



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

GRAO en XESTIÓN INDUSTRIAL de MODA

Estudio sobre el impacto de las principales fibras empleadas en el sector textil desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Estudo sobre o impacto das principais fibras empregadas no sector téxtil dende o punto de vista da sostibilidade.

Study on the Impact of the Main Fibers Used within the Textile Industry from the point of view of Sustainability.

Autora: Sofía Vidal González

Director: Dr. Manuel Escourido Calvo

Ferrol, septiembre de 2022

“No pasa un solo día sin que tengas un impacto en el mundo que te rodea. Lo que haces, marca la diferencia, y tienes que decidir qué tipo de diferencia quieres marcar”.

—Jane Goodall

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar querría agradecer la labor del Dr. Manuel Escourido Calvo, profesor y coordinador del grado en Gestión Industrial de Moda. No sólo por su indudable aportación al trabajo como tutor, sino también por la actitud, sus constantes ánimos, alta disponibilidad y profesionalidad que ha demostrado en estos cuatro años universitarios. Querría hacer una mención especial a la Dra. Lucía Rey Ares y al Dr. Diego Crespo Pereira, como padrinos de esta primera promoción, por su apoyo y cercanía con el estudiantado. Además, me gustaría citar al Dr. Jorge José López Beceiro por sus consejos acerca del tema a estudio; su conocimiento en fibras y materiales fueron clave para el planteamiento de este trabajo. Gracias al resto del cuerpo docente con el que he tenido el privilegio de coincidir en estos años de formación multidisciplinar por vuestra aportación a mi formación. Sin duda han marcado el camino de esta promoción.

Por último, me gustaría mencionar a mis compañeros y amigos Adrián y Pedro: mis pilares y principal apoyo dentro y fuera del aula.

RESUMEN

Con el paso de los años y debido a la creciente preocupación en materia de responsabilidad social corporativa y medioambiente, la sostenibilidad ha ganado importancia convirtiéndose en la tendencia principal en la mayoría de las industrias. Con este pretexto, instituciones y empresas encuentran en la sostenibilidad el escenario perfecto para rentabilizar las preocupaciones del consumidor y catalizar sus beneficios. En el desarrollo de una prenda, ya no basta con que el diseñador seleccione un tejido que se adapte estéticamente al diseño y que además presente una durabilidad y precio adecuados. Los múltiples problemas que rodean la industria de la moda no sólo alcanzan el conocimiento de los profesionales del sector, sino que son ya de conocimiento popular. Por ello, en estos momentos el mercado demanda que el producto tenga además un impacto positivo.

Mientras que el antiguo consumidor de moda mantenía una posición más conformista, el actual es cada vez más exigente y pone atención a aspectos como la procedencia de las prendas o el desempeño de la empresa en los diferentes eslabones de la cadena de producción. El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es facilitar una guía donde se estudie el impacto a todos los niveles (ambiental, social y económico) de las principales fibras y alternativas con más peso en la industria de la moda. Con esta investigación se pretende que, tanto profesionales del sector como el propio consumidor, tengan una visión global de las fibras más usadas y con más relevancia, facilitando una elección que abogue por la sostenibilidad.

Para poder aportar un juicio objetivo con relación al impacto medioambiental asociado a la fabricación de la fibra, se han seleccionado tres índices ambientales que permitirán realizar un análisis cuantitativo: el Potencial de Calentamiento Global (PCG); el indicador del Uso de Energía No Renovable (NREU); y la huella hídrica. Además, se estudia cualitativamente la dimensión social y económica, aportando información sobre la relación de los trabajadores y sociedad con la cadena productiva de la fibra; los principales países productores; o el número de empleados asociados a la fabricación de esa materia prima. Gracias al estudio de estos índices, se ha podido llevar a cabo una comparativa que ha permitido posicionar de mayor a menor impacto las fibras dentro de sus respectivas familias, alcanzado el principal objetivo de este trabajo.

Aquellas fibras menos sostenibles y por tanto, de evitar, se corresponden con el algodón convencional, la viscosa no integrada y cualquier tipo de nylon o poliamida; mientras que aquellas con un mejor desempeño medioambiental se relacionan con aquellas fibras que han sido sometidas a un reciclado mecánico. Por otra parte, se aconseja el uso de fibras trazables, las cuales aportan transparencia sobre la operativa e impulsan el desarrollo de modelos sostenibles. Se concluye este trabajo con la sugerencia de profundizar en el estudio de parámetros medioambientales y sociales con el fin de ampliarlo.

Palabras clave: fibras textiles; impacto; triple sostenibilidad; medioambiente; sociedad; economía; consumo responsable; sector textil.

RESUMO

Co paso dos anos e debido á crecente preocupación en materia de responsabilidade social corporativa e medio ambiente, a sustentabilidade gañou importancia converténdose na tendencia principal na maioría das industrias. Con este pretexto, institucións e empresas atopan na sustentabilidade o escenario perfecto para rendibilizar as preocupacións do consumidor e catalizar os seus beneficios. No desenvolvemento dunha peza, xa non abonda con que o deseñador seleccione un tecido que se adapte esteticamente ao deseño e que ademais presente unha durabilidade e prezo adecuados. Os múltiples problemas que rodean a industria da moda non só alcanzan o coñecemento dos profesionais do sector, senón que son xa de coñecemento popular. Por iso, nestes momentos o mercado demanda que o produto teña ademais un impacto positivo.

Mentres que o antigo consumidor de moda mantiña unha posición máis conformista, o actual é cada vez máis esixente e pon atención a aspectos como a procedencia das pezas ou o desempeño da empresa nos diferentes pasos da cadea de produción. O principal obxectivo deste Traballo de Fin de Grao é facilitar unha guía onde se estude o impacto a todos os niveis (ambiental, social e económico) das principais fibras e alternativas con máis peso na industria da moda. Con esta investigación preténdese que, tanto profesionais do sector como o propio consumidor, teñan unha visión global das fibras máis usadas e con máis relevancia, facilitando unha elección que avogue pola sustentabilidade.

Para poder achegar un xuízo con relación ao impacto ambiental asociado á fabricación da fibra, seleccionáronse tres índices ambientais que permitirán realizar unha análise cuantitativa: o Potencial de Quecemento Global (PQG); o indicador do Uso de Enerxía Non Renovable (NREU); e a pegada hídrica. Ademais, estúdase cualitativamente a dimensión social e económica, achegando información sobre a relación dos traballadores e sociedade coa cadea produtiva da fibra; os principais países produtores; ou o número de empregados asociados á fabricación desa materia prima. Grazas ao estudo destes índices, púidose levar a cabo unha comparativa que permitiu posicionar de maior a menor impacto as fibras dentro das súas respectivas familias, alcanzado o principal obxectivo deste traballo.

Aquelas fibras menos sostibles e por tanto, de evitar, correspóndense co algodón convencional, a viscosa non integrada e calquera tipo de nylon ou poliamida; mentres que aquelas con un mellor desempeño ambiental relaciónanse con aquelas fibras que foron sometidas a unha reciclaxe mecánica. Por outra banda, aconséllase o uso de fibras trazables, as cales achegan transparencia sobre a operativa e impulsan o desenvolvemento de modelos sostibles. Conclúese este traballo coa suxerencia de profundar no estudo dos parámetros ambientais e sociais coa fin de ampliálo.

Palabras chave: fibras téxtiles; impacto; tripla sustentabilidade; medio ambiente; sociedade; economía; consumo responsable; sector téxtil.

ABSTRACT

Over the years and due to growing concerns about corporate social responsibility and the environment, sustainability has gained importance becoming the main trend in most industries. Under this pretext, institutions and companies find sustainability the perfect scenario to monetize consumer concerns and catalyse their benefits. In the development of a garment, it is no longer enough for the designer to select a fabric that adapts aesthetically to the design and has adequate durability and price. The many problems surrounding the fashion industry not only reach the knowledge of professionals in the sector but are already known by anyone. Therefore, nowadays the market is demanding the product to have a positive impact too.

While the one-time fashion consumer maintained a more conformist position, the current one is increasingly demanding and pays attention to aspects such as the origin of clothes or the performance of the company in the different steps of the production chain. The main objective of this End-of-Degree project is to provide a guide to study the impact at all levels (environmental, social, and economic) of the main fibres and alternatives with more importance in the fashion industry. With this research it is intended that, both professionals in the sector and the consumer himself, have a global vision of the most used fibres and more relevant, facilitating a choice that advocates sustainability.

In order to provide a judgement regarding the environmental impact associated with the fibre manufacturing, three environmental indices have been selected that will allow a quantitative analysis: the Global Warming Potential (GWP); the Non-Renewable Energy Use (NREU) indicator; and the water footprint. In addition, the social and economic dimension is studied qualitatively, providing information on the relationship of workers and society with the fibre production chain; the main producing countries; or the number of employees related to the manufacturing of that raw material. Thanks to the study of these indices, it has been possible to carry out a comparison that has allowed to position the fibres within their respective families from greater to lesser impact, reaching the main objective of this work.

The less sustainable fibres and therefore, to be avoided, correspond to conventional cotton, non-integrated viscose and any type of nylon or polyamide; while those with better environmental performance relate to those fibres that have undergone mechanical recycling. Moreover, the use of traceable fibres is advised, which provide transparency on the operation and encourage the development of sustainable models. This work is concluded with the suggestion to deepen the study of environmental and social parameters in order to expand it.

Keywords: textile fibres; impact; triple sustainability; environment; society; economy; responsible consumption; textile sector.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.	8
1.1.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.	8
1.2.	METODOLOGÍA.	8
2.	LA INDUSTRIA TEXTIL EN LA ACTUALIDAD.	11
2.1.	EL FENÓMENO DEL FAST FASHION.	11
2.2.	SOSTENIBILIDAD Y RESPONSABILIDAD SOCIAL EN LA INDUSTRIA DE LA MODA.	13
2.3.	IMPORTANCIA DETRÁS DE LA ELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	15
2.4.	CICLO DE VIDA DE UNA PRENDA.	16
3.	FIBRAS TEXTILES.	19
3.1.	TIPOS DE FIBRAS: virgen, orgánica y reciclada.	20
3.2.	TIPOS DE FIBRAS SEGÚN SU ORIGEN.	21
3.2.1.	Visión global de su impacto medioambiental.	22
4.	FIBRAS SINTÉTICAS: poliéster y poliamida.	24
4.1.	POLIÉSTER.	24
4.1.1.	Impacto medioambiental.	26
4.1.2.	Impacto social.	27
4.1.3.	Impacto económico.	28
4.2.	POLIAMIDA.	28
4.2.1.	Impacto medioambiental.	29
4.2.2.	Impacto económico.	29
5.	FIBRAS NATURALES: algodón.	31
5.1.	TIPOS DE ALGODÓN: convencional, orgánico y reciclado.	32
5.1.1.	Impacto medioambiental.	33
5.1.2.	Impacto económico.	34
5.1.3.	Impacto social.	35
6.	FIBRAS ARTIFICIALES: viscosa no integrada, viscosa integrada, Tencel y modal.	36
6.1.	Impacto medioambiental.	36
6.2.	Impacto social.	38
6.3.	Impacto económico.	38
7.	FIBRAS ANIMALES: la lana.	40
7.1.	Impacto medioambiental.	40
7.2.	Impacto social y económico.	40
8.	RESULTADOS.	42
8.1.	RANKING.	43
8.1.1.	Fibras sintéticas: el poliéster y la poliamida.	44
8.1.2.	Fibras vegetales: el algodón.	44
8.1.3.	Fibras celulósicas.	45
8.1.4.	Fibras animales: la lana.	46
9.	CONCLUSIONES.	47
9.1.	LIMITACIONES.	47
10.	BIBLIOGRAFÍA.	49

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACV: Análisis del Ciclo de Vida
AITEX: Asociación de Investigación de la Industria Textil
GRS: Global Recycled Standard
GOTS: Global Organic Textile Standard
ICAC: Comité Consultivo Internacional del Algodón
LU: Land Use (Uso del Terreno)
MJ: Megajulio
NREU: Non-Renewable Energy Use (Uso de Energía No Renovable)
OCS: Organic Content Standard
OIT: Organización Internacional del Trabajo
ONUAA: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
PCG: Potencial de Calentamiento Global
PET: tereftalato polietileno
rPET: poliéster reciclado
RCS: Recycled Claim Standard
RWS: Responsible Wool Standard
S-LCA: Social Life Cycle Assessment (Análisis del Ciclo de Vida Social)
vPET: poliéster virgen

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

A diario, los profesionales del sector ponen en evidencia la urgencia de aplicar elecciones responsables tanto en el desarrollo de las prendas como en la compra de estas; y, a pesar de que se resalte su importancia, muchos de los profesionales dentro de esta industria desconocen las diferencias entre las diferentes fibras y el impacto de esta elección. Al mismo tiempo, los expertos consideran fundamental que el consumidor (el motor real de la industria) conozca las consecuencias de sus elecciones: sólo de este modo se podrá integrar la sostenibilidad de forma significativa en la cadena de aprovisionamiento. A falta de una herramienta actualizada similar en el sector que pueda ser empleada tanto por profesionales como por consumidores, esta investigación tiene como fin potenciar el uso y consumo de tejidos sostenibles dotando de objetividad para poder realizar un análisis individual y posterior comparación. El principal objetivo de este documento es reflejar el impacto de las fibras que se usan en mayor medida en la industria textil, pudiendo así transmitir a productores y consumidores la información necesaria para llevar a cabo una elección responsable desde la visión de la triple sostenibilidad, teniendo en cuenta las 3 Ps (*people, planet, profit*). La elaboración de esta guía permitirá analizar en profundidad las principales fibras empleadas desde el prisma de la sostenibilidad: no sólo estudiando su desempeño medioambiental, también su relación con las personas y la economía.

Por otra parte, pretende integrar el impacto de la fibra como factor determinante en la selección de las alternativas y favorecer el desarrollo de la mentalidad crítica del consumidor: pudiendo así valorar por sí mismo el desempeño de la firma independientemente de que el producto que la contenga se posicione dentro del *fast fashion* o del *slow fashion*. De esta forma, se dota al consumidor de las herramientas necesarias para el reconocimiento de prácticas desleales en la industria como el *greenwashing*: definido por la Comisión Europea (2022) como la práctica donde las empresas inducen al público hacia el error o percepción falsa de su impacto o beneficios ambientales, engañando al consumidor y disminuyendo la ventaja competitiva de aquellas compañías que sí se esfuerzan por hacer más ecológicos sus procesos.

Es responsabilidad de consumidores y profesionales del sector comprender qué versión de cada fibra se asocia a un impacto inferior: en caso de optar por el uso de algodón, conocer qué orígenes y sellos aseguran un menor impacto; si se quiere optar por una fibra celulósica priorizar aquellas cuyo proceso productivo certifica un mejor desempeño, etc.

1.2. METODOLOGÍA

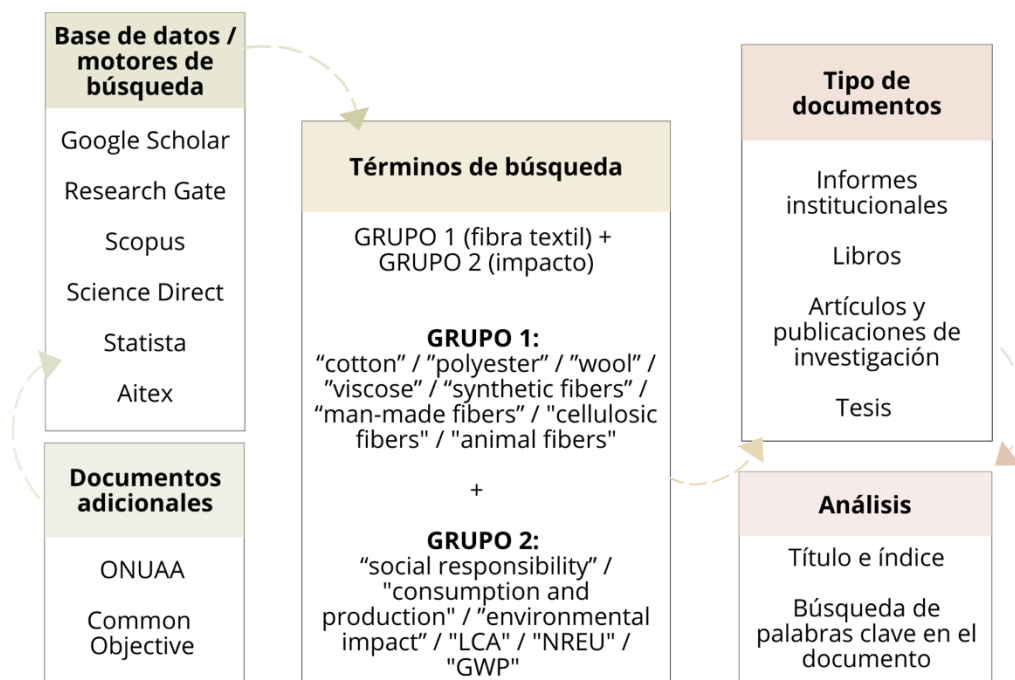
A pesar de la relevancia que tiene el tema de estudio para la industria, la literatura académica relacionada es escasa y se hace complejo encontrar publicaciones que hablen en modo comparativo sobre el impacto global de varias fibras textiles. Por otra parte, la búsqueda de informes o investigaciones llevadas a cabo por estudiosos del textil orientadas a la triple sostenibilidad ha sido aún más difícil: las investigaciones suelen estar orientadas a una de las tres dimensiones, en raras ocasiones estudian las tres paralelamente.

Si he podido desarrollar este estudio ha sido gracias a los múltiples documentos orientados a las consecuencias e impactos derivados de la elaboración de las diferentes fibras estudiadas, principalmente de las fibras cuya producción es mayor, como el algodón o las fibras sintéticas. Además,

debo destacar la aportación de dos publicaciones que han supuesto las bases para esta investigación al realizar un análisis global (aunque no en excesiva profundidad) de la mayoría de las fibras empleadas en la industria de la moda: *The Fiber Bible - part 1* y *The Fiber Bible - part 2*. Tanto la primera como la segunda parte han sido publicadas por MISTRA¹ y forman parte de un proyecto de cerca de 11 millones de euros donde se estudian los impactos medioambientales de las fibras y las posibles fibras sostenibles en el mercado. Para la analítica en profundidad del consumo eléctrico, emisiones de gases efecto invernadero y demás impactos medioambientales asociados a los procesos de producción de las fibras artificiales y sintéticas, resalto los dos artículos escritos por Shen et al (2010 y 2012) sobre el poliéster y las fibras artificiales.

El procedimiento llevado a cabo durante la investigación ha consistido en la recopilación de información procedente de estudios genéricos del sector y publicaciones de aplicación específica a cada una de las fibras de interés: análisis, sondeos e investigaciones llevados a cabo por entidades educativas, organismos gubernamentales, organizaciones especializadas en el sector o en materia de sostenibilidad, publicaciones sobre la fibra específica de estudio, etc. Por otra parte, para la obtención de datos numéricos, porcentajes y datos estadísticos he utilizado principalmente Statista.

Gráfica 01. Metodología.



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se ha procurado que la bibliografía empleada fuese lo más reciente posible para poder así reflejar con mayor exactitud la situación actual de la industria; pero en algunos casos, al buscar información sobre la descripción o método de producción de una fibra química cuya incorporación al sector se remonta a décadas – en algunos casos siglos - atrás, las publicaciones son más antiguas. En este caso, al tratarse de procesos que se mantienen en la actualidad, el año de publicación no ha

¹ The Swedish Foundation for Strategic Environmental Research.

influido en la misma medida. Para datos numéricos en cambio, siempre se ha procurado emplear aquellos estudios posteriores al año 2020, para conseguir que fuesen lo más representativos posible. Si bien en esta recopilación se han plasmado los datos más actualizados, la unidad entre las diferentes fuentes consultadas ha sido difícil de conseguir, especialmente en los porcentajes de producción mundial de cada una de las fibras o en los valores de ciertos parámetros.

