

**PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD PARA MITIGAR
EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA**

KARENT LORENA URREGO PEDRAZA

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

ORIENTADOR

**HARVEY ANDRÉS MILQUEZ SANABRIA
INGENIERO QUÍMICO
MSC INGENIERÍA – INGENIERÍA QUÍMICA
PHD CIENCIAS – ENERGÍAS RENOVABLES**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del presidente jurado

Nombre
Firma del jurado

Nombre
Firma del jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonzo Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad

Dra. Naliny Guerra Prieto

Director del Programa

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina, MSc. IQ

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVOS	12
1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA A SU ACTIVIDAD	13
1.1. Industria textil	13
<i>1.1.1. Componentes</i>	13
<i>1.1.2. Aditivos</i>	16
<i>1.1.3. Procesos textiles</i>	17
<i>1.1.4. Requisitos ambientales</i>	18
<i>1.1.5. Estándares ambientales</i>	22
1.2. Impactos negativos sobre el medio ambiente	22
<i>1.2.1. Industria textil y el medio ambiente</i>	22
<i>1.2.2. Factores que afectan el medio ambiente</i>	25
<i>1.2.3. Ciclo de vida</i>	28
<i>1.2.4. Impactos negativos sobre el medio ambiente de la industria textil en Colombia</i>	30
1.3. Sostenibilidad en la industria textil	34
<i>1.3.1. Responsabilidad social</i>	34
<i>1.3.2. Innovación sostenible</i>	35
<i>1.3.3. Estrategias sostenibles</i>	35
1.4. Análisis PESTEL del sector textil	39
2. ACCIONES DE CONTROL AMBIENTAL ACTUAL EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA	46
2.1. Normatividad de control ambiental en la industria textil	46
2.2. Acciones alternativas frente al impacto ambiental textil	50
3. ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA TEXTIL COLOMBIANA	52
3.2. Programa de ahorro y uso eficiente del agua.	52
<i>3.2.1. Programa de uso racional y eficiente de la energía.</i>	54
<i>3.2.2. Programa de gestión integral de los residuos sólidos</i>	55
4. CONCLUSIONES	58

BIBLIOGRAFÍA

59

ANEXOS

67

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fibras naturales.	14
Figura 2. Fibras químicas.	14
Figura 3. Mercado mundial de la fibra 2014.	15
Figura 4. Cadena textil.	18
Figura 5. Cadena de suministro de fabricación de prendas de vestir.	24
Figura 6. El ciclo de vida del producto textil.	29
Figura 7. Analisis PESTEL del sector textil	43
Figura 8. Normatividad de control ambiental en la industria textil colombiana	50

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Concentraciones esperadas de algunos productos químicos típicos en textiles.	16
Tabla 2. Valores máximos permisibles por la resolución 0631 de 2015 en el vertimiento de agua residual no domestica (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con la fabricación de productos textiles.	21
Tabla 3. Comparación de valores de toxicidad aguda y crónica (mg / L).	26
Tabla 4. Análisis de inventario del sector textil.	30
Tabla 5. Materias primas (inventario).	31
Tabla 6. Procesos de manufactura (inventario).	31
Tabla 7. Uso y disposición final (inventario)	32
Tabla 8. Resumen de indicadores calculados	32
Tabla 9. Resumen de indicadores calculados	33
Tabla 10. Huella carbono consumo.	34
Tabla 11. Huella de cultivos consumo.	34
Tabla 12. Programa de ahorro y uso eficiente del agua.	52
Tabla 13. Programa de uso racional y eficiente de energía.	54
Tabla 14. Programa de gestión integral de los residuos sólidos.	55

RESUMEN

Las empresas textiles de Colombia han implementado buenas prácticas de manufactura para los procesos de prelavado, basados en producción más limpia (FUNDES). Las anteriores incluyen la aplicación de estrategias ambientales preventivas integradas a los procesos, productos y servicios, con la finalidad de mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos en humanos y en el medio ambiente.

De acuerdo a lo anterior, este trabajo de investigación tuvo como finalidad el planteamiento de acciones de sostenibilidad para la mitigación del impacto ambiental que produce la industria textil en Colombia, en el desarrollo se realizó la descripción de los programas de control ambiental actual en la industria textil en Colombia, también se revisaron los antecedentes sobre el reciclaje textil.

Dentro de los principales resultados de investigación fue necesario resaltar la caracterización de la industria textil, ya que esta se compone de textiles con una mezcla de fibras naturales y sintéticas lo que conduce a una difícil separación y reciclaje de estas fibras al momento de terminar la vida útil de una prenda, dejando grandes cantidades de residuos sólidos, sumado a esto, también se tiene el uso de aditivos como arilaminas y metales pesados en procesos de teñido, los cuales son tóxicos, generan enfermedades y más encima deben ser lavados con grandes cantidades de agua para remover su concentración en el textil, ocasionando junto con el gran consumo energético, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación de fuentes hídricas.

Debido a estos relevantes impactos se determinó que las estrategias que pueden contribuir son: la implementación de programas integrales de residuos sólidos, programas de uso racional y eficiente de agua - energía en el entorno textil del país, así como las acciones de control ambiental actuales de acuerdo al seguimiento de la normatividad establecida.

Palabras Claves: medio ambiente, industria textil, procesos textiles, aditivos, fibras naturales y sintéticas, contaminación, reciclaje textil, estrategias ambientales preventivas, producción más limpia, requisitos ambientales, acciones de control, programas de ahorro, normatividad, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

La industria textil es una de las más antiguas y ha sido una de las principales ocupaciones, albergando 1,5 millones de empleos directos y 6.5 millones de empleos indirectos (Frigelg, et al., 2019), esta industria es responsable de la producción de más de 88.5 millones de toneladas por año, según lo mencionado por Yacout y Hassouna, (2016), en el mismo sentido los autores reconocen que, recientemente se llegó al 58.6% del mercado textil gracias a los aportes de los países en desarrollo, con proyecciones de aumento para cubrir la creciente demanda.

En Colombia la industria textil en 2020 ha representado el 8.2% del PIB industrial del país, el 21% del empleo industrial y el 9 % de las exportaciones manufactureras. Los textiles provenientes de algodón dominan el sector textil, siendo estos el 43% de la producción, seguido por hilos y tejidos con un 21%, tejidos de punto el 19% y productos de fibra manufacturada con un 8%, en cuanto a la balanza comercial de industria textil en Colombia en los últimos años se ha destacado con un 45.3% de las importaciones, seguido por confecciones con un 29.4% y calzado con un 14.5% en 2019. Según la Cámara de Comercio, Colombia cuenta entre el Valle de Aburrá y el Norte de Antioquía con un total de 14.920 empresas, de las cuales 13.582 son microempresas, 1.260 son pymes y 78 son grandes empresas, entre las tres principales empresas se encuentra Textiles Fabricato, Tejicondor S.A. (Planta principal en Bello, Antioquía) y Crystal S.A.S. (Ortega, 2021).

De acuerdo con las cifras emitidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, en adelante DANE, en noviembre del 2021 el sector textil registró una variación de -0,63% en tanto que, en el mismo mes, pero del año 2020 fue de -3,71 debido a la condición de pandemia. Se tiene que para el año 2021 el acumulado es de -2,20, mientras que en el mismo periodo del año 2020 se situó en -6,69. Esto evidencia que la industria textil tiene grandes oportunidades de negocio en el país, precisamente por el crecimiento acelerado que ha vivenciado en los años referidos, ello pese a las alteraciones en la economía a causa de la pandemia del COVID 19. Sumado a lo anterior, los datos en mención revelan que el consumo de prendas de vestir en el año 2021 alcanzó un acumulado, a nivel nacional para el mes de noviembre, un total de a \$8,3 billones, un aumento equivalente a 4,31% en cuanto al año 2020. Las ciudades con mayor participación en la economía de la industria textil son Bogotá (37,4%), Medellín (10,3%), Cali (5,2%) y Barranquilla (3,6%).

Si bien la producción textil representa un eslabón importante en la economía, el consumo excesivo en la industria textil producido por el crecimiento de la población y el desarrollo económico ha generado afectaciones al medio ambiente, efectos producidos por los altos consumos de energía, desechos sólidos y emisiones atmosféricas de gases de efecto

invernadero, además en procesos de crecimiento de fibras naturales como algodón hay un alto consumo de agua (se necesitan 3 billones de agua para producir 60 millones de kilos de tela), productos químicos tóxicos como pesticidas, efectos que provocan agotamiento del agua, de recursos, problemas de acidificación e inclusive varios problemas de salud.

Las producciones textiles en Colombia se encuentran constituidas principalmente por algodón y poliéster, hecho que causa que los procesos de reciclaje sean difíciles de implementar, conjuntamente, en EE. UU., se recicla el 15% de las producciones de fibras, que suman 25 mil millones de libras de textiles por año, el 85% restante se lleva a vertederos, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. EPA ha estimado que el 5% de residuos textiles termina en vertederos (Silva, et al., 2014), el mayor problema de esta industria es la cantidad de agua vertida y la carga química que lleva; la EPA analizo las vertientes y agua potable localizados después de las plantas, encontrando contenido de residuos químicos en peces, influyendo en la exposición humana, esta problemática muestra gran relevancia a nivel mundial con respecto a su impacto medioambiental y social.

En Colombia actualmente no existe ningún estudio de huella de ecológica o huella hídrica que permita evidenciar los impactos de la industria textil y además de esto, el autor Velásquez et al., (2007) en las investigaciones realizadas encontró que las empresas del sector presentan bajo nivel de implementación de programas de manejo ambiental sumado a que no se regula, vigila, ni controla la aplicación de las normas ambientales, mostrando de esta manera que las alternativas de mejora del desempeño ambiental.

OBJETIVOS

Objetivo general

Plantear acciones de sostenibilidad para la mitigación del impacto ambiental producido por la industria textil en Colombia.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la industria textil y la problemática ambiental asociada a su actividad.
2. Describir las acciones de control ambiental actual en la industria textil en Colombia.
3. Plantear las acciones que conducen a mejorar el desempeño ambiental con enfoque de sostenibilidad de la industria textil colombiana.

1. CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA TEXTIL Y LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL ASOCIADA A SU ACTIVIDAD

En esta revisión se describe la industria textil que se ubica en Colombia los componentes, aditivos, procesos textiles, regulaciones ambientales de composiciones y estándares ambientales que rigen la sostenibilidad del sector, seguido de los impactos ambientales sobre el medio ambiente, los factores que afectan, el ciclo de vida en la producción y por último las estrategias de sostenibilidad en la industria textil, responsabilidad social, la innovación sostenible y las estrategias de sostenibilidad en otros países.

1.1. Industria textil

La industria textil a nivel mundial es bastante amplia y depende de sectores como la agricultura, la industria química, industria de manufactura para producción de fibras sintéticas o naturales, prendas de vestir, comercio minorista, logística y eliminación de residuos (Tumpa, 2019).

En 1950 mundialmente la población alcanzó 2.500 millones de habitantes con un consumo de prendas de vestir per cápita de 3.7 kg por año y por habitante, en 2015 la población fue de 7.400 millones de personas y el consumo textil per cápita fue de 13.1 kg/año/habitantes, se estiman proyecciones para el año 2050 de 14.000 millones de habitantes, por lo que la demanda de productos textiles se duplicará (Carrera, 2017).

1.1.1. Componentes

Los textiles se componen principalmente de fibras. Las fibras se definen como “La unidad con una composición química definida, caracterizada por su resistencia, flexibilidad, finura y relación elevada entre su longitud y su grosor” (Logaña, 2018). En las fibras se puede encontrar una amplia cantidad de materiales, normalmente se clasifican en fibras naturales, como se observa en la figura 1 y fibras químicas como se presenta en la figura 2.

Figura 1.

Fibras naturales.

ORIGEN VEGETAL	ORIGEN ANIMAL	ORIGEN MINERAL
Algodón	Lana	Amianto
Lino	Pelos	Vidrio
Cáñamo	Mohair	Fibras metálicos
Yute	Cachemira	
Esparto	Alpaca	
Sisal	Camello	
	Llama	
	Vicuña	
	Angora	
	Seda	

Nota. Diseño de una propuesta de reutilización y recuperación de residuos de materia prima. Caso de estudio: Loa Corporación Cía. Ltda., empresa de producción y comercialización de vestimenta e implementos de seguridad. Tomado de: Logaña, 2018, p. 4. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9372>

Figura 2.

Fibras químicas.

ARTIFICIALES	SINTETICAS
Viscosa	Poliamidas
Cuproamoniaca	Poliesteres
Acetato de celulosa	Acrilicas
Triacetato de celulosa	Poliolefinas
Lyocell	Clorofibras
	Derivados de alcohol de polivinilo
Aginato	Elastomeros
	Fibras de carbono

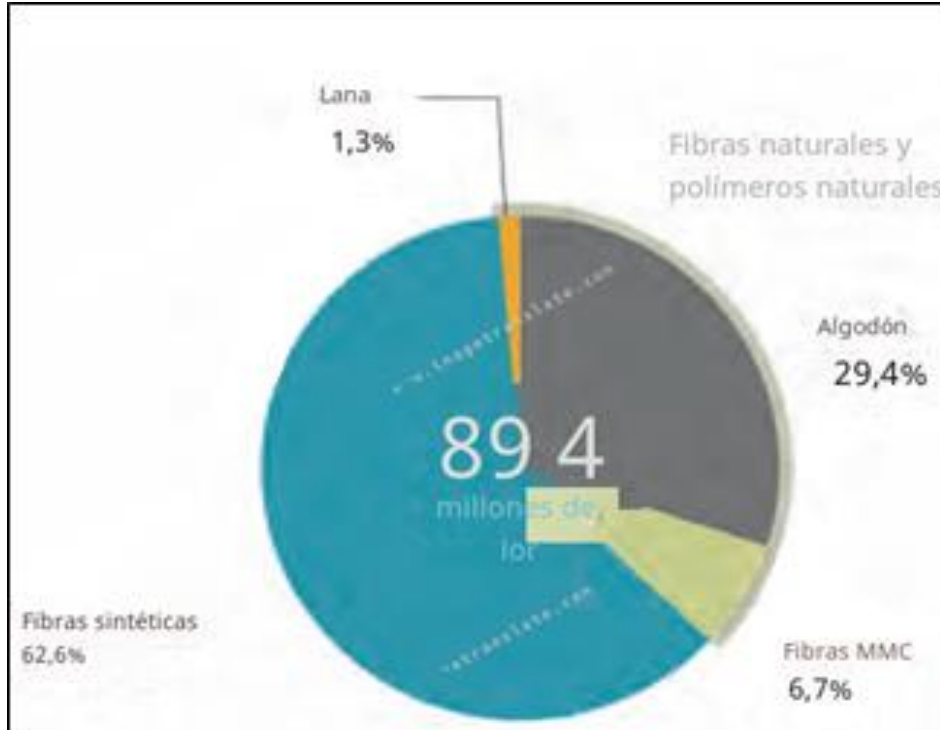
Nota. Tomado de: Logaña, 2018, p. 5. Diseño de una propuesta de reutilización y recuperación de residuos de materia prima. Caso de estudio: Loa Corporación Cía. Ltda., empresa de producción y comercialización de vestimenta e implementos de seguridad. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9372>

La investigación de Burçin, et al. (2016) muestra que en el 2014 el consumo mundial de fibra alcanzó los 89.4 millones de toneladas, y la gran mayoría está compuesta por fibras sintéticas,

este comportamiento frente a la presencia de fibras como la lana y el algodón se presenta en la figura 3.

