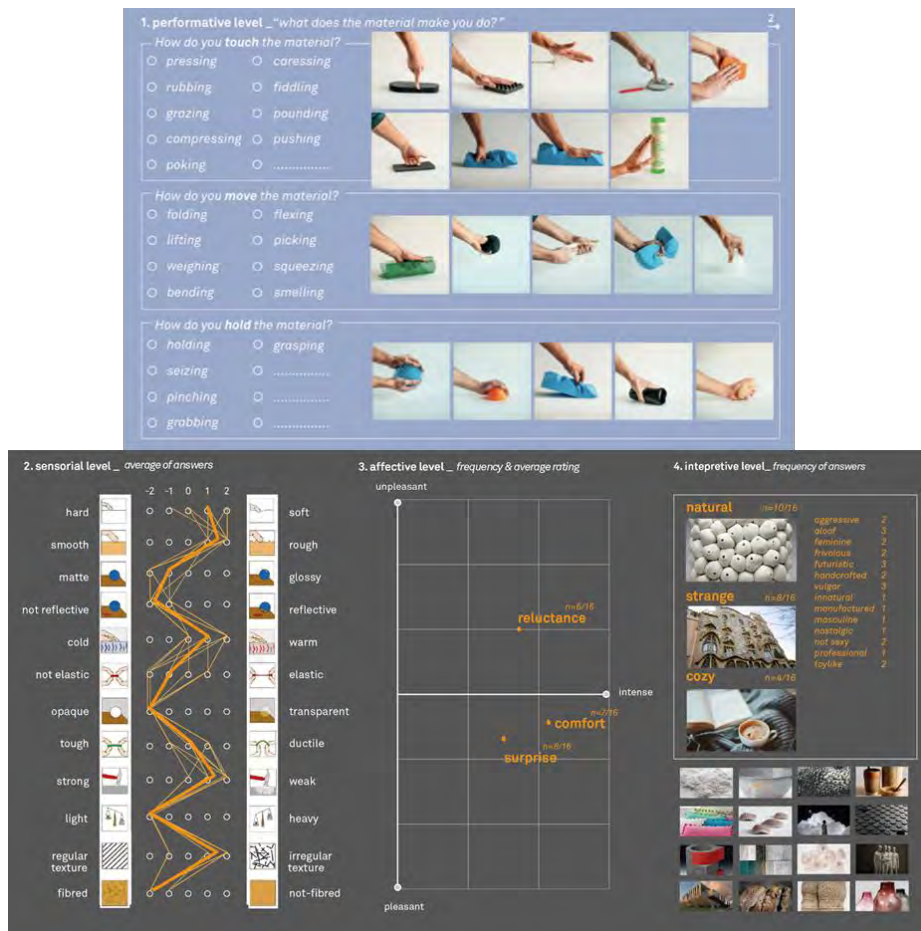


Figura 69. Encuesta caracterización experiencial

En cuanto a la caracterización experiencial. Primero se mostrará las características sensoriales, se observa las respuestas que tuvieron mayor porcentaje de selección para cada textil en la Figura 70. Se observa que todos son calificados como materiales duros, más o menos rugosos, fáciles de doblar, no reflectivos. El textil 3 fue calificado como el más resistente y ligero, Sin embargo, los textiles 2 y 3 fueron calificados como opacos y cálidos.

En la Figura 71, se muestran los resultados con mayor frecuencia de selección de la dimensión performativa. Tuvieron en común comportamientos de interacción con el material tales como: frotarlo con la palma de la mano, doblarlo, pinzarlo y agarrarlo usando el dedo pulgar. Por su parte, el textil 3 tuvo un 80 % de elección en la acción doblar, lo que puede significar que la forma del material le permitía realizar dicha acción al encuestado. Cada una de estas elecciones, puede hacer referencia a la intención del material, por su textura, forma y movimiento. El pinzamiento puede referirse a que el material tiene caída cuando se efectúa esta acción.

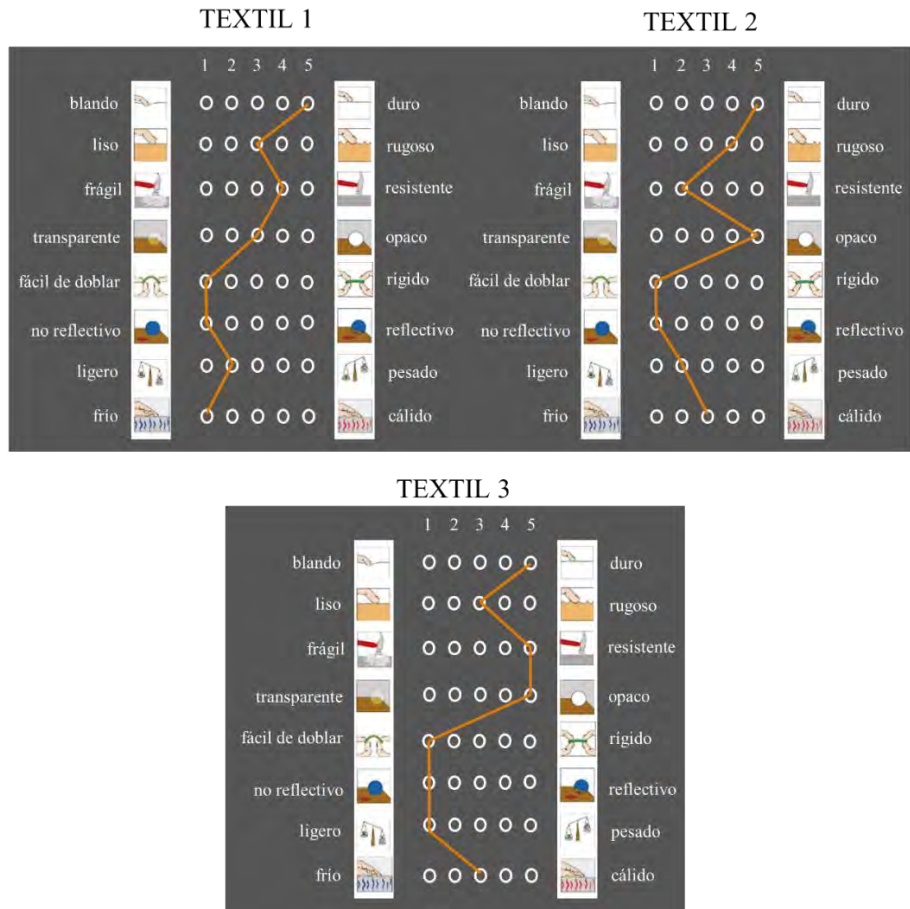


Figura 70.. Respuesta de la caracterización experiencial en el nivel sensorial.