Por otra parte, para el análisis de las fibras, estas se han clasificado por familias en función de su procedencia. Además, se profundiza de forma individual en los diferentes parámetros de interés para cada una de ellas. En cuanto al enfoque, se buscará dar una visión del impacto tridimensional (en la dimensión social, económica y medioambiental) mediante el estudio de los siguientes indicadores:

- Para adquirir una visión general del desempeño de cada fibra desde el punto de vista medioambiental, considero relevante analizar el consumo de agua y electricidad empleada para su obtención. Por este motivo, se analizará el parámetro que mide el consumo de energía no renovable (NREU) y la huella hídrica. Por otra parte, a pesar de que las emisiones de gases de efecto invernadero varíen en función de la ubicación de la producción o del tipo de maquinaria empleada en la elaboración específica, me parece que es fundamental plasmar una huella de carbono aproximada de cada fibra estudiada, motivo por el cual se analizará el Potencial de Calentamiento Global, medido en kg de CO₂ equivalentes emitidos por kilogramo de fibra producida. Aunque principalmente se estudien estos aspectos, si fuese relevante su estudio, para ciertas fibras podrían introducirse de forma excepcional otros conceptos como el consumo del terreno (LU), de especial interés en el caso de las fibras cuya materia prima es vegetal (fibras vegetales y celulósicas, por ejemplo). Cabe explicar que estos parámetros varían en función de múltiples factores como el origen de la producción, el método o la técnica; por este motivo, es difícil encontrar una unidad entre los diferentes autores y las cifras plasmadas en esta investigación tienen el único fin de proporcionar una visión aproximada del impacto.

Por otra parte, para poder analizar los impactos de cada fibra aplicados a cada proceso de su cadena productiva he considerado relevante el Análisis del Ciclo de Vida² de cada fibra. Este término es una herramienta esencial para llevar a cabo este tipo de estudios, ya que a pesar de no proponer soluciones, sí crea un marco de estudio del potencial impacto de un producto desde la extracción de la materia prima hasta su eliminación comparando procesos.

- Aunque los informes que estudian el desempeño ético y social de las producciones de cada fibra en específico son escasos, lo ideal sería investigar desde esta visión individual la situación en la que se encuentran los empleados que trabajan en la cadena de producción de la fibra, así como cómo afecta esta en el entorno local.
- Por último, se analizará la relevancia a nivel económico que tiene la elaboración de estas fibras para los países enfocados a su fabricación. Para ello, analizaremos la distribución mundial de la producción de la fibra, detectando así los principales países productores y las cantidades producidas en cada uno.

² Término más conocido por su traducción al inglés: *Life Cycle Assessment* (LCA).

2. LA INDUSTRIA TEXTIL EN LA ACTUALIDAD

Posicionado como cuarto sector en lo que a tamaño se refiere (Vilaca, 2022), el sector textil de la moda se caracteriza por su gran dispersión geográfica global y constante cambio de dirección. Con una cifra aproximada estimada por la Organización Internacional del Trabajo (OIT de aquí en adelante) de 3.450 millones de trabajadores en la cadena global de aprovisionamiento, esta industria supone la principal fuente de ingresos para millones de familias alrededor del mundo. Según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (2009), la industria textil incluye tres etapas diferentes: la preparación e hilado de fibras textiles; la fabricación de tejidos textiles y la fase de acabado de textiles.

Aunque puedan pasar desapercibidas a ojos de aquellos que no están directamente vinculados al sector, dentro de esta industria global se incluyen también otras actividades a parte de la confección o comercialización de las prendas. En la parte oculta de este iceberg de 1,5 billones de USD dólares (Smith, 2022), se incluyen los procesos vinculados al hilado y tejido, el tratamiento del tejido para los procesos húmedos, el desarrollo y aplicación de fornituras, acabados, etc. Además, la moda no es el único producto final del sector textil: un porcentaje de la producción textil está orientada a la confección de productos para el hogar, el sector automovilístico, etc. Por otra parte, la industria de la moda se relaciona íntimamente con el avance económico y social de muchas economías en vías de desarrollo, ya que su desempeño afecta directamente a otros sectores como el agrícola, el ganadero, el químico y el petroquímico (al ser estos proveedores de materia prima, entre otros).

No hay ni que decir que este alto ritmo de fabricación y consumo han tenido y tienen un alto impacto a nivel medioambiental. En concreto, según Niinimäki (2020), en un solo año la industria de la moda consume 79 billones de litros de agua y emite entre el 8% y el 10% del total de emisiones globales de CO₂ (lo que equivale a unos 4000/5000 millones de toneladas anuales). Por este motivo y con el fin de resaltar las diferencias entre aquellas empresas que buscan maximizar los beneficios a toda costa y aquellas basadas en la gestión responsable de los recursos y las operaciones, la moda se ha polarizado. Mediante los términos “moda rápida” y “moda lenta”, la moda se divide en dos modelos de negocio cuya principal diferencia son los tiempos de desarrollo del producto. Para librarse de las connotaciones negativas que se asocian al modelo del *fast fashion*, últimamente este intenta adoptar prácticas del modelo opuesto: introduce productos en su colección de una mayor calidad mientras que muestran una mayor preocupación por el cuidado del medio en el proceso de producción (Cataldi, 2010).

2.1. EL FENÓMENO DEL FAST FASHION

Cualquier empresa del sector conoce la importancia de disponer de una alta capacidad de adaptación debido a la alta competitividad y el constante cambio de esta industria. Gracias a las técnicas de reproducción masiva, desde mediados del siglo XX se ha presentado una notable reducción de precios que han apartado la tradicional connotación de exclusividad del sector. Este fenómeno denominado “democratización de la moda” ha dado pie al consumo por parte de todas las clases sociales, rediseñando la segmentación del mercado.

Para comprender el éxito de la denominada moda rápida o *fast fashion* conviene visualizar la pirámide de segmentación de la moda. En la parte superior de la pirámide (gráfica 02) se posiciona la alta costura, donde las firmas de lujo elaboran piezas realmente costosas y con un nivel supremo de artesanía para aquellos clientes que se lo pueden permitir: una minoría. En este segmento las firmas de lujo proyectan

una imagen de marca vinculada a la exclusividad que será la que luego les proporcione ventas en el resto de las líneas posicionadas en el segmento inferior: el denominado *ready-to-wear* o *prêt-à-porter*. En este segmento, también llamado lujo accesible, el factor artesanal se sustituye por la industrialización, reduciéndose considerablemente el precio del producto. Por otra parte, mientras que en el segmento superior se ubicaban aquellas prendas apropiadas para eventos más formales, en este, las prendas son más apropiadas para su uso cotidiano, pero sin renunciar por ello al diseño, la creatividad y la esencia de la firma.

Gráfica 02. Segmentación del sector textil.



Fuente: elaboración propia a partir de Corbellini (s.f.).

Representando el tercer y último segmento perteneciente a la alta gama, se posicionan aquellas líneas con las que las firmas de lujo llegan a una mayor cantidad de público: *diffusion*. Es en estas líneas secundarias dónde las firmas de lujo ofrecen un producto más accesible y con una inferior carga creativa³ y el consumidor realiza una compra principalmente aspiracional influido por la imagen que la marca ha construido en los segmentos superiores. En la siguiente posición, *bridge*, se encuentra el segmento que, como su propio nombre indica, hace de puente entre la alta gama del mercado y el mercado de masa, ofreciendo un producto *premium* a un precio más ajustado. Por último, en el denominado mercado de masa, se posicionan firmas como Zara o Mango representando a la moda rápida o fenómenos de la moda de bajo coste como Shein.

En las últimas décadas, el éxito de la denominada moda rápida no ha hecho más que crecer hasta alcanzar el valor actual estimado de 30.600 millones de dólares (*The Business Research Company*, 2021). Caracterizada por los bajos márgenes de beneficio y la rapidez con la que traslada la moda de la pasarela a la tienda, este modelo ha encontrado la clave del éxito en la venta de prendas cuyo diseño, presentación y demás intangibles se asocian a la alta gama a pesar de que los precios sean propios del

³ Suelen formar parte de sistemas de producción más amplios subcontratados a otras empresas; además, se centran en comercializar prendas con bajo coste al que aplicar un buen margen de beneficio.

último segmento de la pirámide: *mass market*. Con esta técnica, los enormes del *retail*, consiguen acercar las últimas tendencias al consumidor permitiendo que cualquier persona pueda consumir y disfrutar de la moda. Los expertos del marketing aplicado al sector coinciden en que la moda está directamente ligada a la estima y estatus social de quien la consume; lo que, según Maslow, permite satisfacer su necesidad de autorrealización, participando en el desarrollo personal del consumidor (Xiang, 2021). Además, este modelo cuenta con la ventaja competitiva otorgada por los grandes volúmenes de producción y la ubicación estratégica de la fabricación (generalmente deslocalizada), la cual permite reducir su Coste Por Unidad: ahorrando en costes de materiales o procesos y ofreciendo por ende un precio altamente competitivo.

A medida que ha crecido la popularidad de este subsector dentro de la moda, también ha crecido el impacto medioambiental y, con ello, la preocupación del consumidor en torno a la ética y la sostenibilidad han tomado fuerza. La industria se ha visto empujada a adoptar nuevas estrategias y a abandonar aquellas que reducían su competitividad en el mercado. Los datos referentes al impacto derivado de los procesos del sector varían en función de la fuente, ya que debido a la falta de transparencia es difícil medir el impacto total de la industria mundial a nivel medioambiental. A pesar de que el rumor de que la industria textil sea la segunda más contaminante del mundo sea falso (Friedman, 2018), no hay que obviar la contaminación de los ríos derivada del uso de tintes, la deforestación derivada de la elaboración intensiva de fibras celulósicas, la erosión de la tierra debido al cultivo intensivo de algodón o la masiva liberación en el mar de micro plásticos contenidos en los tejidos sintéticos.

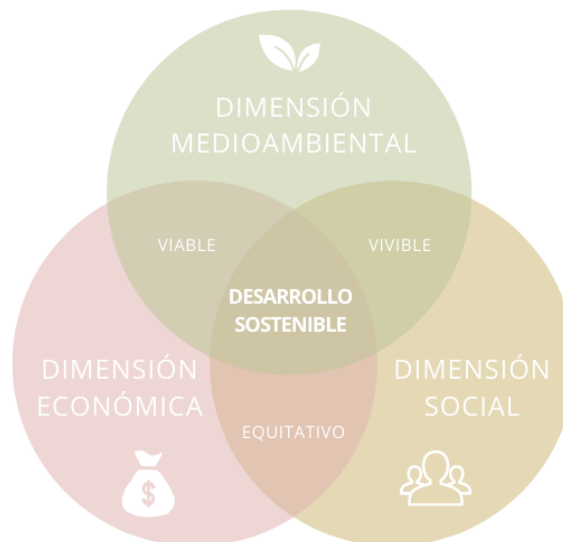
Por otra parte, no sólo se debe tener en cuenta el impacto de la producción o extracción de la materia prima para la obtención de la fibra; en muchos casos una de las partes más contaminantes del proceso se encuentra en los tratamientos posteriores a la obtención de esta. Un claro ejemplo de ello es la viscosa, fibra celulósica cuya pulpa debe ser tratada y sometida a procesos altamente contaminantes debido a los productos tóxicos empleados en el blanqueamiento de la celulosa, entre otros (Changing Markets Foundation, 2017, p. 16-17).

2.2. SOSTENIBILIDAD Y RESPONSABILIDAD SOCIAL EN LA INDUSTRIA DE LA MODA

Hoy por hoy, cualquier industria que pretenda apartar la sostenibilidad de su propuesta de valor, aparte de demostrar una gran irresponsabilidad de cara al consumidor, está destinada a fracasar. Siendo el sector textil uno de los más señalados debido a su gran impacto, es natural que este se encuentre en el punto de mira.

El concepto de Desarrollo Sostenible aparece por primera vez en el Informe Brundtland presentado en la Comisión sobre Medio Ambiente y Desarrollo en la Unión Europea (1987), donde se define este como el “desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias” (Castro, 2018). Para hablar de sostenibilidad es importante que se delimiten las tres dimensiones que conforman el equilibrio para que esta exista: la dimensión económica, la dimensión social y la dimensión medioambiental. Hablar de sostenibilidad y desarrollo sostenible debe suponer la búsqueda de un medio ambiente vivible y una economía equitativa mediante la aplicación de procesos viables (gráfica 03).

Gráfica 03. Dimensiones que forman la triple sostenibilidad.



Fuente: elaboración propia a partir de Borsdorf (2014).

Debido a la incompatibilidad de esta definición con los actuales modelos basados en el consumo masivo, en las últimas décadas la preocupación por parte del consumidor ha aumentado. Esta concienciación ha empujado a la industria a redireccionar su *modus operandi*, definiendo así nuevas tendencias a todos los niveles. A ojos del consumidor, algunos de los cambios más visibles son la reducción en el uso de materiales derivados del petróleo para fines relacionados con el empaquetado del producto o la mayor presencia de materiales social y medioambientalmente respetuosos en las colecciones. Sin embargo, donde realmente se ve que se trata de un cambio gradual de tipo estructural en la empresa (y no de una tendencia con impacto superficial en la corporación) es en la aplicación de nuevas normativas y/o estándares: desde aquellas desarrolladas por colectivos como International Organization for Standardization⁴ (ISO); la creciente aplicación de políticas gubernamentales sobre la gestión de emisiones; o las estrategias económicas por parte de la unión europea que buscan fomentar el crecimiento de empresas del sector cuyo modelo de negocio sea circular (European Commission, 2022). La transformación de la moda rápida hacia una moda más responsable se puede ver claramente tanto en aquellas firmas estables económicamente (las cuales hacen un esfuerzo valorable al llevar a cabo esta evolución que transforma sus propias bases); como en aquellas empresas más jóvenes cuyo ADN muestra una clara orientación responsable desde su nacimiento.

Mientras que el medioambiente ha sido posicionado generalmente como la principal víctima en los procesos productivos de esta industria, las personas que forman parte de la cadena de suministro no han recibido siempre la misma atención. A pesar de que el grueso de la población conozca el fin detrás de la subcontratación y desviación de la producción a aquellos países donde la económica mano de obra permite abaratar el coste del producto, la transparencia en relación con sus derechos y condiciones ha sido escasa en este tipo de empresas. Según UNICEF (como se citó en Moulds, s.f.), se estima que en el mundo el 11% de los niños (lo que se corresponde con 170 millones aproximadamente) trabajan forzadamente para la industria textil. Si bien las condiciones de los trabajadores dependen del

⁴ La principal función de esta organización es crear estándares que afirmen la calidad, seguridad y eficiencia de los productos o servicios (International Organization for Standardization, s.f.).

país y fábrica en el que se lleven a cabo, en países como Bangladesh el 85% de los trabajadores del sector son mujeres de entre 16 y 25 años cuyas jornadas laborales oscilan entre las 12 y las 14 horas diarias durante siete días a la semana (Buzzo, 2019).

La Responsabilidad Social Corporativa deja de posicionarse en un segundo plano gracias al impacto mediático de ciertos desastres provocados por la explotación de los derechos humanos, los cuales han calado en el público, modificando viejos hábitos de consumo. Ejemplo de ello es el mediático derrumbe del edificio Rana Plaza (ubicado en la capital de Bangladesh), cuyo accidente provoca la muerte de más de 1.130 personas (Domínguez, 2018); o la difusión de las consecuencias físicas visibles en poblaciones completas debido a la falta de protección y exposición sin protección a los químicos tóxicos empleados durante procesos de tintado, blanqueado u otros acabados de esta industria (Sahuquillo, 2019). Debido a la deslocalización de la producción mundial, es común encontrar esta clase de desigualdades en la cadena de producción de la industria. Al enfocarse este documento al estudio del impacto de las diferentes fibras en específico, el análisis se dirigirá al estudio del impacto social de cada fibra y a la situación concreta en la que se encuentran los trabajadores cuyo objetivo es la producción u obtención de la fibra y su preparación para su posterior manipulación, apartando de esta investigación aquellos operarios encargados de la confección.

En lo que respecta a la dimensión económica, en las últimas décadas, el sector se ha enfocado hacia el desarrollo de diferentes economías emergentes y en la generación de nuevas potencias derivadas de la deslocalización de la producción. La consecuencia principal es una polarización casi general en lo que respecta al reparto de la producción: mientras que la planificación (diseño y estrategia principalmente) se proyecta desde los países desarrollados, los países en vías de desarrollo son, en la mayoría de los casos, responsables de la ejecución del producto (obtención de materia prima, hilado, tejido, teñido y confección, entre otros). Esta reubicación ha supuesto un cambio en los estándares de la industria, provocando que parte de las empresas dedicadas a la confección en España se viesen obligadas a echar el cierre. La fuerte presión por parte de las empresas de moda rápida y su consecuente guerra de precios, han sido los principales motivos por los cuales la industria textil española se ha visto claramente debilitada (Plaza, 2020). A raíz de esta reformulación del sector se establece una relación abusiva entre las grandes empresas y sus proveedores, la cual se basa en el ejercicio de la presión y la búsqueda del menor tiempo de entrega al mejor precio. Las repercusiones de este modelo las suelen pagar aquellos que trabajan en las primeras fases de la cadena productiva mediante un exceso de desigualdades y la falta de derechos laborales (Folgueira, 2018, p. 16).

2.3. IMPORTANCIA DETRÁS DE LA ELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La selección de la materia prima es considerada uno de los puntos de partida clave a partir del cual se inicia la cadena productiva de cualquier bien. El sector primario ejecuta las actividades que permiten extraer del medioambiente los recursos que luego, mediante diversos procesos, generan un producto de valor para la industria textil. La producción de esta materia prima no sólo supone la contaminación del medio por trámite de gases de efecto invernadero como el metano, el ozono, el óxido nitroso, el dióxido de carbono... (los cuales se presentan en productos como los fertilizantes, por ejemplo) (Herps, 2020); en muchos casos, también sufren las aguas empleadas en estos procesos, al no tratarse debidamente al finalizar su uso. Además, estos procesos se asocian con altos consumos de energía eléctrica y agua asociados al cuidado de las plantaciones; cría de animales; aplicación de tratamientos

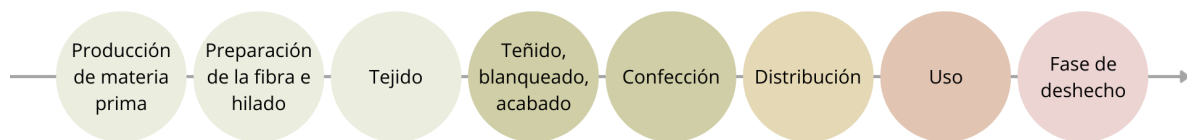
y sustancias químicas; procesado de la fibra, etc. En el sector de estudio, la variedad de materias primas disponibles es extensa; no sólo en función de sus propiedades técnicas, también en función de su desempeño en las diferentes dimensiones de la sostenibilidad. Por otra parte, los procesos previos a la obtención de una fibra (extracción, cultivo, cría, fabricación, etc.) se reparten en diferentes orígenes y modalidades, lo que convierte la selección de la materia prima en un proceso con gran variedad y por tanto cargado de responsabilidad.

2.4. CICLO DE VIDA DE UNA PRENDA

Para comenzar a analizar las diferencias entre las diferentes fibras con las que se desarrolla el producto, es importante clarificar los conceptos principales y conocer las diferentes fases desde la obtención de la fibra hasta la confección de la prenda. Como exponía en la introducción de este documento, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV de ahora en adelante) del producto es fundamental para el desarrollo responsable de cualquier prenda. En función de los procesos de producción que se tengan en cuenta para medir el impacto ambiental, se diferencia entre ACV de la cuna a la puerta o *cradle to gate*, ACV de la cuna a la tumba o *cradle to grave* y el ACV de la cuna a la cuna o *cradle to cradle*. Mientras que en el primero de los casos se estudian únicamente las fases implicadas en la extracción de las materias primas, el transporte a fábrica y la producción; en el ACV de la cuna a la tumba se examinan también el resto de las etapas implícitas en la vida de un producto, incluyendo la fase de uso y de deshecho. Por último, el estudio del ACV de la cuna a la cuna tiene en cuenta todas las fases anteriores incluyendo además el impacto de la gestión de los residuos con el fin de reutilizar estos como materia prima pasando del tradicional proceso lineal a un ciclo cerrado en el cual los propios deshechos se reincorporan como materia prima (González, 2016).