Figura 3.

Mercado mundial de la fibra 2014.



Nota: Tomado de Tekstil ve konfeksiyon sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm olanakları. 2016. Representan la distribución porcentual del mercado mundial en lo referente al consumo de las diferentes fibras, indica de manera expresa la relevancia que tienen las fibras y polímeros naturales.

Frente a la gráfica anterior sobre el mercado mundial de la fibra, se reconoce que aquellas que se ocuparon en mayor cantidad corresponden con un procesamiento sintético, en la misma medida, Burçin, et al. (2016) señala con respecto de la gráfica que, a partir de 2014, el 63% de la producción mundial corresponde con este tipo de fibras, de las cuales el 82% corresponden a poliéster.

El algodón es la segunda fibra más importante y tiene una proporción del 29% entre todas las fibras. En efecto, la demanda de poliéster se ha duplicado en los últimos años sustituyendo al algodón que históricamente se reconocía como el material ocupado por excelencia. En 2025, si bien la producción de fibra de algodón se mantiene constante, se prevé que la producción de fibra de poliéster aumentará y será 3 veces más que la producción de algodón para satisfacer la creciente demanda correspondiente con la modificación de necesidades, gustos y en general con el crecimiento demográfico poblacional (Burçin, et al., 2016).

1.1.2. Aditivos

Según la definición de Acetate (2001), un aditivo es un material que, junto a la combinación con otro material base complementa las propiedades, por ejemplo, en el proceso de teñido de usan pigmentos como aditivos dopantes para lograr el color en el teñido.

Acetate (2001) y Lacasse (2004) en sus estudios mencionan algunos de los aditivos más ocupados como son: Plomo, Niquel, Cromo IV, PFC, tintes, absorbentes de UV, alcoholes grasos, ácidos grasos, aminas grasas de tensoactivos, glicoles de emulsionantes, alquilofenoles de dispersantes, glicol, hidrocarburos alifáticos de espesantes, sales, amoniaco de agentes espumantes, ftalatos, sulfonamidas, ésteres suavizantes, plastificantes, ácido acrílico, acrilatos, alquilaril sulfonato, alquil sulfonato, productos de condensación de ácidos grasos, sales de amonio cuaternario, etocilatos de nonilfenilo, polietoxilatos, éter de poliglicol, entre otros.

Las funciones que ejercen los anteriores aditivos son: detergente, emulsionante, agente de dispersión, suavizante, antiestático, biocida. A continuación, la tabla 1 presenta algunos aditivos textiles típicos en productos químicos y sus concentraciones.

Tabla 1.

Concentraciones esperadas de algunos productos químicos típicos en textiles.

Grupo de sustancias o sustratos	Concentración en textil	Observaciones
Metales pesados		
Mercurio	0.01 ppm	
Cobre	1 - 50 ppm	
Zinc	2 - 50 ppm	
Cadmio	Pocas ppm	Tambien pueden aparecer pequeñas cantidades como impurezas naturales en la celulosa utilizada, por ejemplo, para la fibra de viscosa.

Tabla 1. (Continuación)

Biocidas		
Pentaclorofenol	5 ppm	> 100 ppm (ocasionalmente)
Tintes	0.05 - 3 % del peso total de textiles	
Portadores	0.1 - 1 % del peso total de textiles	
Formaldehídos	< 30 - 100 ppm	
Arilaminas	> 30 ppm	Ocurrencia limitada en textiles
Retardantes de llama	1 -10 % del peso total de textiles	Ocurrencia limitada en textiles
Fluorocarbonos	0.3 - 8 5 % del total de la prenda	Ocurrencia limitada en textiles

Nota: Tomado de Environmental considerations for textile processes and chemicals. Lacasse, & Baumann. (2004) y presenta la distribución de diferentes tipos de contaminantes que se encuentran en las fibras textiles, adicionalmente, muestra, si la ocurrencia es limitada o común en este tipo de componentes.

1.1.3. Procesos textiles

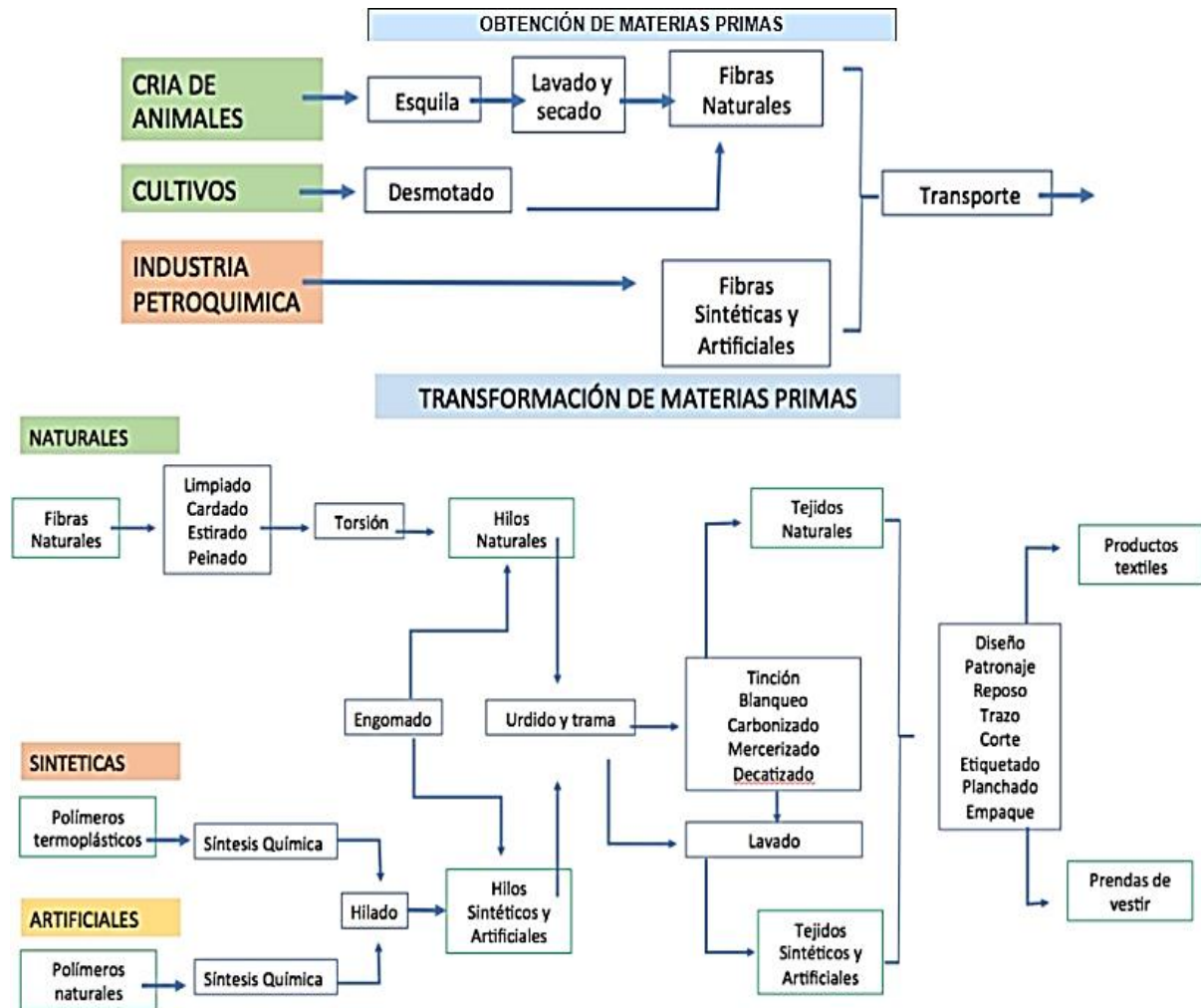
En vista de que la cadena textil es una de las más complicadas de definir, por lo menos de manera general, se ha propuesto identificar los procesos de la industria desde los fragmentos que lo componen, basándose en su heterogeneidad se tiene tres elementos dominantes: ropa, muebles para el hogar y uso industria (Hasanbeigi, 2010).

Caracterizando la fabricación textil se puede indicar que esta es compleja debido a la amplia variedad de sustratos, procesos, maquinaria, componentes utilizados y pasos de acabados realizados, además de los diferentes tipos de fibras o hilados, métodos de producción de tejidos y procesos de acabado (preparación, impresión, teñido, acabado químico / mecánico y revestimiento), elementos que se interrelacionan en la producción de un tejido acabado, en efecto cuando uno de estos componentes se cambia, las propiedades del producto final se ven afectadas y existen varias propiedades que se pueden utilizar para definir un tejido, algunos ejemplos de propiedades de la tela incluyen peso, apariencia, textura, fuerza, brillo, flexibilidad y afinidad con el tinte. (Hasanbeigi, 2010).

Para comprender la complejidad que implica el proceso de cadena textil, es preciso considerar la visualización de los elementos en la figura 4, que a nivel general evidencia los diversos métodos de producción textil que se dan a partir de materias primas las cuales dar lugar a productos terminados.

En efecto, la figura 4 presenta la cadena textil iniciando de manera específica con la injerencia de dos grandes áreas de la economía, la primera de las cuales corresponde con el proceso textil y la segunda obedece al sector químico, las cuales aportan a procesos específicos como el hilado y los procesos corporativo, aportando a su vez a la producción de fibra, la cual después de procesos como el hilado y teñido se requiere para la producción de telas que son ocupadas para la producción expresa de prendas de vestir.

Figura 4.
Cadena textil.



Nota: Tomado de Huella ecológica del sector textil-confección en Colombia para el año 2018, (2021), hace una aproximación a la cadena textil, dejando de presente que, la mayoría de los procesos se ven intervenidos a su vez por una cantidad significativa de subprocesos que otorgan lineamientos específicos frente a la calidad esperada del textil final.

1.1.4. Requisitos ambientales

Muchos países federales, como EE. UU., Canadá y Australia, cuentan con legislación ambiental nacional que, al igual que en Europa, establece los valores límite a cumplir en lo referente a desechos sólidos correspondientes con las fábricas textiles, de otro lado muchos países como Tailandia, han seguido el sistema estadounidense, otros han seguido el modelo europeo, como Turquía o Marruecos y en algunos países, por ejemplo, India, Pakistán y Malasia, los límites de emisión son valores límite recomendados, pero no obligatorios. (Begum y Kumar, 2017).

En el estudio de Begum y Kumar (2017) se demuestra que, desde la década de 1990, se han adoptado normas y requisitos ambientales que restringe el uso de productos químicos nocivos en la producción de textiles y prendas de vestir, estos han sido requisitos impuestos por leyes y regulaciones.

En este apartado se establecen y se centran en los seis parámetros límites más importantes de la industria textil para tener en cuenta y cumplir principalmente en la adición a procesos húmedos de la industria, pensando principalmente en el beneficio de la contaminación y las emisiones a aguas residuales.

1.1.4.a Color. En países como Australia, Italia y Francia, se establecen valores límites para la coloración de efluentes, para el caso de Francia, se establecen los valores de coloración mediante análisis comparativos, los cuales toma una muestra del efluente coloreado, se diluye por un factor de 30, en caso de haber coloración visible luego de la dilución, se dicta que el efluente cumple con la norma. (Begum y Kumar, 2017).

En cuanto a Colombia, se establece mediante la resolución 2115 de 2007 del Ministerio De Ambiente que para el color del agua de consumo humano el vertimiento debe estar en un valor paramétrico máximo de 15 mg/L Pt/Co (Unidades platino-cobalto UPC).

1.1.4.b DBO y DQO. El estudio de Begum y Kumar (2017) establece que para la **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO) descargada al medio ambiente, se tienen límites que son en la mayoría de los casos inferiores a 40 mg/L, estos resultados indican que, proteger el medio ambiente a partir de compuestos biodegradables se ha convertido en motivo de preocupación.

En Colombia se establece mediante la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que los vertimientos provenientes de la fabricación de productos textiles se deben encontrar bajo la condición de 200 mg/L O₂ en la Demanda Bioquímica de Oxígeno, siendo este el valor máximo permisible.

En cuanto a la **Demanda Química de Oxígeno**, el estudio de Begum y Kumar (2017) presentan que este parámetro es producido por la eliminación de sustancias que en gran medida contaminan el agua por las actividades de la industria textil así como también las emisiones de sustancias ya presentes en el agua adquiridas incluso antes de las actividades de producción, como lo son procesos de cultivo de fibras naturales que hacen uso de pesticidas o herbicidas (aseguran el crecimiento), impurezas, aceites para tejer y agentes de preparación, en efecto el valor límite de descarga al medio ambiente es de 200 mg/L en todos los países, exceptuando Chile, Checoslovaquia y Tailandia, los cuales presentan niveles más altos. El teñido disperso provoca altas emisiones de DQO.

A nivel nacional, Colombia establece mediante la resolución 0631 de 2015 que los vertimientos provenientes de productos textiles deben tener un límite máximo de 400 mg/L O₂ en la Demanda Química de Oxígeno (DQO₅).

1.1.4.c Sólidos suspendidos. Tailandia establece valores máximos de 500 mg/L para la descarga en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, para otros países sus valores son más altos, con respecto a la descarga al medio ambiente se tienen límites cercanos a 50 mg/L (Begum y Kumar, 2017).