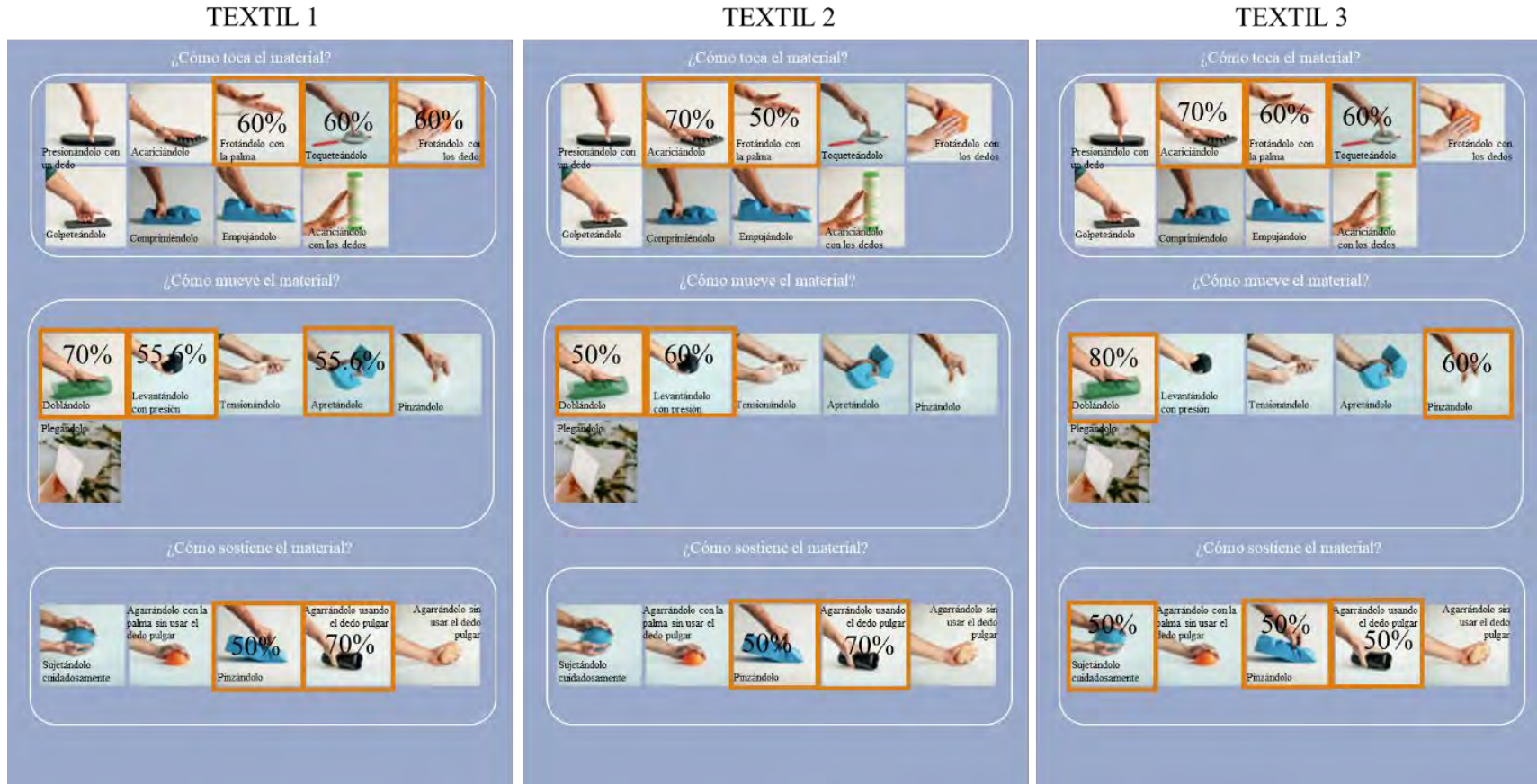


Figura 71. Resultados nivel performativo.

En la Figura 72, observamos las respuestas del nivel afectivo en un mapa donde se ubican de acuerdo a si son características desagradables o agradables mostrando su frecuencia y puntuación media. En este mapa se puede ver que la calificación de características como frustración o aburrimiento fue de baja intensidad, lo que es positivo puesto que no es un sentimiento que el material le produzca al usuario. Características como diversión, fascinación, curiosidad y atraído por el material se reflejan de forma similar tanto para el textil 1 como para el textil 2, teniendo una intensidad media alta. Sin embargo, para el textil 3 se observa que tuvieron una intensidad muy alta, incluso diversión y atraído por el material tuvieron una frecuencia de 10/10.

En la Figura 73 se exponen los resultados del nivel interpretativo, allí cada encuestado eligió 3 significados con los que asociaba el material. Por lo tanto, se tomarán en cuenta los 3 con mayor frecuencia. Los textiles 1 y 2 fueron interpretados con los mismos tres significados: futurista, manufacturado y como un juguete. Por otra parte, el textil 3 fue interpretado como elegante, futurista y vanguardista.

Por último, se les realizaron algunas preguntas a los participantes sobre la cualidad más agradable, más perturbadora, más única y observaciones generales que tuvieran sobre el textil. Esto permitió realizar una lista de requerimientos que se presenta en la Tabla 5.

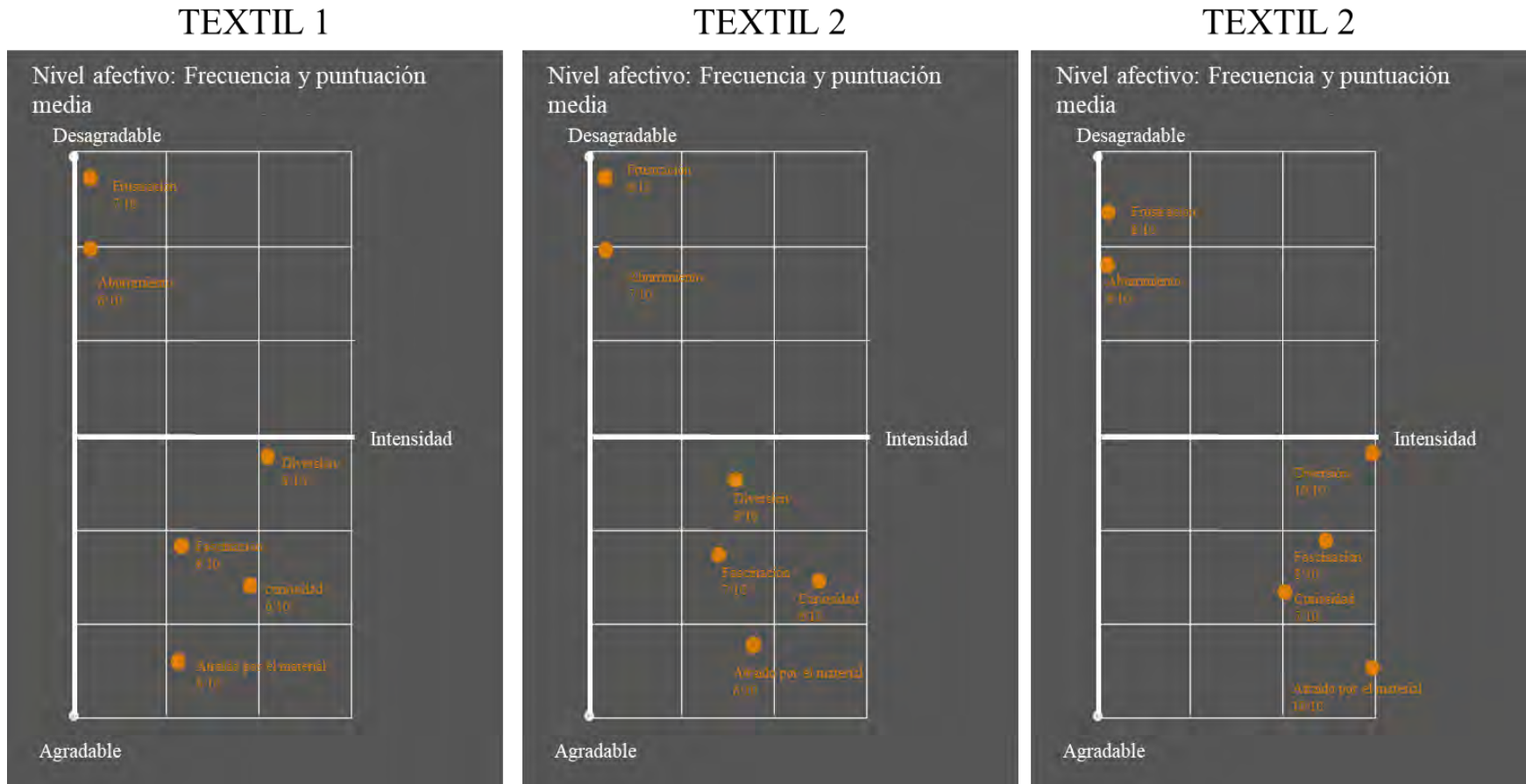


Figura 72. Resultados nivel afectivo, frecuencia y puntuación media para la evaluación de los tres textiles impresos