Al tratarse de un estudio sobre materia prima, la investigación se centrará en la exploración del ACV de la cuna a la puerta, donde se centran las fases relacionadas con la materia prima y método de producción, etapas en las que se dicta en gran medida el impacto final de la prenda. De todas formas, se usan estos datos como referencia, ya que en el estudio del impacto de una fibra hay múltiples variables que cambian dependiendo de la producción. Además, para examinar ciertos materiales sería poco acertado limitar el foco a los impactos correspondientes a las fases productivas iniciales sin ampliar y extender la vista al ciclo de vida completo (hasta la fase de deshecho y capacidad de reciclado). Ejemplo de ello son aquellas prendas deportivas cuya composición está formada en su mayoría por materiales sintéticos derivados del petróleo y cuyo lavado es muy frecuente. En este caso parte de la repercusión medioambiental negativa se asocia a su fase de uso, ya que son esta clase de prendas las principales culpables del desprendimiento de micro plásticos en los océanos, entre otras consecuencias negativas.

A pesar de la utilidad del ACV para analizar el impacto medioambiental de un producto, una de las principales dificultades asociadas a este parámetro es la incapacidad de presentar un valor genérico para cada fibra. Van der Velden (2013, p. 340-350) estudia detalladamente cada uno de los parámetros relevantes en el proceso de producción de una fibra para la obtención del ACV de las diferentes fibras estudiadas. Este estudio refleja cómo, para la misma fibra, se presentan diferentes valores de un mismo parámetro en función de las diferentes variedades de esta y la técnica empleada en su producción. Esto impide hablar de los consumos asociados a la producción de una fibra en términos generales sin especificar, por ejemplo, sus dimensiones.

Gráfica 04. Ciclo de vida de una prenda.

Fuente: elaboración propia a partir de Kozlowski (2012).

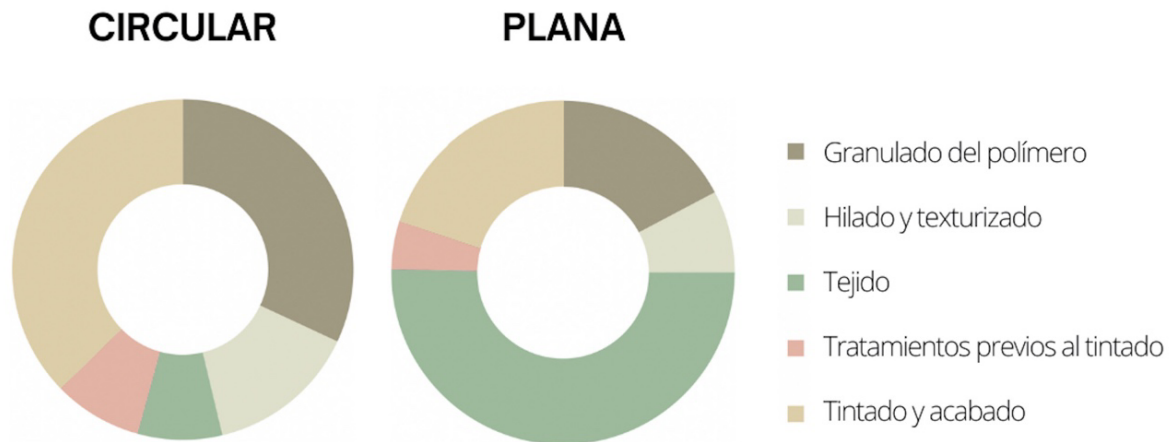
Tras la recolección de la materia prima y, antes de iniciar el hilado, estas estructuras alargadas, delgadas y flexibles deben pasar diferentes procesos de preparación para facilitar su tratamiento (gráfica 04). Algunos de estos métodos son el cardado (para pelo animal y algodón, principalmente) y el trillado (para fibras como el lino, donde se separa el grano de la paja de la planta). Tras la preparación de las hebras, el paso sucesivo es el hilado, etapa en la que esta se somete a un proceso de retorcido donde se genera un único hilo largo y resistente. En lo que respecta al hilado, las técnicas son múltiples e incluyen desde las innovadoras técnicas recién llegadas a la industria, hasta aquellas más tradicionales asociadas a culturas y fibras específicas. Un ejemplo de hilado tradicional es el que se lleva a cabo en Perú de forma manual con la lana procedente de la alpaca, donde la principal herramienta es un huso de madera. Dependiendo del proceso que se deba llevar a cabo (directamente relacionado con la fibra empleada), esta fase supondrá un mayor o menor consumo de recursos (Hallet, 2010); en base a lo expuesto por Van der Velden (2013), cuanto más fino es el grosor del hilo, mayor es el consumo energético en los diferentes pasos de la cadena productiva.

El siguiente paso tras el hilado se corresponde con la creación del tejido; dependiendo de la técnica empleada, se diferencia entre tejeduría plana (también conocido como “tejido de urdimbre o trama”) y el tejido de punto o tejeduría circular. Mientras que la primera técnica se desarrolla en un telar donde se entretejen de forma perpendicular dos grupos de hilos (urdimbre y trama); los tejidos de punto se confeccionan con hilos mediante una serie de bucles interconectados y se realizan empleando agujas manuales o máquinas (Hallet, 2010, pp. 16, 17). Múltiples estudios indican que durante el proceso de tejido circular se ahorra más energía que en el proceso de tejido plano (Kirchain, 2015; Turley, 2010, p. 128; Van der Velden, 2013). Desde el punto de vista medioambiental, cómo podemos ver en la gráfica 05, aquellos tejidos con un mayor consumo eléctrico en su elaboración se corresponden con los tejidos de urdimbre o trama. Estas dos gráficas desglosan los diferentes impactos asociados a los procesos implicados en la tejeduría del poliéster. Mientras que la fibra es la misma para ambas gráficas, la primera gráfica hace referencia a una producción en la que el modo de tejer ha sido circular, y en la segunda gráfica se hace referencia a un tejido de tipo plano. En estas gráficas se ve la diferencia de impactos correspondientes a uno y otro; mientras que en la primera gráfica predomina el impacto en tintado y acabados (probablemente por el convencional consumo de agua y uso de productos tóxicos), en la segunda gráfica se ve claramente que el proceso cuyo impacto es superior es el proceso del tejido en sí.

Por este motivo, aquel tejido cuyo consumo energético y por tanto impacto ambiental sería mayor, se correspondería con el tejido de plana producido con un hilo de algodón convencional de 70 decitex⁵ (una de las dimensiones más bajas en lo que al grosor de la fibra se refiere) (Van der Velden, 2013).

⁵ Unidad de masa lineal empleada para medir la masa (en gramos) por cada 10.000 metros de fibra (Van der Velden, 2013).

Gráfica 05. Impacto en la producción de un tejido de poliéster desglosado en procesos “*from cradle-to-gate*”.



Fuente: elaboración propia a partir de Kirchain (2015).

Tras el tejido tienen lugar los procesos húmedos⁶, los cuales son clasificados por los doctores López y Crespi (2015) en las fases de Preparación, Tintura y Acabado. Aunque estos proporcionan la estética y atractivo funcional a la prenda, los procedimientos implicados emplean grandes cantidades de agua y agentes químicos, lo que los convierte en la principal fuente de efluentes acuosos en la industria textil (Madhav, et al, 2018). A pesar de que el tinto sea quizás el proceso húmedo más conocido, existen muchos otros productos que colaboran en la producción de una prenda: repelentes de suciedad, químicos impermeables, biocidas... (Notten, 2020). Según la organización Ellen MacArthur Foundation (2017), se estima que por cada kilo de producto textil se necesitan 0,58 kg de químicos; por otra parte, Notten (2020) expone que muchos de estos componentes pueden contener metales pesados y otros componentes que resultan tóxicos para el medio y las personas que los manipulan. En otro estudio se resalta el punto crítico que supone el blanqueo y teñido de la prenda a nivel medioambiental debido a la gran cantidad y variedad de productos químicos empleados (Sandin et al, 2019).

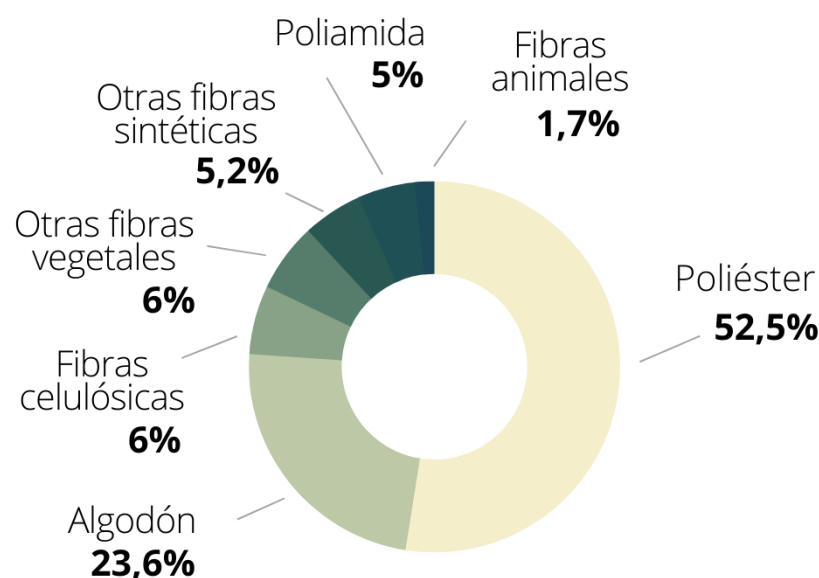
⁶ Denominados de esta forma debido a la cantidad de agua que se emplea en su procesamiento.

3. FIBRAS TEXTILES

La RAE define el término “fibra” como “cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales”. Además, en otras acepciones se incluyen también otros filamentos usados en la industria textil como aquellos de origen mineral y sintético⁷. En función de su procedencia, esta se puede clasificar en dos grandes grupos: fibras naturales o fibras químicas. Mientras que en el primer grupo se engloban sólo aquellas fibras de origen animal, vegetal o mineral, el segundo conjunto incluye todas aquellas fibras en cuyo proceso de elaboración haya intervenido el ser humano. Según la Asociación de Investigación de la Industria Textil (AITEX), se estima que la proporción de producción mundial que corresponde a fibras naturales es de un 35%, mientras que el 65% restante corresponde a aquellas fibras producidas por el hombre. A pesar de que exista una gran diversidad de fibras dentro de la familia de las fibras sintéticas y las fibras artificiales celulósicas, en este estudio me centraré en el análisis de aquellos materiales cuya presencia en la industria y por tanto, impacto, es mayor.

A pesar de haber sido uno de los peores años para tomar como referencia debido a la incertidumbre y consecuencias negativas derivadas de la pandemia del COVID-19, en el año 2020 la producción mundial de tejido fue de 109 millones de toneladas. Por otra parte, las estimaciones calculan que para el año 2025, la producción mundial alcance los 124 millones de toneladas (Textile Exchange, 2021). Por otra parte, el conocer cuáles son las fibras textiles a las que se recurre con mayor frecuencia es fundamental para comprender el impacto de cada fibra en el contexto de una industria global. Siguiendo las proporciones de producción a nivel mundial para el año 2020 (gráfica 06), vemos que aquellas fibras que lideran la lista son el poliéster y el algodón, cuyas producciones coinciden con el 52,5% y el 23,6% de la producción mundial de textiles respectivamente.

Gráfica 06. Producción mundial de fibras textiles en 2020.

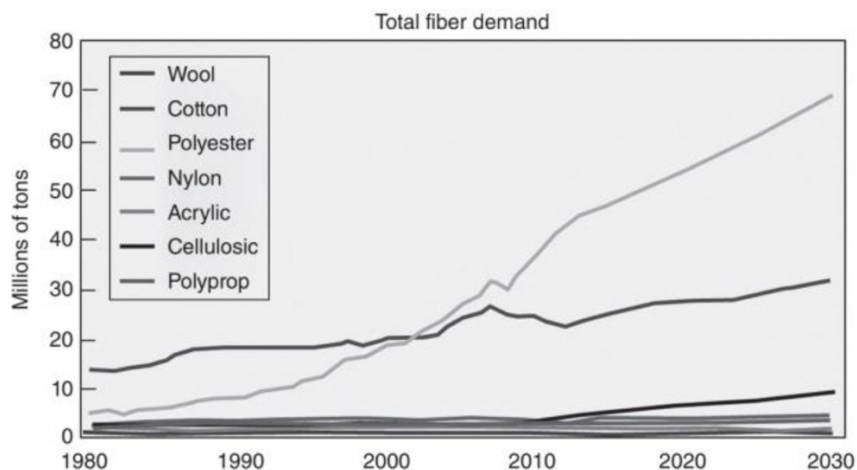


Fuente: elaboración propia a partir de Textile Exchange (2021).

⁷ El método de obtención de la fibra es específico del origen de esta, por lo que se expondrá en los próximos capítulos dedicados al análisis específico de cada una.

En cuanto a la tendencia de demanda para cada fibra, en la gráfica 06 se ve reflejada como esta crece tanto para el algodón como para el poliéster, las cuales se posicionan como líderes del mercado destacando muy notablemente sobre el resto. Mientras que la producción del resto de fibras se mantiene en cifras más razonables y constantes, el crecimiento del algodón es más acentuado en comparación con el resto y la curva de crecimiento del poliéster es notablemente más exagerada. La gráfica nos proporciona una estimación de las cantidades producidas de poliéster en función de su tendencia de crecimiento para el año 2030: una alarmante cifra que supera los 70 millones de toneladas.

Gráfica 06. Demanda mundial de las fibras más demandadas en el sector textil.



Fuente: Zhu (2019).

3.1. TIPOS DE FIBRAS: virgen, orgánica y reciclada

A lo largo de los años, y con la ya explicada tendencia de producción sostenible en la industria, el consumidor ha ido educando su gusto en cuanto a materiales y procesos de manufactura. Ya no se tiene sólo en consideración la relación entre la estética y el precio de la prenda; la ética detrás de la prenda pasa a formar parte también de los pilares fundamentales que dictan la elección del consumidor. Debido a la creciente preocupación en materia medioambiental, cada vez son más frecuentes las irrupciones de nuevas alternativas que amenazan la estabilidad de las fibras tradicionales en el mercado.

La mayoría de las fibras pueden presentarse en tres formas diferentes (en orden de mayor a menor impacto medioambiental): la fibra virgen, la fibra orgánica y la fibra reciclada. Desde el punto de vista de la eficiencia medioambiental, aquellas fibras con un mejor desempeño serán aquellas cuya materia prima sea reciclada, a pesar de que en ocasiones el consumo de agua o energía sean superiores. El recuperar un residuo y emplearlo como materia prima tiene doble impacto positivo. En primer lugar, se rescata algo que en un origen estaba destinado a ser desechado y se le da una nueva vida reduciendo su presencia en el medio y, además, se evita generar más consecuencias medioambientales negativas derivadas de la producción de nueva materia virgen. El principal problema de las fibras recicladas reside en la calidad del hilo resultante: tras haber triturado las fibras para su reciclado, el hilo resulta ser de peor calidad a la materia prima virgen. Por ejemplo, en el caso del algodón, este hilo resulta más corto

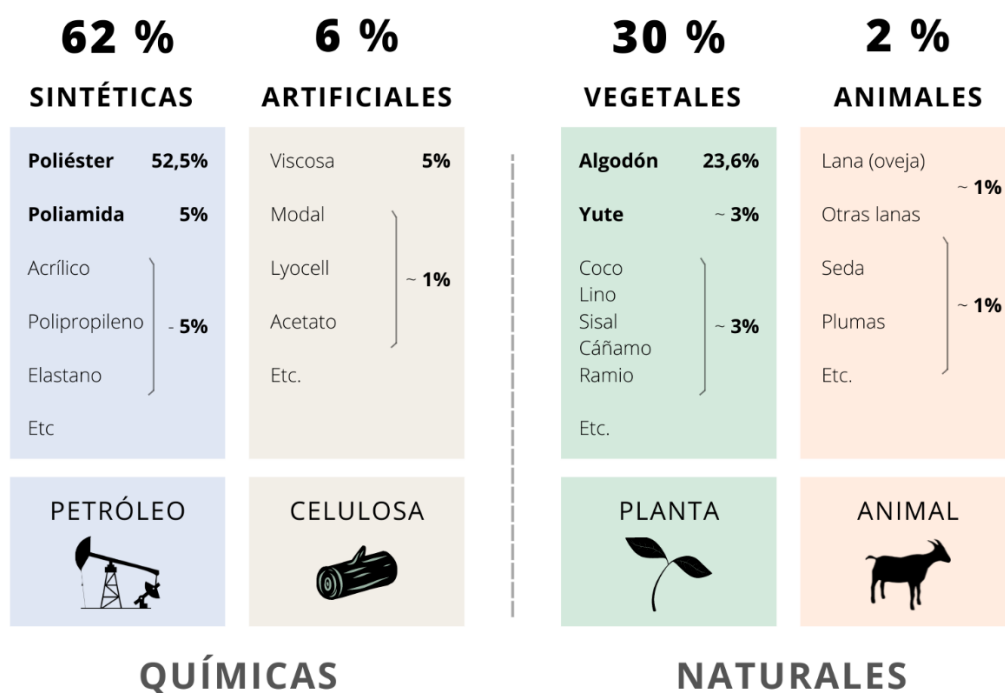
y grueso, por lo que a menudo para asegurar su durabilidad y mayor longitud el productor se ve obligado a mezclarlo con algodón virgen u otras fibras (Ütebay, 2019, p.35).

El siguiente grupo lo constituyen las fibras orgánicas⁸ en cuyo cultivo se han aplicado restricciones al uso de químicos, pesticidas y fertilizantes y se ha limitado el uso de agua y semillas transgénicas. A pesar de que la materia prima se cultive desde cero, se intentan minimizar los impactos medioambientales sin renunciar por ello a la calidad del tejido (Adnan, 2010). Mientras tanto, el conjunto de fibras vírgenes representaría la elección menos sostenible. Si bien en el caso de las fibras vegetales orgánicas existe un control exhaustivo de la producción y un cuidado del proceso, esto no ocurre en los cultivos convencionales, los cuales se caracterizan por altos consumos de agua y empleo de tóxicos que maximizan el rendimiento del cultivo.

3.2. TIPOS DE FIBRAS SEGÚN SU ORIGEN

A pesar de que las fibras puedan ser clasificadas de múltiples formas, este estudio ha considerado su clasificación en función del origen. Basándose en su procedencia se diferencian dos grandes grupos: las fibras químicas (aquellas en cuyo proceso de fabricación está implicado el ser humano) y las fibras naturales. En la gráfica 07 podemos ver los distintos tipos de fibras con mayor relevancia en el sector, el origen de cada una de ellas y su distribución porcentual con relación a la producción mundial.

Gráfica 07. Producción mundial de las principales fibras y su clasificación.⁹



Fuente: elaboración propia a partir de Textile Exchange (2021); Sandin et al (2019); Rex et al (2019).

⁸ Sólo aplicable a fibras de origen natural: principalmente vegetales aunque también animales.

⁹ Las cifras representadas en este gráfico para señalar la proporción de las diferentes fibras a nivel mundial no siempre coinciden en las diferentes fuentes consultadas (por lo general, debido a la variación temporal entre una fuente y otra), por lo que son cifras orientativas visto que han debido ser redondeadas.