En Colombia, mediante la resolución 0631 de 2015 establece que los vertimientos deben tener un límite máximo permisible de 200 mg/L en la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST) provenientes de productos textiles.

1.1.4.d Salinidad. Los tipos de sal que contienen los efluentes con coloración son: cloruro de sodio y sulfato de sodio; en la mayoría de los países no se cuenta con un límite de emisiones por este parámetro en cuanto a la descarga en una planta de tratamiento de aguas residuales, en el medio ambiente o cualquier otro destino, no obstante, los países han normalizado valores límites entre 0.5 y 2000 mg/L para los vertidos a plantas de tratamiento. (Begum y Kumar, 2017).

En Colombia se establece en la resolución 0631 de 2015 un valor máximo permisible en el vertimiento proveniente de la fabricación de productos textiles una cantidad de 1.200 mg/L de iones de Cloruros.

1.1.4.e Detergentes, aceites y grasas. De acuerdo con la literatura “En promedio, los límites para aceite y grasa son inferiores a 50 mg/L. Los valores límite para los detergentes suelen ser los mismos en cualquier lugar de descarga, inferiores a 10 mg/L”. (Begum y Kumar, 2017, p. 82); ahora bien, en Colombia se establece mediante la resolución 0631 de 2015 un valor máximo permisible en el vertimiento proveniente de la fabricación de productos textiles de 20 mg/L para aceites y grasas.

A continuación, en la tabla 2. se observan compilados los requisitos ambientales en Colombia mencionados en los apartados anteriores y además se amplía la información en cuanto a los demás parámetros que se exigen en Colombia para vertimientos de aguas no residuales domesticas a cuerpos de aguas superficiales provenientes de la fabricación de productos textiles contemplados en la resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 2.

Valores máximos permisibles por la resolución 0631 de 2015 en el vertimiento de agua residual no doméstica (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con la fabricación de productos textiles.

PARÁMETROS	UNIDADES	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TEXTILES
Generales		
pH	Unidades de pH	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	50
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	2
Grasas y Aceites	mg/L	20
Fenoles	mg/L	0,20
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ 3-)	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ -)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cloruros (Cl)	mg/L	1.200
Sulfatos (SO ₄ 2-)	mg/L	Análisis y Reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00
Metales y Metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,20
Cinc (Zn)	mg/L	3,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,50
Cobre (Cu)	mg/L	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Níquel (Ni)	mg/L	0,50
Otros Parámetros para Análisis y reporte		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte
TOTAL PARÁMETROS	31	31

Nota: Tomado de: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf, representa los requisitos ambientales en Colombia de los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Artículo 13: Parámetros máximos permisibles en fabricación de productos textiles.

1.1.5. Estándares ambientales

En este ítem se van a abarcar las normas que permiten un tratamiento adecuado de los desechos de las industrias.

1.1.5.a. ISO 14000. La familia de normas ISO 14000 según Begum y Kurman (2017) engloba diversas ramas de la gestión ambiental. Las dos primeras normas, ISO 14001: 2004, ISO 14004: 2004, ISO 14001: 2015, agrupan los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA).

- La ISO 14001 de 2004, anteriormente mencionada, define los requisitos para establecer un SGA, que aplica a cualquier tamaño o tipo de empresa, y manifiesta las siguientes normas:
 - Identificar y controlar el impacto ambiental de sus actividades, productos o servicios.
 - Mejorar su desempeño ambiental continuamente.
 - Implementar un conocimiento sistemático para objetivos medioambientales para lograr alcanzarlos y demostrar que se ha cumplido.
- La segunda norma mencionada, ISO 14004 de 2004 otorga las pautas generales del SGA, más no específica los niveles de desempeño global, motivo por el cual se mencionan en el ítem anterior los estándares ambientales, parámetros límites que generan contaminación.
- La tercer y última norma, la ISO 14001 de 2015, establece propuestas para el Sistema de Gestión de Manejo de residuos de materia prima (Logaña, 2018).

1.2. Impactos negativos sobre el medio ambiente

El suministro mundial de fibras ha aumentado de 52,6 millones de toneladas a 70,5 millones de toneladas en los últimos 10 años. Y en efecto, más producción significa más de residuos, así como un mayor impacto ambiental. Los enormes consumos de energía y agua en las etapas de procesamiento, la contaminación agrícola y los desechos textiles industriales y posconsumo en las corrientes de desechos sólidos municipales son las principales fuentes de contaminación de la fabricación textil. Los desechos textiles comprenden entre el 1,0 y el 5,1% de la composición de los residuos sólidos urbanos en las regiones del mundo. Si bien la fabricación de textiles y prendas de vestir se ha trasladado en gran medida a los países en desarrollo, los desechos textiles siguen siendo una gran preocupación tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. (Altun, 2012).

1.2.1. Industria textil y el medio ambiente

La industria textil cuenta con 9.3% de empleados del mundo y el 4% de las exportaciones mundiales, estos datos reflejan que esta industria es considerada una de las más grandes, razón por la cual se presenta un alto impacto medioambiental (Caniato, et al., 2011).

Los problemas ambientales de la industria textil son causados principalmente por descargas de aguas residuales, pero también son importantes las emisiones al aire, el ruido y los desechos sólidos. El uso de productos químicos tiene una influencia considerable en los impactos ambientales en vista de que se usan tintes sintéticos que contienen metales pesados tóxicos como lo son: Plomo, Níquel, Cromo VI (muy tóxico y un conocido cancerígeno humano), Aroclorinas (muchas aminas provocan cáncer), PFC y Biocidas (bioacumulativos y tóxicos), Ftalatos (se usan con el PVC como base para estampar, pueden alterar el desarrollo humano y los procesos productivos), entre otros mencionados en la sección vista anteriormente llamada aditivos. (Ariza Moreno., Huertas Díaz, 2022).

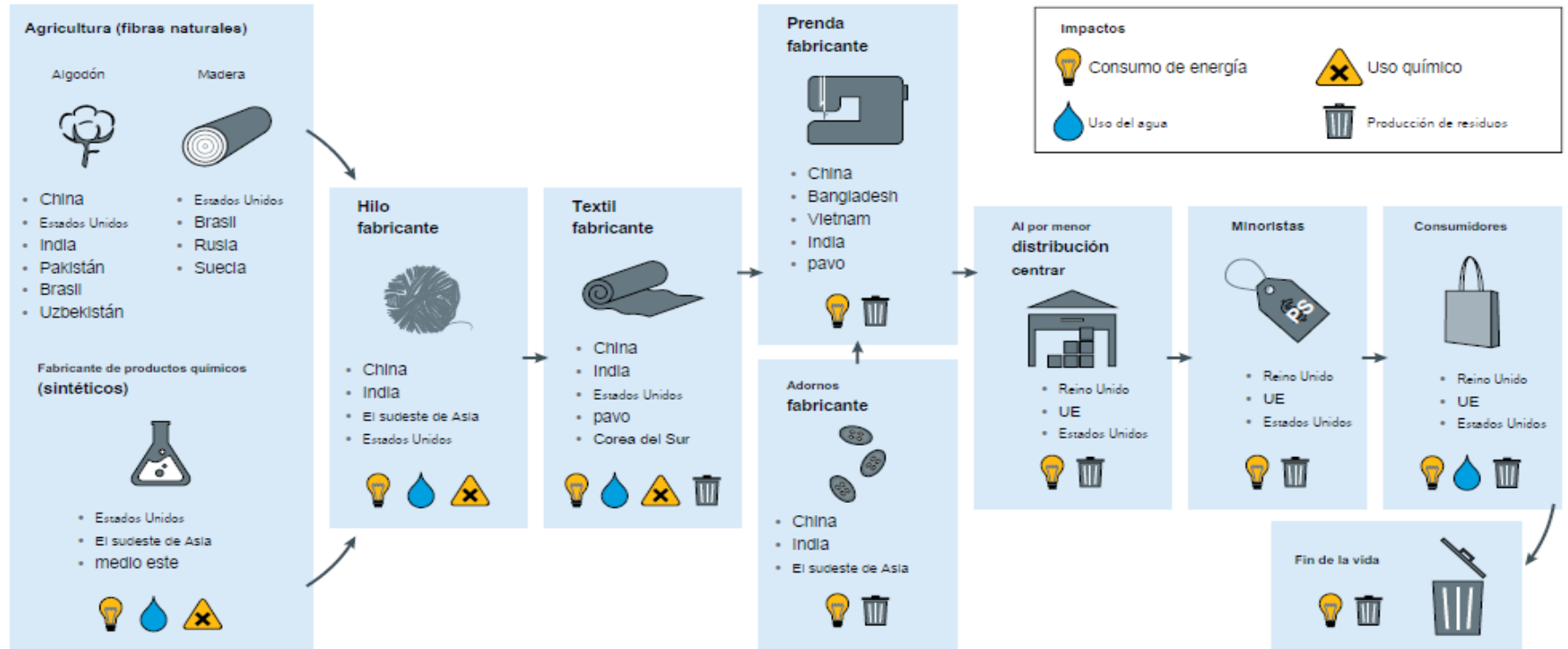
Durante las últimas décadas, la conciencia sobre los problemas ambientales ha aumentado considerablemente y durante los últimos años el medio ambiente se ha convertido en un tema importante en el comercio textil. Este desarrollo se ha visto acentuado por presiones de las autoridades gubernamentales, requisitos establecidos por importadores y clientes en forma de certificación ISO 9000/140000, así como de instituciones extranjeras dedicadas al financiamiento de nuevos proyectos. (Environmental Technology Program for Industry, 1998).

El problema es

Con la intención de ilustrar los posibles residuos que son generados por la industria en la figura 5 se presentan las etapas claves de la cadena de suministro de la fábrica textil con la ubicación geográfica y los impactos ambientales generales en cada etapa del proceso, haciendo alusión a los países que aportan mayor proporción de desechos en el mundo, este proceso es importante en el estudio actual, precisamente porque permite evidenciar las técnicas o herramientas que han sido ocupadas por los países para la generación de propuestas.

Figura 5.

Cadena de suministro de fabricación de prendas de vestir.



Nota: tomado de The environmental price of fast fashion, 2020. Representa la participación que tienen diferentes países en la producción de insumos para la producción textil, indicando específicamente aquellos que tienden a ser contaminantes.

1.2.2. Factores que afectan el medio ambiente

Caniato, et al. (2011) afirman que los procesos de producción, y en particular las fases de teñido, secado y acabado hacen un uso intensivo de productos químicos y recursos naturales y generan un alto impacto ambiental. Además, el uso de fibras, como algodón, lana y sintéticos, tiene un impacto ambiental significativo; la producción de algodón y lana requiere grandes cantidades de agua y pesticidas, mientras que las fibras sintéticas se extraen de recursos no renovables y requieren una energía considerable para producir.

1.3.3.e. Productos químicos tóxicos. El estudio de Niinimäki, et al. (2020) reconoce que el procesamiento de textiles emplea más de 15.000 de productos químicos, los cuales dependen de la naturaleza de la materia prima y del producto. Algunos de estos productos químicos son enzimas diferentes, detergentes, tintes, ácidos, refrescos y sales. El destino de estos productos químicos varía, que van desde el 100% de retención en el tejido al 100% de descarga con el efluente.

(Environmental Technology Program for Industry, 1998).

El abuso en el exceso de productos químicos y agua genera grandes cantidades de sustancias que se encuentran en aguas residuales contaminadas. Según como lo advierte Environmental Technology Program for Industry (1998), los efluentes son de color oscuro, efecto directo sobre la turbidez del cuerpo de agua, además de que dificulta la fotosíntesis, alterando el hábitat.

“Las aguas residuales textiles contienen tensioactivos, tintes, pigmentos, resinas, agentes quelantes, agentes dispersantes, sales inorgánicas, metales pesados y biocidas y, por lo tanto, están muy cargadas con productos químicos, colores, y sal. Se sabe que los efluentes textiles tratados inadecuadamente causan importantes problemas ambientales en las aguas receptoras”.

(Fathy, 2016, p. 102).

Muchos tensoactivos dan lugar a preocupaciones medioambientales debido a su escasa biodegradabilidad, su toxicidad (incluyendo la de sus metabolitos) y su potencial para actuar como disruptores endocrinos, algunos de estos son: etoxilatos de alquifenol (APEO) y en los etoxilatos de nonilfenol (considerada una sustancia peligrosa prioritaria), compuestos que contienen detergentes, agentes dispersantes, lubricantes de hilatura y emulsionantes. (Lacasse y Baumann, 2004).

En el estudio de Niinimäki, et al. (2020) analizó un caso sueco el cual investigó 2.450 sustancias químicas relacionadas con la fabricación de textiles por sus propiedades peligrosas. El 10% de estos productos químicos se identificaron como de alto potencial de preocupación para la salud humana, incluidas las fragancias y colorantes azoicos directos y de tipo ácido, así

como toxinas reproductivas tales como retardadores de llama bromados, agua altamente fluorada, repelentes de manchas y ftalatos. Además, los agentes antibacterianos también se agregan a los textiles, lo que puede conducir a una mayor resistencia a los antibióticos.

El 5% de las sustancias químicas investigadas tenían un alto potencial de preocupación para el medio ambiente, donde pueden diseminarse globalmente y bioacumularse (aumentar gradualmente la concentración de los organismos), causando enfermedades, reacciones alérgicas y aumentando el riesgo de cáncer), estos efectos pueden causarse por los diversos valores de toxicidad que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 3.

Comparación de valores de toxicidad aguda y crónica (mg / L).

Químico	Pez Agudo	Daphnid agudo	Agudo de algas	Pez crónico	Daphnid crónica	Crónica de algas
Nonilfenol etoxilado *	2.0	2.0	2.0	0,2	0,2	0,2
Alcoholes, C8-C10, etoxilados	24	24	24	2,4	2,4	2,4
Alcoholes, C12-C14, etoxilados	2.2	2.2	2.2	0,22	0,22	0,22

Nota: Tomado de Environmental considerations for textile processes and chemicals, (2004). Al interior de la tabla especifican los autores los niveles de toxicidad que provenientes de los textiles generan complicaciones para el mantenimiento de la vida y la salud de diferentes especies en el mar.

