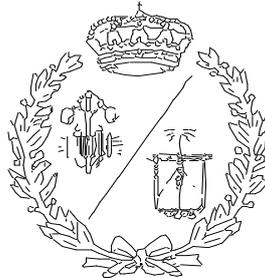


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Economía circular en la industria de la moda:
avances y valorización del PET. Análisis de la
huella de carbono**

**(Circular economy in fashion industry:
improvements and PET valorization. Carbon
footprint assessment)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Fabián García Gómez

Septiembre – 2020

RESUMEN

El modelo económico lineal que sigue actualmente la industria de la moda es el causante de la generación de gran cantidad de gases de efecto invernadero, del consumo intensivo de agua y de la contaminación de los efluentes, entre otros. Estos datos convierten a esta industria en la segunda industria más contaminante del planeta, solo por detrás de la industria del petróleo. Este trabajo se enmarca en la necesidad de implantar una economía circular en la industria de la moda que sea capaz de solucionar estos problemas.

Los principales objetivos del trabajo tratan de evaluar la importancia económica que tiene esta industria, revisar los avances e iniciativas que existen actualmente y cuantificar el impacto medioambiental mediante el cálculo de la huella de carbono.

Este cálculo se aplica a tres camisetas fabricadas de diferente material tras un análisis previo de las cinco fases del ciclo de vida de cada una. Como las fibras de poliéster y de algodón son las más demandadas en la industria textil, se ha decidido que una camiseta esté hecha de poliéster virgen, otra de poliéster reciclado y la tercera de algodón virgen. El uso del poliéster reciclado trata de evitar esa gran demanda de fibras de poliéster virgen provenientes del petróleo e intenta dar una nueva vida a los residuos plásticos que tanto contaminan el planeta. Este cálculo de la huella de carbono se llevará a cabo de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14067:2019. Esta norma define los requisitos y directrices necesarios para el cálculo de la huella de carbono de un producto, debiendo realizar el correspondiente análisis de ciclo de vida con arreglo a los estándares ISO 14040:2006 e ISO 14040:2006.

Tras realizar los cálculos, se ha obtenido una huella de carbono para la camiseta de poliéster virgen de 4,702 kg de CO₂eq, para la camiseta de algodón virgen de 5,537 kg de CO₂eq, mientras que para la de poliéster reciclado es de 1,802 kg de CO₂eq. Estos resultados se agravan en gran medida cuando la producción de camisetas es mucho mayor, lo que se asemeja en mayor medida a la realidad. Los números obtenidos nos permiten comprobar la importancia que tiene el consumo de moda sostenible frente al consumo de moda rápida o “fast fashion”.

ABSTRACT

The linear economic model currently followed by the fashion industry is the cause of the generation of a large amount of greenhouse gases, an intensive water consumption, and the pollution of the effluents, among others. These data make this industry the second most polluting of the planet, only after the oil industry. This project works on the need of implementing a circular economy in the fashion industry that is able to resolve these problems.

The main goals of the paper are to evaluate how relevant is this industry in terms of economy, to gather the current improvements and initiatives on this field and to quantify the environmental impact by calculating the carbon footprint.

This calculation is applied to three t-shirts made of different materials after a previous analysis of the five phases of their life cycle. As polyester and cotton fibers are the most demanded in the textile industry, it has been decided that one t-shirt is made of virgin polyester, the second one is made of recycled polyester and the third one is made of virgin cotton. The use of recycled polyester tries to avoid this huge demand of virgin polyester fibers, that come from petroleum and tries to give a new life to the plastic waste that contaminates the planet. This calculation of the carbon footprint will be carried out in accordance with the UNE-EN ISO 14067: 2019 standard. This standard defines the requirements and guidelines that are necessary for calculating the carbon footprint of a product, and the corresponding life cycle analysis must be carried out in accordance with the ISO 14040: 2006 and ISO 14040: 2006 standards.

After completing the calculations, the carbon footprint obtained for the virgin polyester t-shirt was 4,702 kg of CO₂eq and for the virgin cotton t-shirt it was 5,537 kg of CO₂eq, whereas the carbon footprint for the recycled polyester t-shirt it was 1,802 kg of CO₂eq. These results are significantly aggravated when the production of t-shirts grows, what is closer to reality. The quantities obtained allow us to realize the importance of sustainable fashion consumption compared to fast fashion consumption.

LISTA DE ABREVIATURAS

AITEX: Asociación de Investigación de la Industria Textil

ASIRTEX: Asociación Ibérica de Reciclaje Textil

BHET: bis(2-hidroxietileno) o $C_{12}H_{14}O_6$

CESCE: Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación

CNAE: Clasificación Nacional de Actividades Económicas

CO₂: dióxido de carbono

CO₂eq: dióxido de carbono equivalente

DMT: tereftalato de dimetilo o dimetiltereftalato

EG: etilenglicol

EURATEX: European Apparel and Textile Confederation

EUROMAP: European Plastics and Rubber Machinery

GEI: gases de efecto invernadero

GWP: Global Warming Potential

ICANE: Instituto Cántabro de Estadística

INE: Instituto Nacional de Estadística

kg: kilogramo

km: kilómetro

kWh: kilovatio hora

L: litro

MEG: monoetilenglicol

MJ: megajulio

MPP: policondensación en estado fundido

PET/PETE: polietileno tereftalato o polietilentereftalato

PIB: producto interior bruto

PTA: ácido tereftálico purificado

rPET: poliéster reciclado

SSP: polimerización en estado sólido

t: tonelada

vPET: poliéster virgen

W: vatios

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases del ciclo de vida "de la cuna hasta la puerta"	18
Figura 2 - Fases del ciclo de vida de un producto "de la cuna hasta la tumba"	19
Figura 3 - Flujos de material en la industria de la moda.....	21
Figura 4 – Tendencia de la demanda mundial de fibras textiles.....	22
Figura 5 - Sustancias y contaminantes en la industria de la moda	24
Figura 6 - Número de empleados del textil y la confección por países de la UE	35
Figura 7 - Número de empresas del textil y la confección por países de la UE	36
Figura 8 - Número de ocupados en el sector textil en España (en miles).	37
Figura 9 - Empresas activas del sector textil en España	38
Figura 10 - Gasto per cápita en ropa y calzado en España	39
Figura 11 - Agua contaminada tras el teñido de prendas de ropa	41
Figura 12 - Derrumbe del edificio Rana Plaza en Bangladesh en 2013	44
Figura 13 - Menores trabajando en una fábrica de textiles en Bangladesh	45
Figura 14 - Camiseta “Save the Ocean” de poliéster reciclado y algodón reciclado.....	49
Figura 16 - Mascarilla reutilizable de lycra reciclada.....	50
Figura 17 - Estructura química del polietileno tereftalato (PET).....	52
Figura 18 - Código de Identificación de Resinas.....	53
Figura 19 - Obtención del BHET a partir de DMT y a partir de PTA.....	56
Figura 20 - Condensación del BHET para formar PET	57
Figura 21 - Proceso de producción del PET amorfo.....	57
Figura 22 - Etapas de la polimerización en estado sólido (SSP) del PET	58
Figura 23 - Proceso de obtención del PET de grado botella a partir del PET amorfo	59
Figura 24 - Proceso de obtención del PET de grado film a partir del PET amorfo	59
Figura 25 - Aplicaciones del PET reciclado	60
Figura 26 - Proceso de producción de escamas de PET recicladas a partir de residuos de botellas de PET	62
Figura 27 - Procesos de reciclaje mecánico y semimecánico para la obtención de fibras de PET	63
Figura 28 - Reciclaje químico mediante glicólisis con vuelta al BHET.	64
Figura 29 - Reciclaje químico mediante metanólisis con vuelta al DMT.	65

Figura 30 - Medios de transporte utilizados en el transporte de mercancías en España en 2016 71

Figura 31 - Cuota de mercado de la exportación de algodón desde China 75

Figura 32 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de poliéster virgen 87

Figura 33 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de poliéster reciclado..... 91

Figura 34 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de algodón virgen 95

Figura 35 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de obtención de los materiales 96

Figura 36 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de manufactura 97

Figura 37 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de distribución..... 98

Figura 38 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de uso..... 98

Figura 39 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de postconsumo 99

Figura 40 - Comparativa de la huella de carbono de las diferentes fases del ciclo de vida . 100

Figura 41 - Comparativa de la huella de carbono de las tres camisetas estudiadas..... 101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Actividades económicas de la industria textil.....	14
Tabla 2 - Actividades económicas de la confección de prendas de vestir.....	15
Tabla 3 - Actividades económicas de la industria del cuero y de calzado.....	15
Tabla 4 - Gases de efecto invernadero y GWP.....	17
Tabla 5 - Pérdida de material del poliéster durante su manufactura.....	66
Tabla 6 - Pérdida de material del algodón durante su manufactura.....	66
Tabla 7 - Factores de emisión de las fuentes de energía en China.....	67
Tabla 8 - Factores de emisión de las fuentes de energía en España.....	67
Tabla 9 - Fuentes de energía primarias para producir 1 kg de PET amorfo.....	69
Tabla 10 - Datos de actividad de las fuente de energía de la fase de obtención de materiales para el poliéster virgen.....	69
Tabla 11 - Datos de actividad de la fase de obtención de materiales para el poliéster virgen.....	70
Tabla 12 - Datos de emisiones de la fase de obtención de materiales para el poliéster reciclado.....	71
Tabla 13 - Datos de actividad de la fase de obtención de materiales para el rPET.....	72
Tabla 14 - Datos de la fase de obtención de materiales para el algodón.....	73
Tabla 15 - Datos de actividad de la fase de manufactura de los poliésteres.....	74
Tabla 16 - Datos de actividad de la fase de manufactura del algodón.....	74
Tabla 17 - Dato de emisiones de la fase de distribución (China-Europa) para las camisetas de materiales vírgenes.....	76
Tabla 18 - Dato de emisiones de la fase de distribución (transporte nacional) de la camiseta de poliéster reciclado.....	76
Tabla 19 - Datos de actividad de la fase de uso para el poliéster virgen y el poliéster reciclado.....	79
Tabla 20 - Datos de actividad de la fase de uso para el algodón virgen.....	79
Tabla 21 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del poliéster virgen.....	80
Tabla 22 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del poliéster reciclado.....	80
Tabla 23 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del algodón virgen.....	81

Tabla 24 - Huella de carbono del proceso de producción de resina de PET virgen	83
Tabla 25 - Huella de carbono de la fase obtención de materiales del poliéster virgen	83
Tabla 26 - Huella de carbono de la fase de manufactura del poliéster virgen	83
Tabla 27 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de poliéster virgen .	84
Tabla 28 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de poliéster virgen.....	85
Tabla 29 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de poliéster virgen	86
Tabla 30 - Huella de carbono total de la camiseta de poliéster virgen	86
Tabla 31 - Huella de carbono de la fase de obtención de materiales del poliéster reciclado	88
Tabla 32 - Huella de carbono de la fase de manufactura del poliéster reciclado.....	88
Tabla 33 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de poliéster reciclado	89
Tabla 34 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de poliéster reciclado	89
Tabla 35 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de poliéster reciclado	90
Tabla 36 - Huella de carbono total de la camiseta de poliéster reciclado.....	90
Tabla 37 - Huella de carbono de la fase de obtención de materiales del algodón virgen	92
Tabla 38 - Huella de carbono de la fase de manufactura del algodón virgen	92
Tabla 39 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de algodón virgen...	93
Tabla 40 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de algodón virgen.....	93
Tabla 41 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de algodón virgen	94
Tabla 42 - Huella de carbono total de la camiseta de algodón virgen	94