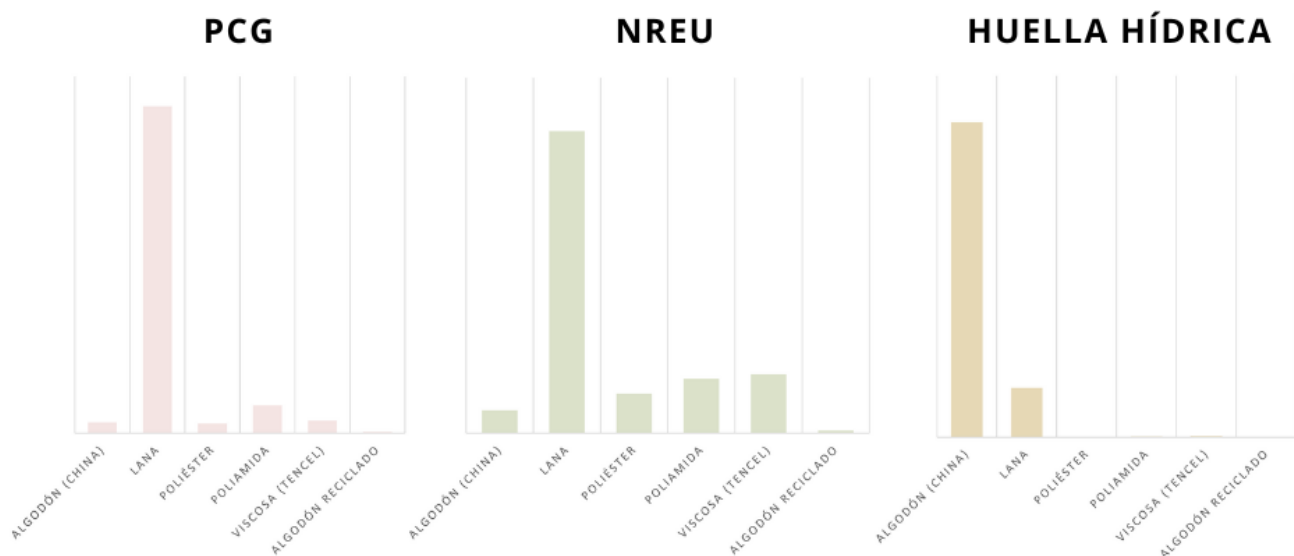
El primer grupo es considerablemente más amplio al incluir todas las fibras en cuyo proceso de elaboración ha intervenido el ser humano. En las últimas décadas y, gracias a los múltiples avances tecnológicos, nuevas opciones han sido desarrolladas e incorporadas en esta industria. A pesar de que el proceso de fabricación sea diferente, podemos agrupar estas fibras por el origen de su materia prima: el petróleo o la celulosa. En el segundo grupo, en cambio, se incluyen las fibras de procedencia animal (como la lana o la seda) y las fibras vegetales (como el algodón y el yute). A pesar de que su presencia en el sector textil sea ínfima, debemos citar también dentro de este grupo las fibras naturales de origen mineral como el amianto.

En lo que respecta al mercado de fibras más sostenibles, a pesar de que en el año 2020 supuso algo menos de un 20% de la producción total de fibras, este no deja de aumentar. Analizando los datos de producción global para el año 2020, vemos que dentro de este porcentaje se incluyen 8,4 millones de toneladas de poliéster reciclado, 7,8 millones de toneladas de algodón certificado, 3,9 millones de toneladas de fibras celulósicas con certificación FSC/PEFC y 0,57 millones de toneladas de otras fibras recicladas o cuya base es “bio”. En porcentajes globales, en el año de estudio (2020), menos del 0,5% del mercado global de fibras tuvo su procedencia en textiles reciclados (Textile Exchange, 2021).

3.2.1. Visión global de su impacto medioambiental

Antes de exponer de forma más detallada cada una de las fibras en las que se centra este estudio, se introducirá de forma general el impacto medioambiental de algunas de las fibras más usadas para poder tener una visión general sobre el impacto del sector. La gráfica 08 expone los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para el estudio del impacto medioambiental en una producción textil: el PCG, el NREU y la huella hídrica. Por otra parte, la gráfica expone la variedad de fibras que encontramos actualmente en la industria, aportando una visión general sobre su desempeño: la fibra natural más presente en la industria – el algodón -, y su alternativa reciclada; la lana, fibra natural de origen animal más usada en el sector; las dos fibras sintéticas cuya producción es mayor (el poliéster y la poliamida); y una viscosa, fibra celulósica producida por el ser humano.

Gráfica 08. Análisis comparativo del impacto medioambiental de varias fibras.



Fuente: elaboración propia a partir de Grevinga (2017).

Analizando la gráfica y, como adelanto de lo que veremos más adelante en profundidad, podemos ver que aquella fibra cuyas emisiones de efecto invernadero se disparan, se corresponde con la única fibra animal representada, seguida – aunque con mucha diferencia - por las fibras en cuyo proceso de elaboración interviene el hombre: la poliamida, el Tencel y el poliéster. Teniendo en cuenta que una oveja produce al año solamente entre 1 y 3 kilogramos de lana¹⁰, es comprensible que el porcentaje correspondiente al impacto de CO₂ sea mucho mayor a las de cualquier otro tipo de fibra (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación); se estima que un humano emite al año 0,12 kg de CO₂, mientras que una oveja emite 8 kg y un bovino puede emitir 120 kg (Instituto Goddard para Ciencia Espacial, s.f.). Si bien los ovinos no son los animales con las cifras más altas en emisiones de CO₂, estos deben de imputarse al total de gases derivados de la obtención de la lana. Por otra parte, esta fibra se posiciona también como líder en cuanto a consumo energético (muy probablemente debido al proceso de peinado o cardado llevado a cabo para la obtención de la fibra). Por último, en cuanto al consumo de agua, vemos que es el algodón - seguido de la lana - el que se posiciona en primer lugar.

¹⁰ La cantidad de lana varía en función de la raza, sexo y tamaño del animal, por lo que estas cifras son aproximadas.

4. FIBRAS SINTÉTICAS: poliéster y poliamida

Se definen así aquellas fibras formadas por polímeros sintetizados a partir de compuestos relacionados con la industria petroquímica. Según Morgan (1981), el primero en experimentar con esta materia prima fue el químico Carothers en los inicios de la década de los años 30, por lo que su presencia en el sector textil no tiene más de un siglo. Aquellas fibras sintéticas con mayor peso en la industria textil global y, por tanto, mayor impacto medioambiental, son el poliéster y la poliamida; con unas producciones anuales que, según el informe elaborado por Textile Exchange (2021), rondan los 57,1 y 5,4 millones de toneladas respectivamente. Otras fibras sintéticas cuya producción debemos considerar son el polipropileno y el acrílico, al ser estas las fibras sintéticas con mayor producción por detrás del poliéster y poliamida. Les sigue el elastano, fibra muy popular debido a las propiedades elásticas que aporta a la indumentaria, también conocida por su nombre comercial: Lycra. Esta aún se mantiene por detrás del resto de fibras sintéticas ya que no se suele encontrar en estado puro, lo que reduce su presencia en la composición de la prenda (Sposito, 2019).

4.1. POLIÉSTER

Como ya se avanzaba previamente la agrupación AITEX, centro de referencia en investigación e innovación, aproximadamente el 70% de las fibras sintéticas que se producen en la actualidad, se corresponden con fibras de poliéster. Teniendo en cuenta la procedencia de esta materia prima, al tratarse de combustibles fósiles, se espera que a medida que aumente la producción de esta fibra aumenten también las emisiones de CO₂.

Esta fibra se compone principalmente de polietilentereftalato (PET), polímero que se extrae del petróleo. A pesar de que parte de la fama de este polímero proceda de la producción de botellas de plástico, en la industria textil el PET de grado fibra es un material muy apreciado y extendido. Si bien la mayoría de las fibras naturales parten de una granja, el ciclo de vida del poliéster se inicia en un pozo de petróleo o gas natural. Esta se procesa para obtener pellets a partir de los cuales, aplicando calor, se consiguen filamentos. Son las propiedades de este polímero las que la posicionan como la fibra más utilizada del sector: elasticidad, estabilidad dimensional y formal, gran resistencia a arrugas, tracción, altas temperaturas... (Gacén, 1983).

De hecho, a pesar de que comúnmente se asocia la denominación PET como principal material en la elaboración de recipientes desechables y otros materiales ajenos al textil, la realidad es que de la producción total de polietilentereftalato, sólo un 30% se dedica a esto. El 70% restante, equivalente a 70 millones de barriles (el 0,2% de la producción total de petróleo mundial), es destinado a la obtención de poliéster virgen (AITEX, 2019).

Para la elaboración de la fibra de poliéster se parte de dos compuestos diferentes: el dimetil tereftalato (DMT) y el etilenglicol (EG). Si bien por lo general ambos polímeros proceden del petróleo, el segundo polímero citado puede ser de origen biológico (como se expone en el siguiente apartado). En primer lugar, se funde el polímero previamente granulado y se bombea este fluido a través de las denominadas "hileras". El polímero fundido fluye a través de los múltiples orificios de cada una de estas piezas formando múltiples hilos que tras enfriarse son estirados y procesados para mejorar su acabado y propiedades (Sandin et al, 2019, p. 37).

- **Tipos de poliéster: vPET, rPET y *bio-based* PET**

En función de su origen, podemos diferenciar varios tipos de poliéster diferentes: el PET virgen (vPET), el PET reciclado (rPET) y el PET procedente de productos orgánicos (*bio-based* PET). El poliéster virgen deriva directamente del petróleo; mientras que para la producción de rPET se reciclan productos que ya contengan este polímero (principalmente botellas de plástico PET); el último tipo de poliéster, en cambio, tiene base biológica (al estar compuesto en parte por maíz y azúcar de caña). El reciclado de esta fibra se puede llevar a cabo tanto mecánicamente como químicamente, usando, tanto la materia prima pre-consumo, como la materia prima post-consumo. En el caso del reciclado químico, el material se rompe hasta alcanzar la molécula química base, permitiendo que esta se reincorpore en el sistema original de manufactura del poliéster (Shen et al, 2012).

Si bien el origen sintético de este material lo convierte en un material no biodegradable, una de las ventajas de este material es que este puede ser reciclado repetidamente. Como es natural, y reafirmando lo ya explicado con anterioridad, la obtención de cualquier fibra virgen tiene un mayor impacto que la producción de una fibra reciclada. Cuando se recicla un material, no sólo se ahorran las emisiones y consumo derivadas de la producción, sino que se reduce la cantidad de residuos cuyo fin, suele ser el vertedero. De todas formas, cada año miles de toneladas de prendas confeccionadas con poliéster, terminan su ciclo de vida en un vertedero. Sólo en el Reino Unido, cada año, alrededor de 350.000 toneladas de prendas son enviadas a vertederos; de las cuales, entre el 55% y el 65% están formadas por poliéster (Supply Compass, 2020).

La realidad es que, a pesar de que la tendencia sea positiva, solo un 8,4 de los 57,1 millones de toneladas producidos a nivel mundial en 2020 fueron de poliéster reciclado, lo que se traduce en un 14,7% (Textile Exchange, 2021). De este bajo porcentaje, la cantidad de poliéster cuya materia prima proviene de fibras textiles, es mucho inferior al predominante rPET (fabricado con botellas de plástico). Sin duda, uno de los retos a los que se enfrenta ahora el sector para poder darle la vuelta a estas cifras, es el dar con la tecnología que permita reciclar las prendas cuya composición sea mixta: detectar las fibras que forman la prenda, separarlas y reciclarlas de forma individual. En la actualidad, la mayoría de las prendas que incluyen poliéster en su composición, lo hacen en conjunto con otras fibras como el algodón o el elastano para así aportar propiedades específicas a la prenda: más elasticidad, un tacto más agradable, una apariencia menos sintética, etc.

El uso de rPET en lugar de poliéster virgen supone un doble impacto positivo: no sólo se liberan un 79% menos de gases de efecto invernadero en su producción; además, el consumo de petróleo virgen que se reduce es proporcional a la cantidad de desechos destinados al vertedero que, al ser usados como materia prima, tienen un mejor futuro (ALPLA, 2017). Pero no hay que obviar el hecho de que, cada vez que el poliéster se recicla, se debe someter a procesos de calentamiento que deterioran cada vez más la materia prima. Esto no sólo impide que sea reciclado indefinidamente, además este tipo de poliéster requiere más agua y energía que el poliéster convencional durante el proceso de teñido. A pesar de los inconvenientes que puedan derivar del proceso productivo de esta alternativa, el poliéster reciclado sigue siendo una alternativa más sostenible al convencional, pero no más que el poliéster *bio-based* (basado en componentes orgánicos). Este último tipo, con base biológica, ha demostrado ser aún más sostenible reduciendo el uso del terreno, la energía necesaria para producir y las emisiones de gases de efecto invernadero (Shen et al, 2012).

4.1.1. Impacto medioambiental

Si bien en términos de uso de agua o explotación del terreno el poliéster tiene un impacto muy inferior al de la producción de otras fibras naturales, según Palacios-Mateo (2021) la energía que se invierte en su producción la convierte en una de las fibras con mayor consumo energético derivado de su fabricación (125 MJ de energía por kilogramo obtenido). Por este motivo, el proceso de obtención del poliéster supone cerca de tres veces más emisiones de efecto invernadero que la producción de algodón. Otro problema genérico de la industria cuyas consecuencias son terribles para el medioambiente, es el tratamiento incorrecto de las aguas usadas durante la obtención y tratamiento de la fibra. En concreto, las aguas residuales procedentes de la elaboración de poliéster que no han sido sometidas a una depuración previa a su vertido suponen la liberación de sustancias tóxicas como: el antimonio, el cobalto, sales de magnesio, el bromuro de sodio y el dióxido de titanio. En específico, el proceso de reciclado del poliéster libera en la atmósfera un compuesto cancerígeno de antimonio (Common Objective, 2021).

En lo que respecta a la huella hídrica de este material, Shen et al (2010, p. 268) exponen que para la producción de una tonelada de fibra de poliéster en Europa occidental, se emplean sobre 76 m³ en los diferentes procesos productivos, lo que según la autora la posicionaría como la fibra con menor empleo de este recurso; sin embargo, esta autora no diferencia entre los diferentes tipos de PET estudiados. Kalliala y Nousiainen (citados en Turley, 2010) tampoco estudian las diferentes variantes de poliéster, pero mantienen que el uso de agua que corresponde a la elaboración de esta materia prima es aún inferior, pues la tasan en 17,2 m³ / tonelada.

Por otra parte, Benavides (2018) aporta una visión más precisa sobre la huella hídrica de los tres tipos de PET citados. A pesar de no poder aplicar las cifras a este caso de estudio (pues la autora no estudia concretamente la producción de fibras), comparte una reflexión genérica y de utilidad para esta investigación: el poliéster virgen tiene un consumo inferior de agua en comparación con el rPET y el PET procedente de materia orgánica. En especial, durante la fabricación de este último no sólo se emplean altas cantidades de agua debido al método de procesamiento de la materia prima; además, este recurso se emplea para mantener el cultivo de maíz o de caña de azúcar, según proceda.

Según expone Shen et al (2012, p. 631), durante la producción de un kilogramo de poliéster virgen se emiten aproximadamente 2,05 kilogramos de dióxido de carbono de PCG, mientras que para producir 1 kg de poliéster fabricado con base biológica, se emiten entre 1,36 y 1,03 kg de CO₂ (dependiendo de si el componente de origen es el maíz o la caña de azúcar, respectivamente).

Respecto a la energía empleada, el poliéster con base biológica también presenta cifras favorables: mientras que el PET convencional se posiciona en los 67 MJ por kilogramo producido de consumo energético, el segundo tipo de poliéster emplea 59 MJ si se trata de poliéster fabricado con maíz y 51 MJ por kilogramo de fibra producida con caña de azúcar como base. Por otra parte, este mismo estudio valora el impacto del poliéster reciclado diferenciando entre el poliéster proveniente del reciclaje de botellas post consumo y el poliéster basado en el reciclaje de otras fibras PET. Para la producción de un kilogramo del primer tipo de PET se necesitan 70 MJ de energía y se emiten 3,08 kg de gases de efecto invernadero, lo que lo posiciona con un mayor impacto a nivel medioambiental que el propio poliéster virgen, presumiblemente debido a la complejidad de la producción de una fibra a partir de un envase. Teniendo en cuenta su eficiencia energética (cuya media entre las dos fábricas estudiadas aporta una

cifra de 18 MJ/kg) y la proporción de emisiones de CO₂ (cuya media se posiciona en 1,42 kg de CO₂ emitidos por kilogramo producido), sería una opción más conveniente emplear PET proveniente del reciclado de otras fibras.

- **Micro plásticos**

Siguiendo el análisis de impactos por orden del ciclo de vida de la prenda, en su fase de uso este puede variar sustancialmente en función de las circunstancias concretas con las que el consumidor trate la prenda; motivo por el cual es extremadamente difícil determinar un impacto genérico en función de la fibra. Hecha esta aclaración, sí debe destacarse la notable liberación de los denominados “micro plásticos” en esta fase. Browne et al. (2011) los define como pequeñas piezas de plástico cuya dimensión es inferior a 1 milímetro; categoría dentro de la cual se incluyen las llamadas “microfibras”: fibras inferiores a los cinco milímetros desprendidas durante el lavado de textiles confeccionados con materiales plásticos (The Ellen MacArthur Foundation, 2017). Estos residuos se desprenden durante el lavado del producto contaminando ríos, mares y océanos, afectando a la flora y fauna que los habita. Diversos estudios han comprobado que durante el lavado una sola prenda puede liberar más de 1900 microfibras; cifra que se puede ver incrementada en función del tipo de tejido, el tipo de lavadora usada y los años de uso de la prenda (cuanto más vieja, mayor es la cantidad de microfibras liberadas) (Common Objective, 2021).

Mientras que Boucher (2017) estima que medio millón de toneladas de microfibras procedentes de la industria textil son arrojadas cada año al océano (el equivalente a 50.000 millones de botellas PET), Greenpeace (citado en Mendoza, 2022) confirma que el 35% de los micro plásticos presentes en el océano proceden de fibras sintéticas. Esto no resulta tan sorprendente si se es consciente de que cinco kilos de ropa fabricada con poliéster pueden desprender hasta 17.100.000 microfibras; lo que se corresponde aproximadamente con entre 0,43 y 1,27 gramos (Salazar-Pérez, 2021). Numerosos estudios demuestran que los micro plásticos ya han sido encontrados en todos los ecosistemas del planeta (Supply Compass, 2020); situación que se ve agravada por el tamaño del residuo, que facilita su ingestión por peces y demás animales. Es muy probable que el pescado que consumimos a diario haya ingerido micro plásticos a lo largo de su ciclo alimenticio, motivo por el cual este residuo ya forma ya parte del sistema alimentario de los seres humanos. Las consecuencias negativas para la salud y bienestar de los humanos aún no están definidas, pero probablemente en el futuro dispondremos de más evidencia al respecto.

Para paliar este problema, en países como Francia, el gobierno ya ha anunciado normativas de próxima aplicación que pretenden frenar el deterioro del medioambiente mediante la aplicación obligatoria de filtros en las lavadoras que impidan su libre liberación (Álvarez, 2020). Otras alternativas son las bolsas de lavandería (como la ofrecida por Guppy Friend) o las bolas de lavandería (como la Cora Ball) cuya función es atrapar estos plásticos antes de que se liberen al océano.

4.1.2. Impacto social

Mientras que la industria petroquímica en ciertos parámetros medioambientales es notablemente más contaminante que la industria agrícola dedicada al cultivo del algodón, desde el punto de vista social los riesgos se presentan a la inversa. Los productores de fibras sintéticas suelen ubicarse en una situación favorable en comparación con la de los agricultores (Notten, 2020). Si bien la situación de los

trabajadores en las fábricas productoras suele estar regulada, las condiciones de los recolectores de residuos que trabajan en la industria del PET reciclado no siempre reciben esta atención. Textile Exchange (2021) recoge múltiples iniciativas que buscan el bienestar de estos recolectores: First Mile, PlasticBank o Plastics For Change son sólo algunas de las organizaciones cuyo fin es erradicar la pobreza de ciertas poblaciones mediante el pago de salarios dignos y formación.