En la tabla 3 se presenta la clasificación de toxicidad, aguda o crónica en relación con el contenido de compuestos en las aguas, en la misma medida se evidencia la exposición directa de los productos químicos que afecta directamente a animales acuáticos, esta exposición y tras el consumo de estos animales, los humanos también se ven afectados por el contenido de estos productos químicos en aguas.

1.2.2.b Residuos textiles. La industria de procesamiento de textiles no produce residuo sólido, la cantidad de residuos depende de la tecnología y prácticas internas. La tela rechazada es la principal contribuyente a los residuos sólidos. La tasa de rechazo normal es entre el 3 y el 7%, que depende en gran medida de las prácticas. La mayor parte de los residuos sólidos se reutiliza para diferentes propósitos. (Environmental Technology Program for Industry, 1998), según González (2013) un millón de toneladas de textiles acaban en vertederos cada año.

El principal problema de residuos textiles es la composición de estos, como se mencionó anteriormente en la composición de la industria textil frente a las producciones de fibras, se concluyó que principalmente la industria textil genera mayor demanda en el contenido de

prendas con fibras sintéticas, esto influye directamente sobre el medio ambiente debido a que, por ejemplo, el poliéster presenta baja biodegradabilidad y baja foto degradabilidad, además las prendas no están constituidas netamente por una fibra, sino que contiene mezclas de fibras, haciendo difícil su reciclaje.

En cuanto a residuos, existen dos tipos de residuos textiles, residuos textiles de pre consumo (residuos de producción como fibras, hilados y tejidos. Se estima que el 15% de la tela usada en la confección es desperdiciada) y posconsumo (residuos de prendas desechos por los consumidores). (Niinimäki, et al., 2020).

1.2.2.c Exceso en el consumo de agua. Esta industria usa grandes cantidades de agua durante la producción de una tonelada textil, las grandes cantidades principalmente se atribuyen a los procesos de cultivo de fibras como algodón y los procesos húmedos de producción como blanqueo, teñido, estampado y acabado. En esta industria se estima un uso de agua en 44 billones de litros de agua al año para riego, el 95% está asociado a la producción de fibras de algodón, para la producción de una camiseta y un par de jeans, el cultivo de algodón es responsable del 88% y el 92% de la huella hídrica total. (Niinimäki, et al., 2020).

Niinimäki, et al (2020), también menciona que esta industria es responsable del 7% de las pérdidas locales de agua subterránea y aguas potables por el alto consumo de agua a nivel mundial, primando regiones como China e India.

1.2.2.d Exceso en el consumo de energía. La industria textil usa energía eléctrica obtenida mediante combustibles fósiles para el funcionamiento de la maquinaria industrial utilizada en el largo proceso textil (obtención de fibras químicas, hilatura, tisaje, ennoblecimiento y confección), o bien en la generación de vapor en el encolado y ennoblecimiento. (Carrera, 2017)

“El consumo de energía extraída para fabricar una tonelada de prendas de algodón es de 66.648kWh y para fabricar una tonelada de prendas de poliéster es de 91.508 kWh, los procesos de producción consumen el 17% del consumo total de energía primaria.”. (Altun, 2012, p. 92) Hasanbeigi (2020) establece que la industria textil, a nivel general, no se considera una industria intensiva en energía. sin embargo, la industria textil comprende un gran número de plantas que en conjunto consumen una cantidad de energía. En la misma medida el autor también menciona que la proporción del total de energía de fabricación consumida por la industria textil en un país depende de la estructura del sector manufacturero, por ejemplo, la industria textil representa alrededor del 4% del uso final de energía en la fabricación en China,

mientras que esta participación es inferior al 2% en EE. UU. En procesos como el hilado, la electricidad es la fuente de energía dominante.

1.2.2.e Huella de carbono. Una huella de carbono es una medida de la cantidad de gases de efecto invernadero producidos mediante la quema de combustibles fósiles para electricidad, calefacción y transporte, etc. y se expresa en términos de toneladas (kg) de dióxido de carbono equivalente. La ropa, al ser una de las principales necesidades del ser humano, genera huella de carbono en cada fase del ciclo de vida de un producto textil. El sector de los textiles debido a su cadena de suministro larga y complicada es responsable de la gran cantidad de creación de huella de carbono y es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero asociado a sus procesos de producción, transporte y uso. (Muthu, et al., 2012.

Altun, (2012) establece que esta industria contribuye con el 15% de los gases de efecto invernadero, por su parte Niinimäki, et al., (2020) menciona que el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático afirma que la industria textil causa el 10% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

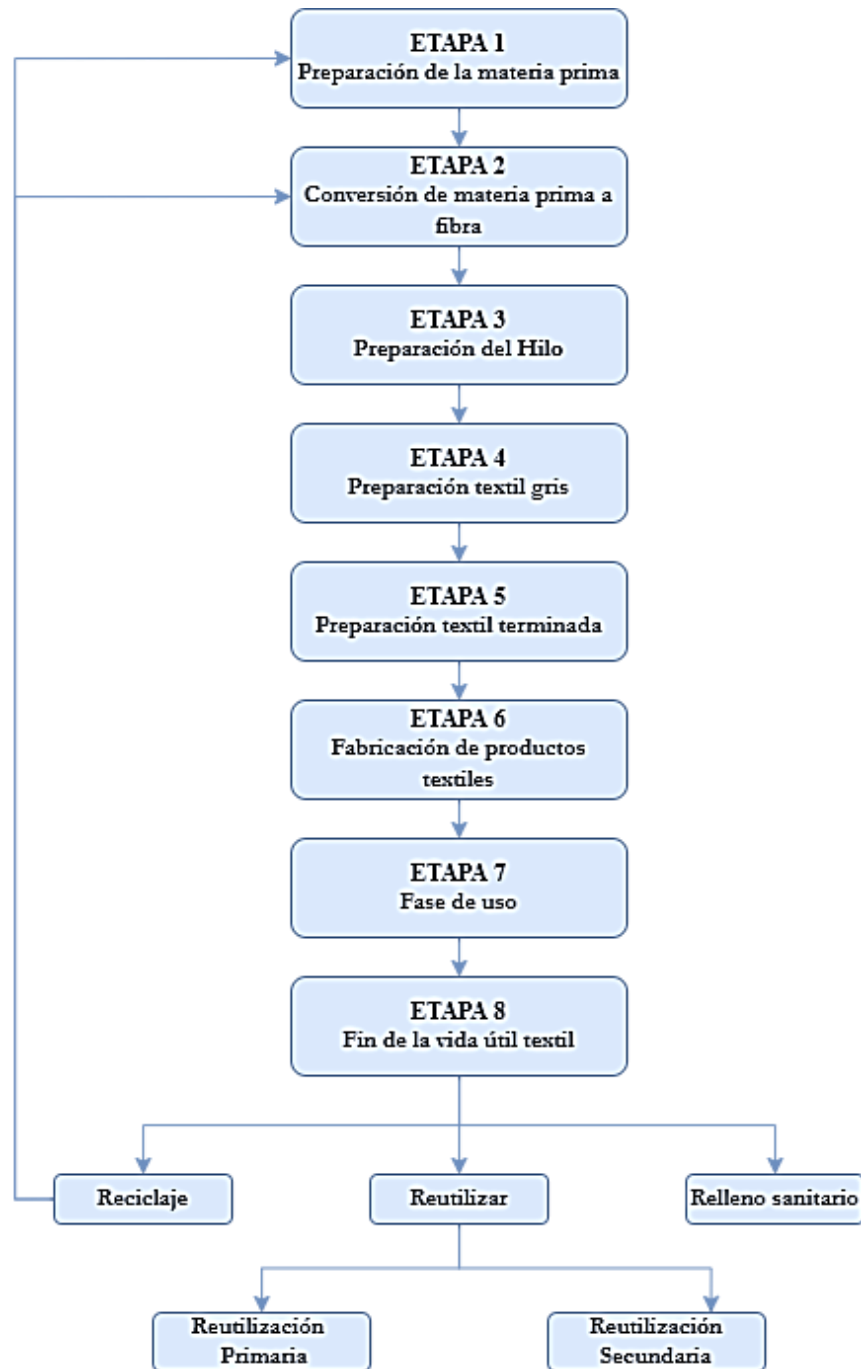
La alta huella de carbono de la industria de la moda proviene del alto uso de energía y está influenciada por la fuente de energía utilizada. Por ejemplo, en China, la fabricación de textiles depende de la energía a base de carbón y, como resultado, tiene una huella de carbono un 40% mayor que la de los textiles fabricados en China.

1.2.3. Ciclo de vida

La evaluación del ciclo de vida ambiental (ELCA) o evaluación del ciclo de vida (LCA), cuantifica los impactos ambientales potenciales de un producto textil a lo largo de su ciclo de vida que se puede apreciar en la figura 6, en donde incluyen diferentes etapas, desde la extracción de materia prima hasta la producción, distribución, uso y eliminación. (Subramanian, et al., 2020).

Figura 6.

El ciclo de vida del producto textil.



Nota: tomado de Sustainable textile materials in interiors (2016) presenta el ciclo del proceso textil, por fase demostrando las diferentes opciones existentes frente al fin de la etapa de vida útil.

Esta evaluación permite la identificación de las etapas del ciclo de vida de un producto textil, etapas con mayor impacto ambiental, está diseñado con el fin de generar responsabilidad en los consumidores a seleccionar productos más amigables con el medio ambiente.

1.2.4. Impactos negativos sobre el medio ambiente de la industria textil en Colombia

En lo referente a los impactos negativos sobre el medio ambiente de la industria textil es preciso tener en cuenta las materias primas, insumos productos y servicios que son requeridos para el sector, ello con la intención de realizar una aproximación a la huella ecológica sectorial y de esta manera identificar el impacto ambiental del sector, en la misma medida se busca identificar en qué etapas o componentes es requerido el mayor esfuerzo para la reducción los impactos ambientales generados.

Es necesario aclarar que, en lo referente al componente de agua, los resultados son aproximaciones debido a que no existe trazabilidad en Colombia en procesos para la elaboración de fibras naturales y sintéticas. Adicionalmente, en lo que refiere a los datos estos se encuentran sustentados en la Encuesta Manual de Manufactura del DANE (2018) formulando aproximaciones con el crecimiento del sector, estos datos se pueden verificar en la tabla 4.

Tabla 4.

Análisis de inventario del sector textil.

Materias y Procesos		Fibras naturales		Fibras sintéticas
Obtención de materias primas	Agua m3	508180224	Lana y otras fibras vegetales	Poliéster, nailon, acrílicas, etc
Procesos de manufactura	Fibras e hilados (t)	248328,16	606,68	247559,08
	Tejidos (km)	690247,56	3527,56	1096106,04
	Artículos (n)	7662424,08		292593575,6
	Tintes (L)		4996719,72	
	Blanqueadores (L)		10195365,28	
	Detergentes (L)		4081723,32	
	Agua (m3)		24943364	
	plásticos (n)		39312679,56	
Uso y disposición final	Desechos de materias (t)	656,56	20,88	4237,48
	Desechos de producto (t)		505584,84	
	Detergentes (L)		226339200	
	Agua (m3)		67358545,92	

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, demuestra la cantidad totalizante de gastos en diferentes materiales e insumos dependiendo de los procesos en la industria manufacturera y en el uso y la disposición final que tienen las materias textiles.

Adicionalmente es necesario traer a colación el análisis de inventario de los procesos de manufactura que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5.*Materias primas (inventario).***OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS**

	Fibras naturales	Fibras sintéticas	Importaciones		Transporte interno	Exportaciones
			Transporte internacional			
			Marítimo	Terrestre		
ACPM (GAL)	5428,8	27264,64	666573,12	429255*1,16	70169,56	1472,04
EMISIONES (Tm CO₂)	47,56	242,44	5924,12	4425,4	624,08	12,76

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, se evidencia la cantidad de materia prima combustible que es requerido para el proceso de fabricación, uso y disposición de los materiales textiles. Seguidamente se tiene en cuenta el análisis de los procesos de manufactura, presupuestados en la tabla 6.

Tabla 6.*Procesos de manufactura. (inventario)*

Procesos de manufactura					
		Importaciones		Exportaciones	
		Transporte internacional		Transporte interno	Transporte interno
		Marítimo	Terrestre		
Diesel Oil (gal)	119096,04			16460,4	35479,76
Gasolina (gal)	42772,68				
Querosen	30679,68				
Gas natural (m3)	87110805,52	201174,16	34986,76		
Carbón mineral (t)	218832,84				
Energía consumida kWh	930839083,8				
Emisiones (Tm CO₂)	684067,08	1787,56	331,76	146,16	315,52

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, presenta la discriminación de los combustibles que son ocupados en el proceso de manufactura.

Así mismo es preciso el cálculo del uso y la disposición final de las emisiones presentadas en la tabla 7.

Tabla 7.*Uso y disposición final (inventario)*

Uso y disposición final	
ACPM (gal)	423366,36
Emisiones (Tm CO₂)	3761,88

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021.

Frente a los hallazgos anteriores se reconoce el resumen de indicadores calculados, ello expresado en la tabla 8.

Tabla 8.*Resumen de indicadores calculados.*

Indicador			Total (gha)
Huella ecológica		Carbono	336538,04
		Cultivos	671138,88
			1007676,92
Indicador			Total (gha)
Huella hídrica	Azul	Procesos de manufactura Uso y disposición	30988590,32
	Verde	Colombia	52877162,76
	Gris	Colombia	255,2

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, presenta un resumen sobre los principales indicadores calculados frente a la huella ecológica y la huella hídrica, se aclara que los datos son aproximados por cantidad de fábricas textiles y uso promedio de agua.

Adicionalmente es necesario realizar el cálculo de la huella hídrica azul que se compone de la sumatoria de agua evaporada, agua extraída y flujo de retorno

$$Huella\ azul, proceso\ de\ manufactura = 1429584 + 13920000 + 15639006,32$$

$$Huella\ azul, proceso\ de\ manufactura = 30988590,32$$

De acuerdo con la metodología WFN¹ la huella hídrica verde se compone del volumen de agua requerida para la producción de una tonelada de algodón sobre el rendimiento del cultivo:

$$Huella\ verde, algodón\ Colombia = \frac{29082.36}{2.2} = 13219.25455\ m_3$$

En lo referente a la huella hídrica gris es importante presentar cálculos sobre este indicador considerando tres metales pesados (Cr, Ni, Zn) que son ocupados para tintes y cloruros presentes en los blanqueadores, el cálculo de esta huella se realiza para Colombia tomando como datos de referencia la información presente para 10 ciudades capitales, los datos se verifican en la tabla 9.