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 ECONOMÍA CIRCULAR Y RECICLADO	11
1.2 SECTOR TEXTIL E INDUSTRIA DE LA MODA.....	13
1.3 HUELLA DE CARBONO Y CICLO DE VIDA.....	16
2 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	20
3 METODOLOGÍA.....	26
3.1 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS Y BBDD.....	26
3.2 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO.....	28
4 INDUSTRIA DE LA MODA	33
4.1 IMPORTANCIA DEL SECTOR.....	33
4.1.1 A nivel mundial	33
4.1.2 A nivel europeo.....	33
4.1.3 A nivel nacional - España	36
4.1.4 A nivel regional - Cantabria	39
4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL.....	40
4.3 AVANCES E INICIATIVAS.....	45
5 POLIÉSTER (PET).....	52
5.1 POLIÉSTER VIRGEN (VPET)	55
5.2 POLIÉSTER RECICLADO (RPET)	60
6 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	66
6.1 ANÁLISIS DE LA FASE DE OBTENCIÓN DE MATERIALES	68
6.2 ANÁLISIS DE LA FASE DE MANUFACTURA	73
6.3 ANÁLISIS DE LA FASE DE DISTRIBUCIÓN.....	74
6.4 ANÁLISIS DE LA FASE DE USO	76
6.5 ANÁLISIS DE LA FASE POSTCONSUMO	79
7 RESULTADOS.....	82
7.1 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE POLIÉSTER VIRGEN.....	82
7.1.1 Fase de obtención de materiales.....	82
7.1.2 Fase de manufactura.....	83
7.1.3 Fase de distribución	84

7.1.4 Fase de uso	84
7.1.5 Fase de postconsumo.....	86
7.1.6 Emisiones totales	86
7.2 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE POLIÉSTER RECICLADO	87
7.2.1 Fase de obtención de materiales.....	87
7.2.2 Fase de manufactura.....	88
7.2.3 Fase de distribución	89
7.2.4 Fase de uso	89
7.2.5 Fase de postconsumo.....	89
7.2.6 Emisiones totales	90
7.3 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE ALGODÓN VIRGEN	91
7.3.1 Fase de obtención de materiales.....	91
7.3.2 Fase de manufactura.....	92
7.3.3 Fase de distribución	92
7.3.4 Fase de uso	93
7.3.5 Fase de postconsumo.....	94
7.3.6 Emisiones totales	94
7.4 COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	95
7.4.1 Comparación de los resultados de las fases del ciclo de vida	95
7.4.2 Comparativa de los resultados totales.....	100
8 CONCLUSIONES.....	103
9 BIBLIOGRAFÍA	106

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ECONOMÍA CIRCULAR Y RECICLADO

El actual modelo económico lineal se basa en la extracción de materias primas, la fabricación de los productos y el desecho de estos cuando creemos que ya han cumplido su función. Durante estos procesos se consume gran cantidad de energía y de materia prima y, además, se generan muchos residuos.

La economía circular es un modelo económico que pretende hacer frente a este modelo lineal, principalmente basándose en la reutilización y valorización de residuos. Esto permite no consumir tal cantidad de materia prima y energía durante su obtención, además de disminuir los residuos, los cuales en la mayoría de los casos se incineran o se llevan a vertederos.

Para realizar un cambio tan grande como es el cambio del modelo económico de producción, todas las entidades que intervienen en el proceso de producción de un producto, ya sea directa o indirectamente, son responsables y deben comprometerse para conseguirlo; ya sean los gobiernos, las empresas o los consumidores.

Esto se puede entender fácilmente aplicando la regla de las “R” llevada a una visión destinada a la economía circular.

- **REDISEÑAR.** Este concepto hace referencia a la fase de diseño y fabricación de los productos, por lo que se encuadra en el marco de las empresas. Se hace necesaria una toma de decisiones que tenga en cuenta las consecuencias medioambientales, y deje atrás la funcionalidad como único objetivo a la hora de producir. O, en otras palabras, se tendrían que ver los residuos como fallos en dicho diseño y aprovechar más los nuevos materiales y tecnologías. Esta es la etapa encargada de hacer posible el cumplimiento del resto de reglas de la R y por eso se estima que esta fase puede determinar el 80% del impacto medioambiental de un producto (Ellen MacArthur Foundation, 2020). Esto se conseguiría, por ejemplo, diseñando productos que estuvieran hechos de materiales reciclados y que a su vez fueran reciclables.

- REDUCIR. Esta regla es la siguiente con mayor importancia e indica la necesidad de reducir el consumo, ya que esto haría que no se fabricasen tal cantidad de productos ni se generaran tantos residuos. Al estar relacionada con el consumo, es el consumidor el responsable directo de esta fase. Por eso, además, una vez que reducimos nuestro consumo, también es importante apoyar esas iniciativas que apoyan esa reducción y buscan alternativas sostenibles.

- RECICLAR, REUTILIZAR y REPARAR. Esto es tanto deber de las empresas diseñando los productos de tal forma que se puedan reciclar o reparar; tanto de los consumidores, que deben ser conscientes de la situación y reducir estos residuos reparando, reutilizando o reciclando.

El tratamiento de residuos se puede realizar a través de varios métodos, siendo unos más contaminantes para el medioambiente que otros. La deposición de estos en vertederos es la opción menos recomendada, mientras que el uso de la incineración con o sin recuperación de energía va en aumento a medida que las prohibiciones de los vertederos van siendo más restrictivas. De hecho, se estima que, cada segundo, el equivalente a un tráiler de basura es llevado a un vertedero o quemado (Ellen MacArthur Foundation, 2020), lo cual indica la seriedad con la que hay que tratar y evitar estos métodos. Sin embargo, y como todos sabemos, la mejor opción es el reciclado y la reutilización de estos residuos.

Los procesos de reciclado se realizan dependiendo del tipo de residuo, del estado en el que se encuentre y de lo que se quiera conseguir. Las tres principales formas de reciclaje son las siguientes:

- Reciclaje mecánico: es un proceso físico-mecánico mediante el cual el plástico postconsumo o industrial es recuperado para permitir su posterior reutilización.
- Reciclaje químico: durante este tipo de reciclaje, los residuos pasan por diferentes procesos que cambiarán la composición química del material. Por ejemplo, la

hidrólisis, la metanólisis o la glicólisis; para obtener, generalmente, los monómeros o algún otro material de partida.

- **Reciclaje energético:** en este caso, los residuos se llevan a procesos de incineración, pirolisis o gasificación donde se aprovechará su contenido energético para recuperar parte de la energía. Este tipo de reciclaje se utiliza sobre todo en residuos que no han podido ser clasificados o no se pueden recuperar, por lo que se transforman en energía antes de llevarlos al vertedero. Igualmente, tras este proceso, algunas organizaciones afirman que las desventajas que tiene la incineración de residuos son muchas, incluso que implica un retroceso en la lucha contra el cambio climático (Greenpeace España, 2009); en algunos casos, no se obtienen beneficios si se hace un balance entre la energía obtenida y la contaminación generada.

1.2 SECTOR TEXTIL E INDUSTRIA DE LA MODA

En muchas ocasiones, el uso del término industria textil se utiliza para hacer referencia al conjunto de actividades llevadas a cabo para producir prendas de vestir, pero lo correcto es hablar de sector textil, ya que el término industria textil solo implica una pequeña parte del proceso de producción del sector textil.

La industria textil incluye tres etapas diferenciadas según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas de 2009 (CNAE, 2009). La primera de ellas es la preparación e hilado de fibras textiles, después viene la etapa de fabricación de tejidos textiles y, finalmente, está la etapa de acabado de textiles. La fabricación de otros productos textiles también se incluye en esta actividad.

La hilatura consiste en la transformación de las fibras en hilos mediante procesos y máquinas adecuadas al tipo de fibra con la que se trabaja. La tejeduría transforma series de hilos en tejido textil uniforme de punto o de calada. El acabado incluye todos los tratamientos químicos y mecánicos que aportan las propiedades y el estilo requeridos al tejido textil.

Tabla 1 - Actividades económicas de la industria textil. (CNAE, 2009)

CÓDIGO	ACTIVIDAD ECONÓMICA
13	INDUSTRIA TEXTIL
13 1	Preparación e hilado de fibras textiles
13 1 0	Preparación e hilado de fibras textiles
13 2	Fabricación de tejidos textiles
13 2 0	Fabricación de tejidos textiles
13 3	Acabado de textiles
13 3 0	Acabado de textiles
13 9	Fabricación de otros productos textiles
13 9 1	Fabricación de tejidos de punto
13 9 2	Fabricación de artículos confeccionados con textiles, excepto prendas de vestir
13 9 3	Fabricación de alfombras y moquetas
13 9 4	Fabricación de cuerdas, cordeles, bramantes y redes
13 9 5	Fabricación de telas no tejidas y artículos confeccionados con ellas, excepto prendas de vestir
13 9 6	Fabricación de otros productos textiles de uso técnico e industrial
13 9 9	Fabricación de otros productos textiles n.c.o.p.

Estas tres etapas de la industria textil finalizan una vez se ha obtenido el tejido deseado. El siguiente paso es la confección de prendas de vestir que, según la CNAE de 2009, es otra actividad económica diferente y se diferencia con el número 14, mientras que la industria textil tiene el código número 13. En esta etapa de confección se incluye el conjunto de procesos que conforman finalmente la prenda de vestir a partir de los tejidos textiles, es decir, el corte de estos, y la inclusión de todos los accesorios que llevará la prenda.

Tabla 2 - Actividades económicas de la confección de prendas de vestir. (CNAE, 2009)

CÓDIGO	ACTIVIDAD ECONÓMICA
14	CONFECCIÓN DE PRENDAS DE VESTIR
14 1	Confección de prendas de vestir, excepto de peletería
14 1 1	Confección de prendas de vestir de cuero
14 1 2	Confección de ropa de trabajo
14 1 3	Confección de otras prendas de vestir exteriores
14 1 4	Confección de ropa interior
14 1 9	Confección de otras prendas de vestir y accesorios
14 2	Fabricación de artículos de peletería
14 2 0	Fabricación de artículos de peletería
14 3	Confección de prendas de vestir de punto
14 3 1	Confección de calcetería
14 3 9	Confección de otras prendas de vestir de punto

Por último, otra industria que se incluye muy a menudo en las estadísticas y estudios del sector textil es la industria del cuero y del calzado, que tiene el código número 15 según la CNAE, diferenciándola de las dos anteriores.

Tabla 3 - Actividades económicas de la industria del cuero y de calzado. (CNAE, 2009)

CÓDIGO	ACTIVIDAD ECONÓMICA
15	INDUSTRIA DEL CUERO Y DEL CALZADO
15 1	Preparación, curtido y acabado del cuero; fabricación de artículos de marroquinería, viaje y de guarnicionería y talabartería; preparación y teñido de pieles
15 1 1	Preparación, curtido y acabado del cuero; preparación y teñido de pieles
15 1 2	Fabricación de artículos de marroquinería, viaje y de guarnicionería y talabartería
15 2	Fabricación de calzado
15 2 0	Fabricación de calzado

En definitiva, el sector del textil comprende el conjunto de estas tres actividades pertenecientes a la industria manufacturera: la industria textil, la confección de prendas de vestir y la industria del cuero y del calzado.

Pero en el proceso de producción completo de la ropa y el calzado habría una etapa anterior a las explicadas, y es la obtención de las fibras necesarias para su fabricación. Esta fase también tiene gran importancia en el proceso, ya que es aquella que se encarga de extraer y obtener la materia prima con la que se producen las fibras.

La industria de la moda, entonces, ¿dónde se encuadra? Según la escuela de negocios especializada en moda en España, la ISEM Fashion Business School de la Universidad de Navarra, el sector de la moda abarca un conjunto muy diverso de actividades: desde la transformación de las materias naturales (algodón, lana, seda...) y artificiales (poliéster, poliamida, elastano, viscosa...) hasta la generación de hilos y tejidos, pasando por una amplia variedad de actividades productivas como son la confección de ropa, calzado y accesorios (ISEM, 2016).