4.1.3. Impacto económico

Como se exponía anteriormente, la demanda por esta fibra no ha dejado de crecer en las últimas décadas, de ahí que las cantidades producidas en la actualidad alcancen cifras exorbitadas. En modo orientativo se puede tomar de referencia la investigación de Aizenshtein (2017) donde expone la lista de los principales países productores de esta materia prima para el año 2015; en ella comparte también las toneladas correspondientes a cada región. Con una muy amplia ventaja competitiva en relación con el resto de las naciones se posiciona China, con una cifra de 37.477.000 toneladas. A pesar de que exista una gran diferencia entre ambas cantidades, por detrás del gigante asiático se encuentran: India con una elaboración de 4.533.000 toneladas anuales en segundo lugar y la asociación de países asiáticos¹¹ cuya cifra alcanza las 3.537.000 toneladas en tercera posición. Otros países cuya producción es significativa por situarse sobre el millón de toneladas son: Corea del Sur, Taiwán y Estados Unidos.

4.2. POLIAMIDA

La poliamida es una fibra sintética derivada del petróleo formada por amidas poliméricas de cadena larga; esta viene identificada por un número que indica la cantidad de átomos de carbono de sus componentes, de ahí que a menudo se lea nylon 6 o nylon 66 para referirse a este material (Lee, 2012). Esta materia prima se posiciona en el tercer lugar por detrás del poliéster y el algodón como fibra más usada en el sector textil y suele presentarse mezclada con otras fibras aportando un aspecto y tacto sedoso. A diferencia de otros materiales, el nylon está presente en muchas otras industrias debido a su alta versatilidad: sólo un tercio del nylon se dedica al sector de la moda (principalmente el nylon 6), los dos tercios restantes se emplean en la industria automovilística, en materiales electrónicos, plásticos de uso industrial... (Riera, 2019).

- **Tipos de poliamida: virgen, reciclada y *bio-based***

Aunque la versión más consumida y conocida sea la poliamida virgen, como ocurre con el resto de las fibras, la poliamida también puede ser reciclada y comercializada mediante los estándares Global Recycled Standard y Recycled Claim Standard (los cuales se expondrán más adelante). A pesar de la oferta, debido a los bajos precios de la materia prima virgen, la cuota de mercado de la poliamida reciclada crece muy lentamente: sólo un 1,9% de toda la poliamida producida es reciclada. Como el algodón, esta fibra puede ser reciclada mecánica o químicamente empleando residuos pre-consumo o residuos post consumo; dependiendo de si en la producción se emplean restos de la producción de poliamida o de si se utilizan materiales como las redes de pesca, alfombras y otros residuos textiles. A pesar de que el reciclado de la fibra pueda suponer una mayor inversión de recursos energéticos, entre otros, el productor italiano Aquafil estima que por cada tonelada de fibra regenerada se ahorra el

¹¹ Según el autor, esta asociación estaría formada por Indonesia, Tailandia, Pakistán, Malasia, Vietnam y Bangladesh.

consumo de siete barriles de petróleo (citado en Textile Exchange, 2021, p. 80). Si bien su cuota de mercado es aún inferior a la de la poliamida reciclada (0,02 millones de toneladas que se corresponden con el 0,4% del total de poliamida producida), la poliamida basada en componentes orgánicos o poliamida *bio-based* es otra buena alternativa a la versión convencional.

4.2.1. Impacto medioambiental

Herps (2020) estudia cinco métodos productivos diferentes para la manufactura de la poliamida 6 (entre las que se encuentran opciones con base orgánica y opciones con base fósil) aportando evidencia científica en cuanto al impacto medioambiental real de cada una de ellas. En esta investigación señala que las versiones convencionales producidas con fuentes de energía no renovable mantienen un índice de PCG de entre el 11,2 y el 13,8 kg CO₂/ kg; mientras que la versión basada en componentes orgánicos baja este índice hasta los 7 kg de CO₂ emitidos por kilogramo de fibra producido. Estas altas cifras estarían relacionadas con el alto consumo energético requerido para la manufactura del nylon 6 (proveniente de la combustión de combustibles fósiles). Mientras que las versiones de poliamida 6 virgen muestran un consumo medio de 161,8 MJ/kg, las versiones con origen orgánico oscilan entre los 110,5 y los 228,8 MJ/kg de gasto energético. Herps mantiene que si se dejase a un lado el ciclo de vida de esta fibra y sólo se tuviese en cuenta la eficiencia energética, la mejor opción sería sin duda la poliamida virgen de origen fósil.

A pesar de no haber encontrado unanimidad en cuanto a la huella hídrica del nylon, múltiples fuentes coinciden en que su consumo es elevado y se compara al de la viscosa no integrada; Turley (2010) sitúa el consumo de agua de esta fibra por encima de los 663 m³ / tonelada¹². Además, se debe tener en consideración que es una fibra sintética y por tanto toda o la mayor parte del agua empleada se asocia únicamente al procesado de la fibra (procesos que por lo general suelen estar relacionados con el uso de productos tóxicos).

4.2.2. Impacto económico

A pesar de que la producción de esta materia prima haya pasado de los 3,74 millones de toneladas en 1990 a los 5,45 millones de toneladas en 2020 (año en el cual sufrió un notable descenso en comparación con los años previos) (Textile Exchange, 2021). Zion Market Research (citado en Riera, 2019) prevé que este material adquiera un crecimiento en el mercado global que le permita pasar de los 4.630 millones de dólares del año 2017 a alcanzar los 5.700 millones de dólares para el año 2024. Pese a su éxito en el mercado global, ciertos expertos coinciden en que este aumento en la tendencia de consumo del material se debe a su versatilidad y apreciación por otras industrias, ya que en el textil el poliéster aporta unas cualidades similares a un precio más competitivo que desplaza al nylon a un segundo plano.

Mientras que Estados Unidos es el mayor productor de nylon 66 (principalmente orientado a aplicaciones industriales ajenas al textil), China se pone a la cabeza como productor de nylon 6; con una

¹² Se indica esta cifra como consumo mínimo ya que, en su estudio, ésta hace referencia únicamente a la cantidad de agua empleada en la producción de la materia prima (omitiendo el consumo previo o el hilado y preparación de esta fibra).

capacidad productiva de 4,01 millones de toneladas en el año 2018 (de los 6,83 millones de toneladas de capacidad de producción global) el gigante asiático se mantiene con cierta distancia de sus competidores. Le sigue la asociación de Japón, Tailandia y Taiwán, cuyo volumen de producción alcanza los 1,28 millones de toneladas posicionándola segunda. Por último, Europa con una tasa de cerca de un millón de toneladas y Norte América con 0,55 millones de toneladas (HDIN Research, 2019).

5. FIBRAS NATURALES: algodón

También conocido como “oro blanco” debido a los ingresos generados en los países productores, con una producción anual de 25 millones de toneladas (Khan, 2020), el algodón se posiciona como la fibra natural con mayor fabricación a nivel mundial: aproximadamente, el 2,3% de la tierra cultivable en el mundo está cubierta por plantaciones de esta fibra (McClenaghan, 2016, p. 1).

La obtención de esta fibra se inicia con la recolección de un arbusto del género *Gossypium*, perteneciente a la familia de las malváceas (Jabran, 2019) cuya producción se lleva a cabo en fincas de características muy variadas: desde terrenos cuya superficie no supera la hectárea (los cuales suelen asociarse a Asia y África), hasta grandes latifundios característicos de los Estados Unidos (García, 2005, p. 9). Por lo general, suelen ser comunidades con climas tropicales y subtropicales las que cultivan esta planta, ya que necesita ciertas condiciones específicas para crecer y prosperar (abundante agua y exposición solar pero clima seco en el período de cosecha). Antes de cultivar esta planta, se aplican fertilizantes y herbicidas para preparar el terreno y poder así controlar las malas hierbas. Estos son usados de forma masiva para evitar que aparezcan este tipo de hierbas, las cuales pueden llegar a reducir el rendimiento de la plantación hasta en un 30% (García, 2005, p. 9).

Otro de los factores que afectan al rendimiento del algodón son las plagas de insectos; por ello, es común el uso de pesticidas para el control de las plantaciones. Los problemas de usar estos químicos son múltiples y afectan tanto al medio de cultivo como a los trabajadores que sufren su exposición. En primer lugar, es asombrosa la facilidad con la que llegan a fuentes de agua limpia y contaminan tanto el terreno en el que crece la planta como todo tipo de reserva cercana a este (Lee, 2012). Pero además, el riesgo de envenenamiento es cada vez mayor desde que el uso de estos tóxicos ha ido progresivamente aumentando, pudiendo causar problemas de salud e incluso la muerte (García, 2005).

5.1. TIPOS DE ALGODÓN: convencional, orgánico y reciclado

Como se explica en el apartado anterior, la semilla convencional de algodón es particularmente vulnerable a las plagas, de ahí que los agricultores traten con diferentes productos químicos las plantaciones con el fin de maximizar las cosechas. Con el fin de moderar la vulnerabilidad de la plantación, la biotecnología ha desarrollado una nueva semilla cuyo ADN ha sido modificado para producir un rendimiento superior al convencional sin necesidad de aplicar tal cantidad de fertilizantes y otros químicos durante su cultivo: el denominado algodón transgénico.

A pesar de la controversia asociada a este tipo de algodón y a su efecto negativo con relación a la biodiversidad de los ecosistemas (García, 2005, p. 34), según Balasubramani (2021, p. 351), en el año 2018 más del 76% del algodón mundial (el equivalente a 24,9 millones de hectáreas) habría sido producido a partir de semillas de algodón modificado genéticamente. Según algunos estudios, el uso de esta alternativa habría permitido reducir en gran medida la necesidad de pulverizar estos pesticidas sobre la plantación, suponiendo un adelanto y un beneficio desde el punto de vista del impacto medioambiental. Otros estudios, en cambio, exponen el conflicto de interés que empuja a universidades y centros de investigación a defender los intereses de ciertas corporaciones cuyo fin es lavar la imagen de este tipo de semillas modificadas. Concretamente, Trapero (2016, p. 2), expone inconvenientes como el aumento de plagas resistentes cuya persistencia obliga a los agricultores a usar fuertes pesticidas (los cuales a su vez reducen la población de invertebrados beneficiosos para la

planta). Por otra parte, Altieri (2000, p.21) resalta el peligro de la homogeneidad genética propia de los monocultivos, los cuales inhiben los métodos agrícolas ecológicos como las rotaciones o cultivos múltiples.

Debido a los problemas derivados de la producción de estos tipos de algodón, en los últimos años, han salido a la luz nuevos métodos de cultivo orientados a mejorar la gestión de las plantaciones de esta materia prima sin dañar el ecosistema en el cual se cultiva: naciendo así el algodón orgánico. Lo que diferencia a este es la forma en la que se maneja la labranza de esta planta: el uso de fertilizantes y pesticidas no perjudiciales con el medio es indispensable para poder obtener la etiqueta de algodón “orgánico”, de todas formas, este tipo de producción no se basa únicamente en el intercambio de productos convencionales y contaminantes por productos “eco”. La diferencia más notable entre este y otros métodos, es que el algodón orgánico busca restaurar la fertilidad del suelo, preservar el ecosistema y evitar tener un impacto negativo en humanos o medio ambiente; motivo por el cual en países como India, se ha promovido como una alternativa viable al algodón modificado genéticamente (Harshitha, 2021, p. 144).

A pesar de que en el año 2019/2020 el porcentaje de algodón orgánico no llegase al 1%, desde el año 2016 al año 2020, su producción presentó un crecimiento del 112% y las estadísticas muestran que la elección de esta alternativa está en auge. Si la proporción mundial en comparación con el algodón convencional es tan baja se debe, entre otras razones, a que la productividad de los cultivos de algodón orgánico es mucho menor al prescindir estas del uso de pesticidas y fertilizantes convencionales (Textile Exchange, 2021). En su lugar, los agricultores buscan alternativas naturales (como las mariquitas) para paliar los estragos de las plagas en sus plantaciones, apostando por construir un sistema biológicamente diverso y manteniendo la fertilidad del terreno (Hallet and Johnston, 2010, p. 158).

Como última opción se valora el algodón reciclado mecánicamente, el cual se genera a partir de residuo industrial pre consumidor o de los deshechos procedentes del post consumo. Si bien el primer tipo de residuo es más fácil de gestionar y clasificar, el algodón procedente de prendas ya confeccionadas dificulta mucho más su procesado debido a: la variedad de colores presentes en la prenda; la mezcla de fibras que dificultan la extracción del algodón; la presencia de fornituras y complementos cuya extracción ralentiza los tiempos en la cadena y por tanto encarece los costes relacionados con la mano de obra; etc. Para la producción del algodón regenerado se recoge la materia prima y se clasifica por colores para ahorrar así recursos durante la fase de teñido. Tras la clasificación se procede al deshecho de los accesorios, como los botones o las cremalleras, para ser posteriormente procesado mecánicamente convirtiendo este tejido en fibras.

Debido al reprocesado, estas fibras son naturalmente más débiles y cortas, por ello normalmente se mezclan con otras fibras más largas y resistentes como el algodón o el poliéster convencionales y luego se hilan para proceder con el tejido. No sólo se debe valorar positivamente el hecho de que este proceso ahorre recursos durante la fase de producción de la materia prima, además el método de reciclaje es mecánico, por tanto no se añaden químicos durante el proceso de manufactura. Por otra parte, en la mayor parte de los casos no es necesario volver a teñir otra vez (ya que el tejido final conservaría el color de las fibras empleadas en el reciclaje) ahorrando emisiones de efecto invernadero y reduciendo el consumo y contaminación de agua (Manteco, s.f.).

5.1.1. Impacto medioambiental

Si bien debemos diferenciar entre los diferentes tipos de algodón, desde el punto de vista medioambiental, el factor más alarmante derivado de la producción de esta fibra no es tanto el consumo de energía o las emisiones producidas, sino el uso de agua. Para la producción de 1 kg de algodón convencional, Benetto (2018) tasa el consumo energético en 15 MJ/kg y las emisiones de efecto invernadero en 0,268 kg eq. CO₂ /kg. En lo que respecta a la versión orgánica de esta fibra, Cherret et al y Kalliala y Nousiainen (citados en Turley, 2010, p. 118), tasan el consumo energético entre los 11,7 y los 53,6 MJ/kg.

Por otra parte, a pesar de que haya estudios que defiendan que la mitad del agua usada para el regadío del algodón provenga de la lluvia (Barnhardt Purified Cotton, 2018) otros estudiosos exponen que para la producción de una tonelada de algodón, en el mejor de los casos, se necesitarían más de 1200 m³ de agua (García, 2005). La realidad es que este consumo sólo se da en plantaciones cuyo sistema de riego está desarrollado y permite una cierta eficiencia; en países como Senegal, Sudán o Uzbekistán el consumo sube hasta los 30.000 m³ de agua por tonelada de fibra, como consecuencia de no disponer de este tipo de regadíos (García, 2005, p. 10). Shen et al (2010, p. 268) estudia los cultivos de esta fibra realizando una media entre el algodón estadounidense y el algodón chino, y tasa su consumo de agua en 5.732 m³ / tonelada de fibra de algodón recolectada, lo que la posiciona como la fibra con mayor necesidad de este recurso. En otro estudio, Turley (2010, p.52) expone datos más precisos sobre la huella hídrica de cada tipo de algodón: mientras que el cultivo convencional de esta planta emplea entre los 9.788 y los 22.200 m³ en la obtención de la fibra, el algodón orgánico usaría 24.000 m³.

Se denuncia tanto el sobresaliente consumo de agua, como la contaminación derivada de la toxicidad de herbicidas, pesticidas y fertilizantes empleados en el cultivo de esta planta (Kazan, 2020). A pesar de que múltiples fuentes apunten a que el 25% del insecticida mundial se dedique a los cultivos de esta planta, múltiples fuentes se encargan de desmentir este dato, generando controversia al respecto. Según Ferrigno (2020), en el año 2017 la cifra real de pesticidas usado globalmente en las plantaciones de algodón se correspondía con un 16,1%. A pesar de que el primer porcentaje no sea el real, el uso de estos químicos alcanza niveles objetivamente altos en el contexto global; uno de los problemas de usar de modo intensivo este tipo de compuestos con el fin de maximizar las producciones, es el impacto que tienen en las inmediaciones del cultivo. Como ejemplo de ello, en los últimos años hemos sido testigo de una de las mayores catástrofes medioambientales y sociales del mundo relacionada con la mala gestión de las plantaciones de algodón: la desaparición del Mar de Aral.

Entre Uzbekistán y Kazajistán (ambos productores de esta fibra), donde antes se ubicaba el cuarto lago más grande del mundo, hoy sólo queda arena y pequeños lagos residuales. El consumo de agua orientado al regadío de las plantas de algodón fue poco a poco reduciendo su tamaño hasta dejarlo prácticamente seco. En consecuencia, el clima local que previamente regulaba este mar ha ido mudando hacia un clima continental más seco que ha derivado en un aumento de la salinidad de la poca agua que aún queda (debido a la evaporación). Si ya era difícil de evitar la pérdida de la biodiversidad de estos ecosistemas, a los inconvenientes anteriores se suma la contaminación derivada de los múltiples químicos empleados en las plantaciones intensivas (Sahuquillo, 2019). Aparte de las consecuencias medioambientales obvias, esta catástrofe ha sido demoledora a nivel económico y social. Las ciudades costeras y su industria se vieron obligadas a desaparecer a medida que su motor económico – el agua - también lo hacía. Por no hablar de la calidad de vida de aquellos que se quedaron:

problemas pulmonares y cardíacos derivados de la inhalación de polvo con sedimentos tóxicos, un considerable aumento de casos de cáncer, etc (Coixet, 2010).

Para la recolección del algodón se plantean dos principales alternativas: la recogida a mano y la recogida mecanizada. Ambas opciones presentan inconvenientes diferentes: mientras que la recogida manual se vincula con una mayor explotación laboral de los trabajadores y por tanto un mayor impacto social negativo (llegando a estar incluso relacionada con el empleo de mano de obra infantil), la mecanización de la cosecha se relaciona con una mayor erosión del terreno trabajado y por tanto un impacto medioambiental (Organización del Trabajo, citado en García, 2005, p. 5).

5.1.2. Impacto económico

Como bien puntualiza la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (de ahora en adelante ONUAA, aunque más conocida como FAO) en uno de sus más recientes informes sobre las tendencias en el mercado mundial del algodón, el cultivo de algodón contribuye significativamente al desarrollo de muchas economías emergentes donde esta fibra supone la principal fuente de ingresos para pequeñas comunidades rurales. Pero como bien puntualiza la OIT, a nivel económico, existe una desproporción evidente entre los ingresos de estas empresas y su inversión en mano de obra.

Según el Comité Consultivo Internacional del Algodón (ICAC por sus siglas en inglés), en las últimas décadas, los líderes productores de algodón convencional han sido India, China y USA (aunque no siempre por ese orden). En los últimos años, la capacidad productiva de India ha ido creciendo hasta superar a China y posicionarse como líder mundial de producción de algodón. La cosecha mundial del pasado año 2021 alcanzó la cifra de 25.733.000 de toneladas, de las cuales a India se le atribuye un 22,93% (5.900.000 toneladas) de la cifra global, China le sigue con un 22,26% (5.730.000 toneladas) y Estados Unidos cierra el pódium con una producción de 3.963.000, lo que supone el 15,42% del algodón global (ICAC).

A pesar de que estos tres países dominen el mercado, el algodón tiene un rol fundamental en el desarrollo de muchos otros países en desarrollo. Un informe de la OIT estima en 100 millones el número de agricultores dedicados al cultivo de esta fibra¹³, generando aproximadamente 51.400 millones al año en materia prima (McClenaghan, 2016, p. 1). Por otra parte, Ferrigno (2020), suma la cantidad de trabajadores que encuentran su sustento en las industrias asociadas al cultivo de esta fibra (excluyendo el tejido de la fibra y la industria energética o asociada a la maquinaria), alcanzando una suma total de entre 200 y 250 millones de personas.

¹³ Cifra que subiría hasta los 250 millones de personas si se incluyese: “mano de obra familiar, mano de obra contratada y trabajadores de servicios auxiliares como el transporte, el desmotado, el embalado y el almacenamiento” (McClenaghan, 2016, p. 3).