¹ Mide aquella agua que está consumiendo un Estado particular o globalmente e inclusive en una cuenca de río específica o en un afluyente acuífero, considerando tres tipos de huella específica: verde, azul, gris.

Tabla 9.*Resumen de indicadores calculados.*

Huella hídrica Gris								
Iones y Metales	Carga del contaminante ante (kg/día)	Concentración Máxima (mg/l)	Concentración Natural (mg/L)	Concentración del contaminante ante (mg/L)	Volumen Caudal (l/s)	Factor de conversión	HHGB (L/día)	HHG (L/año)
Cromo	224,96	0,5	0,1	245	56000	0,0864	221,92	81000,8
Níquel	77,52	0,5	0,01	82,8			60,8	22192
Zinc	576,08	3	0	625			1,368	499,32
Cloruros	4135,92	1200	50	4500			1,368	499,32

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, presenta la denominada huella gris a través de la cual se identifican los principales contaminantes que se depositan al ambiente dada la producción textil.

Con respecto al cálculo de la huella ecológica solo se consideran las categorías de cultivos y carbono, debido a que son las únicas categorías en donde se cuenta con información pertinente para la industria textiles, lo que si bien disminuye los resultados investigativos puede complementarse de los datos Global Footprint Network en donde se ofrece información sobre la huella ecológica de Colombia para 2016 discriminada por seis categorías.

En un primer momento se realiza el cálculo de huella de carbono, la cual se encuentra contemplada en un valor de 33778.04 hectáreas globales de tierra productiva (ver Tabla 9), lo que implica que para el 2021 el país requirió 290.119 hectáreas para la absorción de dióxido de carbono que ha sido emitido por el sector textil y de confecciones, en un segundo momento para la huella de cultivos de algodón se obtiene un resultado de 671138,88, resultado que se presenta en la tabla 11.

Tabla 10.

Huella carbono consumo.

Huella de carbono 2021			
Efp (ha)	EFI (ha)	Efe (ha)	Efc (ha)
331221,76	5552,92	236,64	33778,04

Nota: Elaboración propia con base en los datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, se presenta la huella de carbono de la producción de algodón, calculada en emisiones directas.

Tabla 11.

Huella cultivos consumo

Huella de carbono 2021			
Efp (gha)	EFI (gha)	Efe (gha)	Efc (gha)
326813,76	340867,16	3457,96	671138,88

Nota: Datos totales nacionales en Colombia aproximaciones al año 2021, calculadas sobre las hectáreas dedicadas a cultivos de consumo adyacentes a las producciones de algodón.

1.3. Sostenibilidad en la industria textil

González (2013) describe la sostenibilidad como la capacidad de soportar, la premisa principal se basa en las personas y sus comunidades, los cuales componen los sistemas sociales, económicos y ambientales interactúan y deben mantener un equilibrio.

Este criterio según Cuc y Vidovic (2014) “tiene como objetivo extraer los máximos beneficios de los productos, alargando su vida antes de su desecho, en el caso de la industria textil, se busca la reducción de la cantidad total de tierra utilizada para la producción, este aspecto es importante para prevenir conflictos futuros relacionados con el uso de la tierra” (p.17).

La sostenibilidad ambiental está asociada con la Gestión de la Cadena de Suministro con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental y busca en las empresas mediante la adopción de los objetivos de desarrollo de las naciones unidas: la responsabilidad social, la reducción en el uso de productos químicos y materiales tóxicos, el consumo de energía, la generación de desechos, la contaminación en el aire y el agua. (Caniato, et. al., 2012)

En la búsqueda de la sostenibilidad del sector textil además del sistema de Gestión de la Cadena de Suministro y las leyes ISO, se adoptan los ODS, Objetivos de Desarrollo sostenible para asegurar una producción limpia con el fin de tener ventajas medioambientales. Los ODS son adoptados son: 9 (Innovación e infraestructura), 12 (Producción y consumo responsable) y 15 (Protección de la vida en la tierra). (Cardoso, et al., 2019)

1.3.1. Responsabilidad social

La responsabilidad social empresarial basados en los estudios de Frigelg, et al., (2019) tiene como objetivo lograr mediante la gestión de sus grupos de interés, gestión de su influencia en

la comunidad en la que opera y la evaluación ambiental o preocuparse por los pequeños impactos que generará su actividad productiva. El autor complementa afirmando que, la responsabilidad social cubre las dimensiones económicas, legales y éticas.

1.3.2. Innovación sostenible

Frente a la innovación sostenible es prudente manifestar que:

“Los últimos diez años han visto el surgimiento de nuevos enfoques multidisciplinarios para la investigación textil: como micro, nano, bio y las tecnologías de la información y los biomateriales han seguido evolucionando para nuevas etapas de madurez, hay una extraordinaria variedad de nuevas posibilidades para funcionalidades mejoradas dentro de los textiles, a partir de nuevas estructuras de fibra, materiales compuestos y recubrimientos en los niveles nano y micro a lo visible integración de conjuntos electrónicos en la ropa.” (Blackburn, 2019, p. 104).

1.3.2.a. Generalidades. La nanotecnología en los textiles sostenibles tiene importancia en cuanto a su impacto ambiental, puesto que esta propuesta que actualmente se está estudiando propone mejoras en los procesos existentes como el teñido, minimizar la necesidad de lavado y de planchado, lo cual garantiza los ahorros de energía y agua junto a la reducción y reemplazo de productos químicos tóxicos.

Blackburn (2019) propone la innovación sostenible en el sector, con propuestas que incluye la nanotecnología para elaborar recubrimientos superficiales (asegura superficies preparadas para recibir tintes y pigmentos, mejorando la absorción, preserva la solidez del color, resistencia a la decoloración de la luz solar y a abrasión por lavado y desgaste, minimiza el desperdicio y el lavado y mejora la durabilidad de la tela) y tratamiento de fibras textiles, tratamientos con plasma, efecto loto y superficies autolimpiables, tratamientos superficiales sol-gel, nanoencapsulación. En la misma medida propone estrategias de implementación en la industria nanofibras, textiles electrónicos.

1.3.3. Estrategias sostenibles

Las estrategias de tratamiento de residuos textiles incluyen reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de energía. El objetivo de todas estas estrategias es proporcionar el máximo beneficio al prolongar la vida útil de los productos. La reducción es la reparación y renovación de la totalidad o partes de un producto para que pueda utilizarse durante el mayor tiempo posible. Esta práctica también contribuye a la conservación de los recursos en comparación con la reproducción de productos, pero requiere materiales y mano de obra para los procesos

de recuperación y renovación. Si bien este método se utilizó ampliamente tanto en los hogares como en la industria en el pasado.

La industria textil, sector con mayor consumo, las prácticas de reciclaje en el sector no se encuentran en niveles satisfactorios. Sin embargo, paralelamente al aumento de la conciencia mundial sobre los problemas ambientales, la conciencia de los consumidores sobre la sostenibilidad ha comenzado a aumentar. Los consumidores tienen ahora una demanda de prendas recicladas y los fabricantes están buscando formas de satisfacer esta demanda (Burcin, et al., 2016).

1.3.3.e. Productos textiles sostenibles y ecológicos. Recientemente, se han realizado esfuerzos para encontrar sustitutos de los productos químicos tóxicos utilizados en el procesamiento de textiles. El ácido cítrico, por ejemplo, que no causa efectos adversos a los seres humanos ni al medio ambiente, se ha introducido para reemplazar el formaldehído, un posible carcinógeno, en las telas de algodón con acabado de prensa duradera. Un esfuerzo realizado para mejorar el teñido del algodón, es la introducción de sitios de tinción catiónicos unidos covalentemente en las fibras de algodón, de modo que se mejore la afinidad de los tintes por las fibras y se puedan eliminar los pasos de enjuague y poslavado de los procesos convencionales reduciendo así la contaminación ambiental (Sentená, 2019).

En los últimos años, algunas variedades de algodón no convencionales se han cultivado bajo criterios más ambientalmente responsables y se comercializa como algodón de color natural, algodón orgánico y algodón verde.

Los algodones de colores naturales, disponibles en varios tonos de verde y marrón, se han desarrollado mediante reproducción selectiva a partir de mutantes naturales, y las fibras se pueden procesar en telas de colores o estampadas sin el uso de tintes. Además, las plantas de algodón de color natural tienen mejor resistencia a las plagas y enfermedades que el algodón blanco convencional, lo que puede reducir o eliminar la necesidad de pesticidas y fungicidas, el algodón orgánico se produce sin el uso de fertilizantes sintéticos, herbicidas y pesticidas, adicionalmente se cultiva con fertilizantes naturales (estiércol) y reemplazando plaguicidas con insectos beneficiosos para cazar insectos dañinos para las plantas, una vez cosechado, aquel que es certificado se almacena sin el uso de raticidas o fungicidas, en la misma medida el algodón verde se utiliza para describir la tela de algodón que se ha lavado con un jabón suave de base natural y la tela no se blanquea ni se trata con ningún producto químico, excepto posiblemente con tintes naturales.

A pesar de que se han introducido en el mercado algunos tipos de algodones ambientalmente responsables, el algodón blanco convencional todavía representa la mayoría de los productos de algodón. El algodón orgánico, por ejemplo, representa solo alrededor del 2% de la producción total de algodón de EE. UU. (Chen y Burns, 2006).

1.3.3.e. Reutilización de residuos textiles. La reutilización es la reevaluación de productos para el mismo uso. Proporciona importantes ahorros medioambientales. La energía requerida para recolectar, clasificar y revender una prenda como artículo de segunda mano es de 10 a 20 veces menor que la energía requerida para producir un artículo nuevo (Burcin, et al., 2016).

Los residuos textiles posconsumo que se recuperan, solo alrededor del 48% se recicla como ropa de segunda mano (principalmente vendida a países en desarrollo), mientras que el resto se tira a la basura y termina en los vertederos municipales. (Chen y Burns, 2006).

1.3.3.e. Reciclaje textil. Existen muchas formas de reciclaje textil para los desechos preconsumo y posconsumos basados en procesos de reciclado mecánico, químico, biológico y térmico. Sin embargo, el reciclaje se complica porque las prendas se fabrican con mezclas de fibras, que requieren separación. La composición heterogénea de los residuos posconsumo, por lo tanto, tiene altos requisitos técnicos para la clasificación, a menudo se logran a través de soluciones automatizadas basadas en tecnología de infrarrojo cercano. La tecnología robótica también ha podido separar cuatro clases de materiales textiles diferentes con una precisión promedio de más del 90% (Niinimäki et al. 2020)

El reciclaje mecánico de fibras funciona simplemente triturando los desechos textiles en fibras cortas, reduciendo su calidad, antes de que se conviertan en nuevos materiales. Dado el deterioro de las fibras relacionado con la trituración, se ha sugerido que un máximo de 20% de fibras de algodón recuperadas mecánicamente después del consumo se pueden mezclar con algodón virgen antes de que se comprometa la resistencia, aunque se pueden lograr altos porcentajes cuando se usa algodón preconsumo. desechos y/u otras fibras vírgenes que son más largos. La fibra triturada se puede utilizar, por ejemplo, en materiales compuestos, telas no tejidas y materiales de relleno, materiales con un valor monetario inferior al del producto original. (Niinimäki et al. 2020).

Otros procesos de reciclaje son más eficientes que el reciclaje mecánico. Por ejemplo, el reciclaje químico funciona fraccionando fibras a través de un proceso de disolución química en un nivel de polímero y es adecuado para fibras de celulosa. El proceso conserva las fibras mejor que el reciclado mecánico y, por lo tanto, se prevé que permita producir prendas con

porcentajes más altos de fibras recicladas, lo que promueve el reciclado; incluso se puede producir hilo 100% reciclado. (Niinimäki et al. 2020).

En la misma medida Niinimäki et al (2020) reconocen que, el reciclaje térmico se utiliza para termoplásticos, como el poliéster, y, en este proceso, las fibras se hilan en fusión mediante el mismo proceso que las fibras termoplásticas originales. Las nuevas tecnologías permiten aún mayores mejoras en el retorno de los textiles.

El proceso de carbamato de celulosa, por ejemplo, crea fibras discontinuas de grado viscosa a partir de desechos textiles ricos en algodón, que posteriormente se pueden utilizar para las mismas aplicaciones que las fibras de viscosa, es decir, no tejidos, tejidos y géneros de punto, o mezcladas con diferentes fibras, como algodón o poliéster. Además, otras técnicas como el proceso Ioncell-F, utiliza la disolución e hilado de fibras celulósicas para crear una alternativa a la producción de algodón virgen o viscosa. Dado que tanto Ioncell-F como el carbamato de celulosa dependen de la tecnología de preselección de fibras, otros procesos de reciclado químico se han centrado en tejidos mezclados (como el polialgodón) para permitir un reciclado inestable utilizando productos químicos económicos. Además, los procesos químicos pueden eliminar contaminantes, como sustancias peligrosas incluidas en los desechos textiles (Niinimäki et al. 2020). En comparación con el reciclaje y la incineración, la hidrólisis enzimática da lugar a productos de mayor valor (Quartinello, 2017).

1.3.3.e. Recuperación de fibras textiles. En la recuperación de fibras textiles se ha utilizado el reciclaje textil químico anteriormente mencionado, y métodos biológicos para recuperar las fibras de poliéster, estos métodos son hidrólisis enzimática y fermentaciones.

En el método de hidrólisis enzimática se hidroliza la celulosa del algodón a la glucosa soluble, mientras que el material no biodegradable permanece intacto y es separado a través de un proceso de filtración. La cantidad de glucosa recuperada de los residuos textiles tratados depende de la composición de fibra natural de la muestra analizada (Subramanian et al, 2020). Esta alternativa al operarse a presión atmosférica, temperaturas moderadas y condiciones de pH suaves, garantizan la reducción de los costos de operación y producción, además de ser una alternativa que no incluye en sus procesos consumo de energía ni de productos químicos tóxicos, brindando un beneficio ambiental alto.