Entonces, en este trabajo, como haremos referencia también a todo el ciclo de vida de un producto, contaremos también con las fases de uso y de postconsumo, y se utilizará tanto el término sector textil como industria de la moda para referirnos a todo el proceso en general.

1.3 HUELLA DE CARBONO Y CICLO DE VIDA

La huella de carbono es un indicador que mide la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera por una organización, un evento, un producto o un individuo, siendo los de mayor relevancia los generados por organizaciones y productos.

Aunque el CO₂ es el gas de efecto invernadero que más emisiones genera, también es necesario considerar otros gases que también influyen en estas emisiones. Como cada uno ellos es potencialmente nocivo pero a diferente escala, se han establecido coeficientes que permiten realizar una equivalencia entre unos gases y otros. Estos coeficientes se recogen según el índice GWP (Global Warming Potential), el cual mide cuánto calor puede ser absorbido por cada gas en comparación con otro, llamado gas de referencia. Normalmente este gas de referencia es el CO₂, por lo que este obtiene el valor de 1. El índice GWP ha de

calcularse en base al periodo en el cual quiere ser estudiado el gas, siendo 100 años el valor más frecuente para ese periodo.

Tabla 4 - Gases de efecto invernadero y GWP. (IPCC, 2013)

Gas de Efecto Invernadero	GWP (100 años)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	265
Hidroclorofluorcarburos (HFCs)	2360 - 12400
Clorofluorcarburos (CFCs)	4660 - 13900
Perfluorcarburos (PFCs)	6290 - 11100
Trifluoruro de nitrógeno (NF ₃)	16100
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	23500

A la hora de estudiar el efecto de uno de estos gases y poder hacer una comparación con el resto, se ha determinado una unidad que recoge todos ellos a través de los coeficientes GWP. Esta unidad se mide en masa de CO₂ equivalente (CO₂eq), por ser este gas el principal gas de referencia.

Es decir, la equivalencia se haría de la siguiente manera de acuerdo con la tabla anterior: la emisión de 1 tonelada de metano es equivalente a emitir 28 toneladas de CO₂, por lo que se puede decir que dicha cantidad de metano emite 28 toneladas de CO₂eq.

Como hemos señalado, la huella de carbono se puede calcular tanto para una organización como para un determinado producto. Mientras la huella de carbono de una organización mide los GEI emitidos durante el desarrollo de las actividades de dicha organización, la huella de carbono de un producto mide las emisiones de GEI generados durante una o varias etapas del ciclo de vida de dicho producto. La metodología utilizada será diferente para cada una de ellas, y así lo indican los protocolos estándar internacionales que dictan unas reglas u otras. Para el caso de las organizaciones, los métodos más utilizados son el *GHG Protocol*, las normas *ISO 14064-1*, *ISO 14065* y *ISO 14069* o el *IPCC 2006 GHG Workbook*, mientras que para un producto suelen ser el *PAS 2050*, el *GHG Protocol*, o la norma *UNE-EN ISO 14067:2019*.

Para el cálculo de la huella de carbono de un producto, se realiza un análisis del ciclo de vida de este, que engloba los procesos y etapas por los que transcurre un producto desde la extracción y obtención de las materias primas, hasta su uso por parte del consumidor y posterior desecho, pasando por todas las fases de producción y transporte. Este análisis de las etapas también se ha de evaluar de acuerdo con estándares internacionales que fijan su estructura, como son las normas *ISO 14040:2006* e *ISO 14044:2006*.

Normalmente, el análisis del ciclo de vida (ACV) se puede realizar de dos maneras, lo que se conoce como *cradle-to-grave* o “de la cuna hasta la tumba” y *cradle-to-gate* o “de la cuna hasta la puerta”, aunque muchas investigaciones tienen en cuenta más o menos etapas dependiendo de la influencia que tengan éstas en el caso de estudio.

La primera de ellas, de la cuna hasta la puerta, engloba tres de las cinco fases del ciclo de vida, que son la extracción y obtención de las materias primas, la manufactura de los materiales y, finalmente, la distribución hasta la “puerta” de la siguiente fábrica que seguirá con otros procesos.



Figura 1 - Fases del ciclo de vida "de la cuna hasta la puerta"

El método de la cuna hasta la tumba tiene las mismas etapas que el método anterior, pero se añaden las dos siguientes, que son la fase de uso del producto y la fase de postconsumo. En este caso, la fase de distribución es la que se lleva a cabo desde las fábricas de manufactura hasta el territorio donde se realiza el consumo del producto.



Figura 2 - Fases del ciclo de vida de un producto "de la cuna hasta la tumba"

Para realizar el análisis del ciclo de vida para el posterior cálculo de la huella de carbono se pueden utilizar diferentes herramientas de software que estandarizan los procedimientos y pueden simplificar la búsqueda de datos, como son SimaPro, GaBi u OpenLCA. En este trabajo, principalmente, por no tener acceso a este tipo de software, se ha realizado el análisis sin depender de este tipo de software. Además, se ha optado por esta opción para conocer con mayor profundidad todos los procedimientos necesarios que implica la realización del análisis de un ciclo de vida y del cálculo de la huella de carbono.

2 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La moda es *“el gusto colectivo y cambiante en lo relativo a prendas de vestir y complementos”* (Real Academia Española, 2020) o, referido a algo, aquello *“que en un momento determinado goza de destacada aceptación”* (Real Academia Española, 2020).

En ambas definiciones observamos términos referidos al tiempo, lo que nos hace entender la importancia de este término dentro de la industria de la moda. Es decir, que esta industria se podría definir como la industria relativa a prendas de vestir y complementos, que en un momento determinado gozan de una gran aceptación por parte de la población.

Esto se puede entender mejor con números, y es que, la industria de la moda fabrica, anualmente, el total de 100 mil millones de prendas (Greenpeace, 2016), lo que equivale a que cada uno de los habitantes del planeta consumiera casi 13 prendas al año de media, es decir, a comprar más de una prenda de ropa al mes. En cambio, el hecho de que el consumo sea mayor en unos territorios que en otros, hace que los habitantes de unos países consuman, de media, mayor cantidad de ropa que otros. Por ejemplo, en España, cada ciudadano consume 34 prendas de ropa al año, lo que equivale a casi 3 prendas al mes (Asociación Ibérica de Reciclaje textil - ASIRTEX, 2016), dato cuanto menos estremecedor.

Podemos pensar que este consumo se irá reduciendo con el paso de los años, pero, lamentablemente, la tendencia indica que este consumo seguirá aumentando. Es más, si miramos hacia atrás, podemos observar cómo esta tendencia ya apareció hace muchos años. Tanto es así que, hace 15 años, una persona consumía un 60% menos de ropa y la utilizaba el doble del tiempo antes de desecharla (Greenpeace, 2016).

Este aspecto es el que da el nombre de *“moda rápida”* a este modelo de negocio, en donde se produce en grandes cantidades debido a la gran demanda que existe. Esta demanda empezó aproximadamente en el año 2000, donde se dice que comenzó un incremento masivo de consumismo de esta *“fast fashion”*, como se conoce internacionalmente este fenómeno.

¿Y qué ocurre cuando se produce mucho? Efectivamente, que la cantidad de residuos también se dispara, tal y como nos confirma el dicho *“las modas de hoy son la basura de mañana”*. Se podría pensar que con una buena gestión de los residuos se podría evitar tal cantidad, pero, por desgracia, esta gestión no está lo suficientemente avanzada ni preparada para tal volumen y diversidad de residuos, y esto se traduce en que el 73% de los desechos

textiles se lleva a procesos de incineración o se depositan en los vertederos (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Además, menos del 1% del material utilizado para producir ropa se recicla en nuevos artículos (Ellen MacArthur Foundation, 2017), por esto se hace necesaria la obtención de un sistema de gestión de residuos eficiente que pueda administrar esta demanda de desechos.

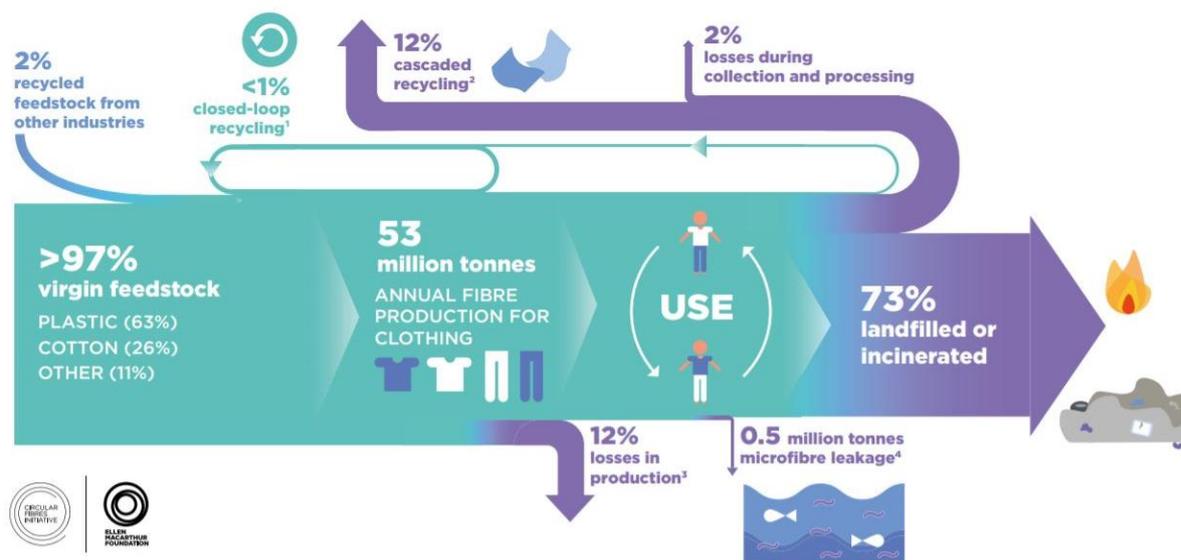


Figura 3 - Flujos de material en la industria de la moda. (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

Aun consiguiendo una eficiente gestión de los residuos, surge otro problema muy importante en el origen de la cadena de producción, y es que, una producción masiva, también implica un gran consumo de materias primas vírgenes si los materiales utilizados no son reciclados. Y, efectivamente, en la industria de la moda, menos del 3% de las materias primas utilizadas son recicladas (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Estas materias primas también se pueden clasificar según su origen, pudiendo ser tanto de origen natural como de origen artificial, estando dentro de estas últimas los materiales sintéticos provenientes del petróleo. Tal y como muestra el siguiente gráfico, la demanda de fibras ha ido aumentando en las últimas décadas y la tendencia indica que lo seguirá haciendo. Cabe destacar los dos tipos de fibras que sobresalen sobre el resto. En primer lugar, tenemos la fibra natural de algodón, la cual siempre ha tenido gran importancia en esta industria y, como vemos, la seguirá teniendo hoy en día incluso haciendo aumentar su demanda. En

cambio, la demanda de fibra sintética de poliéster, podemos ver cómo era menor que la del algodón hasta que empezó a aumentar rápidamente en los años 90 y llegar actualmente a doblarla. De hecho, hoy en día, las fibras sintéticas son las más populares a nivel mundial, y de ellas, el poliéster se encuentra a la cabeza con un 70% de cuota de mercado (Asociación de Investigación de la Industria Textil - AITEX, 2019).