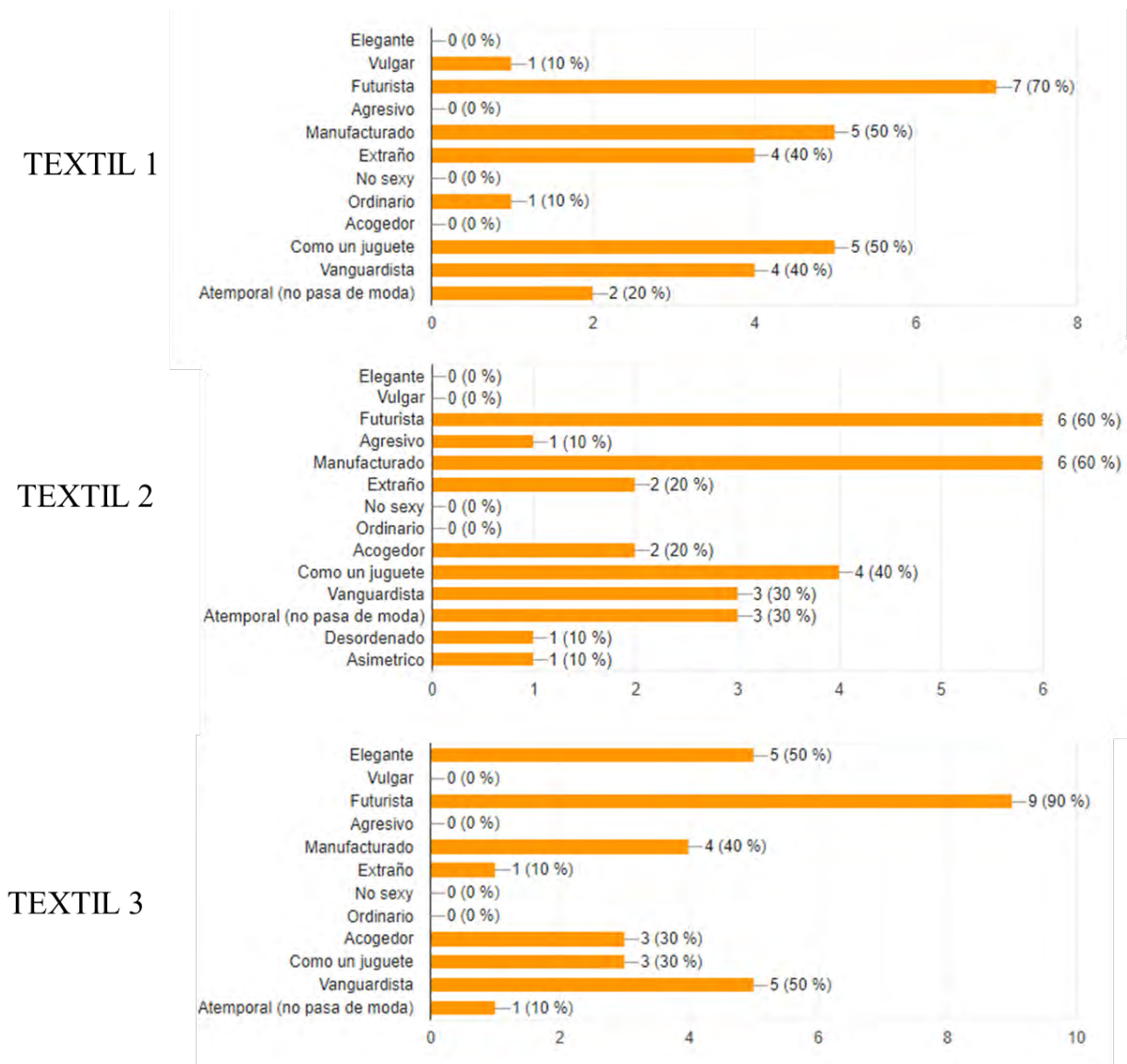


Figura 73. Resultados nivel interpretativo.

En la Figura 74; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan los resultados de la encuesta donde se evaluó la percepción del usuario sobre aspectos geométricos y de función del material, allí se presentan las respuestas con mayor frecuencia de elección. En general la aceptación para los textiles 1 y 2 fue buena. Por su parte, el textil 3 en todas las preguntas obtuvo puntuación y frecuencia de elección muy alta percibido como flexible, permite ser drapeada y que se ajusta muy bien a la forma anatómica del cuerpo. La dificultad de la tarea de ensamble para este textil, fue promedio en comparación a los textiles 1 y 2. Una vez se

terminó de realizar las encuestas los participantes manifestaron sus comentarios y sugerencias, dándole mayor preferencia al textil 3. También, sugirieron mejorar el eslabón de ensamble del textil 3 para hacer la tarea más sencilla y evitar quiebre de la pieza. Sugirieron utilizar tamaños más pequeños de boquilla de impresión para observar si la calidad superficial mejoraba. Así mismo, sugirieron variar el tamaño del eslabón e intentar imprimirlo de menor tamaño. En cuanto a sugerencias de prendas, sugirieron ponchos, bufandas, faldas o chalecos.

Entonces, la preferencia que tuvo el textil 3 y su buena calificación en la encuesta anterior de aspectos geométricos y funcionales se refleja en las experiencias y comportamientos que evoca e induce a realizar al participante propias de un textil. En conclusión, el textil 3 se adapta a los requerimientos establecidos por los usuarios en la Tabla 5.

*Tabla 5. Requerimientos del textil.*

Requerimientos del textil	
Movimiento y ligereza	Buen acabado superficial
Tamaño del eslabón: pequeño	Menor espacio entre eslabones
Que retome la forma fácilmente	Simetría
Adaptación a diferentes formas	Flexibilidad
Formación de pliegues	Ensamble funcional