Los desechos textiles contienen una parte celulósica que puede ser convertida en glucosa mediante hidrólisis y posteriormente fermentada en etanol. La parte celulósica de los textiles de desecho va acompañada de una fibra sintética, por ejemplo, poliéster. La hidrólisis de la celulosa en el tejido de desecho, no se inhibe, ya que el principal obstáculo en la bioconversión

del tejido de desecho es la cristalinidad de la celulosa. Por lo tanto, el uso de un pretratamiento adecuado antes del hidrólisis es esencial para una hidrólisis eficiente de la parte celulósica de los textiles de desecho (Gholamzad et al, 2014). Esta alternativa asegura un reciclaje efectivo de las fibras debido a que este proceso permite separar la parte polimérica de la natural.

1.3.3.e. Reducción de huella de carbono. La reutilización de residuos textiles contribuye con la huella de carbono en vista de que por tonelada de residuos reemplazados se produce 8 toneladas de CO₂, el cual equivale a 164GJ de energía primaria ahorrada. El contribuyente más significativo uso de energía primaria es la producción evitada de productos remanufacturados a partir de recursos primarios, dado que la producción de fibras de poliéster y celulosa consume mucha energía; la elección del producto reemplazado afecta en gran medida los resultados (Zamani, et al., 2014).

En los procesos de separación de celulosa / poliéster, como lo son el reciclaje químico o biológico contribuye a 46.5 GJ y 5.5 toneladas de CO₂ ahorrado, mientras que en los procesos de hidrolisis enzimática, en donde se recicla el poliéster se tiene por tonelada tratada un total de ahorro de 0.9 toneladas de CO₂ y 26 GJ de energía primaria. (Zamani, et al., 2014)

1.4. Análisis PESTEL del sector textil

La caracterización de la industria textil se realizará por medio del desarrollo de un análisis PESTEL en el cual se tendrán en cuenta factores económicos, sociales, políticos y ante dodo, los factores ambientales, el cual tiene mayor relación con el propósito de este trabajo de investigación, la caracterización se evidencia en la figura 7 de forma detallada.

Figura 7.

Análisis PESTEL del sector textil.

PESTEL		
FACTORES	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
Factores POLÍTICOS	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA

Figura 7. (Continuación)

<p>1. Modelos político-económicos en el poder</p>	<p>En la actualidad los modelos económicos y políticos convergen en un mismo propósito y es el de brindar apoyo al sector textil para su fortalecimiento ya que durante la pandemia del COVID 19 se pudo evidenciar la importancia de este para los colombianos.</p>	<p>Oportunidad</p>
<p>2. Plan Nacional de desarrollo (general y sector)</p>	<p>En el plan nacional de desarrollo de la vigencia 2018 – 2022 “pacto por Colombia, pacto por la equidad” se puede evidenciar que el gobierno del presidente Iván Duque destinó un monto mayor para el sector textil en comparación a gobiernos anteriores.</p>	<p>Oportunidad</p>
<p>3. Desarrollo de TIC's: bienes y servicios, condiciones, aranceles...</p>	<p>Actualmente, la generación de nuevas tecnologías destinadas al perfeccionamiento de la producción en el sector textil se ha mantenido estancada debido a diversos factores, entre ellos la pandemia del COVID 19.</p>	<p>Amenaza</p>
<p>4. Representatividad /Asociatividad de empresa en gremios y otros organismos</p>	<p>Gracias al contexto en que vivimos, las grandes empresas y pequeños productores han entendido la importancia que tiene el asociarse como gremios para que en equipo puedan lograr sus objetivos y de este modo poder recibir mayores aportes por parte de los entes gubernamentales.</p>	<p>Oportunidad</p>

Figura 7. (Continuación)

Factores ECONÓMICOS	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
1. PIB del sector	En el año 2021 el sector textil representó un 8,5 % del producto interno bruto en Colombia.	Oportunidad
2. Tasa de Cambio	La tasa de cambio actualmente está en 0.00026 de dólar estadounidense lo cual puede ser negativo para los productores que exportan.	Amenaza
3. Tasas de Crédito	Las tasas de crédito oscilan entre 1,730 y 1,750.	Oportunidad
4. Tasa de desempleo	La tasa de desempleo en Colombia es del 15,6% lo cual ha hecho que el gobierno nacional aumente sus esfuerzos para disminuir estos índices.	Oportunidad
5. Inflación	La Inflación en Colombia es de 5,62%, mayor a la del año inmediatamente anterior y continúa en ascenso.	Amenaza
6. Mercados Internacionales, Nacionales, Regionales, Locales	Los mercados en sus diferentes niveles han presentado leves mejorías gracias a los esfuerzos de los entes gubernamentales.	Oportunidad
Factores SOCIALES	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
De los stakeholders: población objetivo	La población objetivo ha venido creando conciencia en que el sector textil es el más importante para sus familias.	Oportunidad
1. Demografía (Tasas de natalidad y mortalidad)	La Tasa de natalidad ha disminuido considerablemente mientras que el índice de mortalidad ha aumentado lo cual afectaría el sector textil ya que son menos los consumidores.	Amenaza

Figura 7. (Continuación)

2. Nivel de Educación	En la actualidad el gobierno nacional ha tomado medidas para ampliar la cobertura no solamente de la educación superior, sino también de la educación básica y secundaria, mejorando los niveles de educación.	Oportunidad
3. Distribución de la Renta	La Distribución de la renta está destinada en un porcentaje considerable hacia la obtención de prendas de vestir.	Oportunidad
4. Movilidad Social	Debido a la situación por la pandemia del covid-19 la movilidad social se ha mantenido estable debido a la falta de oportunidades.	Oportunidad
5. Cambios en el estilo de Vida	Las Personas después de la pandemia del COVID 19 han cambiado su estilo de vida a uno que requiere una mejor alimentación.	Amenaza
6. Tradiciones, costumbres y culturas	No Presentan variación, lo que hace que las personas consuman mejores alimentos que provienen del sector primario.	Amenaza
7. Tendencias de consumo	La tendencia de consumo de las personas va más hacia el consumo de prendas de vestir.	Oportunidad
Factores TECNOLÓGICOS	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
1. Gasto Público y promoción en Investigación, Desarrollo e Innovación	Los entes gubernamentales seguirán destinando mayores recursos para el fortalecimiento del sector textil.	Oportunidad
2. Atención de la Industria privada a la Investigación, Desarrollo e Innovación	No se destinan recursos suficientes para la investigación, desarrollo e innovación para el sector textil.	Amenaza
3. Rapidez de la Transferencia Tecnológica	Avances considerables para el sector	Oportunidad
4. Nueva Tecnología y su disposición en el mercado Internacional o Nacional	Tecnologías que permiten el perfeccionamiento del sector.	Oportunidad

Figura 7. (Continuación)

Factores AMBIENTALES	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
1. Leyes de Protección Ambiental	El gobierno nacional ha venido y seguirá fortaleciendo la normatividad ambiental para el fortalecimiento del sector textil ya que este depende principalmente del medio ambiente	Oportunidad
2. Fuentes energéticas alternativas	Los entes gubernamentales han implementado estrategias para promover e incentivar el uso de energías renovables.	Oportunidad
3. Estándares internacionales y locales	Los estándares ambientales internacionales y locales han permitido el fortalecimiento del sector textil gracias a las diferentes estrategias desarrolladas por los entes gubernamentales.	Oportunidad
4. Condiciones Climáticas y situaciones fortuitas de la naturaleza	Las condiciones climáticas tienden a desmejorar debido a la falta de concientización de la sociedad, el calentamiento global y los desastres naturales serán el pan de cada día.	Amenaza
Factores AMBIENTALES	TENDENCIAS	OPORTUNIDAD O AMENAZA
1. Legislación sobre el sector	Como se ha mencionado, el gobierno nacional ha aumentado los esfuerzos para fortalecer el sector textil y lo seguirá haciendo en la medida que este tome mayor importancia para la sociedad.	Oportunidad
2. Legislación sobre la competencia	El congreso de la república ha promovido diferentes estrategias para el fortalecimiento de la normatividad ambiental.	Amenaza

Figura 7. (Continuación)

3. Legislación Laboral en el sector	El gobierno nacional seguirá implementando estrategias para disminuir el índice de desempleo lo cual puede favorecer al sector textil.	Oportunidad
-------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

Nota: Hallazgos contextuales frente a factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos y laborales. En esta se hace alusión a los factores que intervienen en el proceso de producción textil

La industria textil en todo el ciclo de vida de una prenda se generan diferentes impactos ambientales, impactando negativamente debido al uso de sustancias químicas, el consumo excesivo de agua y energía, y la generación de desechos y vertimientos. De igual manera, la industria textil es la responsable de la producción del 20% de las aguas residuales y uno de los consumidores de agua más importante a nivel mundial.

En nuestro país, el impacto ambiental se puede evidenciar desde la obtención de materia primas que para el caso son las fibras de algodón, en donde para su producción es necesario la utilización de cantidades de pesticidas enormes, lo cual repercute sobre los insectos, el rendimiento de las plantas y la contaminación del suelo. Los índices de contaminación generados por la industria textil se intensifican durante la etapa de Tejeduría y Acabado; la cual está directamente relacionada con la utilización de los productos químicos.

Los productos químicos utilizados en los acabados textiles generan contaminantes como los fenoles, sulfuros plomo, cobre, cromo y aceites. Durante el ciclo de producción también se destacase dan otros impactos como la producción de fibras textiles con sustancias peligrosas, la generación de residuos líquidos con cargas orgánicas, la generación de ruido en las plantas tejedoras y la emisión de partículas a la atmósfera, que dejan en evidencia la contaminación ambiental que causa esta actividad industrial.

De igual manera, durante el proceso de tinturado, como consecuencia de utilizar colorantes sintéticos juega un rol importante en la generación de gama de colores, solidez y brillo a la prenda. Sin embargo, al utilizar metales pesados como el cobre, arsénico, mercurio, plomo, el níquel, cadmio, el cobalto y el cromo, se puede causar un impacto mayor si no se cuenta con un tratamiento adecuado de los efluentes. Asimismo, la utilización de productos químicos nocivos, como el azufre, y agentes de fijación a base de formaldehído, ácido acético, suavizantes, naftol, nitratos, productos químicos enjabonados y otros auxiliares causan que el efluente sea altamente tóxico, lo cual puede resultar nocivo para la salud humana.

Por lo anterior, estos procesos se han convertido en un tema preocupante ya que impacta en el tratamiento de aguas y en la seguridad industrial. Ciertos estudios toxicológicos han

demostrado que los trabajadores de la industria textil que están expuestos continuamente a dichos productos químicos pueden manifestar síntomas como irritación en la piel, dermatitis, reacciones alérgicas, asma, rinitis, entre otros.

Asimismo, una prenda de vestir dentro del ciclo de vida la disposición es una etapa clave para la determinación de los impactos negativos. Comúnmente esta etapa se encuentra relacionada con los impactos negativos. En Colombia, según la ANDI, sólo el 0,4% de los textiles son comercializados y aprovechados al finalizar su ciclo de vida (Sentená, 2018).

Teniendo en cuenta el análisis PESTEL realizado en la Figura 7 y el contexto del impacto ambiental causado por la industria textil, se tiene que en Colombia la normatividad que busca la disminución de las consecuencias de los procesos realizados para la confección de una prenda de vestir es insuficiente, muy a pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno nacional.

Asimismo, el crecimiento de la tasa de natalidad acompañado con la tendencia de consumo de las personas, la cual va más hacia el consumo de prendas de vestir lo cual se evidencia en el aporte que la industria textil hace al Producto Interno Bruto de Colombia que es de 8,5%, son determinantes del incremento de los índices de contaminación durante los procesos desarrollados en este sector.

De igual manera, teniendo en cuenta el análisis PESTEL con el que se logró establecer que, gracias a la tecnificación del sector, se han presentado avances considerables en la invención de nuevas tecnologías que permiten el perfeccionamiento de la industria, se espera que estas se enfoquen en la disminución del impacto ambiental, sin dejar de lado el crecimiento de la productividad para que se del tan anhelado desarrollo sostenible.

2. ACCIONES DE CONTROL AMBIENTAL ACTUAL EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA.

Este segundo capítulo se desarrolla teniendo en cuenta la normatividad legal vigente en Colombia la cual, como se dijo previamente, está en constante modificación de acuerdo a las exigencias medioambientales y los impactos causados por los diferentes sectores de la economía, en este caso la industria textil. Así, se presenta a continuación la normatividad legal vigente que establece las acciones de control ambiental en la industria textil:

2.1. Normatividad de control ambiental en la industria textil.

A continuación, se presenta en la figura 8 la legislación ambiental y sus disposiciones para el sector textil en Colombia.

Figura 8.

Normatividad de control ambiental en la industria textil colombiana.

RECURSO	NORMA	RELACIÓN
MEDIO AMBIENTE EN GENERAL	Constitución del 91	Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
	Ley 99 de 1993	Art. 31. Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental a los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables.
		Art. 66. Responsabilidad de efectuar el control de vertimientos y emisiones contaminantes, disposición de desechos sólidos y de residuos tóxicos y peligrosos, dictar las medidas de corrección o mitigación de daños ambientales.