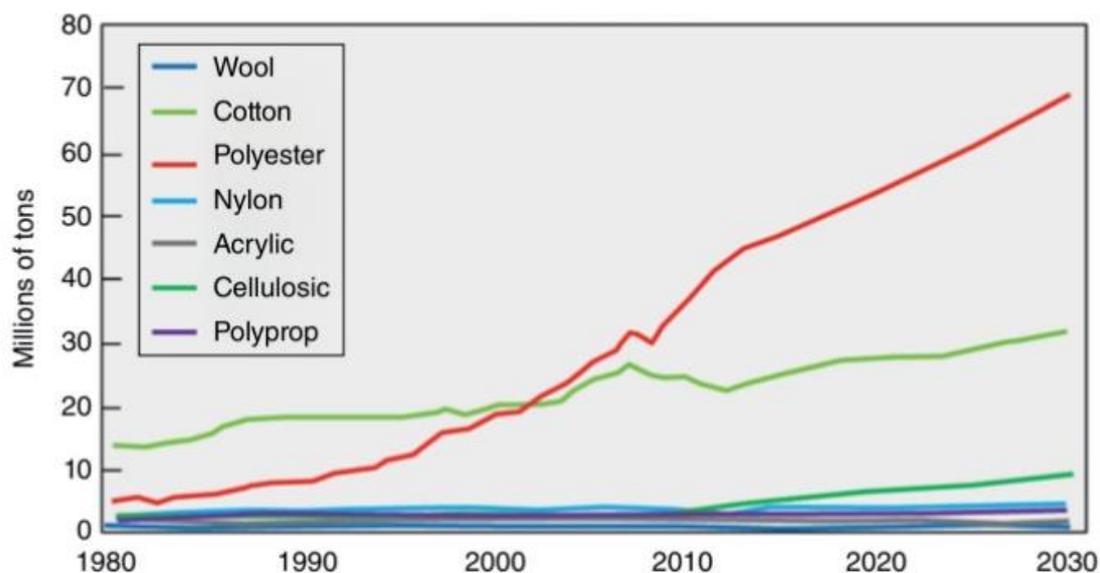


Figura 4 – Tendencia de la demanda mundial de fibras textiles. (Zhu, Johnson, Ablin, & Ernst, 2019)

Después de exponer estos dos últimos puntos sobre el reciclado y la obtención de materias primas, a todos nos ha venido a la cabeza una solución, una única solución que resolvería ambos problemas a la vez. Suena interesante, y así lo es. Una buena manera de reducir el uso de materias primas es utilizar materiales que ya se han producido, pero sería aún mejor utilizar aquellos que ya se han desechado, es decir, los residuos.

Es decir, que se plantea una solución donde se pretende volver a conferir valor a los productos que ya se han desechado tras su primera vida. A este fenómeno se le conoce como “valorización de residuos”.

Por otra parte, sabemos que, para llevar a cabo la fabricación de un producto, además de las materias primas, son necesarios otros inputs, como son la maquinaria y la mano de obra, que intervienen en diferentes fases del ciclo de vida de un producto.

La maquinaria necesita energía para funcionar, la cual se obtiene a partir de las fuentes de energía, que pueden ser tanto renovables como no renovables. En el sector textil, desgraciadamente, todavía no se han implementado las fuentes de energía renovables lo suficiente, y es que esta industria utiliza 98 toneladas de recursos no renovables al año a lo largo de todas las etapas de la cadena de valor (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Estas fuentes de energía no renovables son, por ejemplo, el carbón, el petróleo o el gas natural, las cuales se encuentran en cantidades limitadas en la naturaleza.

Por ejemplo, para producir la electricidad se necesitan diferentes fuentes de energía. Estas fuentes serán renovables o no renovables, y la cantidad de cada una dependerá del país donde se produzca. Esto es lo que se conoce como mix eléctrico o surtido energético, y se puede definir como la composición final de la electricidad producida por las distintas fuentes de generación de energía que cubren la demanda energética de un país.

Estos datos expuestos convierten, a la industria de la moda, nada más y nada menos, en la segunda industria más contaminante del planeta, solamente por detrás de la industria del petróleo (Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo, 2019). Y es que estas dos están estrechamente relacionadas, tal y como hemos podido comprobar en la gráfica de la demanda de fibras, ya que el poliéster y otros materiales como el nylon, el acrílico y el polipropileno proceden del petróleo.

El poliéster es el también conocido como polietilentereftalato (PET) de grado fibra, ya que aquel proviene del PET, el cual es un polímero que es conocido especialmente por su uso en la fabricación de botellas de plástico. Pues, por estremecedor que parezca, de la producción mundial de PET, alrededor del 60% se utiliza para fabricar fibras textiles y solamente el 30% se usa para producir botellas de este material (Asociación de Investigación de la Industria Textil - AITEX, 2019). Estos número podrían resultar chocantes por la cantidad de botellas de plástico que vemos que se consumen a diario y nos hace comprender la cantidad de fibras textiles que se producen a partir de este polímero. Además, se estima que, cada año, se necesitan unos 104 millones de barriles de petróleo para la producción de PET (Asociación de Investigación de la Industria Textil - AITEX, 2019), lo que equivale a 70 millones de barriles, anualmente, solo para producir poliéster virgen destinado a tejidos textiles, es decir, el 0,2% de la producción total de petróleo mundial.

La contaminación de esta industria no solo se produce por lo anteriormente mostrado, también el transporte necesario desde los territorios productores hasta los territorios consumidores también ayuda a estas emisiones nocivas al medioambiente. Y es que los principales productores del textil se encuentran en el continente asiático. China es el mayor productor mundial de algodón con un 65% de la producción total, mientras que, para el caso del poliéster, China, India y Estados Unidos son los que están a la cabeza. (Hossain, 2016). En cambio, los principales consumidores se encuentran en Europa, por lo que la distancia de la distribución es bastante mayor que si la producción se llevara a cabo en el propio continente europeo.

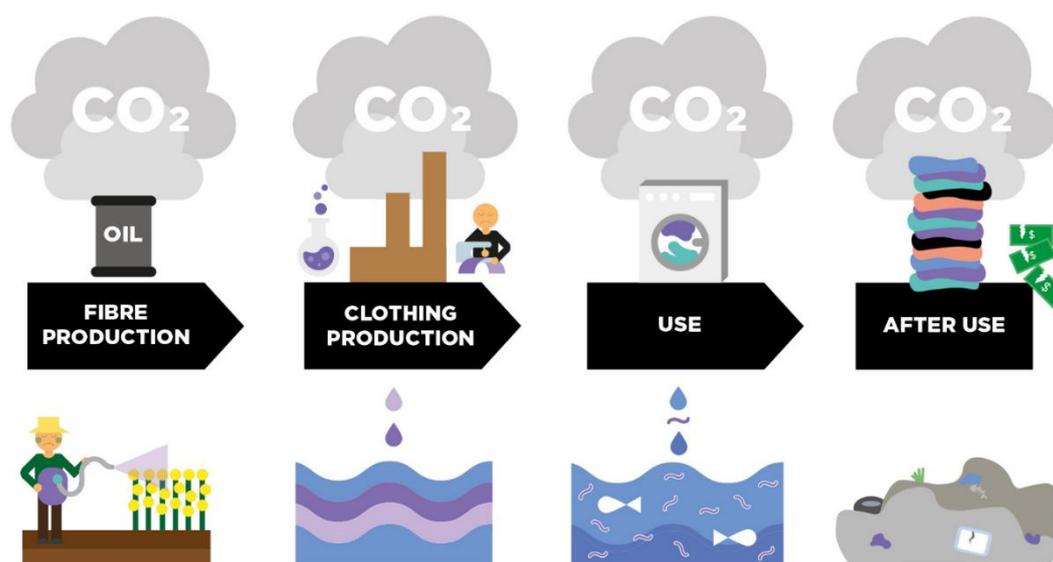


Figura 5 - Sustancias y contaminantes en la industria de la moda. (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

En cuanto a la mano de obra necesaria para algunas tareas de la cadena de producción surge otro gran problema, y es que las empresas al intentar reducir el coste de sus productos al máximo han trasladado su producción a países donde hay menos restricciones en este aspecto. Esto se convierte directamente en unas peores condiciones de trabajo para los empleados, es decir, una mano de obra que trabaja mucho en condiciones de seguridad preocupantes y cobra muy poco.

Con este contexto, podemos concluir que los principales objetivos que se han fijado para este trabajo son los siguientes:

- En primer lugar, valorar la importancia económica que tiene esta industria llevando a cabo una recopilación de datos tanto a nivel mundial, europeo, español y cántabro.
- En segundo lugar, revisar los actuales avances e iniciativas que se están desarrollando hoy en día que van en la dirección correcta de la moda sostenible.
- Por último, cuantificar el impacto medioambiental que tiene la industria de la moda mediante el cálculo de la huella de carbono.

Este cálculo de la huella de carbono se realizará para tres camisetas, llevando a cabo el correspondiente análisis del ciclo de vida para los tres casos, que se diferenciarán principalmente en: los materiales utilizados para su producción, los países de producción y consumo, y el proceso de postconsumo que se llevará a cabo. Además, para hacer esta comparación a mayor escala y visualizar mejor lo que realmente ocurre en esta industria, la huella de carbono obtenida para una camiseta se multiplicará por 1 millón para obtener los mismos datos, pero, en este caso, referidos a 1 millón de camisetas, lo que representaría de mejor manera la realidad.

3 METODOLOGÍA

3.1 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS Y BBDD

Para el desarrollo del trabajo se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica profunda y se ha recopilado la mayor cantidad de información posible para contrastarla y, posteriormente, realizar una presentación lo más adecuada posible de acuerdo con lo que se pretende exponer.

La recopilación de información se ha procurado realizar de tal manera que los documentos fueran lo más recientes posibles, intentando que estuvieran revisados y publicados posteriormente al año 2015. En algunos casos, al no encontrarse información tan reciente, se ha optado por acceder a documentos que fueran más antiguos, posteriores al año 2010. Algunos, incluso, datan de una fecha de publicación anterior a esta última ya que venían detallados de una forma más completa y se asemejaban más a nuestro caso, como pueden ser algunos procesos de producción que no hayan variado a lo largo de los últimos años.

Esta información se ha recogido principalmente de tres tipos de fuentes secundarias: organismos oficiales, bases de datos de publicaciones científicas y bases de datos de inventarios del ciclo de vida (ICV).

- INE, CESCE, AITEX, CNAE, ICANE, EURATEX, EUROMAP o EUROMONITOR. Estas compañías y organismos oficiales, tanto españoles como europeos, aportan diferente información y estadísticas oficiales.

- Ellen MacArthur Foundation. Es una fundación que desarrolla y promueve la idea de economía circular trabajando con empresas, el mundo académico, responsables políticos e instituciones para desarrollar soluciones a escala mundial. Realiza publicaciones innovadoras en forma de libros e informes sobre la oportunidad de implantar una economía circular en los diferentes ámbitos profesionales.

- Idematapp. Esta base de datos, basada en la conocida Ecoinvent, es un inventario del ciclo de vida que recoge información de literatura revisada y bases de datos científicas de diferentes universidades. Estos inventarios del ciclo de vida proporcionan datos de diferentes procesos para distintos productos para poder realizar un análisis detallado de su impacto medioambiental.

- Scopus. Es una base de datos que indexa resúmenes y referencias de revistas científicas, libros y actas de congresos de diferentes editoriales. Ofrece una visión general actualizada de la investigación en los campos de la ciencia, la tecnología, la medicina, las ciencias sociales y las artes y las humanidades.

- ScienceDirect. Perteneciente a la editorial Elsevier, es una base de datos que contiene artículos de texto completos de revistas científicas y libros, publicados principalmente por esta editorial.

- Springer. Es una editorial líder en la publicación de documentos científicos, técnicos y médicos que cuenta con más de 10 millones de títulos científicos, 2.900 revistas y 300.000 libros de estos campos.

- ResearchGate. Es una red social que sirve como herramienta de colaboración entre más de 17 millones de científicos e investigadores, la cual da acceso a más de 130 millones de publicaciones científicas de diferentes disciplinas.

- Wiley Online Library. Es una base de datos que cuenta con más de 8 millones de artículos de 1.600 revistas, 250 trabajos de referencia y más de 22.000 libros en línea y que cubre todo tipo de ámbitos como la química, las ciencias medioambientales o la ingeniería.