5.1.3. Impacto social

Las altas cifras de producción de este material se basan a menudo en regímenes laborales abusivos de los cuales derivan problemas de salud o desigualdades en las condiciones de trabajo y/o salariales. Muchos de los problemas relacionados con el cultivo de algodón están ligados al bajo nivel educativo de los agricultores: la falta de formación e ignorancia sobre los efectos negativos derivados del uso de pesticidas y herbicidas pone en riesgo su salud y la de quienes los rodean. La gran mayoría de las personas que emplean estos productos desconocen su toxicidad, hasta tal punto que no utilizan medidas protectoras y los conocimientos técnicos para su aplicación son nulos, aumentando exponencialmente la probabilidad de envenenamiento (García, 2005, p. 29).

En las últimas décadas, numerosos estudios han demostrado los efectos perjudiciales sobre la salud en las personas que se exponen regular u ocasionalmente a estas sustancias. Concretamente, Anwar (2006) estudia los efectos de los pesticidas en los granjeros recolectores de esta planta en el área de Sindh (Pakistán), detallando las consecuencias en la salud de esta población: “[...] el 89% de los granjeros han sufrido vértigos o mareos, dolor de cabeza, cansancio, sudoración excesiva, salivación nerviosa, las extremidades frías por la noche, calambres en el estómago [...]”. Por otra parte, estos químicos se almacenan en las células grasas de los animales, por lo que se suelen concentrar en órganos como el cerebro o hígado, pudiendo desarrollar enfermedades como la artritis o el cáncer: “en total, diecinueve pesticidas fueron asociados con un riesgo significativamente alto de desarrollar al menos un tipo de cáncer” (Weichenthal, 2010). Boedeker (2020) estudia la incidencia de intoxicación por uso de pesticidas a nivel mundial; a pesar de que no todos los casos provengan de plantaciones de algodón, sobre 385 millones de personas se intoxican por uso de pesticidas anualmente en el mundo (de las cuales, 11.000 resultan ser mortales). Según demuestra el informe, la mayor incidencia de envenenamientos tienen lugar en el sur y sudeste asiático: regiones cuya economía se sustenta, entre otras actividades, en el cultivo del algodón.

La presencia de niños en la cadena productiva de la industria de la moda es otro de los escándalos foco de discusión pública debido a la falta de transparencia por parte de los productores. La OIT estima que, sólo en el sector de la agricultura, 98 millones de niños entre los cinco y los diecisiete años se ven obligados a trabajar en los campos de cultivo; habiendo sido denunciadas este tipo de prácticas en seis de los siete principales países productores de algodón (Environmental Justice Foundation, 2008, p.1). En ocasiones, los menores son enviados a estas plantaciones para pagar deudas contraídas por sus padres, “algunos son víctimas del tráfico de personas desde otras localidades y viven en los propios campos de cultivo” (CGB, 2003). Su jornada laboral fluctúa entre las nueve y las trece horas al día en función de la temporada y, por supuesto, no están escolarizados (García, 2005, p. 32). Si bien el trabajo infantil está presente a lo largo de toda la cadena de suministro, la agricultura y obtención de materia prima son fases que tienden a estar menos reguladas y supervisadas (lo que ofrece una menor garantía y protección a los trabajadores) (Environmental Justice Foundation, 2008, p. 2). Pero la situación no sólo es precaria para aquellos empleados que trabajan el campo; los dueños del cultivo deben adelantar el pago de material como semillas, químicos y abonos que requieren grandes inversiones de dinero. Al retorno de la inversión de estas grandes sumas de dinero se asocian riesgos como la pérdida de la cosecha por motivos externos o los retrasos en el pago por parte de los clientes, lo que sólo hace aumentar la presión sobre los terratenientes (McClenaghan, 2016, p. 20). Según García (2005), la consecuencia de esta presión tiene como consecuencia la migración de los productores hacia núcleos poblacionales más pobres: con el único fin de reducir los costes y riesgos asociados al cultivo.

6. FIBRAS ARTIFICIALES: viscosa no integrada, viscosa integrada, Tencel y modal

A la familia de las fibras artificiales pertenecen aquellas fibras que, a pesar de proceder de materias naturales, han sido alteradas por la mano humana mediante el uso de sustancias químicas que le permiten adquirir un acabado y unas especificaciones técnicas diferentes. Como se presentaba en la introducción de este estudio, la viscosa es notablemente la fibra artificial con más peso y relevancia, pero existen otros materiales con menor presencia y con alta relevancia para el sector (como el modal y el Tencel, por ejemplo).

Creada con el propósito de sustituir a la seda en 1891, la viscosa fue la primera fibra celulósica producida por el hombre. Su popularidad en el mercado ha sido motivada debido a sus propiedades técnicas y su precio competitivo: la transpirabilidad, la suavidad, la comodidad y la facilidad para ser teñida son algunas de las propiedades favorables de esta fibra (Rana et al, 2014).

Esta fibra celulósica regenerada se crea a partir de la pulpa extraída de los árboles (comúnmente abedul y eucalipto, aunque también bambú), la cual se disuelve con hidróxido de sodio y disulfuro de carbono y se hace pasar mediante una hilera para finalizar en un baño de centrifugado ácido. En esta solución (contenedora normalmente de sustancias como el ácido sulfúrico, el sulfato de sodio y el sulfato de zinc) se forman los filamentos de viscosa (Eriksson, 2015, p. 8-10). En lo que respecta al modal, según la ONG Changing Markets (2017), los productos químicos empleados son similares a los empleados en los procesos de fabricación de la viscosa, pero ciertas alteraciones en este proceso permiten que adquiera ciertas características superiores de resistencia a la humedad.

Según expone Röder et al (2013), para la producción del lyocell (más conocido por su nombre comercial como Tencel) la celulosa sigue un proceso similar en el cual, sin embargo, el empleo de variedad de sustancias en relación con el caso anterior es inferior: en primer lugar se emplea directamente en N-óxido de N-metilmorfolina para su disolución (un disolvente orgánico que sustituye a la sosa caustica empleada en la producción de viscosa), para luego hilar esta masa y hacerla precipitar en agua. Como veremos más adelante, el Tencel emplea el proceso de lyocell de ciclo cerrado, lo que se traduce en que el agua y las sustancias químicas empleadas en el proceso se reutilizan (Changing Markets, 2017, p. 18).

Dependiendo del método de cultivo de los árboles de los cuales se extrae la pulpa, se distinguen dos tipos de fibra: aquella proveniente de una planta integrada o aquella proveniente de una planta no integrada. La principal diferencia entre ambos tipos es que, mientras que en el primero los procesos energéticos y la eficiencia de la producción están altamente optimizados; en la planta no integrada, las técnicas relacionadas con el uso de biomasa no son posibles al estar físicamente separadas la fábrica donde se manipula la pulpa y la planta de fibra (Shen et al, 2010).

6.1. Impacto medioambiental

Como denuncia la ONG Changing Markets, en torno a las áreas de producción de la viscosa es frecuente ver el área afectada. A menudo, la situación se agrava debido a que estas fábricas son el sustento de las comunidades que las rodean, proporcionando beneficios a la economía local, por lo que a menudo las consecuencias de estas prácticas vienen justificadas por la población que las sufre. Algunas de estas coinciden con la contaminación de ríos y lagos cercanos a las instalaciones; donde la presencia de

químicos como el zinc evidencian el vertido de los químicos empleados en los procesos de blanqueamiento de la viscosa. Otros afectados son los locales cuyo sustento se basa en la industria pesquera, la cual se ve directamente afectada por la pérdida de vida en estos ecosistemas. El estado del ambiente complica tanto la pesca de calidad en las zonas perimetrales a las fábricas, que los pescadores han terminado por abandonar estas áreas (Changing Markets, 2017, p.24-26).

En lo que respecta al consumo de agua, se estima que durante el proceso industrial de producción, se invierte una gran cantidad que varía en función del tipo de fibra celulósica. Algunos autores mantienen que se podría emplear desde 100 m³ por cada tonelada de fibra en el caso del lyocell y hasta 500 m³ por tonelada en el caso de la viscosa o el modal (Muthu, 2014, como se citó en Changing Markets, 2017 p. 15). Con el fin de mantener el mismo criterio entre las diferentes fibras estudiadas, en esta revisión se emplearán los datos del estudio de Shen et al (2010). Esta autora mantiene que para el cultivo de fibras celulósicas artificiales no se emplea agua de regadío (lo que ahorra la problemática tan frecuente de sequía y abastecimiento local de agua). Para su producción sólo se emplearía el agua implicada en el propio procesado de la pulpa, tratamiento e hilado; además, en ciertos procesos como el lyocell, el agua y sustancias químicas se reutilizan (Changing Markets, 2017, p. 18). Con esta premisa, se mantiene que durante la elaboración de la viscosa asiática se emplean 319 m³ de agua por tonelada de fibra, mientras que para el tratamiento de la viscosa integrada austríaca se emplearían 445 m³. Por otra parte, el Tencel emplearía 263 m³ y el modal emplearía 472 m³ de agua por tonelada de fibra.

En su estudio sobre el impacto de las diferentes fibras celulósicas y sintéticas, Shen (2012) presenta entre otros datos relevantes la comparativa de emisión de gases de efecto invernadero (PCG) y NREU para las diferentes fibras celulósicas. Es relevante su aportación porque diferencia la viscosa integrada (principalmente producida en Austria) de la viscosa no integrada (asiática), cuyos valores se disparan. Mientras que la viscosa austríaca presenta el mejor ACV con valores de 19 MJ/kg de NREU y -0,25 kg CO₂ eq./kg de PCG, la viscosa asiática no integrada presenta valores de 61 MJ/kg de NREU y 3,81 kg CO₂ eq./kg de PCG. Cabe recalcar que estos datos se corresponden con las cifras de impactos *cradle to factory*, por lo que el hecho de que se produzca en Asia o Austria sólo afecta en cuanto a la técnica productiva, en ningún momento se imputaría el desplazamiento de la fibra para la manufactura.

En lo que respecta al modal y al Tencel, las dos mejores opciones junto con la viscosa integrada¹⁴, se corresponderían con la fibra de modal y la fibra de Tencel que emplea energía recuperada de la incineración de los residuos municipales (identificada en Shen et al (2012) como “Tencel Austria 2012”). Mientras que el modal tendría un impacto energético de entre los 16 y 25 MJ/kg, y emitiría 0,03 kg de CO₂ eq. por kg de fibra producido, la segunda presentaría un valor de NREU entre los 21 y 34 MJ/kg y emitiría 0,05 kg de CO₂ eq. /kg. (Shen et al 2012; Turley, 2010).

Por otra parte, las fibras celulósicas artificiales como la viscosa, el modal o el comercial Tencel tienen un menor consumo de terreno (LU) que otras fibras vegetales como el algodón. A pesar de que su impacto sea menor, debido a la cantidad de madera empleada (sólo en 2018 se dedicaron más de ciento cuarenta millones de árboles en la producción de viscosa) debe prestarse especial atención a las fuentes de aprovisionamiento de esta materia prima. De lo contrario, se corre el riesgo de emplear madera proveniente de bosques no responsables, árboles en peligro de extinción o zonas protegidas.

¹⁴ Teniendo en cuenta el consumo energético (NREU) y las emisiones de gas efecto invernadero (PCG).

Por otra parte, según la ONG canadiense Canopy, en el proceso de obtención de la pasta disolución (la base de esta fibra), sólo se aprovecha el 30% del árbol empleado; lo que se traduce en el desaprovechamiento del 70% de la materia prima en el que, además, se emplea una extensa cantidad de productos químicos (Canopy, 2018).

6.2. Impacto social

En lo que respecta al impacto social, la gran mayoría de los problemas que involucran a las personas de su cadena de producción son derivados del método de fabricación y los materiales empleados en este proceso. Cabe decir que los peores ejemplos los protagonizan aquellos trabajadores que están involucrados en la fabricación de la viscosa convencional, donde ciertos químicos utilizados como el sulfuro de carbono, son altamente corrosivos y podrían causar graves quemaduras e irritación ocular (Common Objective, 2021).

Debido a los vertidos en el medio de ciertas sustancias relacionadas con la producción de la viscosa, los ecosistemas se han visto afectados hasta el punto de que ya no es seguro para los ciudadanos consumir el agua de sus pozos. Ha sido demostrado que la exposición continuada a ciertas sustancias empleadas en estos procesos puede provocar graves problemas de salud neurológicos y psiquiátricos, cardíacos y cerebrovasculares. Además, la incidencia de cáncer en estas poblaciones no deja de aumentar (Changing Markets, 2017).

6.3. Impacto económico

Rana et al exponen en 2014 como los países asiáticos del pacífico en el año 2012 ya producían el 80% de la viscosa mundial, siendo China el mayor productor de este material. Sólo en este país, en el año 2012 se vendían más de 2.500 millones de toneladas de este material. A pesar de este dato, las dos primeras posiciones en el ranking de proveedores con mayor capacidad de producción no estaban ocupadas por empresas chinas. El top estaba representado por Aditya Birla Group, una empresa india con plantas distribuidas por todo el mundo, cuya capacidad en 2012 era de 800.000 toneladas. El segundo puesto, en cambio, lo ocupaba la empresa austríaca Lenzing con una capacidad de 770.000 toneladas; la cual posee el monopolio de la elaboración de Lyocell y modal. A pesar de lo expuesto en el párrafo anterior, en la última década China ha experimentado un fuerte crecimiento que le ha permitido batir a los citados competidores y posicionar la compañía Sateri como el mayor productor mundial de viscosa. En la clasificación que aporta Canopy (gráfica 09) vemos cómo esta empresa se ha abierto paso en el ranking del año 2021, haciendo pasar a Aitya Birla y Lenzing a un segundo y tercer puesto.

La ONG canadiense Canopy comparte cada año la *Hot Button Report*, una lista con los principales proveedores de viscosa clasificados en función de su desempeño. Gracias a esta organización, cualquier cliente puede comparar los diferentes proveedores de viscosa; trazar el origen de la madera empleada para la generación de estos tejidos (evitando así que se emplee madera procedente de bosques protegidos); ver la puntuación dada con relación a las emisiones químicas emitidas en su producción, etc. En la gráfica 09 se pueden ver algunos de los factores estudiados por la ONG con el fin de puntuar el ejercicio de las compañías productoras. Tras el análisis de diferentes factores como la transparencia o la cantidad de auditorías completadas, se otorga una puntuación entre el 0 y el 35 (representada en

la penúltima columna como “total buttons”) mostrando el grado de compromiso y buen desempeño de la compañía. Además, en la tercera columna, se establece una guía por colores en función del riesgo asociado a sus líneas productivas: representando la camisa verde un menor riesgo que la camisa roja.

A pesar de haberse posicionado recientemente como líder en la producción mundial con un 18,7% de la manufactura global, la puntuación que recibe Sateri por parte de la ONG evidencia como su práctica es notablemente peor que la de sus competidores. En la tercera columna de la tabla 01 el icono representante de la evaluación global sostiene que en la cadena productiva de Sateri existen riesgos conocidos, indicado por la organización con las siglas “KR” (del inglés “known risks”). En cambio, Aditya Birla y Lenzing, los antiguos líderes del ranking, además de tener una puntuación total mucho superior (33/35 y 31/35 respectivamente, en comparación con los 16/35 de Sateri), vienen representados por el icono verde y las siglas “LR” (en inglés “low risks”), indicando que los riesgos en su cadena productiva son bajos.

Tabla 01. Hot Button Ranking 2021.

Producer	Production capacity (%)	Hot Button Assessment	Ranking Notes on Audit Results	Completion of Audits	Conservation Legacies	Next Generation Solutions	Sourcing Policy	Transparency	Supply Shifts	High Risk Sourcing	TOTAL BUTTONS	Chemical Use & Emissions
Sateri (RGE Group) (now owning the Jiangsu Xiangsheng mill)	18.7		KR	x 3	x 4.5	x 4	x 3	x 3.5	x 1	-3	16	
Aditya Birla	13.9		LR	x 6	x 6	x 6.5	x 4	x 7	x 4	-0.5	33	
Lenzing	12.6		LR	x 6	x 3.5	x 6.5	x 4	x 7	x 3.5	+0.5	31	
Tangshan Sanyou	10.4		AE	x 5	x 3	x 6	x 4	x 5	x 4	+0.5	27.5	

Fuente: Canopy (2021).

Una de las lecturas que se pueden extraer tras analizar los rankings de Canopy para los últimos años, es cómo China se haya desarrollado en los últimos años como principal mercado de la viscosa. En este país se encuentran seis de los más grandes productores de esta fibra¹⁵, los cuales suponen en total el 74,1% de la producción global (*Global and China Viscose Fiber Industry Report 2019-2025*, 2019).

Teniendo en cuenta que el actual número uno de la lista, Sateri, hace sólo cuatro años se presentaba como cuarto productor mundial con una capacidad productiva del 11,7% (a diferencia del actual 18,7%) y en base a la evaluación que aporta la organización, se puede deducir que este crecimiento no ha sido orientado y planeado desde un punto de vista donde la sostenibilidad y el cuidado del medio se hayan posicionado en un primer plano.

¹⁵ Sateri, Sanyou Chemical, Xinjiang Zhongtai Chemical, Grace, Shandong Silver Hawk Chemical Fibre y Aoyang Technology.

7. FIBRAS ANIMALES: la lana

La familia de las fibras animales se puede subdividir en dos grupos en función de su naturaleza: las fibras que provienen de los folículos pilosos de animales como ovejas, cabras o conejos (como el mohair, el cashmere y la lana); y las que provienen de glándulas sedosas, como la seda. De todas ellas, la lana es la fibra animal con mayor relevancia y presencia en la industria textil, por lo que los siguientes dos apartados se centrarán en el estudio de esta materia prima.

7.1. Impacto medioambiental

En lo que respecta al uso del terreno, este tipo de fibras se sitúan como las fibras que más terreno necesitan para producir un kilogramo de materia prima. Para la producción de una tonelada de lana se necesitan 278 hectáreas de terreno, mientras que para el algodón se calcula que en una hectárea se puede producir una tonelada de producto. En ocasiones, las fibras animales son un subproducto de la industria alimenticia, por lo que el fijar una atribución directa del uso de la tierra es realmente complicado (Notten, 2020, p. 26). Además, como ya se anticipaba en el apartado 5.1., durante el estudio del ciclo de vida de las fibras animales, el parámetro crítico suele ser la emisión de gases de efecto invernadero (PCG). A pesar de que sea impreciso generalizar, pues dependiendo del animal se presentan cifras diferentes, la mayor carga de gases se encuentra en la fase de cría del animal; durante este período se liberan grandes cantidades de gas metano, el cual causa 25 veces más impacto en el calentamiento global que el CO₂ (Kirchain, 2015). Según Cottle (2016), para la producción de esta fibra el índice de PCG varía entre los 8,5 y los 9,3 kg eq. CO₂/ kg.

En lo que respecta al índice de NREU, es difícil fijar una cifra que represente con exactitud los diferentes tipos de cría del animal y extracción de la materia prima; Barber y Pellow (citados en Turley, 2010, p. 120) estudian diferentes casos y establecen que para la preparación de esta fibra, el consumo energético puede fluctuar entre los 41,7 y los 45,9 MJ/ kg¹⁶, mientras que Harwood (citado en Turley, 2010, p. 120) mantiene que el uso de energía para este proceso se mantiene en los 21,37 MJ/ kg. El mismo autor sostiene que en el cálculo de su huella hídrica está únicamente relacionado con la preparación de la fibra, ya que durante la cría del animal la fuente de agua se basa en las precipitaciones; su consumo de agua en la fase de preparación oscilaría entonces entre los 5 y los 14 m³/tonelada.

7.2. Impacto social y económico

A pesar de que los parámetros que se corresponden con el valor medioambiental para este tipo de fibras sean desfavorables para el cómputo global del desempeño sostenible de la fibra, a nivel social y económico la producción de estas fibras tiene un impacto muy positivo. Sólo en 2020 esta fibra alcanzó una producción de un millón de toneladas, de las cuales un 6% se corresponden con lana reciclada (Textile Exchange, 2021).