Figura 8. (Continuación)

RECURSO HÍDRICO	Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
	Decreto 1076 de 2015	Art. 2.2.3.3.1.1. Disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. (Decreto 3930/2010)
VERTIMIENTOS	Ley 9 de 1979	Código sanitario: Prohibición de descarga o vertimiento de líquidos en las calles
	Decreto 1076 de 2015	Art. 2.2.3.2.20.2. Concesión y permiso de vertimientos. Si como consecuencia del aprovechamiento de aguas en cualquiera de los usos previstos por el artículo 2.2.3.2.7.1 de este Decreto se han de incorporar a las aguas sustancias o desechos, se requerirá permiso de vertimiento.
	Decreto 1594 de 1984	Art. 6. vertimiento líquido cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado. Art. 73. Requerimientos que debe cumplir un vertimiento al alcantarillado.
	Resolución 2115 de 2007	Adopta disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
	Decreto 1575 de 2007	Establece el Sistema para la Protección y Control de LA Calidad del Agua para Consumo Humano.
	Resolución 3957 de 2009	Art. 1. Los vertimientos generados por los Usuarios a los cuales se les aplica la presente Resolución, se registrarán en lo concerniente a los instrumentos de control ambiental. Art. 4. registro de vertimientos es decir llevar y sentar la información de manera ordenada sucesiva y completa referente a los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público. Art. 15. vertimientos no permitidos como aguas residuales a las calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillado para aguas lluvias.
	Resolución 0631 de 2015	Valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Figura 8. (Continuación)

RESIDUOS	Ley 09 de 1979	Se deberán implementar medidas sanitarias en el control y manejo de los residuos
	Decreto Ley 2811 de 1974	Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente, es el punto de partida para la expedición de las demás normas para la protección ambiental. Se prohíbe descargar, sin autorización, los residuos, basuras y desperdicios, y, en general, de desechos que deterioren los suelos o, causen daño o molestia a individuos o núcleos humanos.
	Ley 430 de 1998	Se reglamenta el manejo especial que deberán tener residuos denominados peligrosos, proteger la integridad de quien los maneje y de la población que este en contacto con los mismos.
	Decreto 1713 del 2002	Se reglamenta la gestión integral de los residuos sólidos y se exige el aprovechamiento del mismo, mediante programas de reciclaje y reutilización.
	Decreto 838 del 2005	Hacer referencia a la adecuada disposición final que deben tener los residuos sólidos para evitar posibles proliferaciones de plagas.
	Documento CONPES 2750 de 1994	Se deberá establecer una política sobre manejo de residuos sólidos.
	Decreto 605 de 1996	Se reglamenta la prohibición de que cualquier empresa y/o entidad realice manejo y disposición final de los residuos en áreas públicas
	Decreto 4741 de 2005	Obligaciones y prohibiciones para generadores de residuos peligrosos
SUELOS	Ley 388 de 1997	Art. 33. Reglamenta el uso de suelo en el territorio colombiano
	Decreto 364 de 2013	Normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D. C., adoptado mediante Decreto Distrital 619 de 2000, revisado por el Decreto Distrital 469 de 2003 y compilado por el Decreto Distrital 190 de 2004.

Figura 8. (Continuación)

SANCIONES	Ley 1259 de 2008	Aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros. Art. 4. Serán sujetos pasivos del Comparendo Ambiental todas las personas naturales y jurídicas que incurran en faltas contra el medio ambiente, el ecosistema y la sana convivencia, sean ellos propietarios o arrendatarios de bienes inmuebles, dueños, gerentes, representantes legales o administradores de todo tipo de local, de todo tipo de industria o empresa...desde donde se incurra en alguna o varias de esas faltas mediante la mala disposición o mal manejo de los residuos sólidos o los escombros
PRODUCCIÓN MAS LIMPIA	Política Nacional de Producción	Más Limpia Lineamientos generales promoción de producción más limpia en los sectores productivos. Promoción de las prácticas empresariales de autogestión y autorregulación
	Ley 697 de 2001	Art. 1. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional.
EMISIONES ATMOSFÉRICAS	Resolución SDA 6982 de 2011	Límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas de combustión externa
OLORES OFENSIVOS	Resolución 1541 de 2013	Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones
LEY SANCIONATORIA AMBIENTAL	Ley 1333 de 2009	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental por violación de las normas contenidas en el Código de Recursos Naturales, Decreto-ley 2811 de 1974, en la Ley 99 de 1993 y en las demás disposiciones ambientales

Nota: Normatividad nacional, presenta de manera resumida las principales leyes, normas y decretos que afectan a la producción textil en el país.

En la Figura 8. se evidencia la normatividad relacionada con las acciones de control ambiental actual en la industria textil en Colombia, las cuales rigen los procesos desarrollados por todas las empresas que participan en el sector textil. Es necesario precisar que cualquier acción

desarrollada por las empresas con el fin de mitigar el impacto ambiental causado por sus procesos, deben hacer cumplimiento de estas normas.

2.2. Acciones alternativas frente al impacto ambiental textil

Es necesario considerar desde el estudio cualitativo y de contraste que se realiza con otros estudios, los cuales son las acciones que cotidianamente y en el marco de las estrategias ambientales se encuentran realizando las empresas textiles, de esta manera, y de acuerdo con los datos presentados por Pitre, De la Ossa y Hernández (2020) se reconoce que una de las claves aplicadas es la generación de una trazabilidad frente a los despilfarros, lo cual les permite no solo generar procesos de manufactura desde estos, sino disminuir en la misma medida los costos de producción, disminuyendo el rendimiento y la percepción del valor que tienen los clientes frente a los productos y servicios que ofrecen, adicionalmente, desde el punto de vista social se reconoce que, las empresas que no se encuentran gestionando sus residuos generan necesariamente una falta de conciencia que afecta la percepción de los clientes para con sus productos.

Desde esta misma visión de acuerdo con el estudio de Avelino (2021) se reconoce que las empresas han optado por generar una disminución o cambio en el volumen de los insumos químicos con la intención de ocupar otros que fuesen mucho menos contaminantes, ello precisamente por la necesidad de disminuir el impacto en las fuentes hídricas del desarrollo de la industria textil. Este proceso, aunque no se aplica a la totalidad de las empresas, tiende a presentarse como una oportunidad específicamente en lo referente a la exportación de mercancías, debido a que se reconoce como un indicador de alta calidad.

Gamboa (2017) reconoce que, un proceso bastante común en el proceso de producción textil se encuentra desarrollada con la aplicación de prácticas de producción limpia en las cuales se busca generar un equilibrio de los ecosistemas buscando la disminución de la contaminación de cuencas hídricas y consecuentemente evitar las consecuencias en la salud de la fauna silvestre y de los seres humanos, eventualmente las pymes son las organizaciones que mayoritariamente se encuentran enfocadas en este tipo de acciones. En la misma medida el autor reconoce que dentro de las estrategias se están generando reducciones en el consumo tanto de agua como de materiales que no impliquen una reducción en la calidad de los productos.

Frente a la seguridad ambiental como una forma de creación de valor, Farfán (2014) reconoce que las empresas aplican este tipo de estrategias para generar impacto en el mercado, lo que incluye estrategias a favor de la credibilidad en el mercado, reconociendo que ello implica una

modificación sustancial en las formas de producción e inclusive se les hace solicitudes explícitas a los proveedores para mantener este tipo de elementos en la totalidad de los eslabones de producción textil.

3. ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA TEXTIL COLOMBIANA.

La formulación de las estrategias está basada bajo el análisis PESTEL realizado y la normatividad legal vigente que regula el impacto ambiental de la industria. Se establecieron protocolos para la identificación y evaluación de los aspectos ambientales e identificación y evaluación de los requisitos legales ambientales; estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua, de uso racional y eficiente de la energía, y de gestión integral de los residuos sólidos, asimismo se plantearon medidas de control y seguimiento del PGA.

3.1. Programa de ahorro y uso eficiente del agua.

A continuación, se presenta el programa de ahorro y uso eficiente del agua, representado en la tabla 12.

Tabla 12.

Programa de ahorro y uso eficiente del agua.

PROGRAMA DE AHORRO Y USO EFICIENTE DEL AGUA
INTRODUCCIÓN
La industria textil en términos generales depende del recurso agua; para el caso de la industria de confección este recurso no es indispensable a excepción del proceso de estampado. El consumo excesivo de agua en este sector se da principalmente por las áreas administrativas, el proceso de estampado y, el servicio sanitario, procesos de lavado y la preparación de alimentos en algunas áreas.
Aspecto ambiental: Alto consumo del recurso hídrico.
Impacto ambiental: Agotamiento del recurso natural agua.
OBJETIVOS
Objetivo General
Proponer estrategias para la eficiencia en el consumo de agua
Objetivos Específicos
Crear conciencia en el personal acerca de la importancia del recurso hídrico. Implementar estrategias de ahorro de agua en las instalaciones. Optimizar actividades y procesos de la empresa. Monitorear el consumo de agua en la industria.

Tabla 12. (Continuación)

ALCANCE	
El programa se aplicará en las áreas donde el consumo de agua sea mayor.	
META	
Disminuir en un 10% el consumo de agua potable.	
PLAN DE ACCIÓN	
ACTIVIDAD	RESPONSABLE
1. Realizar la inspección inicial para identificar fugas y fallas en los dispositivos sanitarios.	Auxiliar de Mantenimiento
2. Realizar capacitaciones acerca de ahorro y uso eficiente del agua con todo el personal de la empresa.	Departamento de Gestión Ambiental Personal de la empresa de servicios públicos donde se encuentre la empresa.
3. Seguimiento al consumo de agua mensual y costos del suministro.	Departamento de Gestión Ambiental
4. Cambio progresivo de los dispositivos actuales por dispositivos ahorradores.	Departamento de Mantenimiento
5. Identificar las posibilidades de reutilizar o recuperar el agua en áreas determinadas.	Departamento de Gestión Ambiental Departamento de Mantenimiento
INDICADORES	
Indicador	Descripción
Consumo mensual de agua en la empresa	Se monitoreará el consumo de agua mensual con el fin de identificar reducciones
$\% \text{ Ahorro} = (\text{Fracción de agua ahorrada} / \text{Consumo de agua en el mes de referencia}) * 100$	El porcentaje de ahorro se calculará con los datos de cada mes para el año 2022 y 2023. El mes de referencia será el correspondiente al año 2022 y la fracción ahorrada será la diferencia entre el mes del 2022 y el 2023. Ej.: abril 2022 = 500, abril 2023 = 450, entonces, Fracción ahorrada = 50, % Ahorro = 10%.
$\% \text{ de dispositivos ahorradores instalados} = (\text{Cantidad de dispositivos instalados} / \text{Cantidad de dispositivos proyectados}) * 100$	Se espera instalar el 50% de los dispositivos ahorradores proyectados.

Nota: Datos analizados en la investigación que permiten la toma de decisiones frente a la contaminación por el sector textil en todas sus fases.

3.1.1. Programa de uso racional y eficiente de la energía.

A continuación, se presenta el programa para el uso racional y eficiente de energía, representado en la tabla 13.

Tabla 13

Programa de uso racional y eficiente de energía.

INTRODUCCIÓN	
La energía es un recurso vital para el funcionamiento general de una industria, haciendo posible la puesta en marcha de la maquinaria, tecnología, el sistema de iluminación, entre otros; siendo la corriente vital de las industrias, por lo que es necesario hacer buen uso de este recurso. En la empresa se usa energía para el funcionamiento del sistema de iluminación; máquinas cortadoras; máquinas de coser, fileteadoras y collarines; pulpos de estampación y la tecnología general. La implementación del programa reducirá los costos del servicio de energía y a su vez, favorecerá el buen uso del recurso hídrico.	
Aspecto ambiental: Consumo de energía.	
Impacto ambiental: Agotamiento del recurso no renovable (agua).	
OBJETIVOS	
Objetivo General	
Reducir el consumo de energía en las instalaciones de las empresas textiles.	
Objetivos Específicos	
<p>Crear conciencia en el personal acerca de la importancia de ahorrar energía y sus beneficios.</p> <p>Implementar estrategias de ahorro de energía en las instalaciones.</p> <p>Optimizar actividades y procesos de la empresa.</p> <p>Realizar seguimiento al consumo de energía en la empresa.</p>	
ALCANCE	
El programa se aplicará en las diferentes áreas de las empresas textiles.	
META	
Disminuir en un 10% el consumo de energía eléctrica.	
PLAN DE ACCIÓN	
ACTIVIDAD	RESPONSABLE
1. Realizar un diagnóstico sobre el consumo de energía eléctrica en la empresa.	Departamento de Gestión Ambiental
2. Realizar capacitaciones acerca del uso racional y eficiente de la energía con todo el personal de la empresa.	Departamento de Gestión Ambiental Personal de la empresa de servicios públicos de cada municipio donde se encuentre la empresa.
3. Seguimiento al consumo mensual de energía.	Departamento de Gestión Ambiental

Tabla 13. (Continuación)

4. Reemplazar paulatinamente las luminarias tradicionales por ahorradoras.	Departamento de Mantenimiento
INDICADORES	
Indicador	Descripción
% de capacitaciones realizadas = (Número de capacitaciones realizadas/Número de capacitaciones planeadas) *100	Se espera cumplir con el 70% de las capacitaciones programadas.
Consumo mensual de energía en la empresa	Se monitoreará el consumo de energía mensual con el fin de identificar aumentos o reducciones. Esto se logrará realizando seguimiento a los recibos entregados por la empresa encargada.
% Ahorro = (Fracción de energía ahorrada/Consumo de agua en el mes de referencia) *100	El porcentaje de ahorro se calculará con los datos de cada mes para el año 2022 y 2023. El mes de referencia será el correspondiente al año 2022 y la fracción ahorrada será la diferencia entre el mes del 2022 y el 2023. Ej.: abril 2022 = 500, abril 2023 = 450, entonces, Fracción ahorrada = 50, % Ahorro = 10%.
% Luminarias reemplazadas = (Número de luminarias reemplazadas/Número de bombillos tradicionales) *100	Se espera cambiar al menos el 50% de los bombillos tradicionales identificados.

Nota: Elaboración propia con base en los datos analizados en la investigación que permiten la toma de decisiones frente a la contaminación por el sector textil en todas sus fases.

3.1.2. Programa de gestión integral de los residuos sólidos

Frente al programa de gestión integral de residuos sólidos estos se presentan en la tabla 14.

Tabla 14.

Programa de gestión integral de los residuos sólidos.

INTRODUCCIÓN
Actualmente se desarrollan diversos proyectos alrededor del mundo con el único propósito de reducir el impacto de los residuos generados por el ser humano. Los residuos sólidos con el tiempo se han convertido en una problemática para la sociedad por los malos olores, vectores y la mala estética; por lo tanto, para disminuir estos impactos se pensó en alejarlos de la población y buscar espacios para su disposición. Después de algún tiempo se hizo evidente el impacto ambiental negativo que estos producían en los acuíferos, fuentes de agua superficial, en los suelos y en la atmósfera, por lo que fue necesario pensar en soluciones que redujeran dicho impacto.