- Kirk-Othmer Encyclopedia. Esta enciclopedia presenta una amplia gama de artículos sobre sustancias químicas, incluidas sus propiedades, fabricación y usos. También se enfoca en procesos industriales y operaciones de ingeniería química, además de cubrir los fundamentos y temas científicos relacionados con este campo y abordar cuestiones ambientales y de salud relacionadas con la tecnología química. Esta enciclopedia incluye, en su plataforma online, más de 1.300 artículos con contenido nuevos y actualizados periódicamente

- Google Académico (Google Scholar). Es una plataforma creada por Google que permite localizar documentos de carácter académico-científico. El sitio contiene distintos recursos, como libros, revistas científicas, informes científico-técnicos o tesis, todo ello proveniente de diferentes editoriales, bibliotecas, repositorios y bases de datos bibliográficas.

- ÚniCo. Este buscador de la Biblioteca de la Universidad de Cantabria permite encontrar diferentes documentos a los que tiene acceso esta biblioteca, tanto de documentos en papel como documentos electrónicos, como pueden ser artículos, libros, trabajos académicos o textos.

- Catálogo de la Biblioteca de la Universidad de Cantabria.

- Buscador de Google.

3.2 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Para el cálculo de la huella de carbono de un producto realizamos el análisis del ciclo de vida correspondiente y así consideramos cuáles son los inputs y outputs del sistema de producto.

Este cálculo se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 14067:2019. Esta norma se refiere a: “Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación”. Esta norma define los principios, requisitos y directrices para la cuantificación y el informe de la huella de carbono de un producto (HCP) total o parcial,

de manera coherente con las normas internacionales de evaluación del ciclo de vida, las series ISO 14040:

- ISO 14040: 2006 – Principios y marcos de referencia.
- ISO 14044: 2006 – Requisitos y directrices.

Este estándar incluye las fases de definición de objetivos y el alcance, la elección de la unidad funcional, los límites del sistema, un análisis del inventario, una evaluación del impacto y una última fase de interpretación.

El primer paso es determinar el objetivo que, tras la revisión bibliográfica, se ha definido como el cálculo y la comparación la huella de carbono de tres camisetas hechas de diferentes materiales, producidas en diferentes partes del mundo, consumidas en España, y tratadas de diferente manera en la fase postconsumo.

Las camisetas estarán hechas 100% de un único material, siendo los elegidos para este trabajo el poliéster virgen (vPET), el poliéster reciclado (rPET) y el algodón virgen. En el caso de los materiales vírgenes, estos estarán producidos en China, mientras que el poliéster reciclado estará producido en España. El consumo de las tres camisetas se realizará en España. En la fase de postconsumo, la camiseta de vPET terminará su ciclo de vida tras un proceso de incineración con recuperación de energía, la camiseta de algodón virgen será depositada en un vertedero, y la camiseta de rPET será reciclada para su uso en una nueva vida.

El siguiente paso es definir la unidad funcional, que es la cantidad representativa de un producto que se utilizará para referenciar los cálculos, y refleja el modo en el que el usuario consume el producto. Esta elección permite hacer comparaciones entre dos productos similares del mismo sector. En este caso, la unidad funcional elegida es “una camiseta blanca de manga corta consumida en España y usada 50 días” antes de su desecho, teniendo en cuenta que se lavará después de cada uso (Moazzem, Crossin, Daver, & Wang, 2018).

La camiseta se asume que será unisex y su peso, como producto final, será de 156 gramos (Fruit of the Loom, 2020), y se tendrá en cuenta la pérdida de material durante el proceso de manufactura de ésta.

La elección de la unidad funcional implica la asunción de que la fibra utilizada en un caso y en otro sea igual, es decir, que tenga las mismas propiedades y calidad. Sin embargo, esto dependerá también del alcance de la comparación y del tipo de reciclaje que se vaya a llevar a cabo.

En nuestro caso, queremos que la comparación sea lo más equitativa posible, por lo que, para el caso del rPET, elegiremos un reciclaje mecánico/semimecánico para la obtención de fibras largas recicladas, ya que esta tecnología permite alcanzar la calidad de una fibra virgen si los residuos de PET se clasifican correctamente y se realiza una limpieza exhaustiva que elimine las impurezas que contengan.

A continuación, establecemos los límites del sistema. Este paso es muy importante, ya que ha de ir acorde con los objetivos fijados y recoge qué procesos se tienen en cuenta y cuáles no. Prestando atención a las fases del ciclo de vida de un producto textil, se incluyen en este estudio: la extracción y obtención de materias primas, la producción y preparación de la fibra, la producción del hilo, la producción de la tela, el acabado, la confección, la fase de uso y la fase de postconsumo. En un principio, la fase de uso por parte del consumidor se podría pensar que no genera tanta cantidad de GEI como lo hacen el resto de fases, pero, como veremos, durante esta etapa se produce una cantidad importante de emisiones que podrían no ser tan obvias (Wang, y otros, 2015).

Como hemos apuntado, la fase de postconsumo será diferente en los tres casos. Para realizar el análisis del ciclo de vida de productos reciclados y/o reciclables, como en nuestro caso el poliéster reciclado, existen tres métodos (Shen, Worrell, & Patel, 2010):

- Corte: este método distingue la primera vida (producto virgen) de la segunda vida (producto reciclado) como sistemas independientes. Es decir, la carga medioambiental de las fases de producción y uso de la primera vida no se contabiliza en la segunda vida. Además, la fase de postconsumo de la primera vida no se tiene en cuenta ya que se va a trasladar a un proceso de reciclaje, que será la etapa de obtención de las materias primas de la segunda vida, que empieza con la recogida de los residuos.

- Evaluación de los residuos: este método tiene en cuenta, para la segunda vida, parte de la carga medioambiental generada por la primera, ya que establece que, para dar una segunda vida a un residuo, este tiene un valor comercial en su primera vida, y por lo tanto se debería contabilizar un porcentaje de la carga de la primera vida. Es decir, que, para el uso del residuo para una segunda vida, es necesaria la existencia de una primera vida, por lo que habría que dividir la carga medioambiental entre ambas.

- Expansión del sistema: esta opción se utiliza cuando se quiere analizar el sistema por completo, desde la cuna hasta la tumba, es decir, se tienen en cuenta las cargas medioambientales de la última fase, aunque los residuos se vayan a trasladar a un proceso de reciclaje para su posterior uso en una segunda vida.

Para este estudio hemos elegido la opción de corte, ya que los residuos a partir de los cuales se produce el PET reciclado (botellas) se asume que se seguirán produciendo aunque no se utilicen posteriormente para la producción de fibras, es decir, consideramos que son dos sistemas independientes.

La cambiante situación actual en el tema de los plásticos hace que, dentro de varios años, la producción de PET y, en general, de todos los plásticos, haya disminuido tanto que no exista suficiente material reciclado para su uso como fibras textiles en una segunda vida, por lo que este trabajo podría tener una visión a corto o medio plazo; eso sí, de esta manera, se habría alcanzado un objetivo muy importante como es la reducción del consumo de materias primas de los plásticos.

Entonces, los límites del estudio quedan de la siguiente manera para los diferentes casos. Para las camisetas hechas con materiales vírgenes, se realizará un análisis del ciclo de vida completo con todas las fases de producción de los textiles anteriormente citadas. Sin embargo, para la camiseta hecha con PET reciclado, la fase de obtención de materias primas se compondrá de la recogida de los residuos y de su posterior reciclaje mecánico, y la fase de postconsumo no se contabilizará, al suponer que será reciclada para una tercera vida.

Tras establecer los límites, el estudio sigue con la búsqueda de datos e información. En este trabajo distinguimos dos tipos de datos necesarios para los cálculos, los datos de actividad y los factores de emisión.

El dato de actividad es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020). En nuestro caso, se refieren a los datos de consumo de energía y de materias primas durante los diferentes procesos de producción, distribución, uso y gestión de los residuos. En cambio, los factores de emisión suponen la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad” (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020), es decir, son los datos que hacen de unión entre los datos de actividad y los resultados finales de emisión de gases de efecto invernadero.

En algunos casos, en vez de utilizarse los datos de actividad, se han utilizado datos de emisiones, que son aquellos que están ya calculados y que sólo habría que asemejarlos a nuestro caso. Esto se ha llevado a cabo cuando había escasez de información sobre los datos que eran necesarios o cuando estos datos de emisiones encontrados se suponían lo suficientemente similares a nuestro caso que no hacía falta realizar todo su cálculo.

Entonces, para ambos casos, el cálculo de la huella de carbono se realiza aplicando las fórmulas que mostramos a continuación.

Si utilizamos datos de actividad (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020):

$$\text{Dato de actividad} \times \text{Factor de emisión} = \text{Emisión}$$

Por ejemplo: $A \text{ (kWh)} \times B \text{ (kg CO}_2\text{eq/kWh)} = A \times B \text{ (kg CO}_2\text{eq)}$

Si utilizamos datos de emisiones, el cálculo se realizaría de la siguiente manera:

$$\text{Dato de emisiones} \times \text{Datos de nuestro caso} = \text{Emisión}$$

Por ejemplo: $A \text{ (kg CO}_2\text{eq/kg)} \times B \text{ (kg)} = A \times B \text{ (kg CO}_2\text{eq)}$

4 INDUSTRIA DE LA MODA

4.1 IMPORTANCIA DEL SECTOR

4.1.1 A nivel mundial

La industria de la moda es la séptima economía más grande del mundo (McKinsey & Company, 2017), y esto se traduce en un mercado global con un valor de 1,2 billones de euros (Ellen MacArthur Foundation, 2017) y una aportación al PIB mundial de casi el 1,8% (Consultoría textil Gabriel Farias, 2016). Se estima que el consumo mundial de prendas de vestir representa el 75% del consumo total de la industria textil y de la confección (EURATEX, 2018).

Además, varias consultoras especializadas, han estudiado el sector y han tratado de hacer una predicción sobre cuáles serán las tendencias para la industria de la moda con impacto en el 2025, siendo algunas de ellas el aumento del valor del mercado global de prendas de vestir hasta sobrepasar la marca de los 2 billones de euros (Consultoría textil Gabriel Farias, 2016) y el aumento de los suministros internos en China y de la producción en países asiáticos como India o China (Consultoría textil Gabriel Farias, 2016).

Además, esta industria, emplea, a lo largo de toda la cadena de valor, a más de 300 millones de personas (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Este último dato hay que manejarlo con criterio, ya que, según apunta Leonardo Bonanni, fundador y CEO de la empresa de seguimiento de la cadena de suministro Sourcemap, basada en la transparencia de la cadena de suministro, “una compañía de prendas de vestir podría pensar que solo tiene 1.000 o 2.000 proveedores, cuando en realidad pueden llegar a tener de 20.000 a 50.000 cuando se tienen en cuenta los subproveedores, por lo que es un verdadero desafío para las empresas mapear toda la cadena de suministro al haber tal cantidad de terceros involucrados” (McKinsey&Company, 2019).

4.1.2 A nivel europeo

La industria textil y de la confección obtuvo, en la Unión Europea, una facturación de 178.000 millones de euros en 2017 (EURATEX, 2018), siendo, después de China, la mayor exportadora

con un 23% y 28% de las ventas mundiales respectivamente (EURATEX, 2018). Esto suponía un 3% del PIB europeo (Fashion Network, 2013).

El sector del lujo y la calidad, referidos al textil, representaba el 10% del total de las exportaciones de la Unión Europea (Fashion Network, 2013), lo que denota la gran importancia que representa esta industria en nuestro continente.

Tanto es así que, el que fuera vicepresidente de la Comisión Europea responsable de la Industria y Empresa en 2013, el italiano Antonio Tajani, subrayó el objetivo de que el sector de la moda y la alta gama contribuyera un 20% al PIB comunitario para este año 2020, ya que veía al sector de la moda como “clave” y con gran potencial de crecimiento para el proceso de reindustrialización del continente. El exvicepresidente también destacó que “es imposible competir en cantidad con Estados Unidos, China, Rusia o Brasil, pero podemos competir en calidad, y por ese motivo es importante apoyar al sector más importante en cuanto a calidad: la moda”.