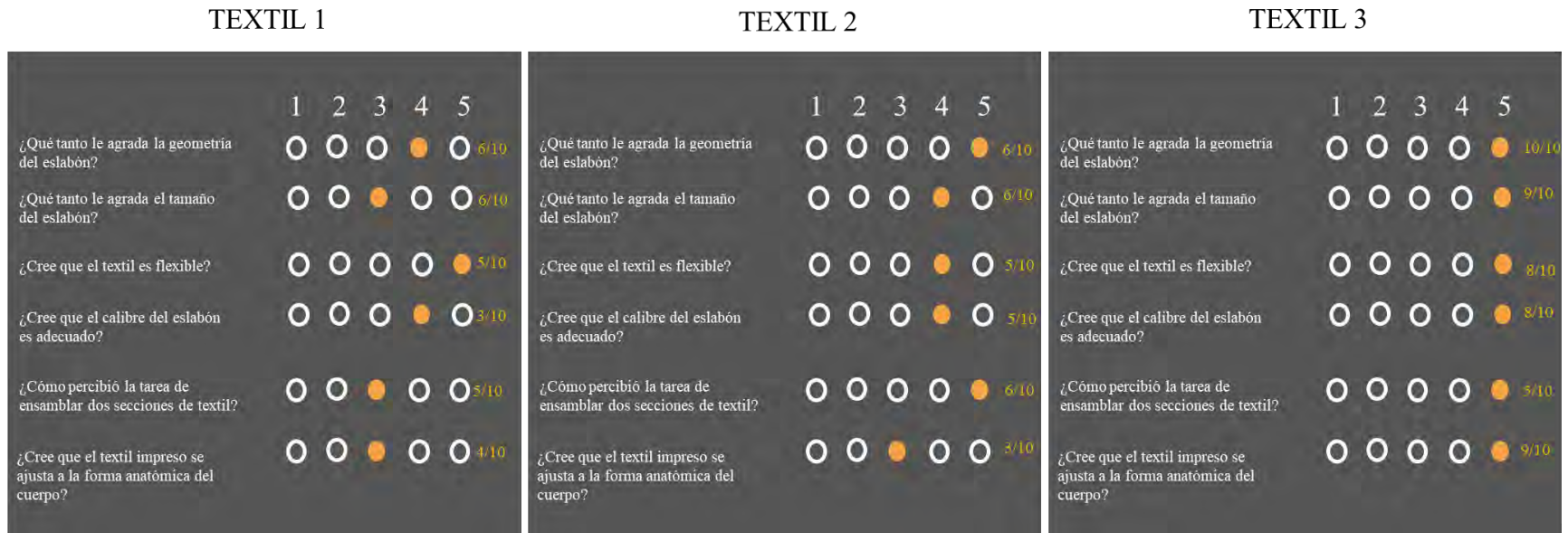


Figura 74. Respuestas con mayor frecuencia de elección para encuesta de evaluación de geometría y función.

## 4.2.Fase 3

### 4.2.1. Definición de usuario

Siguiendo con la etapa conceptual, se procede a identificar al usuario final a partir de lo sugerido por (Gill, 2015). El primer paso es definir las características que debe tener el usuario. A continuación, se presentan dichas características.

- Se preocupa por el medio ambiente
- Busca ropa personalizada
- No le importa el costo del producto
- Busca prendas atemporales

Así mismo, se deben tener en cuenta algunos requerimientos como la demanda del cuerpo, demanda de la actividad, que el producto sea adecuado para el propósito y finalmente consideraciones estéticas y funcionales. Para la prenda de vestir confeccionada con el textil impreso en 3D se identificaron los siguientes requerimientos.

- Demanda del cuerpo: la prenda no debe restringir el movimiento
- Demandas de la actividad: uso cotidiano
- Adecuada para el propósito: la prenda se diseña con el fin que sea amigable con el medio ambiente y se pueda usar cómodamente.
- Consideraciones estéticas y funcionales: aquí se debe tener en cuenta el color (que este sea neutro), estilo (atemporal) y atractivo a la moda (3d fashion printed)

Las características de usuario anteriormente identificadas se pueden contrastar con algunos perfiles de consumidores ya definidos. Por ejemplo, los comunitarios propuestos por (Bell, 2020), son consumidores que buscan asentarse en su comunidad por lo que buscan apostarle al localismo. Así mismo, buscan productos sostenibles y que se hayan fabricado con material recuperado. Este segmento de usuario está conformado en su mayoría por Millennials y Generación X. así mismo, la propuesta puede converger con el sentimiento de Eco ansiedad definido por (Bell, 2020) como “Aumenta un sentimiento de preocupación crónica ante las consecuencias del calentamiento global –y no se trata de algo exclusivo de Occidente. En una

encuesta sobre el clima realizada por WGSN en 2019, el 90% de los consultados afirmó que la crisis climática le genera inseguridad respecto a su futuro” (p.5)

#### **4.2.2. Definir prenda a diseñar**

Se realiza un mooboard (Figura 75) en Pinterest para entender el concepto de atemporalidad e identificar prendas que se pudieran ajustar al textil.

Se realiza entrevista a 2 expertos, Nicté García licenciada en diseño de modas y alta costura, Naby Zarina licenciada en Diseño de moda y patronaje industrial, dichas entrevistas se encuentran en anexos. Ambas expertas en corte, confección, moda y tendencias concuerdan en que las prendas atemporales son prendas casuales, que se usan durante todo el año y no importa el momento histórico en el que se encuentren siguen vigentes, también, se les puede dar cualquier tipo de uso, transformar, dar muchos ciclos de vida. Así mismo, concuerdan que puede ir dirigido a una población joven entre 20 y 40 años, que esté dispuesta a invertir en el costo del producto. Algunos ejemplos que dan son camisetas de color liso, chalecos, ponchos, abrigo, falda lápiz, tops holgados, capas etc.

Lo anterior se contrasta con el mood board de la Figura 75 y se realizan algunos bocetos de propuestas de prendas que se pudieran ajustar a los requerimientos del diseño circular y diseño del textil 3. Estas propuestas se contrastan en una matriz PUGH para así seleccionar la mejor propuesta.

De acuerdo a la matriz PUGH de la Tabla 6, el concepto que tuvo mayor puntuación fue el B. así mismo, este concepto concuerda con los ejemplos brindados por las expertas. Por lo tanto, la prenda que se Confeccionará será una capa

19 Pines

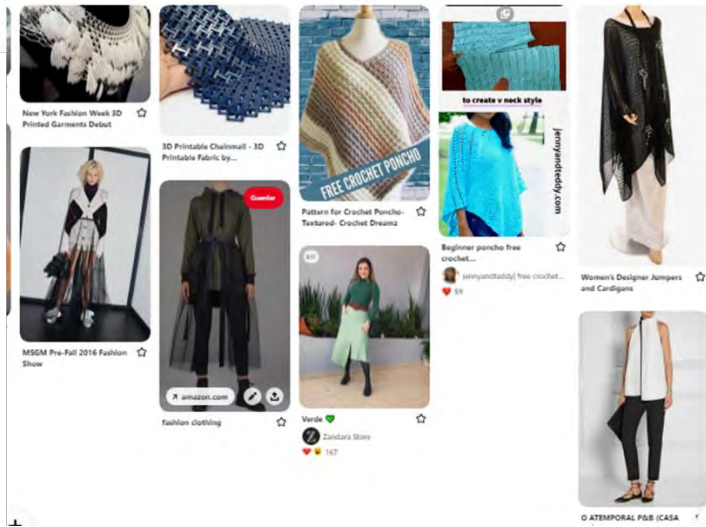
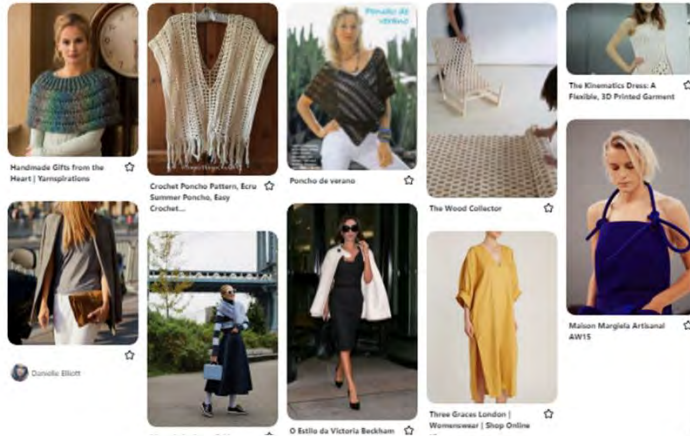






Figura 75. Modo board prendas atemporales.