La cría de estos ovinos cuyo fin es la extracción de la lana, no sólo permite que en ciertas zonas se regenere la vegetación y mejore el paisaje, dando uso a tierras no aptas para la agricultura. Por otra

¹⁶ En este proceso se incluye: la producción del fertilizante empleado; la cría del animal y su esquilado; y la limpieza, cardado y peinado de la fibra.

parte, esta práctica mantiene la economía de ciertas zonas rurales, ofreciendo un modo de vida y evitando la huida de ganaderos y sus familias fuera del rural. Un ejemplo de ello es el caso del pastoreo en las dehesas de Extremadura, Andalucía, Castilla la Mancha y Castilla León. Gracias a la ganadería se favorece el abono de los suelos mediante los excrementos de estos animales, aportando un beneficio mutuo entre ganadería y vegetación (la cual sufre de escasez de nutrientes).

Es valorable el uso de aquellas lanas que aseguren el respeto y el bienestar del animal durante la extracción de la fibra. Estas pueden ser identificadas mediante ciertos sellos como el *Responsible Wool Standard* (RWS), los cuales también abalan la conservación y regeneración de la biodiversidad. La cuota de mercado de la lana RWS no ha dejado de subir a medida que la producción de lana convencional ha iniciado a retroceder; la opción responsable ha subido hasta el 1,25% en 2020 y en países como Sudáfrica representa el 25% de la producción total de lana (Textile Exchange, 2021, p. 5). Además, este sello certifica que durante la cría del animal no se haya llevado a cabo la tan criticada práctica denominada *mulesing*. Esta brutal práctica es una medida de higiene que consiste en el corte de la piel que rodea el ano del animal con el fin de evitar la miasis, una infección causada por la mosca *Lucila cuprina*. Esta operación se realiza sin ningún tipo de anestesia y es causa de gran sufrimiento y estrés para el animal. Por suerte, actualmente el único país en el que aún se lleva a cabo esta práctica es Australia, ya que en el resto de los países esta enfermedad se trata con antiparasitarios (Palou, 2019).

8. RESULTADOS

Desde el punto exclusivamente medioambiental, todas las fibras han demostrado tener un impacto negativo en diferentes medidas. Las fibras sintéticas como el poliéster y la poliamida dependen de la industria petroquímica para su elaboración, lo que se relaciona no sólo con la extracción y refinado del petróleo, pero también con el uso intensivo de energía y productos químicos. Por otra parte, el algodón emplea grandes cantidades de fertilizantes y pesticidas y requiere un regadío exhaustivo; lo que la posiciona como la fibra con mayor consumo de agua. En lo que respecta a las fibras artificiales celulósicas como la viscosa, el empleo del agua y los químicos afectan al aire y agua del entorno; además en su producción se corre el riesgo de emplear madera cuya procedencia no esté certificada y por tanto provenga de bosques protegidos. Finalmente, en lo que concierne a las fibras de origen animal como la lana procedente de las ovejas, durante la cría de éstas se liberan importantes cantidades de metano y otros gases de efecto invernadero, lo que las ubica como las fibras cuyas emisiones de gases de efecto invernadero son mayores. A pesar de toda la problemática ambiental asociada, estas industrias mueven millones y en ocasiones son el principal sustento económico en países en vías de desarrollo; por lo que simplemente erradicar estos cultivos o prácticas no sería sostenible.

Desde el punto de vista social, el único modo de evitar la venta de productos en cuya cadena de aprovisionamiento las condiciones laborales no se hayan visto comprometidas o de evitar que se hayan podido ver involucrados menores de edad en cualquiera de los pasos, es mediante la trazabilidad. La no-obligación por parte de los productores en demostrar que los bienes no se han visto relacionados con irregularidades, aporta falta de transparencia a esta industria, traduciéndose esto en desigualdades encubiertas. La citada trazabilidad es definida por las Naciones Unidas como “la posibilidad de identificar y rastrear la historia, distribución, ubicación y aplicación de productos, componentes y materiales con el fin de asegurar la fiabilidad de las afirmaciones de sostenibilidad acerca de dichos productos en las áreas de derechos humanos, trabajo (incluyendo la salud y seguridad), el medioambiente y la anticorrupción” (United Nations Global Compact, 2014, p. 6).

Múltiples estudios (Joy y Peña, 2017) han defendido la utilidad de los sistemas de trazabilidad y la importancia de su implementación en las cadenas de suministro de las empresas con el fin de aumentar la transparencia y visibilidad operativa, lo que lleva al desarrollo de modelos más sostenibles. La aplicación de sistemas de trazabilidad permite una medición más precisa de los impactos sociales y ambientales, así como la implementación de medidas encaminadas a una mejor optimización de los recursos (lo que repercute positivamente a nivel económico). Esto es especialmente importante en el contexto del sector textil, a menudo caracterizado por cadenas de suministro complejas con múltiples etapas entre la obtención de la materia prima y la distribución del producto al consumidor final.

Para paliar este problema, en la actualidad existen herramientas y certificaciones que permiten asegurar ciertos estándares éticos y medioambientales de la materia prima empleada; estos estándares permiten a las empresas demostrar que el producto que venden se corresponde con los valores que proyecta la firma. Para certificar el origen responsable de las materias primas orgánicas, por ejemplo, hay estándares como el Global Organic Textile Standard (GOTS) o el Organic Content Standard (OCS), los cuales plantean ciertos estándares del ámbito medioambiental y social que la producción debe cumplir en los diferentes pasos de la cadena. En el caso del estándar GOTS, hay dos grados de certificación posible en función de la cantidad de fibra orgánica empleada: para productos con un mínimo del 95% de fibra orgánica se presenta la etiqueta de “orgánico”, mientras que aquellos que

tienen un mínimo del 70% de este tipo de fibra presentan la certificación de “producto hecho con x% de materiales orgánicos” (GOTS, 2017, p. 8). Para aquellas empresas que desean certificar el contenido reciclado de sus productos, se pueden emplear los estándares RCS (Recycled Claim Standard) y GRS (Global Recycling Standard), de carácter voluntario e internacional. Este último es más exigente, al incluir requisitos que aseguran buenas prácticas sociales, medioambientales y químicas. Además de estos, existen muchos otros estándares que varían en función de la fibra: el RDS para el plumón, el RWS para la lana, el FSC para la gestión de recursos forestales... La oferta es amplia.

8.1. RANKING

La principal complejidad en el planteamiento del ranking entre fibras se encuentra en la dificultad de aplicar un índice que ordene estas combinando las tres dimensiones y sus respectivas variables simultáneamente. Además, el hecho de que el cálculo de los parámetros fijados para la medición de la dimensión medioambiental haya sido realizado por diferentes investigadores puede haber aportado imprecisión y falta de unidad en la comparativa. Por otra parte, existen valores que no han podido ser incluidos debido al número limitado de estudios al respecto. A pesar de estas carencias, en base a lo recogido por los diferentes estudios empleados en la redacción de este trabajo, se ha realizado una tabla comparativa (tabla 02) que pone en evidencia el desempeño de cada fibra con respecto a los parámetros estudiados. En base a estos y otros datos, a continuación se realiza el análisis final de cada familia.

Tabla 02. Valores de huella hídrica, NREU y PCG de las diferentes fibras estudiadas.

	HUELLA HÍDRICA (m ³ /ton)	NREU (MJ/kg)	PCG (kg eq. CO ₂ /kg)	Referencia	Notas
vPET	17,2 - 76	67	2,05	Shen et al (2010); Turley (2010)	
rPET (químico)	No han sido encontrados datos suficientes	70	3,08	Shen et al (2010)	Según Benavides (2018) el orden de mayor a menor huella hídrica es: bio-based PET > rPET > vPET
bio-based PET (maíz)		59	1,36	Shen et al (2010)	
bio-based PET (caña de azúcar)		51	1,03	Shen et al (2010)	
rPET (mecánico)		18	1,42	Shen et al (2010)	
Poliamida (fossil)		> 663	161,8	11,2 - 13,8	
Poliamida (bio-based)	No han sido encontrados datos suficientes	110,5 - 228,8	7	Herps (2020)	
Algodón convencional	9.788 - 30.000	15	0,268	García 2005; Turley (2010); Benetto (2018)	
Algodón orgánico	24.000	11,7 - 53,6	No han sido encontrados datos suficientes	Turley (2010)	
Viscosa no integrada (Asia)	319	61	3,81	Shen et al (2012)	
Viscosa integrada (Austria)	445	19	-0,25	Shen et al (2012)	
Tencel (lyocell)	263	21 - 34	0,05	Shen et al (2012); Turley (2010)	
Modal	472	16 - 25	0,03	Shen et al (2012)	
Lana	5-14*	21,37 - 45,9	8,5 - 9,3	Cottle (2016); Shen et al (2010); Turley (2010)	* No se consideran las precipitaciones o agua empleada en el crecimiento del pasto mediante el cual se alimentan los ovinos.

Fuente: elaboración propia.

8.1.1. Fibras sintéticas: el poliéster y la poliamida

En este estudio se han recogido los impactos medioambientales de cinco tipos diferentes de poliéster. Esta fibra, a diferencia del algodón, no se caracteriza por un alto consumo de agua en sus procesos, sino por un consumo energético y emisiones de efecto invernadero elevadas (debido al origen petroquímico de esta fibra). En lo que respecta a su huella hídrica, los peores valores los presenta el PET con base orgánica, siendo el PET virgen el que presenta un menor consumo de agua. Cabe destacar que las dos opciones de PET *bio-based* están en fases iniciales de desarrollo, por lo que la oportunidad de mejora y optimización de estos procesos es amplia. De todas formas, esta fibra no destaca por tener un consumo de agua significativo, por lo que el orden estará principalmente influido por los valores de los índices de NREU y de PCG. Para clasificar las fibras estudiadas en función de su eficiencia energética se emplea el parámetro NREU, el cual posiciona al poliéster como uno de los mayores consumidores energéticos. Gracias a diferentes estudios (Shen et al, 2012; Shen et al, 2010) se puede establecer un orden entre las diferentes fibras en función de los MJ necesarios para la elaboración de un kg de fibra (directamente relacionado con el índice de PCG al usar en su elaboración principalmente combustibles fósiles). Basándose en los datos recogidos por esta autora¹⁷, las diferentes fibras PET se clasificarían de mayor a menor impacto medioambiental en:

PET reciclado a partir de botellas > PET virgen > PET con base de maíz > PET con base de caña de azúcar > PET reciclado a partir de otras fibras

En lo que respecta a la poliamida o nylon, esta ha sido posicionada como una de las peores fibras ya que los valores que ocupa para cualquiera de los tres parámetros analizados la posicionan en muy mal lugar. Presenta cifras elevadas especialmente para el consumo energético y emisión de gases con potencial invernadero. Tras un análisis general de los impactos de los diferentes tipos de poliamida, Herps (2020) apuesta por la poliamida 6 de origen orgánico, ya que a pesar de que su NREU muestre un mayor consumo eléctrico y por tanto una peor gestión energética, la cifra de gases de efecto invernadero emitidos disminuyen considerablemente. Por lo tanto, la clasificación en función de su impacto medioambiental sería:

Poliamida 6 virgen > poliamida 6 de origen orgánico

A pesar de que para ciertos parámetros estas fibras presenten mejores valores, no se recomienda el uso de fibras sintéticas. En caso de querer emplear fibras de origen sintético, optar siempre por sus versiones recicladas y preferiblemente certificadas.

8.1.2. Fibras vegetales: el algodón

A nivel medioambiental, el principal impacto derivado de la obtención de esta fibra se relaciona con el consumo intensivo de agua y la contaminación de estos recursos. De las fibras estudiadas, el algodón

¹⁷ Para llevar a cabo la siguiente clasificación se han usado los valores de NREU y PCG de: PET reciclado a partir de botellas (NREU: 70 MJ/kg, PCG: 3,08 kg CO₂ eq./kg); PET virgen (NREU: 67 MJ/kg, PCG: 2,05 kg CO₂ eq./kg); PET fabricado con maíz (NREU: 59 MJ/kg, PCG: 1,36 kg CO₂ eq./kg); PET fabricado con azúcar de caña (NREU: 51 MJ/kg, PCG: 1,03 kg CO₂ eq./kg); PET reciclado a partir de fibras (NREU: 13-23 MJ/kg, PCG: 0,96-1,88 kg CO₂ eq./kg).

no sólo sería aquella en hacer uso de mayor cantidad de agua, además sería la única fibra en hacer uso de agua de regadío, por lo que se posicionaría como la fibra con peor relación con este bien. Esto es relevante ya que tanto el empleo de agua superficial como el uso de agua subterránea para el regadío del cultivo se asocian a la salinización del terreno y afecta directamente a los sistemas hidrológicos locales (Shen et al, 2010). Como explica la autora, el impacto del agua empleada varía en función del uso que se le dé en el proceso de obtención de la materia prima; mientras que el agua empleada en el enfriamiento de los diferentes procesos productivos del algodón no tiene por qué producir el agotamiento de las fuentes de agua local, el agua empleada en el regadío de esta planta, sí.

Por otra parte, desde el punto de vista social, además de infringir derechos humanos básicos, estas plantaciones potencian diferentes desigualdades del ámbito laboral, relacionándose incluso con la explotación infantil. Siendo uno de los principales motores económicos para tantos países en vías de desarrollo, el cortar la producción de los cultivos de algodón como consecuencia de sus malas prácticas, no sería una solución económicamente sostenible. La evidencia científica ha demostrado que tanto el algodón orgánico como el de comercio justo no sólo tienen unos consumos inferiores de agua, si no que aseguran las condiciones de sus trabajadores: lo que se traduce en un menor impacto medioambiental y social al mismo tiempo que se mantienen estas economías.

A pesar de no haber encontrado datos suficientes al respecto, múltiples estudios recomiendan el uso de algodón reciclado ya que en su proceso de manufactura el uso de tóxicos se ve considerablemente reducido. Por otra parte, el consumo de agua y el empleo de pesticidas y fertilizantes asociados al crecimiento de la planta de algodón (los principales culpables de su alto impacto negativo) no se imputarían en su impacto ambiental. Aunque como se expone en el punto 7, debido a su debilidad como fibra lo más común es que este material deba ser mezclado con otras fibras y no pueda volver a ser sometido a otro proceso de reciclaje. En función de todos estos datos, y teniendo en cuenta el alto coste de recursos asociado al crecimiento del algodón convencional, el algodón reciclado sellado por los estándares GRS y RCS se posiciona como último (de mayor a menor impacto):

Algodón convencional > algodón orgánico > algodón reciclado

Para concluir, se recomienda primar el uso de algodón reciclado a pesar de que la calidad de la fibra se vea reducida. En su defecto, se sugiere emplear algodones orgánicos responsables que garanticen el bienestar de los agricultores que trabajan en la cadena productiva de la fibra.

8.1.3. Fibras celulósicas

A pesar de que su consumo de agua siga siendo elevado, este sigue siendo inferior en relación con el consumo asociado al cultivo del algodón (Changing Markets, 2017, p. 15); además, las fibras artificiales presentan un menor índice de uso de terreno (LU) que el resto de las fibras vegetales (Notten, 2020). Por otra parte, los mejores parámetros de emisiones de PCG de todas las fibras los encabezan las fibras celulósicas integradas. Por lo tanto, basándonos en estos tres factores, este tipo de fibra (a excepción de la viscosa no integrada) ha demostrado tener un impacto más bajo que la mayoría de las fibras estudiadas (entre ellas el algodón o el poliéster). Como extra, se recomienda el uso de aquellas fibras cuyos procesos productivos certifican la procedencia de la madera; además, se valora el empleo de

materiales como el Lyocell, cuyo proceso productivo asegura el ahorro de recursos en su elaboración. En función de su impacto medioambiental, se ordenan de mayor a menor impacto:

Viscosa no integrada (Asia) > Modal > Viscosa integrada (Austria) > Tencel

8.1.4. Fibras animales: la lana

El empleo de lana convencional no se recomendaría debido a las importantes emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la obtención de esta fibra (múltiples autores la posicionan como la fibra con mayor índice de emisión) y a la considerable cantidad de hectáreas necesarias para la producción de una tonelada de lana. Al mismo tiempo, la compra de lana sin certificar no asegura las condiciones de bienestar del animal o la preservación del medio. Como en los casos anteriores y, por el mismo motivo, se recomendaría principalmente el uso de lana reciclada. También es una buena opción la lana certificada mediante estándares como la lana RWS, ya que este certificado aporta transparencia y abala el cuidado de la biodiversidad y la protección de los derechos animales.

Lana convencional > lana RWS > lana reciclada

9. CONCLUSIONES

Como reflexión añadida al apartado anterior, se concluye que, de las fibras estudiadas, las opciones menos sostenibles se corresponderían con el algodón convencional, la viscosa no integrada y cualquiera de los tipos estudiados de poliamida. Mientras que las mejores opciones se corresponden con las fibras recicladas (en el caso de las fibras sintéticas, mejor aquellas recicladas mecánicamente que químicamente). El principal resultado de esta investigación es que se deben priorizar como elección sostenible aquellas fibras cuyo origen es reciclado. Desde el punto de vista medioambiental, encontramos que, por lo general, aquellas fibras con parámetros más bajos de emisiones, energía empleada y consumo de agua son aquellas cuya materia prima ha sido previamente un residuo. Si bien cabe especificar que, por el momento, debido a valores inferiores de emisiones de gases de efecto invernadero y a un mejor consumo energético, se recomienda el reciclado mecánico en lugar del reciclado químico. Múltiples autores coinciden en que el uso de estos materiales ayudaría a prevenir la pérdida de biodiversidad, preservar la fertilidad y salud del terreno y reducir el consumo de agua.

Aunque el principal objetivo de esta investigación sea facilitar al comprador o diseñador una guía para la elección responsable del tejido para el desarrollo del producto o colección, aún existen ciertos aspectos que deben de ser tratados desde la subjetividad del profesional. Para alcanzar el mejor desempeño sostenible posible, el profesional tendrá que estudiar el uso que se le dará a la prenda para tener en cuenta también cómo el tejido elegido afectará a la durabilidad o desempeño de la prenda durante su vida útil. Cuando se desarrolla una colección, no basta con analizar el impacto medioambiental del tejido y confección, el comprador o diseñador debe valorar también la cadena de producción total y el ciclo de vida del producto para optimizar su rendimiento. Una de las claves de la sostenibilidad se basa en realizar prendas cuyo diseño y materia prima aseguren su máxima durabilidad y no promueva el consumo masivo, si no el consumo responsable. Es de vital importancia conocer el tipo de material del que se dispone y llevar a cabo esta selección en función de sus propiedades.

En base a los estudios de Van der Velden (2013), Turley (2010) y Kirchain (2015), se puede recomendar en modo genérico (desde un prisma meramente medioambiental donde no se tenga en cuenta la naturaleza de la fibra) optar por un tejido circular en lugar de un tejido de plana. Esto se justifica mediante el ahorro energético que supone tejer en ese modo; además, para optimizar la energía, también se debería priorizar el uso de fibras cuyo grosor sea superior; un menor grosor del hilo se asocia un mayor consumo energético.

9.1. LIMITACIONES

La novedad del campo de estudio, así como su complejidad, tienen como consecuencia el número limitado de fuentes e investigaciones al respecto. Por este motivo, no ha sido posible aplicar un índice que permita ordenar las fibras en función de su relación con las tres dimensiones estudiadas: medioambiente, sociedad y economía. Por otra parte, las cifras reflejadas en este Trabajo de Fin de Grado han sido extraídas de estudios e investigaciones llevadas a cabo por múltiples autores, lo que podría aportar imprecisión en la comparación. A pesar de que una ampliación de este TFG sea necesaria para su correcta aplicación en el sector, creo haber alcanzado en buen grado el objetivo inicial.