La industria textil y de la confección se encuentra entre las ramas industriales más importantes de la UE. Esta industria representa alrededor del 5% del empleo y el 9% de las empresas en el sector manufacturero total de la UE, así como más del 4% de las exportaciones totales de mercancías (EURATEX, 2018).

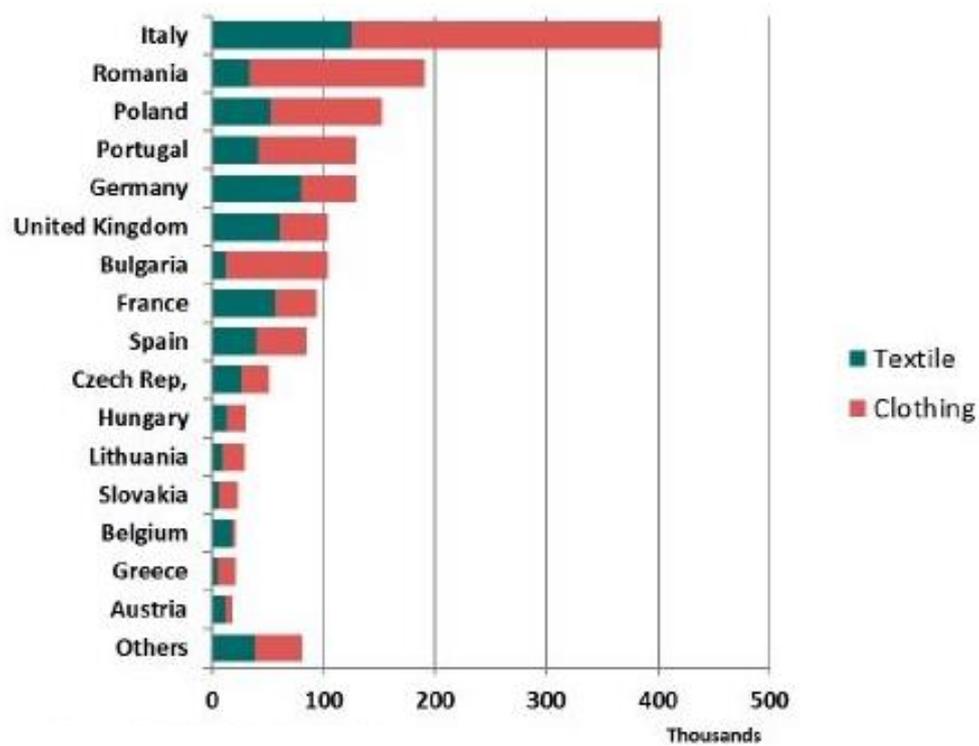


Figura 6 - Número de empleados del textil y la confección por países de la UE. (EURATEX, 2018)

Las más de 171.000 empresas del textil y la confección emplean más de 1,7 millones de trabajadores en esta industria (EURATEX, 2018). Además, la Unión Europea es el mayor mercado mundial para el textil y las prendas de vestir, con un consumo de los hogares de 520.000 millones de euros (EURATEX, 2018).

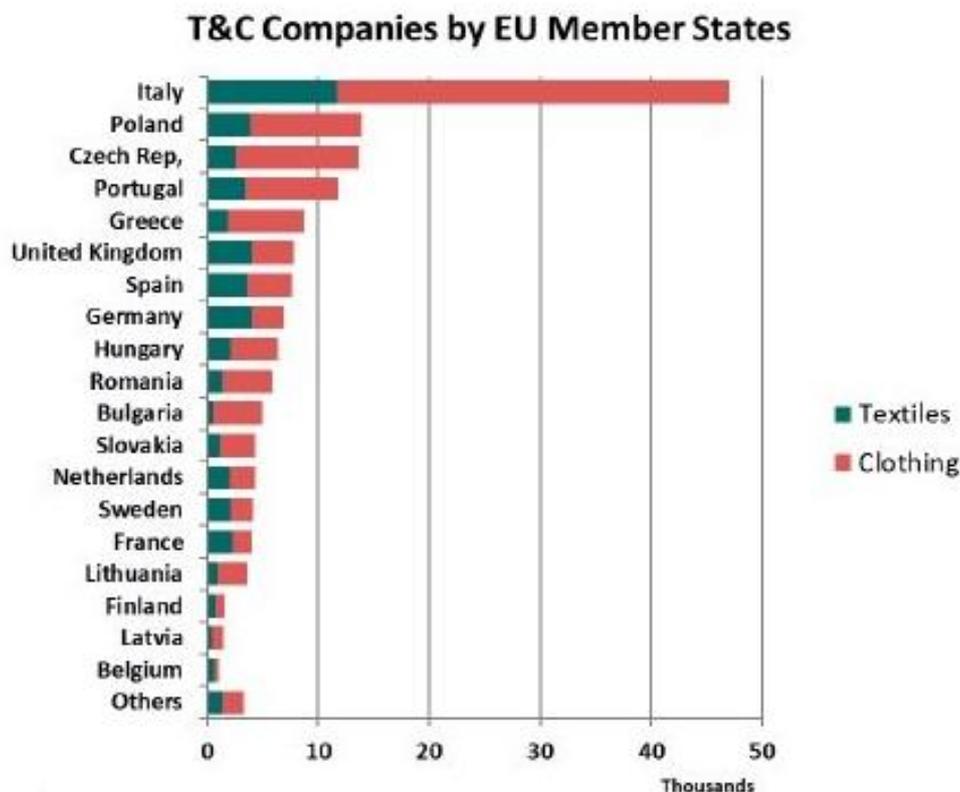


Figura 7 - Número de empresas del textil y la confección por países de la UE. (EURATEX, 2018)

4.1.3 A nivel nacional - España

Los datos nacionales se basan en datos y estadísticas recogidas principalmente por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación (CESCE), la cual todos los años realiza un informe sectorial de la economía española para analizar la evolución de los diferentes sectores de actividad que conforman el tejido empresarial español y de sus expectativas de desarrollo y riesgo a corto plazo.

El negocio de la moda representa el 2,9% del PIB español (CESCE, 2019). Este sector aporta el 13,2% al PIB del comercio y el 5,1% al PIB de la industria en España (CESCE, 2019), lo que demuestra la importancia que tiene dentro de la economía del país.

En cuanto al empleo, el número total de ocupados en España en el último trimestre de 2019 era de 19.779.300 ocupados, de los cuales 55.200 se dedicaban a la industria textil, otros 55.000 se dedicaban a la confección de prendas de vestir y 56.000 lo hacían en la industria

del cuero y del calzado (INE, 2020). Es decir, un total de 166.200 empleados se dedicaban al sector de la moda, lo que se traduce en casi el 1% del total de ocupados del país.

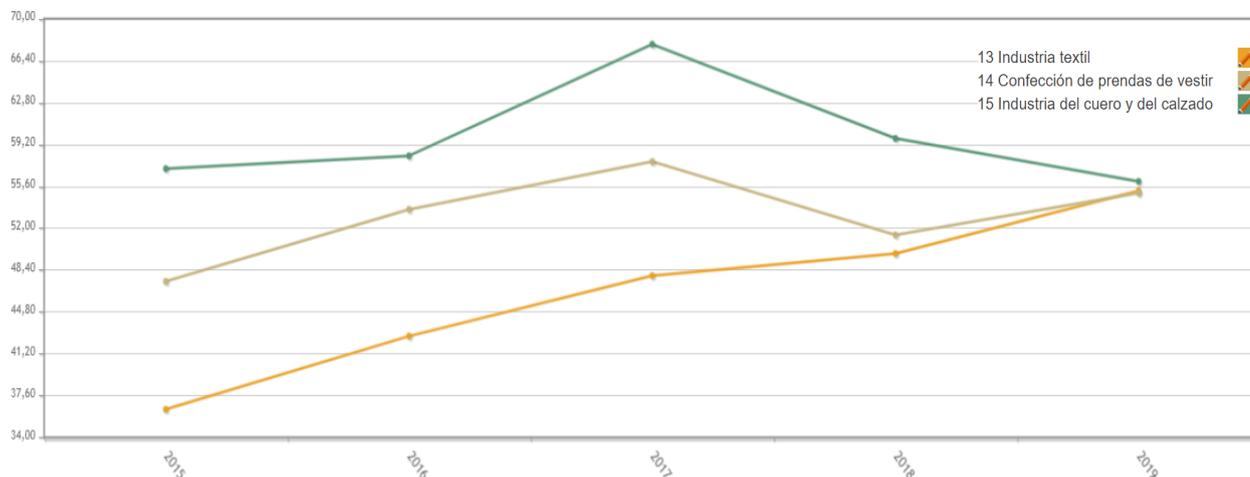


Figura 8 - Número de ocupados en el sector textil en España (en miles). (INE, 2020)

Si, además, se incluyen los datos de ocupados que se dedican a la distribución y venta de los productos textiles, nos encontramos con que el sector representa el 4,3% del empleo, el 18,9% de los puestos de trabajo en el comercio y el 8,1% del empleo en la industria (CESCE, 2019).

El número de empresas activas que pertenecían a la industria textil a finales de 2019 eran 6.643, la confección de prendas de vestir abarcaba 9.206 empresas, mientras que a la industria del cuero y del calzado se dedicaban 4.636 empresas (INE, 2020). Un total de 20.485 empresas dedicadas al sector textil, lo cual supone un aumento de casi el 5% respecto a los datos recogidos en el último trimestre del 2015 (19.494 empresas).

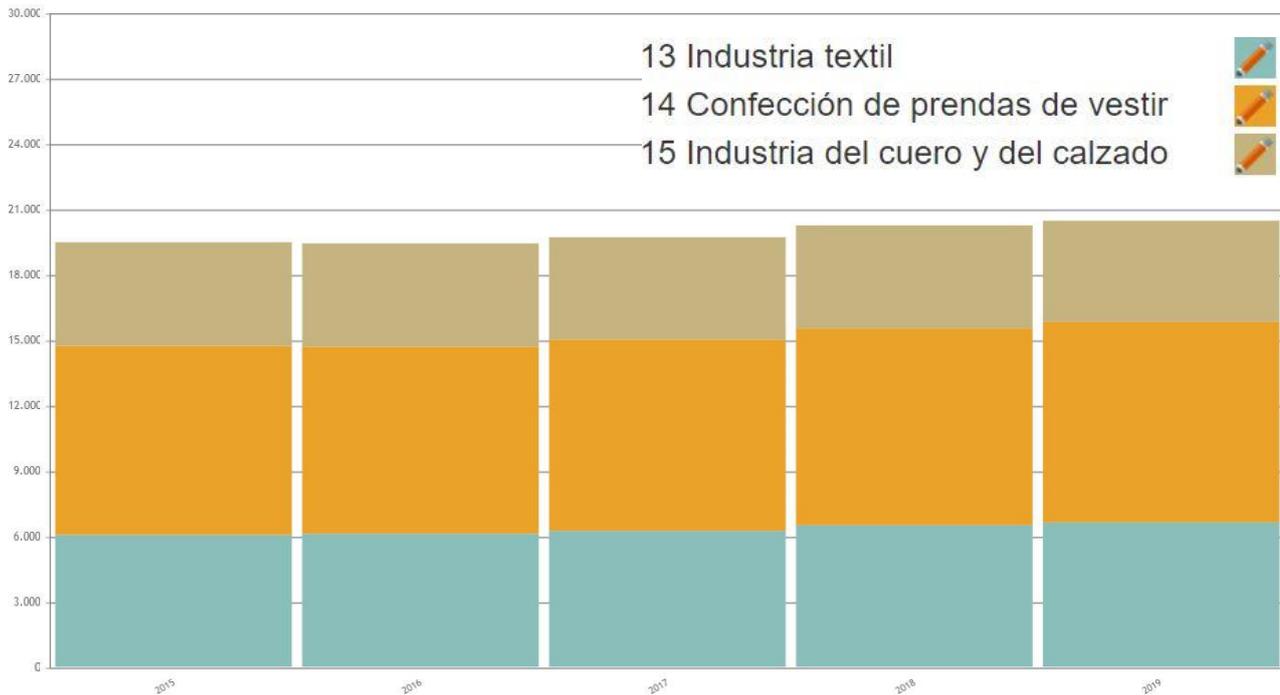


Figura 9 - Empresas activas del sector textil en España. (INE, 2020)

En España, el gasto anual medio per cápita en ropa en 2018 fue de 429,3 euros. Si se añade el calzado, el gasto aumenta a 565,7 euros per cápita y a 31.864 millones de euros en total en todo el país (EAE Business School, 2018), lo que se traduce en un gasto mensual de casi 50 euros por persona. Es más, en nuestro país, un 4,4% del presupuesto familiar se destina a la ropa (EAE Business School, 2018).