Tabla 6. Matriz de PUGH, comparación respecto al moodboard

Requerimientos de la prenda	Conceptos			
	A	B	C	D
				
Atemporal	0	0	0	0
Fácil ensamble	+1	+1	+1	+1
Fácil reparación	+1	+1	+1	+1
Estéticamente más atractivos	0	+1	0	0
total	2	3	2	2

### 4.3. Fase 4

Esta fase se realiza con ayuda de los modelos representativos actuales para el desarrollo actual de prendas de vestir contra el enfoque bespoke (tailoring) para el desarrollo de productos de confección Figura 37. Modelo de procesos representativos para el desarrollo actual de prendas de vestir contra los tres enfoques principales para el desarrollo de productos de confección. (Gill, 2015). (Gill, 2015)

#### 4.3.1. Medición del individuo

Para el diseño del patronaje y posterior construcción del patronaje se utiliza un maniquí con las medidas que se muestran en la Tabla 7. Estas medidas se tomaron con una cinta métrica de forma manual

*Tabla 7. Medidas maniquí*

Parte del cuerpo	Medida cm
Espalda	38
Largo	59
Busto	88
Cintura	70
Cadera	91
Brazo	30

#### 4.3.2. Creación patronaje y prenda modelada en 3D.

Con las medidas anteriormente especificadas, se procede a crear el patronaje y posterior modelado de la prenda en la herramienta Marvelous designer. Se realizaron dos modelos un



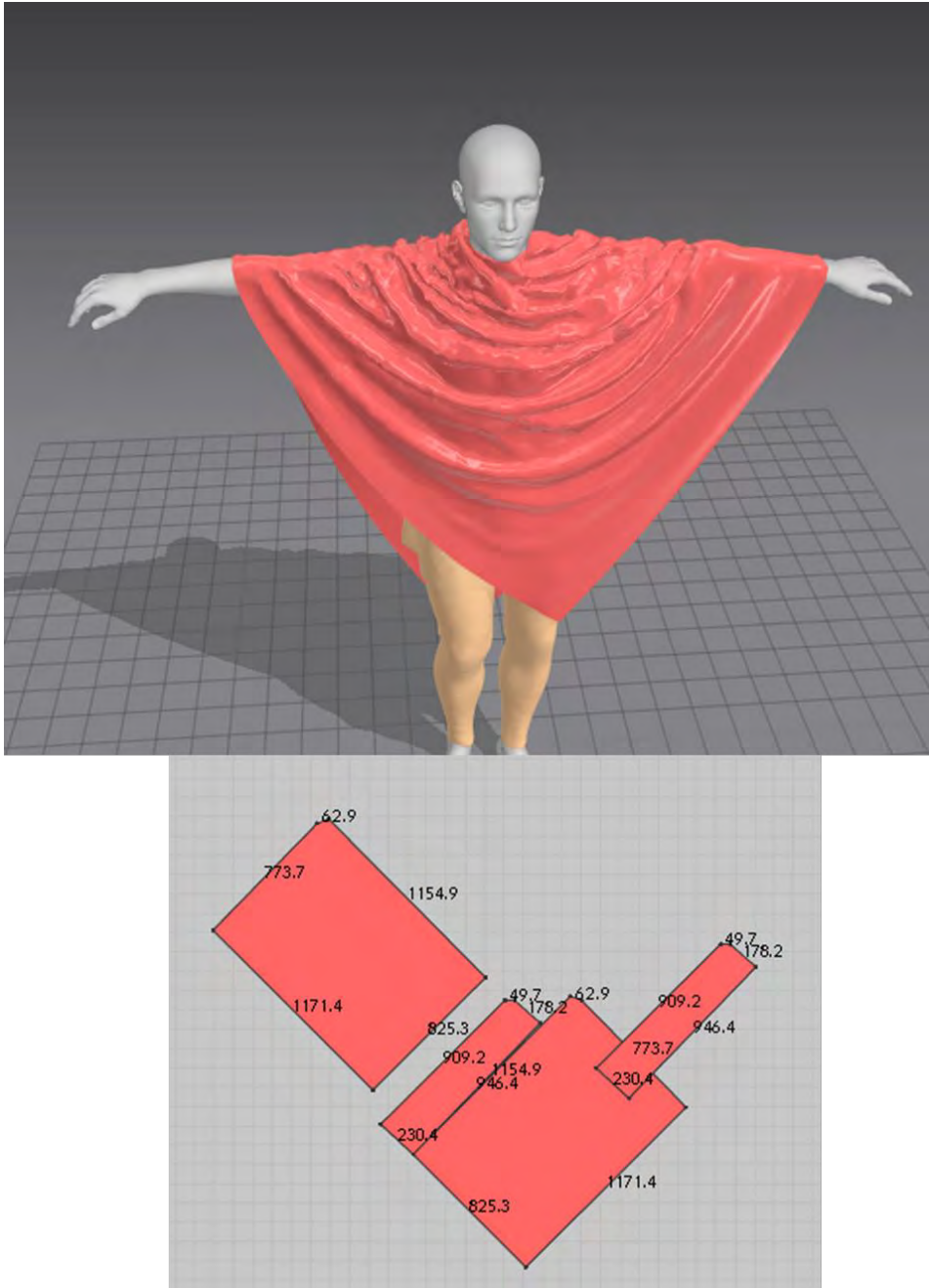


Figura 77. Modelado 3d y patronaje poncho.

## 5. Desarrollo

### 5.1. Impresión del textil para generación de prenda

Se decidió desarrollar una capa, puesto que fue la prenda con mejor puntuación en la matriz PUGHS. Para esta prenda se imprimieron 22 segmentos de 12\*12 cm y uno de 19\*19 cm correspondientes a 1087g. También, se imprimieron 59 conectores que corresponden a 16g, la impresión tardó aproximadamente 275h30min, adicional a esto 24 horas de ensamble. En la Figura 78 se muestra la representación de la prenda diseñada en marvelous designer y en la Figura 79 se muestra el prototipo físico.

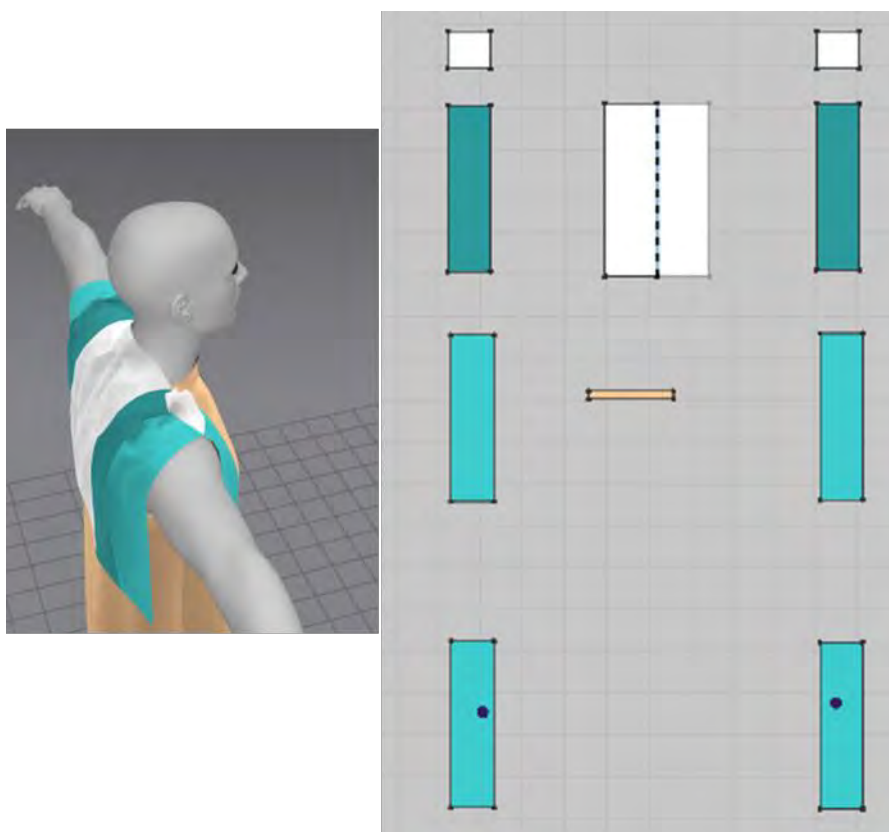


Figura 78. Representación de la capa confeccionada en marvelous designer.