Tabla 14. (Continuación)

Aspecto ambiental: Generación de residuos sólidos.	
Impacto ambiental: Mayor carga en el relleno sanitario.	
OBJETIVOS	
Objetivo General	
Minimizar la generación de residuos sólidos, aumentando las opciones de aprovechamiento de estos en las instalaciones de las empresas textiles.	
Objetivos Específicos	
Identificar los puntos críticos donde se genere la mayor cantidad de residuos sólidos.	
Emprender estrategias de educación ambiental en separación de los residuos sólidos entre los empleados de la compañía.	
Implementar medidas de consumo eficiente de los recursos y lograr reducir la cantidad de residuos sólidos generada.	
Registrar la cantidad de residuos sólidos ordinarios generada.	
Reducir la cantidad de residuos sólidos enviados al relleno sanitario.	
ALCANCE	
El programa se aplicará en las diferentes áreas de las empresas textiles.	
METAS	
Disminuir en un 15% la cantidad de residuos sólidos que se entregan a la empresa encargada de la recolección y disposición de los residuos ordinarios.	
PLAN DE ACCIÓN	
ACTIVIDAD	RESPONSABLE
1. Registrar la cantidad de residuos ordinarios que se entrega a la empresa de aseo donde se encuentre la empresa.	Departamento de Gestión Ambiental
2. Realizar jornadas de educación ambiental acerca de la separación y manejo de los residuos sólidos.	Departamento de Gestión Ambiental Personal de la empresa de energía donde se encuentre la empresa.
3. Instalar puntos ecológicos en los lugares con mayor concurrencia de la empresa.	Departamento de Gestión Ambiental y Departamento de Servicios Generales
4. Realizar seguimiento a la cantidad de residuos reciclables generados.	Departamento de Gestión Ambiental
5. Identificar los puntos de generación de residuos sólidos peligrosos.	Departamento de Gestión Ambiental
6. Implementar campañas de educación ambiental acerca de residuos peligrosos y el manejo adecuado de los mismos.	Departamento de Gestión Ambiental
7. Disponer de puntos de acopio de residuos peligrosos en las áreas involucradas.	Departamento de Gestión Ambiental y áreas involucradas.

Tabla 14. (Continuación)

8. Establecer un protocolo para el manejo y disposición final adecuada de los residuos sólidos peligrosos.	Departamento de Gestión Ambiental
INDICADORES	
Indicador	Descripción
Cantidad de residuos ordinarios generados	Se pesan las bolsas de residuos que se entregan a la empresa de aseo del municipio donde se encuentre la empresa.
% de actividades realizadas = (Número de actividades realizadas/Número de actividades planeadas) *100	El porcentaje de ahorro se calculará con los datos de cada mes para el año 2022 y 2023. El mes de referencia será el correspondiente al año 2022 y la fracción ahorrada será la diferencia entre el mes del 2022 y el 2023. Se espera cumplir con el 90% de las actividades de educación ambiental programadas
% de Puntos Ecológicos instalados = (Número de puntos instalados/Número de puntos esperados) *100	Se espera instalar al menos el 50% de los puntos ecológicos planteados.
Cantidad de residuos reciclables generados	Se tendrá en cuenta la cantidad de residuos vendidos.
INDICADORES	
Indicador	Descripción
% de capacitaciones RESPEL realizadas =(Número de capacitaciones realizadas/Número de capacitaciones planeadas) *100	Se espera cumplir con el 90% de las actividades planteadas dentro de las campañas de educación ambiental en RESPEL.
% de Puntos RESPEL instalados = (Número de puntos instalados/Número de puntos esperados) *100	El porcentaje de ahorro se calculará con los datos de cada mes para el año 2022 y 2023. El mes de referencia será el correspondiente al año 2022 y la fracción ahorrada será la diferencia entre el mes del 2022 y el 2023. Se espera instalar al menos el 50% de los puntos RESPEL planteados.
Protocolo para el manejo y disposición adecuada de los RESPEL	Se establecerá un protocolo para estandarizar los procesos de manejo y disposición final adecuada de los RESPEL

Nota: Datos analizados en la investigación que permiten la toma de decisiones frente a la contaminación por el sector textil en todas sus fases.

4. CONCLUSIONES

Las estrategias de sostenibilidad para mitigar el impacto ambiental de la industria textil en Colombia, permitió la identificación del impacto medioambiental positivo, al disminuir el consumo de agua, energía y la generación de residuos sólidos, para lo cual fue preciso en un primer momento reconocer cuales fueron las principales modificaciones e impactos que la industria textil ocasiona en el medio ambiente. Bajo este mismo propósito es recomendable que las empresas, al momento de desarrollar todos los procesos, realicen pruebas en pequeñas cantidades sobre la cantidad de productos químicos o aquellos que producen un impacto al medioambiente para el establecimiento de los colores que desee ofrecer la empresa, toda vez que las cantidades para el desarrollo de los procesos como teñido o lavado no están determinadas.

Con este trabajo de investigación se logró caracterizar la industria textil y la problemática ambiental asociada a su actividad, identificando que la industria en mención verídicamente causa un impacto al medio ambiente el cual se debe fundamentalmente a la realización de los procesos donde se tienen en cuenta la aplicación de productos químicos, consumo de energía y generación de residuos. Los elementos analizados se extrapolan tanto al entorno internacional como el medio nacional, precisamente por la necesidad de generar datos específicos que puedan verse modificados bajo la estructuración de estrategias.

De igual manera, se hizo una descripción de las acciones de control ambiental actual en la industria textil en Colombia, la cual aunque abarca todos los aspectos medioambientales, no es suficiente para reducir el impacto causado por las empresas de este sector, por lo que es necesario establecer políticas de reducción de consumo de agua, energía, generación de residuos, utilización de químicos y políticas de apoyo a las invenciones tecnológicas para el desarrollo de procesos bajo las condiciones de desarrollo sostenible. Asimismo, se plantearon las acciones que conducen a mejorar el desempeño ambiental con enfoque de sostenibilidad de la industria textil colombiana, las cuales están enfocadas en la disminución del consumo de agua y energía, además de disminuir la generación de residuos sólidos.

Se espera que, con estos planes, las empresas puedan aplicar estrategias que permitan salvaguardar al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Acetate, C. (2001). Complete textile glossary. Unpublished manuscript. Retrieved October, 15, 2009. http://www.celaneseacetate.com/textile_glossary_filament_acetate.pdf.
- Altun, Ş. (2012). Prediction of a textile waste profile and recycling opportunities in Turkey. Magazine: Industrial Waste Management.
- Ariza Moreno, C. D., & Huertas Díaz, S. (2022). Estudio de factibilidad ambiental para la implementación de algodón orgánico como materia prima sostenible en la industria textil colombiana (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América.
- Avelino Carhuaricra, C. G. (2021). Sustitución de productos químicos tóxicos por productos químicos sostenibles en los procesos de la industria textil mediante tecnologías limpias.
- Begum, Z., & Kavi Kumar, K. S. (2017). Global Environmental Requirements—Textile Industry.
- Blackburn, R. (2009). Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact. Elsevier.
- Burçin ESER, Pınar ÇELİK, Ahmet ÇAY, Dilşad AKGÜMÜŞ(2016): Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, Tekstil ve Mühendis, 23: 101, 43- 60. <http://dx.doi.org/10.7216/1300759920162310105>.
- Caniato, F., Caridi, M., Crippa, L., & Moretto, A. (2012). Environmental sustainability in fashion supply chains: An exploratory case-based research. International Journal of Production Economics, 135(2), 659–670. doi:10.1016/j.ijpe.2011.06.001.
- Cardoso, G; Ferreira, J; Silva, P; Oliveira, A; Lucato, W. (2019). Cleaner production in the textile industry and its relationship with sustainable development goals. Cleaner Production Magazine. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.334>.
- Caro Romero, German Darío. Caracterización del sector textil colombiano desde la perspectiva de microempresarios ubicados en Santiago de Cali. (2019).
- Carrera Gallissà, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil. Revista de Química e Industria.
- Chen, H.-L., & Burns, L. D. (2006). Environmental Analysis of Textile Products. Clothing and Textiles Research Journal, 24(3), 248–261. doi:10.1177/0887302x06293065.
- China Energy Group, & Hasanbeigi, Ali. (2010). Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry. United States. doi:10.2172/991751.
- Cuc, S., & Vidovic, M. (2014). Environmental sustainability through clothing recycling. Engineering Journal (Vol. 253, pp. 40–45). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.04.109>.

- Environmental Technology Program for Industry (ETPI). (1998). The textile sector: environmental report. <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2112/biblioteca/el-sector-textil-reporte-ambiental>.
- Farfán García, J. (2014). Gestión de seguridad e higiene ocupacional y la satisfacción laboral en la Industria Textil.
- Fathy, A. (2016). Sustainable textile materials in interiors. In *The Sustainable City XI*. <https://doi.org/10.2495/sc160531>.
- Frigelg E.L.C., Pereira D.C., Curi R.P. (2019). Sustainable innovation in the Brazilian textile industry. In *CSR, sustainability, ethics and governance* (pp. 367–391). https://doi.org/10.1007/978-3-319-90605-8_18.
- Gamboa Kassner, L. A. (2017). Análisis de la utilización de estrategias de producción más limpia y adaptación de un sistema de indicadores de manejo ambiental, en las empresas del Clúster Textil Confecciones del Tolima. (Trabajo de grado). Universidad de Manizales
- Gholamzad, E., Karimi, K., & Masoomi, M. (2014). Effective conversion of waste polyester–cotton textile to ethanol and recovery of polyester by alkaline pretreatment. In *Chemical*
- González, J. A. (2013). La sostenibilidad ecológica en el desarrollo de productos textiles: Una Revisión de Literatura. *Realidad y Reflexión*, 2013, Año. 13, núm. 38, p. 66-97. <http://hdl.handle.net/10972/3214>
- Hasanbeigi, A., & Price, L. (2012). A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 6, pp. 3648– 3665). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.029>
- In: Kumar K. (eds) *A Study of India's Textile Exports and Environmental Regulations*, 61-72. Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-10-6295-7_4.
- Industria Textil, 1 Parte. (2012, January 30). Encolombia.com. <https://encolombia.com/economia/info-economica/algodon/industriatextil/>
- Lacasse, K., & Baumann, W. (2004). Environmental considerations for textile processes and chemicals. In *Textile Chemicals*. Springer, Berlín, Heidelberg. (pp. 484–647). https://doi.org/10.1007/978-3-642-18898-5_7.
- Logaña Ochoa, J. C. (2018). Diseño de una propuesta de reutilización y recuperación de residuos de materia prima. Caso de estudio: Loa Corporación Cía. Ltda., empresa de producción y comercialización de vestimenta e implementos de seguridad (Trabajo de grado). Universidad de las Américas, Quito. Repositorio Digital Universidad de las Américas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9372>.

- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015). «Parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones,» 05 de diciembre de 2022. [En línea]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.
- Muthu, S.S., Li, Y., Hu, J.Y. et al. Reduction of the carbon footprint in the textile process chain: Recycling of textile materials. *Fibers Polym* 13, 1065-1070 (2012). <https://doi.org/10.1007/s12221-012-1065-0>.
- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T. and Gwilt, A. (2020). The environmental price of fast fashion. In *Nature Reviews Earth & Environment* (Vol. 1, Issue 4, pp. 189–200). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
- Nayak, R. (2019). Sustainable technologies for fashion and textiles. Woodhead Publishing. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 4(2), 108-115. <http://doi.org/10.31387/oscm0100064>.
- Pitre-Redondo, R., De la Ossa-Guerra, S., & Hernández-Palma, H. (2020). Ecoeficiencia: clave de la responsabilidad ambiental empresarial en el sector textil. *Desarrollo Gerencial*, 12(2), 1-20.
- Quartinello, F., Vajnhandl, S., Valh, J. V., Farmer, T. J., Vončina, B., Lobnik, A., Acero, E. H., Pellis, A. and Guebitz, G. M. (2017). Synergistic chemoenzymatic hydrolysis of polyethylene terephthalate from textile waste. In *Microbial Biotechnology* (Vol. 10, Issue 6, pp. 1376-1383). <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12734>.
- Redacción, N. (2021, June 16). LA INDUSTRIA TEXTIL EN COLOMBIA PARTE 2. enriqueortegaburgos.com. <https://enriqueortegaburgos.com/la-industria-textil-en-colombia-parte-2>
- Sentená Montero, M. A. Huella ecológica del sector textil-confección en Colombia para el año 2018. (2021)
- Subramanian, K., Chopra, S. S., Cakin, E., Li, X. and Lin, C. S. K. (2020). Assessment of the environmental life cycle of textile biorecycling: recovery of cotton and polyester textile waste in pet fiber and glucose syrup. *Resources, conservation and recycling*, 161, 104989. doi: 10.1016 / j.resconrec.2020.104989.
- Tumpa, T. J., Ali, S. M., Rahman, M. H., Paul, S. K., Chowdhury, P. and Rehman Khan, S. A. (2019). Barriers to managing the green supply chain: an emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, 117617. doi: 10.1016 / j.jclepro.2019.117617.

Zamani, B., Svanström, M., Peters, G. and Rydberg, T. (2015). A carbon footprint of textile recycling: a case study in Sweden. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 19, Number 4, pp. 676–687). <https://doi.org/10.1111/jiec.12208>.

ANEXOS

ANEXO 1.

RECOMENDACIONES

Se recomienda principalmente al sector textil que en la fabricación de sus prendas no se realice la mezcla de fibras sintéticas con fibras naturales porque estas son difíciles de recuperar, bien sea mediante métodos químicos, como biológicos además de su alto costo de separación, con el fin de asegurar la sostenibilidad, aprovechamiento de la materia prima y disminución de los residuos sólidos.

Se recomienda hacer un estudio adicional con el objetivo de implementar estrategias empresariales en Colombia que incentiven al consumidor a llevar las prendas pasadas su vida útil, para generar la recolección efectiva de estas, favoreciendo el reciclaje.

Se recomienda hacer un estudio técnico y financiero en el sector textil colombiano que permita alianzas internacionales que se dediquen a la separación, tratamiento, reciclaje, reutilización y aprovechamiento de las fibras textiles con el fin de reducir los residuos sólidos y mitigar los impactos negativos que generan a nivel mundial y finalmente asegurar la sostenibilidad en el sector.

Con el fin de hacer que el proceso sea más sostenible, se recomienda a las empresas de producción textil la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales con el motivo de recircular las corrientes de agua en donde usan grandes cantidades de agua en operaciones de lavado y secado y disminuir los altos consumos de este. No obstante, lo anterior puede incurrir en altos costos económicos al proceso, cabe resaltar que vale la pena hacer esta inversión en vista de que son bastantes los beneficios a la salud y al medio ambiente.

Debido a la alta demanda de la producción textil, son mayores las estrategias que se han venido implementando principalmente a nivel internacional, se recomienda que para futuras investigaciones se implemente en el sector textil colombiano estas mismas metodologías de reducción de impactos ambientales.