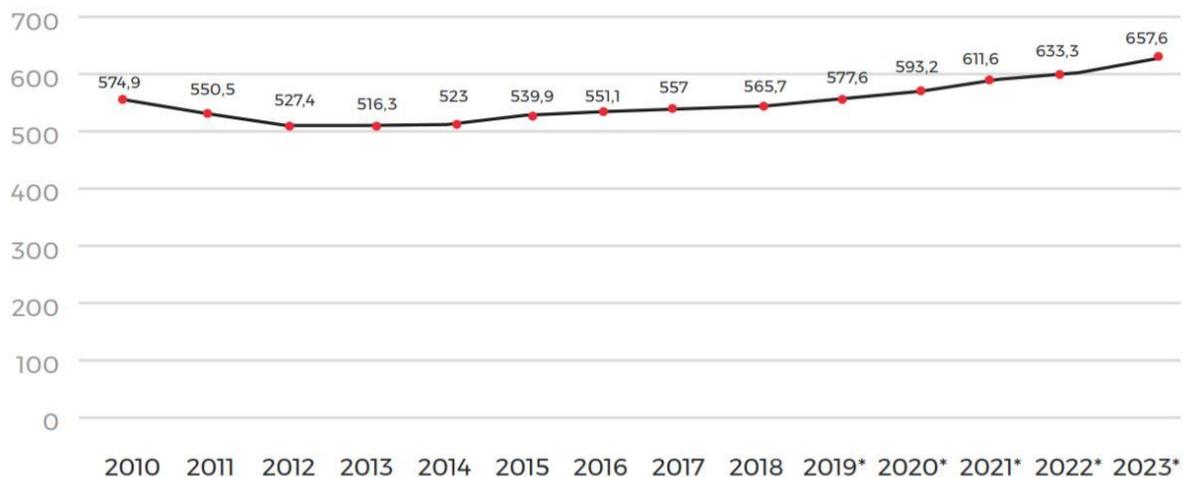


Figura 10 - Gasto per cápita en ropa y calzado en España. (EAE Business School, 2018)

Además, tal y como vemos en la anterior figura, la tendencia indica que estos datos subirán año a año, hasta alcanzar un aumento del 16% en el año 2023 respecto a 2018, llegando a los 657,6 euros, lo que significa un aumento de casi 100 euros en el gasto anual per cápita en este sector.

4.1.4 A nivel regional - Cantabria

En la comunidad autónoma de Cantabria, un total de 682 ocupados se dedicaban al sector textil, que representaba casi el 3% del volumen de negocios, con una facturación de 149 millones de euros en el año 2017. Además, este sector exporta el 21,5% a la Unión Europea y el 26,2% al resto del mundo (ICANE, 2017).

El número de locales en Cantabria cuya actividad principal era la industria textil, confección, cuero y calzado era un total de 92, lo que representa el 4% del total de establecimientos en Cantabria. (ICANE, 2017)

La empresa más importante y con más renombre del sector en Cantabria es Textil Santanderina SA, la cual ocupa el número 1 en el ranking de empresas a nivel nacional, dentro del sector de la fabricación de tejidos textiles, según el número de ventas, con una facturación de 93.132.105€ en 2018, lo que la sitúa en el puesto 2157 de empresas a nivel nacional según su facturación (El Economista, 2020).

Los orígenes de Textil Santanderina se remontan a 1923, aunque la empresa, tal y como está estructurada hoy en día, inició su andadura en 1959 con la llegada de Juan María Parés a la

dirección general. El grupo textil actualmente trabaja para compañías de moda como Inditex, Mango, Cortefiel, Pepe Jeans, Esprit, C&A, Marks&Spencer, Abercrombie&Fitch o el grupo VF Corporation, entre otras.

La empresa cuenta con un profundo compromiso con la investigación y el diseño que le han permitido establecerse con éxito en el mercado internacional, con proyectos que se preocupan por el estado del planeta y el medioambiente como son FIBERCLEAN™ o SEAQUAL INITIATIVE entre otros.

FIBERCLEAN™ es un proyecto de I+D+i liderado por Textil Santanderina que tiene como objetivo reducir la emisión de microfibras a través de la fabricación y el ciclo de vida de tejidos y prendas de vestir. El proyecto reúne a fabricantes de filamentos, hilos y telas; fabricantes de auxiliares para textiles y lavado, fabricantes de lavadoras y detectores, y empresas de gestión de aguas residuales, cerrando el ciclo de la cadena textil.

Otro de los proyectos más importantes y con mayor impacto a nivel medioambiental es SEAQUAL INITIATIVE, un proyecto internacional que reúne a personas, organizaciones y empresas alrededor del mundo para luchar contra la contaminación de los plásticos. La idea es la fabricación de poliéster reciclado a partir de residuos extraídos del mar, con la que ya han conseguido retirar de los mares y océanos casi 100 toneladas de basura marina.

4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL

El impacto medioambiental de la industria de la moda tiene muchos ámbitos importantes que hay que tener en cuenta y que no se deben pasar por alto.

En primer lugar, durante los procesos de producción de los textiles la cantidad de agua que se utiliza supera los 93.000 millones de metros cúbicos de agua al año (Ellen MacArthur Foundation, 2017), lo que es un 4% de la extracción mundial de agua dulce (Ellen MacArthur Foundation, 2017) y que equivale al agua necesaria para satisfacer las necesidades de cinco millones de personas (Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo, 2019).

Otro de los principales problemas que tiene esta industria es el tratamiento de los efluentes. Y es que estos, en los países que no hay leyes muy restrictivas, no se procesan correctamente, por lo que todos los productos químicos que contienen por su uso durante los procesos de

producción y teñido acaban contaminando el agua de los ríos. Anualmente, se consumen 43 millones de toneladas de productos químicos para la producción de textiles (Ellen MacArthur Foundation, 2017), por lo que se hace necesario un procesamiento eficiente que trate estos efluentes de manera efectiva. De hecho, las aguas residuales que genera esta industria son el 20% de todas las aguas residuales generadas en todo el planeta (Fashion Network, 2018). Tanta es la contaminación de estos ríos, que se dice que si quieres saber cuál es el color de moda de la próxima temporada, solo debes ver el color de los ríos en China.



Figura 11 - Agua contaminada tras el teñido de prendas de ropa. (GettyImages, 2011)

Uno de los principales inconvenientes del uso de materiales sintéticos en la industria textil es el desprendimiento de microfibras que se produce durante el lavado de esta ropa. Y es que, cada año, llegan al mar medio millón de toneladas de estas microfibras, lo equivalente a más de 50.000 millones de botellas de plástico (Ellen MacArthur Foundation, 2017), o a tirar directamente 3 millones de barriles de petróleo (Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo, 2019).

Los países que no tienen muy desarrollada la generación de energía con fuentes de energía renovables, dependen fuertemente de la energía no renovable, y esto se nota mucho en las

industrias con más importancia de estos países, y es el caso de la industria de la moda, que hace uso de 98 millones de toneladas de recursos no renovables al año (Ellen MacArthur Foundation, 2017). La producción de fibras para textiles provenientes del petróleo utiliza aproximadamente 342 millones de barriles de petróleo cada año, y se estima que la producción de algodón requiere 200.000 toneladas de pesticidas y 8 millones de toneladas de fertilizantes anualmente (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Estos datos equivalen al 24% del uso mundial de insecticidas y al 1% de pesticidas (United Nations - UNECE, 2018).

Todos estos datos resultan en que, en 2015, las emisiones de GEI emitidas en la producción de textiles eran de 1.200 millones de toneladas de CO₂eq, lo que se traduce en más emisiones que las que producen todos los vuelos internacionales y envíos marítimos juntos (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

La implantación de una economía circular en la industria de la moda beneficiaría en gran parte todos estos inconvenientes. Conocemos el gran problema que existe en la producción de los plásticos, y es que con el reciclaje de plásticos se puede ahorrar hasta 2/3 de la energía necesaria para la producción de plástico nuevo (Greenpeace España, 2016). Una tonelada de PET reciclado, utilizado por ejemplo en bolsas de plástico o envases de botellas, equivale a ahorrar 1,8 toneladas de petróleo (Greenpeace España, 2016). Además, cada año, se pierden más de 500.000 millones de dólares debido a la falta de reciclaje y subutilización de la ropa (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Por ejemplo, la Asociación ASIRTEX afirma que 800.000 toneladas de desechos textiles acaban en la basura, lo que refleja la gran oportunidad que surge en este tipo de reciclaje.

Impacto social

La producción y el consumo masivo de productos trae a las empresas la necesidad de seguir produciendo para generar el mayor beneficio posible. Por ello, estas empresas tratan de reducir el coste de sus productos hasta el extremo de no poder controlar toda la trazabilidad del producto. La producción de los textiles se ha deslocalizado a países con regulaciones poco restrictivas que abaratan todos estos costes.

Al final, esto se produce porque las empresas presionan a sus proveedores directos para que reduzcan sus costes, lo que obliga a estos a subcontratar a más proveedores para cumplir con

lo pedido, a los cuales ya no controla la empresa. Esto se confirma con la cita expuesta anteriormente y que proporciona una consultora que se encarga de analizar la transparencia de las cadenas de suministro: “una compañía de prendas de vestir podría pensar que solo tiene 1.000 o 2.000 proveedores, cuando en realidad pueden llegar a tener de 20.000 a 50.000 cuando se tienen en cuenta los subproveedores, por lo que es un verdadero desafío para las empresas mapear toda la cadena de suministro al haber tal cantidad de terceros involucrados” (McKinsey&Company, 2019). Y esto es un gran problema.

En primer lugar, estas empresas tienen muy difícil poder controlar todas las medidas de seguridad que se guardan en las fábricas de los subproveedores. Un gran ejemplo de esto es el sonado accidente que se produjo en abril de 2013 en Dhaka, capital de Bangladesh, donde el edificio Rana Plaza de ocho plantas colapsó cuando miles de personas trabajaban en su interior. Esto causó 2.347 heridos y 1.127 muertos (Ramos López, 2014). El edificio presentaba grietas en su estructura y los supervisores habían declarado que el edificio era seguro, para que así no se detuviera la producción. Uno de los heridos del accidente llegó a declarar el mismo día del accidente que "ninguno de nosotros quería entrar al edificio, pero nuestros jefes nos forzaron" (Ramos López, 2014).



Figura 12 - Derrumbe del edificio Rana Plaza en Bangladesh en 2013. (El País)

A partir de este hecho, los gobiernos, diferentes firmas extranjeras, organismos internacionales y propietarios de fábricas se propusieron ofrecer una respuesta con subidas de salarios mínimos y se enmendó la ley laboral, además de crear tres planes de supervisión de fábricas y de lanzar el fondo de compensación (Fashion Network, 2015).