*Figura 79 prototipo*

## 5.2. Validación del prototipo

### 5.2.1. Duración estética y funcional

Se evaluó a la experta Nicté García, para conocer dos aspectos importantes: 1 confort de acuerdo a la percepción del usuario, 2 evaluación de la estética y la función de acuerdo al usuario. El confort va enfocado hacia la característica principal de un textil que es la flexibilidad, esta es la capacidad que tiene el textil de caer libremente sobre el cuerpo y ajustarse a su forma anatómica. Por su parte, se observa la aceptación por parte del usuario hacia el prototipo y se verá que la prenda sea funcional, es decir, que no se desarme. Se le pide que camine 50 m mientras usa la prenda y mueva sus brazos repetidamente (Kim et al., 2019). Posteriormente se le aplica la encuesta de la Figura 80.

¿Se siente cómodo al usar la prenda?	Muy poco	0 1 2 3 4 5	Muy bien
¿Siente que la prenda se ajusta a la forma anatómica del cuerpo?	Muy poco	0 1 2 3 4 5	Mucho
¿le parece estéticamente atractiva?	Muy poco	0 1 2 3 4 5	Muy atractiva
¿Cree que la prenda se pueda adaptar al uso diario?	Muy poco	0 1 2 3 4 5	Mucho
¿Cómo se sintió cuando movió los brazos?	Muy incómodo	0 1 2 3 4 5	Muy cómodo
¿Cómo se sintió cuando caminó con ella puesta?	Muy incómodo	0 1 2 3 4 5	Muy cómodo

Figura 80. Encuesta de duración estética y funcional del prototipo

Adicionalmente, Nicté realiza los siguientes comentarios:

- No hay ninguna prenda con la finalidad de no limitar el movimiento, todas las prendas la limitan. Este se asemeja a una chamarra o un abrigo.
- Le gusta que no se mueva, el material se adhiere a la prenda interior gracias a su rugosidad.
- Cree que es llamativo el diseño

### 5.2.2. Recuperación del material

En busca de responder a la pregunta “¿cuántas botellas PET o gramos de PET se reciclan o se reintegran a la cadena de valor? se realizó una simulación, que buscó conocer cuántos gramos de filamento se podían obtener a partir de 4 botellas de 2.5 L y así extrapolar estos valores a los gramos que se gastan en la impresión del textil, para identificar cuánto material se están reintegrando a la cadena de valor. Para esto se hace uso de las maquinas dispuestas en el laboratorio CAPA de la UACJ. A continuación, se describe el proceso y las máquinas que se utilizan.

Se limpiaron residuos existentes en la máquina trituradora Figura 81. Posteriormente, se introducen 4 botellas PET de 2.5L, equivalentes a 204g. una vez fueron trituradas, se pesó el material obtenido para un resultado de 78g.

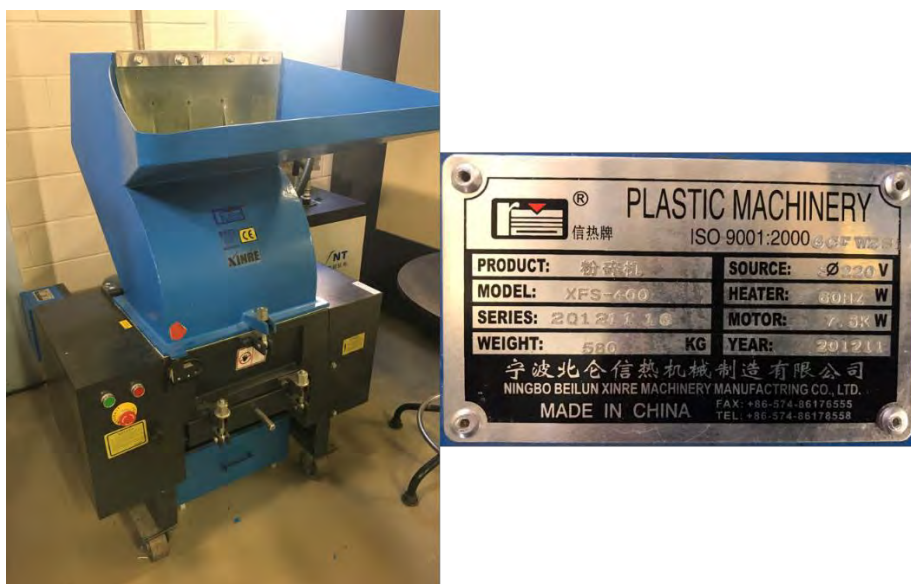


Figura 81. Máquina trituradora de plástico

Posteriormente, se agrega el material a la extrusora Figura 82 esta se llevó a una temperatura de 230°C lo que permitió la correcta fusión del material para obtener el filamento Figura 83. Se decidió medir la masa del material recuperado, puesto que no se contaba con los equipos necesarios para generar un filamento de diámetro y longitud continua. El proceso de triturado tardó alrededor de 10 minutos y el proceso extrusión tardó alrededor de 2 horas.



Figura 82. Máquina extrusora.

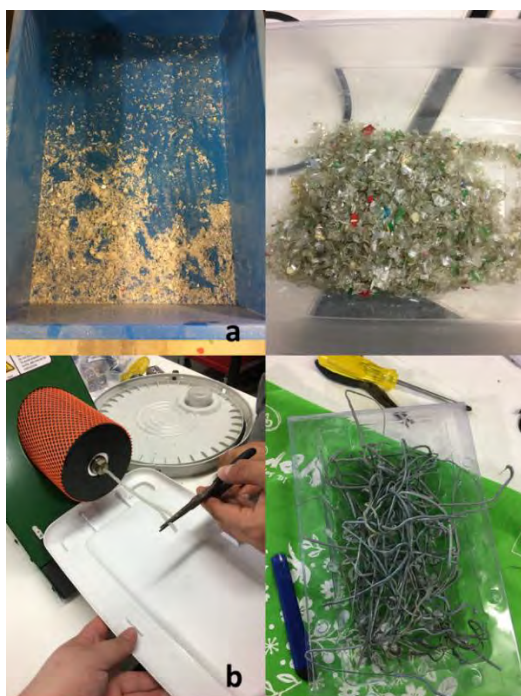


Figura 83. a) material triturado b) obtención de filamento

Durante el proceso de triturado de las 4 botellas PET de 2.5L, equivalentes a 204g. se percibió una disminución de 126g respecto a la masa de material que entró a la trituradora y el material que salió de la misma. Esta disminución en la masa del material pudo deberse a que se haya quedado material residual en las cuchillas de la trituradora y no haya sido expulsado. Sin embargo, cuando el material pasó por la extrusora la masa resultante fue igual a la que entró al proceso, es decir, aparentemente no existen pérdidas. Por otra parte, el proceso de extrusión fue tardado puesto que no se proveyó el material en forma de pellets, sino de hojuelas lo que hizo el

proceso más lento, fue más difícil para el tornillo sin fin arrastrar el material. Aun así, se obtuvieron resultados positivos.

En consecuencia, se contrasta la cantidad de gramos consumidos en la impresión total de la prenda con la cantidad de gramos que se recuperan en el proceso de reciclaje, así se estima una aproximado de 55 botellas PET de 2.5l que fueron reintegradas a la cadena de valor.