Como ampliación de este estudio se podría profundizar en aquellos factores que por escasez de evidencia científica sólo han podido ser tratados desde un punto de vista cualitativo. Por ejemplo, desde

la dimensión ambiental, sólo se han usado las cifras de los indicadores medioambientales NREU y PCG para la comparación entre las fibras. Urge profundizar en la investigación relativa a los impactos derivados de la producción de los diferentes tipos de algodón (convencional, orgánico y reciclado), poliéster y otras fibras minoritarias para poder afinar la comparativa; así como añadir el estudio de otros parámetros como el uso del terreno o la huella hídrica, a menudo sólo estudiados en modo genérico sin profundizar en los diferentes tipos de variantes para una misma fibra (por ejemplo, entre el poliéster reciclado mecánicamente y el poliéster virgen). Además, más estudios sobre el análisis del *S-LCA* (Evaluación del Ciclo de Vida Social, en español) son requeridos. Próximas investigaciones podrían analizar aspectos sociales como el trabajo infantil, el índice de extrema pobreza, el índice de trabajo forzado o el salario mínimo para las economías productoras de las diferentes fibras presentes en esta investigación.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Adnan, M., Imran, M. (2010). *Sustainable and Environmental Friendly Fibers in Textile Fashion*. University of Borås. P. 11-17. Recuperado de: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1312071/FULLTEXT01.pdf>
2. Aizenshtein, M. (2017). Polyester Fibres: Today and Tomorrow. *Fibre Chemistry*, 49(4), 288-293. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10692-018-9884-4>
3. Álvarez, C. (17 de febrero de 2020). *Francia propone filtros para microplásticos en las lavadoras*. El Periódico. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/medio-ambiente/20200217/francia-filtros-microplasticos-lavadoras-textil-tejidos-7852562>
4. ALPLA. (2017). *Study Confirms the Excellent Carbon Footprint of Recycled PET*. Recuperado de: <https://www.alpla.com/en/pressrelease/2017/08/study-confirms-excellent-carbon-footprint-recycled-pet>
5. Altieri, M. (2020). *The Ecological Impacts of Transgenic Crops on Agroecosystem Health*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/251301078_The_Ecological_Impacts_of_Transgenic_Crops_on_Agroecosystem_Health
6. Anwar, T., et al. (2006). Occupational exposure of farmers to pesticides in cotton growing areas of Sindh, Pakistan. University of Karachi. Recuperado de: <http://www.ijbbku.com/assets/custom/journals/2006/2/OCCUPATIONAL%20EXPOSURE%20OF%20FARMERS%20TO%20PESTICIDES%20IN%20COTTON%20GROWING%20AREAS%20OF%20SINDH,%20PAKISTAN.pdf>
7. Asociación de Investigación de la Industria Textil (AITEX). (2019). *Funcionalización de materias de origen bio y reciclada para la obtención de multifilamentos ecológicos de elevado valor añadido*. Recuperado de: https://www.aitex.es/wpcontent/uploads/2019/01/Entregable-7_Informe-de-Resultados-Final_SPUNTEX.pdf
8. Balasubramani, G. et al. (2021). *Critical Evaluation of GM Cotton*. In: Rahman, Mu., Zafar, Y., Zhang, T. (eds) *Cotton Precision Breeding*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64504-5_16
9. Barnhardt Purified Cotton. (19 de noviembre de 2018). *Life Cycle Assessment (LCA) of Cotton and Its Implications for Cotton Production*. Recuperado de: <https://barnhardtcotton.net/blog/life-cycle-assessment-of-cotton-implications-for-cotton-production/>
10. Benavides, T., et al. (2018). Exploring comparative energy and environmental benefits of virgin, recycled, and bio-derived PET bottles. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(8), 9725-9733. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acssuschemeng.8b00750>
11. Benetto, E., et al. (2018). *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies. From Science to Innovation*. Luxembourg Institute of Science and Technology.
12. Boedeker et al. (2020). *The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review*. *BMC Public Health* Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09939-0>
13. Borsdorf, A. (Febrero de 2014). *El modelo de reservas de la biosfera: conceptos, características e importancia*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/260065264_El_modelo_de_Reservas_de_la_Biosfera_conceptos_caracteristicas_e_importancia

14. Boucher, J., Friot, D. (2017). *Primary microplastics in the oceans*. P. 20. Recuperado de: <https://www.iucn.org/content/primary-microplastics-oceans>
15. Browne, M., et al. (2011). *Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks*. *Environmental Science and Technology*. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es201811s>
16. Buzzo, A., Abreu, M. J. (2019). *Fast Fashion, Fashion Brands and Sustainable Consumption*. Springer. Recuperado de: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-13-1268-7.pdf>
17. Canopy. (2018). *The Hot Button Report: 2018 Ranking of Viscose Producer Performance. Time to Move on Next Generation Solutions*. Recuperado de: <https://hotbutton.canopyplanet.org>
18. Castro, J. (2018). *AGENDA 2030-OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE. REVISTA IBEROAMERICANA DE CIENCIAS EMPRESARIALES Y ECONOMÍA*. P. 109-116. Recuperado de: <https://plataformas.ude.edu.uy/revistas/ricee/index.php/ricee/article/view/77/71>
19. Cataldi, C., Dickson, M. y Grover, C. (2010). *Slow Fashion: Tailoring a Strategic Approach towards sustainability*. P. 4-9. Recuperado de: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:832785/FULLTEXT01.pdf>
20. CGB. (2004). *Trabajo infantil en la producción de algodón en India*. GBG Network. Recuperado de: <http://www.cbgnetwork.org/150.html>
21. Changing Markets Foundation. (2017). *Dirty Fashion: how pollution in the global textile supply chain is making viscose toxic*. Recuperado de: https://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2017/06/CHANGING_MARKETS_DIRTY_FASHION_REPORT_SPREAD_WEB.pdf
22. CNAE. (2009). *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*. Obtenido de <https://www.cnae.com.es/>
23. Coixet, I. (Directora). (2010). *Aral, el mar perdido* [Cortometraje / Documental online]. We Are Water Foundation.
24. Common Objective. (22 de octubre de 2021). *Fibre Briefing: Viscose*. Recuperado de: <https://www.commonobjective.co/article/fibre-briefing-viscose>
25. Common Objective. (2021). *Fibre Briefing: Polyester*. Recuperado de: <https://www.commonobjective.co/article/fibre-briefing-polyester#:~:text=Fibre%20Briefing%3A%20Polyester,easily%20blended%20with%20other%20fibres>
26. Corbellini, E., Saviolo, S. (s.f.). *Management of Fashion and Luxury Companies*. Università Bocconi. Coursera. Recuperado de: <https://www.coursera.org/learn/mafash/lecture/PPEm1/fashion-market-segmentation>
27. Cottle, D. y Cowie, A. (4 de febrero de 2016). *Allocation of greenhouse gas production between wool and meat in the life cycle assessment of Australian sheep production*. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-016-1054-4>
28. Díaz-Garay, B., et al. (30 de agosto de 2020). *Diagnóstico del proceso artesanal de producción de hilo de fibra de alpaca en Puno, Perú*. P. 147-166.

29. Domínguez, X., Liébana, C. (6 de agosto de 2018). *La lección de la tragedia del Rana Plaza*. *El Diario*. Recuperado de: https://www.eldiario.es/alternativaseconomicas/leccion-tragedia-rana-plaza_132_2026544.html
30. Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. Recuperado de: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>
31. Environmental Justice Foundation. (2008). *The Children behind Our Cotton*. Recuperado de: https://ejfoundation.org/resources/downloads/The-Children-behind-Our-Cotton-FINAL_small.pdf
32. European Commission. (30 de marzo de 2022). *EU strategy for sustainable and circular textiles*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/environment/publications/textiles-strategy_en
33. Eriksson, J. (2015). *Pilot spinning of viscose staple fibres – screening of important spinning parameters using design of experiments*. MSc thesis, Umeå University, Umeå, Sweden.
34. Ferrigno, S. (2020). *The inside guide to cotton & Sustainability*. Recuperado de: https://www.mclnews.com/images/samples/Cotton-Guide_sampler.pdf
35. Folgueira, T. (2018). *El reto de la sostenibilidad en el sector textil-moda*. Universidade da Coruña. Recuperado de: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/21057/FolgueiraSu%C3%A1rez_Tamara_TFG_2018.pdf
36. Friedman, V. (22 de diciembre de 2018). *La noticia falsa más popular del mundo de la moda*. The New York Times. Recuperado de: <https://www.nytimes.com>
37. Gacén, J. (1983). *Fibras de poliéster. Evolución y futuro*. Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/6202>
38. García, R. (24 de octubre de 2005). *El sector del algodón y la industria textil*. Observatorio de Corporaciones Transnacionales. IDEAS. Recuperado de: https://comerciojusto.org/wp-content/uploads/2011/12/B8_OCT_Algodon.pdf
39. *Global and China Viscose Fiber Industry Report, 2019-2025*. (2019). Research and markets. Recuperado de: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4770489/global-and-china-viscose-fiber-industry-report>
40. Grevinga, T., et al. (2017). *GOING ECO, GOING DUTCH, A local and closed loop textile production system*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/320307130>
41. González, R. (2016). *Cradle to Cradle: Re-diseño y Re-evolución*. Arquitectura (UPM), Madrid.
42. GOTS – Global Organic Textile Standard. (1 de marzo de 2017). *Norma Textil Orgánica Global*. Recuperado de: https://global-standard.org/images/resource-library/documents/standard-and-manual/GOTS-Version_5.0_Espagnol.pdf
43. Hallet, C., Johnston, A. (2010). *Telas para moda: guía de fibras naturales*. BLUME.
44. Harshitha, A., et al. (2021). *A Review on Organic Cotton: Various Challenges, Issues and Application for Smart Agriculture*. P. 143-149. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9675301>

45. HDIN Research. (2019). *NYLON 6 MARKET GLOBAL REVIEW AND OUTLOOK*. Recuperado de: <https://hdinresearch.com>
46. Herps, T. (2020). *Modelling and Comparative Assessment of Polyamide-6 Manufacturing towards a Sustainable Chemical Industry* (Doctoral dissertation, Utrecht University). Recuperado de: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/400058>
47. ICAC. Production of Cotton Lint in '000 Metric Tonnes. Season 2021/22. Recuperado el 3 de junio de 2022 de: <https://www.icac.org/DataPortal/DataPortal?Year=2021/22%20proj>
48. Instituto Goddard para Ciencia Espacial (NASA). Recuperado de: www.giss.nasa.gov/
49. International Organization for Standardization. (s.f.). *What we do*. Recuperado de: <https://www.iso.org/what-we-do.html>
50. Jabran, K., Chauhan, B. (2019). *Cotton Production*. P. 193. Recuperado de: <https://books.google.es/>
51. Joy, A., Peña, C. (2017). *Sustainability and the Fashion Industry: Conceptualizing Nature and Traceability*. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51253-2_3
52. Kazan, H., et al. (2020). *Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques*. P. 849–864. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01826-x>
53. Khan, M.A. et al. (2020). *World Cotton Production and Consumption: An Overview*. In: Ahmad, S., Hasanuzzaman, M. (eds) *Cotton Production and Uses*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1472-2_1
54. Kirchain, R., et al. (22 de septiembre de 2015). *Sustainable Apparel Materials*. Massachusetts Institute of Technology. Recuperado de: <https://matteroftrust.org/wp-content/uploads/2015/10/SustainableApparelMaterials.pdf>
55. Kozłowski, A., et al. (2012). *Environmental Impacts in the Fashion Industry: A Life-cycle and Stakeholder Framework*. *The Journal of Corporate Citizenship*, No. 45, *Textiles, Fashion and Sustainability*. P. 27. Recuperado de: <https://www.jstor.org/stable/pdf/jcorpciti.45.17.pdf>
56. Labor Force, total. The World Bank. Recuperado el 8 de mayo de 2022 de: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.TLF.TOTL.IN>
57. Lee, I., Neefus, J. (2012). *Industria de productos textiles*. Capítulo 89. Enciclopedia de la OIT. Washington D.C: D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
58. Madhav, S., Ahamad, A., Singh, P., Kumar, P. (2018). *A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods*. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tqem.21538>
59. McClenaghan, S. (2016). *Child labour in cotton. A briefing*. International Labour Organization. Recuperado de: <https://www.ilo.org/ipecinfo/product/download.do?type=document&id=29655>

60. Mendoza, M. Del Callejo, M. (2022). *¿Sabes qué tienen en común los peces de Mazatlán, una cerveza y probablemente tú? Green Peace*. Recuperado de: https://www.bioguia.com/ambiente/sabes-que-tienen-en-comun-los-peces-de-mazatlan-una-cerveza-y-probablemente-tu-la-respuesta-es-microplasticos_103757727.html
61. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. *Sistemas de producción y nutrición animal*. Gobierno de España. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/>
62. Morgan, P. W. (1981). Brief history of fibers from synthetic polymers. *Journal of Macromolecular Science—Chemistry*. 1113-1131.
63. Moulds, J. (s.f.). *Child Labor in the Supply Chain*. The Guardian Labs. Recuperado el 28 de mayo de 2022 de: <https://labs.theguardian.com/unicef-child-labour/>
64. Muthu, S. (2020). *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain*. Woodhead Publishing, Textiles and Fashion.
65. Niinimäki, K., et al. (2020). *The environmental price of fast fashion*. *Nat Rev Earth Environ*, Abstract. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0039-9>
66. Notten, P. (2020). Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain. United Nations Environment Programme. Recuperado de: https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/unep_sustainability_and_circularity_textile_value_chain_1.pdf
67. Palacios-Mateo, C., et al. (2021). *Analysis of the polyester clothing value chain to identify key intervention points for sustainability*. P. 2. Recuperado de: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00447-x>
68. Palou, N. (2 de abril de 2019). *El grito de los corderos que se esconde tras tu ropa*. La Vanguardia. Recuperado de: <https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20190402/461424922243/ovejas-lana-merino-sufrimiento-mulesing-australia-mutilacion.html>
69. Plaza, A. (9 de marzo de 2020). *El virus da a la industria de la moda su propia medicina: no hay fábricas en España para traer de vuelta la producción*. El Diario. Recuperado de: https://www.eldiario.es/economia/propia-medicina-fabricas-espana-produccion_1_1035285.html
70. Rana, S., Parveen, S., Pichandi, S., Fanguero, R. (2014). *Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/262946197>
71. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.5 en línea]. Recuperado el 2 de mayo de 2022 de: <https://dle.rae.es>
72. RECYCLED COTTON, AN OVERVIEW ON A CIRCULAR FIBER. (s.f.). Manteco. Recuperado de: <https://manteco.com/recycled-cotton-an-overview-on-a-circular-fiber/>
73. Rex, D., Okcabol, S., Roos, S. (2019). *Possible sustainable fibers on the market and their technical properties. Fiber Bible Part 1*. MISTRA. Recuperado de: <http://mistrafuturefashion.com/download-publications-on-sustainable-fashion/>

74. Riera, S. (9 de enero de 2019). *Nylon, más motor y menos moda para aupar un negocio de 4.600 millones*. Modaes. Recuperado de: <https://www.modaes.com/entorno/nylon-mas-motor-y-menos-moda-para-aupar-un-negocio-de-4600-millones>
75. Röder, T., et al (2013). Man-made cellulose fibres—a comparison based on morphology and mechanical properties. *Lenzinger Berichte*, 91, 7-12.
76. Salazar-Pérez, C., Amezcua, F., Rosales-Valencia, A., Green, L., Polloreña-Melendrez, J.E., Sarmiento-Martínez, M.A., Tomita Ramírez, I., Gil-Manrique, B.D., Hernandez-Lozano, M.Y., Muro-Torres, V.M., Green-Ruiz, C., Piñon-Colin, T.D.J., Wakida, F.T., Barletta, M. (2021). *First insight into plastics ingestion by fish in the Gulf of California, Mexico*. *Marine Pollution Bulletin*. P. 171. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112705>
77. Sahuquillo, M. (14 de marzo de 2019). *El Mar de Aral muere de sed*. El País. Recuperado de: https://elpais.com/sociedad/2019/03/13/actualidad/1552488306_127329.html
78. Sandin, G., Roos, S., Johansson, M. (2019). *Environmental impact of textile fibers – what we know and what we don't know. Fiber Bible Part 2*. MISTRA. Recuperado de: <http://mistrafuturefashion.com/download-publications-on-sustainable-fashion/>
79. Sandin, G., Roos, S., Spak, B., Zamani, B. y Peters, G. (2019). *Environmental assessment of Swedish clothing consumption – six garments, sustainable futures*. MISTRA. Recuperado de: <http://mistrafuturefashion.com/wp-content/uploads/2019/08/G.Sandin-Environmental-assessment-of-Swedish-clothing-consumption.MistraFutureFashionReport-2019.05.pdf>
80. Shen, L., Worrell, E., Patel, M. (2010). *Environmental impact assessment of man-made cellulose fibres*. Pp. 260-274. Recuperado de: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S092134491000217X?token=B0893EAE39C1F3A16BA8CCD1BD90CF932F39E1C94A0439F273E888D5F77331C4725F079BE0F58F2D6F4F80C57631FE2E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220612160014>
81. Shen, L., Worrell, E., Patel, M. (2012). *Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose*. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* P. 625-639. Recuperado de: <https://doi.org/10.1002/bbb.1368>
82. Smith, P. (3 de marzo de 2022). *Global apparel market - statistics & facts*. Recuperado de: www.statista.com
83. Sposito, S. (2019). *Los tejidos y el diseño de moda. Guía de referencia, características y uso de los principales tejidos*. Promopress. P. 223.
84. Supply Compass. *Sustainable Material Guide // 04 polyester*. (2020). Recuperado de: <https://refashion.fr/eco-design/sites/default/files/fichiers/Sustainable%20Material%20Guide%20Polyester.pdf>
85. Textile Exchange. (2021). *Organic Cotton Market Report 2021*. Recuperado de: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/07/Textile-Exchange_Organic-Cotton-Market-Report_2021.pdf

86. Textile Exchange. (2021). *Preferred Fiber & Materials Market Report 2021*. Recuperado de: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2021/08/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-and-Materials-Market-Report_2021.pdf
87. The Business Research Company (2021). *Fast Fashion Global Market Report 2021: COVID-19 Growth and Change to 2030*.
88. Trapero, C., et al (2016). *Enhancing integrated Pest Management in GM Cotton Systems Using Host Plant Resistance*. *Frontiers*. Recuperado de: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00500/full>
89. Turley, D. (2011). *The Role and Business Case for Existing and Emerging Fibres in Sustainable Clothing*. *Defra*.
90. United Nations Global Compact. (2014). *A Guide to Traceability: A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains*. BSR. Recuperado de: https://d306pr3pise04h.cloudfront.net/docs/issues_doc%2Fsupply_chain%2FTraceability%2FGuide_to_Traceability.pdf
91. Ütebay, B., et al. (2019). Effects of cotton textile waste properties on recycled fibre quality. *Journal of Cleaner Production*, 222, 29-35. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.033>
92. Van der Velden, N., Patel, M. y Vogtländer, J. (4 de septiembre de 2013). *LCA benchmarking study on textiles made of cotton, polyester, nylon, acryl, or elastane*. Recuperado de: <https://www.woodguide.org/files/2014/07/LCA-textiles.pdf>
93. Vilaça, J. (18 de febrero de 2022). *FASHION INDUSTRY STATISTICS: THE 4TH BIGGEST SECTOR IS WAY MORE THAN JUST ABOUT CLOTHING*. *Fashion Innovation*. Recuperado de: <https://fashioninnovation.nyc/fashion-industry-statistics/>
94. Weichenthal, S., Moase, C., Chan, P. (2010). *A Review of Pesticide Exposure and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study Cohort*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1289/ehp.0901731>
95. Xiang, X. (2021) *Factors That Influence Consumers' Behaviors in Fashion Market*. *Open Journal of Business and Management*. P. 2772-2779. Recuperado de: [10.4236/ojbm.2021.96154](https://doi.org/10.4236/ojbm.2021.96154)
96. Zhu, F., Johnson, J. A., Ablin, D. W., y Ernst, G. A. (2019). *Efficient Petrochemical Processes: Technology, Design and Operation*.