### 5.2.3. Durabilidad técnica

En la Tabla 8, se mencionan algunas características que fueron halladas en la investigación de (Kim et al., 2019), en la cual se realizaron tres diferentes prendas con tres materiales diferentes utilizando la tecnología de manufactura aditiva FDM. Así mismo, se mencionan las características observadas durante la impresión del textil manufacturado en rPET

Tabla 8. Matriz de evaluación

Material	rPET	ABS	PLA	TPU
<b>Características de impresión</b>	Algunos modelos no necesitan soporte	Alta calidad de producto, pero necesita postproceso	Menos robusto y más difícil de quitar sus soportes que el ABS.	Superficie suave, pero soportes difíciles de remover
	Fácil de remover de la cama de impresión	Difícil de modificar después de impreso		Limita los diseños que tengan curvatura
	No es frágil	Quebradizo		No frágil
	No obstruye la boquilla	Obstruye poco la poquilla de la impresora		Por su viscosidad, obstruye la boquilla
	Limita diseños con curvatura que necesiten soporte			
	Alta calidad del producto, ideal prendas exteriores			
	Calibrar muy bien eje X y Y			

Cada uno de los pasos de la metodología fue de gran importancia para desarrollar la prenda, cada uno de ellos permite tener planeación y control sobre el diseño, lo cual asegura que se cumplan los objetivos del mismo. Planear correctamente el producto desde su fase de diseño es parte de la sostenibilidad.

## 6. Conclusiones

La recuperación de residuos plásticos cada vez toma mayor importancia. Por lo tanto, es imprescindible que los nuevos productos que se fabriquen con esta materia prima sean diseñados pensando en cada una de sus fases de ciclo de vida y así poder aportar realmente alto valor ecológico.

Las tecnologías en desarrollo permiten expandir la creatividad del diseñador, lo que se refleja en productos novedosos creando conexión con el usuario en busca de una expectativa de vida más amplia.

La caracterización experiencial permitió entender el material desde la perspectiva del usuario. Por lo tanto, es un material que invita al usuario a interactuar con él generando curiosidad y placer. Así mismo, es identificado como un material futurista, vanguardista y elegante. En consecuencia, las personas aceptaron de forma positiva la posible aplicación del textil en la confección de una prenda de vestir.

Las dimensiones performativa e interpretativa correspondientes a la caracterización experiencial fueron muy valiosas, puesto que, se pudo observar la interacción del usuario con el textil, de la cual se pudo identificar los movimientos que el textil invitaba a realizar al usuario, estos se relacionaron con caída, dobléz y flexibilidad. Así mismo, la interpretativa permitió identificar cuál de los materiales se percibía como curioso y elegante o con características deseadas en un textil.

Los parámetros de diseño de una prenda textil desarrollada con rPET, se rigen por la característica mas importante de un textil, su flexibilidad, es decir, que tenga caída y pueda adaptarse a la forma anatómica del cuerpo, conocer el comportamiento del material en el proceso de manufactura. Esta característica se debe tener en cuenta a la hora de seleccionar o diseñar el textil, para poder emular un textil y segundo para que el proceso de impresión sea lo mas amigable posible.

Los textiles impresos en 3D son una alternativa novedosa para la incorporación de residuos plásticos a la cadena de suministro para la industria de la moda. El proceso, permite gestionar de manera eficiente los pocos residuos que se generan, regresándolos como materia

prima al proceso de generación de textiles, es decir, lo mantiene en un ciclo cerrado lo cual agrega valor ecológico al producto. Así mismo, permite confeccionar textiles y prendas que se ajustan a las estrategias del diseño circular como el fácil ensamble, desensamble, reparación y mantenimiento, así como durabilidad emocional por parte del usuario. Todo lo anterior, puede considerarse un proceso que encaja en el modelo económico de economía circular.

Es importante seguir trabajando en la mejora de la calidad superficial del textil variando su tamaño o usando boquillas de impresión de menor diámetro. De igual forma, se debe tratar de mejorar las piezas que permiten ensamblar las diferentes secciones de textil para que la tarea se realice de forma cómoda y rápida.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Aizenshtein, E. M. (2016). Bottle Wastes – to Textile Yarns. *Fibre Chemistry*, 47(5), 343–347. <https://doi.org/10.1007/s10692-016-9691-8>
- Aquae, F. (2021). *Tiempo de degradación de residuos inorgánicos | Fundación Aquae*. <https://www.fundacionaquae.org/cuanto-tiempo-tardan-degradarse-desechos/>
- Asmatulu, R., & Khan, W. S. (2019). Introduction to electrospun nanofibers. *Synthesis and Applications of Electrospun Nanofibers*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813914-1.00001-8>
- Baxter, M. (1995). *Product design: Practical methods for the systematic development of new products*.
- Bell, A. (2020). 2022 El Consumidor. *WGSN Insight*, 14. <https://www.wgsn.com/wp-content/uploads/future-consumer-2022-executive-summary-es.pdf>
- Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssolouris, G. (2016). Additive manufacturing methods and modeling approaches: A critical review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1–4), 389–405. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7576-2>
- Brezet. (2002). EcoDesign Checklist. *Distribution*, 1997, 1–2.
- Bruder, U., & Bruder, U. (2019). Rapid Prototyping and Additive Manufacturing. *User's Guide to Plastic*, 154–167. <https://doi.org/10.3139/9781569907351.018>
- Buchel, S., Roorda, C., Schipper, K., & Loorbach, D. (2018). *The transition to good fashion*. November, 45. <https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2018/11/apo-nid222521-1335346.pdf>
- Camera, S., & Karana, E. (2018). Experiential Characterization of Materials: toward a toolkit. *DRS2018: Catalyst*, 4(August). <https://doi.org/10.21606/drs.2018.508>
- Chatterjee, K., & Ghosh, T. K. (2020). 3D Printing of Textiles: Potential Roadmap to Printing with Fibers. *Advanced Materials*, 32(4), 1–24. <https://doi.org/10.1002/adma.201902086>
- Creality. (2020). *Ender-3 VS Ender-3 Pro- The Difference*. <https://www.creality.com/blog-detail/ender-3-vs-ender-3-pro-the-difference>
- Dimitrov, N., Kratofil Krehula, L., Ptiček Siročić, A., & Hrnjak-Murčić, Z. (2013). Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography. *Polymer Degradation and Stability*, 98(5), 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.013>

- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2017). Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 2741–2751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196>
- Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *History of the Ellen MacArthur Foundation*. Retrieved February 20, 2020, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-story/milestones>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). New economy of plastics: catalysing action. *Ergotherapie Und Rehabilitation*, *52*(3), 1–68. <https://doi.org/10.2443/skv-s-2013-51020130303>
- Elmogahzy, Y. E. (2020). Engineering design for sustainability in the textile and garment industry. In *Engineering Textiles*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102488-1.00006-x>
- Eriksen, M. K., & Astrup, T. F. (2019). Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system. *Waste Management*, *87*, 161–172. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.006>
- Eriksen, M. K., Christiansen, J. D., Daugaard, A. E., & Astrup, T. F. (2019). Closing the loop for PET, PE and PP waste from households: Influence of material properties and product design for plastic recycling. *Waste Management*, *96*, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.005>
- European Commission. (2018). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. *COM(2018) 28 Final, SWD(2018)(1)*, 1–18. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
- European Commissions. (2019). *Circular Economy: Commission welcomes European Parliament adoption of new rules on single-use plastics to reduce marine litter*. March, 30–31.
- Fei, B. (2017). High-performance fibers for textiles. In *Engineering of High-Performance Textiles*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101273-4.00002-0>
- Formfutura. (2020). *ReForm rPET - Off-Black* | Formfutura. <https://www.formfutura.com/shop/product/reform-rpet-off-black-974>
- Gill, S. (2015). A review of research and innovation in garment sizing, prototyping and fitting. *Textile Progress*, *47*(1), 1–85. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1023512>
- Grain, E. (2016). *University of Huddersfield Repository 3D PRINTING FASHION WITH RECYCLED*

*POLYESTER* : 2015, 23.

- Grain, E. (2018). *A Design-driven approach to 3D printing textiles from recycled polyester*. 5, 1–17. [plymouthart.ac.uk/documents/Emma\\_Grain.pdf](http://plymouthart.ac.uk/documents/Emma_Grain.pdf)
- Growth, C. A. (2015). World Plastics Materials Demand 2015 by Types. *PlasticsEurope Market Research Group (PEMRG) / Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH*, 3. [https://committee.iso.org/files/live/sites/tc61/files/The Plastic Industry Berlin Aug 2016 - Copy.pdf](https://committee.iso.org/files/live/sites/tc61/files/The%20Plastic%20Industry%20Berlin%20Aug%202016%20-%20Copy.pdf)
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw Hill. [file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc\\_o\\_00042\\_01.pdf](file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc_o_00042_01.pdf)
- Herrmann, S. (2017). A new textiles economy: Redesigning fashion's future. *Ellen MacArthur Foundation*, 1–150. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future>
- Hong, M., & Chen, E. Y. X. (2019). Future Directions for Sustainable Polymers. *Trends in Chemistry*, 1(2), 148–151. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2019.03.004>
- Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). Textile Fibers. *Fundamentals of Forensic Science*, 381–404. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800037-3.00015-7>
- IHOBE. (n.d.). *Temas ambientales - Ecodiseño*. Retrieved February 11, 2020, from <https://www.ihobe.eus/ecodiseno>
- IHOBE. (2000). *Manual práctico de ecodiseño*. 182. <http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/descargar.php?id=1756>
- IHOBE, & Vasco, G. (2018). *Circular Thinking Euskadi, Economía Zirkularrerantz Euskadi, Hacia La Economía Circular Economía Circular*.
- Jones, E., Stanton, N. A., & Harrison, D. (2001). Applying structured methods to Eco-innovation. An evaluation of the product ideas tree diagram. *Design Studies*, 22(6), 519–542. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00007-2)
- Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). *Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences*. 9(2), 35–54. <http://www.ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965/693>

- Kim, S., Seong, H., Her, Y., & Chun, J. (2019). A study of the development and improvement of fashion products using a FDM type 3D printer. *Fashion and Textiles*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0162-0>
- Klein, R. (2011). *Laser Welding of Plastics Related Titles Macromolecules Principles of Laser Materials Processing Handbook of Plastic Processes*.
- Lussenburg, K., Geraedts, J., & Karana, E. (2014). *Designing with 3D Printed Textiles A case study of Material Driven Design*. October.
- Luttropp, C., & Lagerstedt, J. (2006). EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1396–1408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.022>
- Maris, J., Bourdon, S., Brossard, J. M., Cauret, L., Fontaine, L., & Montembault, V. (2018). Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*, 147(November 2017), 245–266. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.11.001>
- McCann, J., Hurford, R., & Martin, A. (2005). A design process for the development of innovative smart clothing that addresses end-user needs from technical, functional, aesthetic and cultural view points. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC, 2005*, 70–77. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2005.3>
- McCullar, K. S., Rhodes, P. C., Underhill, S. A., & Nagel, J. K. S. (2016). *Application of Bio-Inspired Design to Minimize Material Diversity*. December, V004T05A044. <https://doi.org/10.1115/detc2016-59684>
- Medkova, K., & Fifield, B. (2016). *Circular Design - Design for Circular Economy*. Hunter.
- Narayanan, A., Padhi, A., & Williams, J. (2021). *Designing products for value | McKinsey*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/designing-products-for-value#>
- Niinimäki, K. (2018). Sustainable Fashion in a Circular Economy. *Sustainable Fashion in a Circular Economy*, 12–42.
- ONU. (2020). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible* -. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- ONU Medio Ambiente. (2018). Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. In *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe (PNUMA)*. <https://www.unenvironment.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>
- OPS/OMS | Contaminación del Aire Ambiental. (2019). [https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)
- Payne, J., McKeown, P., & Jones, M. D. (2019). A circular economy approach to plastic waste. *Polymer Degradation and Stability*, *165*, 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.05.014>
- Pei, E., Shen, J., & Watling, J. (2015). Direct 3D printing of polymers onto textiles: Experimental studies and applications. *Rapid Prototyping Journal*, *21*(5), 556–571. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0126>
- Pigosso, D. C. A., & Rozenfeld, H. (2012). Ecodesign Maturity Model: the Ecodesign Practices. *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*, *1*, 424–429. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-3010-6\\_81](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3010-6_81)
- Qin, Y. (2016). A brief description of textile fibers. *Medical Textile Materials*, 23–42. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100618-4.00003-0>
- Raheem, A. B., Noor, Z. Z., Hassan, A., Abd Hamid, M. K., Samsudin, S. A., & Sabeen, A. H. (2019). Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review. *Journal of Cleaner Production*, *225*, 1052–1064. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.019>
- Rieckmann, T., Frei, F., & Völker, S. (2011). Modelling of PET quality parameters for a closed-loop recycling system for food contact. *Macromolecular Symposia*, *302*(1), 34–45. <https://doi.org/10.1002/masy.201000069>
- Rossi, M., Germani, M., & Zamagni, A. (2016). Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, *129*, 361–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.051>
- Sassanelli, C., Rosa, P., Rocca, R., & Terzi, S. (2019). Circular economy performance assessment methods: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *229*, 440–453.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.019>

Singh, R., & Singh, S. (2017). Additive Manufacturing: An Overview. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.04165-5>

Taniguchi, I., Yoshida, S., Hiraga, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., & Oda, K. (2019). Biodegradation of PET: Current Status and Application Aspects [Review-article]. *ACS Catalysis*, 9(5), 4089–4105. <https://doi.org/10.1021/acscatal.8b05171>

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2003). Diseño y desarrollo de productos. In *Diseño y desarrollo de productos* (pp. 1–409). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ultimaker. (2020). *Ultimaker Cura: software de impresión 3D potente y fácil de usar* | Ultimaker. <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>

Van Acker, K. (2016). Circular Economy. Position paper working group Metaforum. *Metaforum KU Leuven, Interdisciplinary Think-Tank for Societal Debate Holland Coll*, 66, 37–39.

Wenzel, Henrik. Hauschild, Michael Z. Alting, L. (1997). Methodology, Tools and Case Studies in Product Development. In: Environmental Assessment of Products, vol. 1. In *Representation of resource consumption and impact categories* (p. 136). [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=fpKprwMQ0kC&oi=fnd&pg=PR7&ots=Tf69GYOAE3&sig=N3hyCBzSffHkORiwapbRpOm8LM&redir\\_esc=y#v=snippet&q=meco&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=fpKprwMQ0kC&oi=fnd&pg=PR7&ots=Tf69GYOAE3&sig=N3hyCBzSffHkORiwapbRpOm8LM&redir_esc=y#v=snippet&q=meco&f=false)

Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>

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. <https://doi.org/10.1080/17452759.2014.938993>

Zander, N. E., Gillan, M., & Lambeth, R. H. (2018). Recycled polyethylene terephthalate as a new FFF feedstock material. *Additive Manufacturing*, 21(January), 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.03.007>

Zhang, R., Ma, X., Shen, X., Zhai, Y., Zhang, T., Ji, C., & Hong, J. (2020). PET bottles recycling in China: An LCA coupled with LCC case study of blanket production made of waste PET bottles. *Journal of Environmental Management*, 260(August 2019), 110062.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110062>

Zhang, Z., Lv, Z., Zhang, W., Shao, Y., Zhao, X., Guo, M., & Li, C. (2019). Metallization of PET textile utilizing supercritical CO<sub>2</sub> catalyzation. *Microelectronic Engineering*, 734427. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734427>