Por otra parte, el no poder controlar a los subproveedores hace que estos puedan fijar sus propias condiciones de trabajo, sometiendo, en ocasiones, a sus empleados a trabajar por encima de sus límites, en condiciones de seguridad infrahumanas, trabajando hasta 16 horas diarias, pagadas con sueldos precarios y empleando incluso a niños menores.



Figura 13 - Menores trabajando en una fábrica de textiles en Bangladesh. (Casillas - Rex Shutterstock)

Un buen ejemplo de esto lo muestra Kalpona Akter, directora ejecutiva del Centro de Bangladesh de Solidaridad con los Trabajadores (BCWS), ya que desde los 15 años trabajó en una de estas fábricas textiles, fue maltratada, amenazada si no cumplía con las tareas requeridas, trabajaba hasta 16 horas diarias los 7 días de la semana, por lo que al final de mes había trabajado unas 450 horas y cobraba seis dólares (Ramos López, 2014).

4.3 AVANCES E INICIATIVAS

La importancia de avanzar hacia un tipo de industria más sostenible es responsabilidad tanto de las empresas, como de los organismos gubernamentales y los consumidores.

Los gobiernos tienen que aprobar leyes y decretos que vayan en esta dirección. En muchas ocasiones, establecer estas leyes perjudica a las empresas productoras, que son las que generan beneficio y empleo, por lo que no suelen recibirlas muy bien, ya que a veces se hace difícil mantener el beneficio y, a su vez, cumplir con estas obligaciones. Por ello, los gobiernos deben premiar a las empresas que cumplen y/o sancionar a las que no lo hacen.

Greenpeace España apoya una propuesta para potenciar una fiscalidad ambiental que recaude, como mínimo, la media europea, lo que significa el 2,5% del PIB (Greenpeace España, 2018). Además, señala que es muy importante priorizar el principio de “quien contamina paga”, cuyo objetivo es “que una empresa que cause daños medioambientales es responsable de los mismos, por lo que debe tomar las medidas preventivas o reparadoras necesarias y sufragar todos los costes relacionados” (EUR-Lex, 2020).

Por otra parte, las empresas tienen el deber de diseñar su estrategia de negocio de tal manera que sea viable la implantación de una economía circular que pueda ir acorde con su estrategia de beneficios, ya que son entidades con ánimo de lucro. Por ello, además de ser una oportunidad de negocio que actualmente está en auge, muchas empresas del sector textil están optando por iniciar proyectos que vayan en esa dirección.

Como hemos comentado en otro apartado anterior, la empresa textil cántabra Textil Santanderina SA tiene entre sus proyectos dos iniciativas que buscan, una, mejorar los procesos de producción como es FIBERCLEAN™ y otra, que tiene como finalidad limpiar los mares de plásticos, SEAQUAL INITIATIVE.

La empresa Ecoembes, por ejemplo, ha lanzado un sistema que ofrece incentivos sostenibles y sociales cuando vamos a reciclar latas y botellas de plástico en los contenedores o máquinas que han dispuesto para ello, y de esta manera se incentiva el reciclaje y aparece mayor cantidad de materia prima reciclada para utilizar en nuevos productos textiles o de otro ripo..

Varios proyectos a nivel europeo también están siendo financiados por entidades europeas para que salgan adelante. Algunos de ellos son:

- RESYNTEX: es un proyecto que desarrolla nuevas tecnologías de reciclado bioquímico para los residuos textiles postconsumo. También está tratando de utilizar los residuos textiles recuperados para transformarlos en componentes básicos de nuevos productos químicos.
- E-BIZ 4.0: esta iniciativa persigue la colaboración de empresas de la industria textil y de la moda para que intercambien datos sobre las cadenas de montaje de sus industrias. De este modo, se mejora la gestión de los almacenes y la trazabilidad de

los productos, de modo que no se creen excedentes que terminen como desechos en vertederos.

- ECWRTI: este proyecto se centra en evitar productos químicos que contaminan durante los procesos de producción de la industria de la moda, y hacer uso de una tecnología de electrocoagulación a través de una membrana de filtración para conseguir reducir el consumo de agua. De este modo, se consigue reciclar el 90% del agua utilizada.
- DeNTreat: esta iniciativa investiga nuevos tratamientos para evitar el nivel de contaminación de nitrógeno que se acumula en las aguas residuales debido a los procesos de pretratamiento antes de realizar el estampado digital de las prendas de vestir.

Por una parte, las empresas son las organizaciones que diseñan y producen, pero por la otra, son los consumidores los que compran esos productos y contribuyen a que esas empresas sigan produciendo, por lo que los deberes por parte del consumidor son igual de importantes que los desarrollados por empresas y gobiernos.

El consumidor debe ser consciente del gran problema que existe en la industria de la moda para, posteriormente, valorar cómo podría ayudar a combatirlo. En primer lugar, se debe consumir lo que realmente se necesita y hace falta y, en segundo lugar, una vez que nos decidimos a comprar, es necesario consumir responsablemente.

Los consumidores y, en general, la sociedad, tienen el compromiso de exigir a las empresas y a los gobiernos la elaboración de leyes, cambios e iniciativas. Existen muchas iniciativas que ofrecen todo tipo de productos sostenibles con el medio ambiente, por lo que otra responsabilidad que tiene el consumidor es la de apoyar estas iniciativas que luchan por cuidar el planeta.

Una iniciativa prometedora. Clotsy Brand

Hemos podido hablar con un ejemplo de iniciativa que tiene muy claros los objetivos hacia donde tienen que dirigirse tanto las empresas como los consumidores para hacer frente a

este problema. Se llama Clotsy Brand, y es una iniciativa española creada a principios de este año por unos jóvenes que se propusieron el objetivo de hacer realidad una idea que fuera acorde con sus valores.

Nos cuentan que el nombre de esta iniciativa viene de la mezcla de dos palabras en inglés. La primera de ellas *“clothes”* (prendas de vestir) y la otra es *“sea”* (mar). Y efectivamente, esta iniciativa utiliza textiles creados a partir de botellas de plástico recogidas del mar, concretamente del mar Mediterráneo, para crear sus camisetas de poliéster reciclado. Además, estas camisetas no solo están hechas de este material, si no que el otro 50% está hecho de algodón reciclado.

Otro punto muy importante que saben que es crucial para reducir la contaminación, es el lugar de producción tanto de los hilos como de los tejidos, y es que estas camisetas sostenibles no solo están hechas de materiales reciclados, sino que, además, están producidas en la península ibérica. Concretamente el hilo se produce Valladolid y este se teje en Portugal, y optan en todo momento por el transporte por tierra tanto para estos desplazamientos como para los envíos que realizan, ya que la contaminación generada es menor.

También tienen muy claro que quieren hacer todo lo posible por transmitir esos valores a la sociedad, y esto lo han solucionado creando unos diseños que plasman a la perfección sus intenciones, los cuales han tenido una gran acogida entre sus seguidores.



Figura 14 - Camiseta “Save the Ocean” de poliéster reciclado y algodón reciclado. (Clotsy Brand, 2020)

En este caso, a lo largo de todo el proceso de producción, ahorran más de 1.500 litros de agua y reciclan 10 botellas de plástico cada vez que una de sus camisetas sale del taller.

A principios de junio de este año, desde la ONG francesa *Opération Mer Propre*, alertaron de que pronto habría más mascarillas que medusas en el mar Mediterráneo, lo que es una noticia bastante estremecedora. Por ello, en las últimas semanas, estos jóvenes se han centrado en la producción de mascarillas reutilizables, porque han visto cómo, de nuevo, el plástico y sus residuos volvían a ser un problema a nivel mundial. Estas mascarillas están hechas con lycra reciclada y también están producidas en España.



Figura 15 - Mascarilla reutilizable de lycra reciclada. (Clotsy Brand, 2020)

Son muy conscientes de que los microplásticos son un gran problema que tienen los tejidos sintéticos, y es que, casi un tercio de los plásticos arrojados cada año al mar son microplásticos (UICN, 2017). Por eso han decidido ofrecer bolsas que evitan que los microplásticos lleguen al mar. Y es que, estas prendas de materiales sintéticos, cuando se lavan sueltan gran cantidad de microplásticos, que, si no se evitan, van directamente al mar. Otra opción para evitar esta deposición de microplásticos en los mares, es diseñar lavadoras que vengan con filtro incluido contra microplásticos. En Francia, ya hay un decreto que dicta que, a partir del 1 de enero de 2025, las lavadoras que se vendan en este país tendrán que venir con este tipo de filtros y, además, proponen que esta sea una regulación a nivel europeo.

Una de las novedades que más han sorprendido y gustado a los seguidores de esta iniciativa es la inclusión de etiquetas sostenibles. Y es que estas se suelen cortar y tirar, generando mayor cantidad de residuos. En este caso, las etiquetas están hechas de semillas, por lo que, una vez que se cortan, se pueden plantar para obtener la planta correspondiente. Estos pequeños detalles demuestran lo comprometidos que están estos jóvenes con el planeta y su conservación.

Pero también saben lo complicado que es hacerlo bien y, además, cubrir las necesidades del consumidor, y es que una de las principales desventajas que ven estos últimos es el precio que se dejan por una camiseta que, en otro sitio, se dejarían unos pocos euros. Por eso nos cuentan que las camisetas hechas de esta manera tan sostenible no tienen nada que ver con una camiseta que te compras en cualquier tienda, ya que los valores que persiguen una camiseta y otra son totalmente diferentes.

Otro ejemplo de iniciativa más cercano a Cantabria es el desarrollado por tres jóvenes cántabras que persiguen un objetivo muy parecido al de Clotsy Brand. Esta iniciativa cántabra llamada Ecool Clothes ha recibido recientemente el premio UCem de emprendimiento universitario de la Universidad de Cantabria a la mención honorífica en responsabilidad social, ya que su objetivo principal es el de implantar tanto una economía circular como una economía local en la comunidad autónoma. Fabrican bolsas hechas de poliéster reciclado proveniente de plásticos recogidos del mar mediterráneo y de algodón orgánico. Como desean impulsar una economía local, están tratando de realizar esta recogida de residuos plásticos en el mar cantábrico, contactando con empresas de la región para que realicen convenios con los pescadores que puedan realizar esta recogida de residuos.

Como hemos expuesto, son muchas las iniciativas que surgen continuamente para evitar unos u otros inconvenientes que tiene tanto la industria de la moda como la industria de los plásticos en general, las cuales, unidas, son culpables de una gran cantidad de contaminación del medio ambiente.

5 POLIÉSTER (PET)

El polietilentereftalato (PET o PETE) es una resina sintética termoplástica o poliéster termoplástico producido principalmente a partir de compuestos provenientes del petróleo, que tiene excelentes propiedades. Es extremadamente duro, dimensionalmente estable, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico, por lo que es apto para ser transformado mediante diferentes procesos como el de extrusión, inyección, o soplado. También tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo o semicristalino.

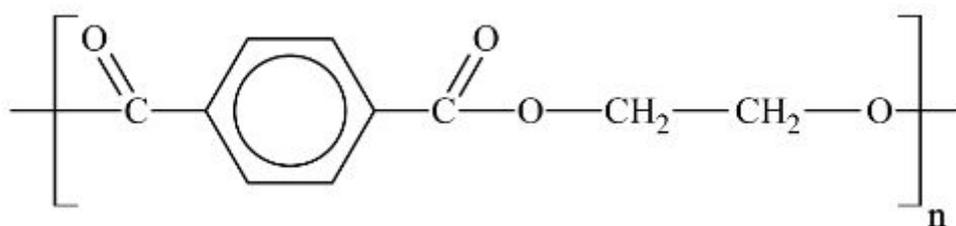


Figura 16 - Estructura química del polietileno tereftalato (PET)

Su uso es comúnmente conocido, principalmente en los envases fabricados de este material. Durante el año 2007, la producción mundial de PET fue de 46 millones de toneladas, lo que significaba un 15% de la producción total de los polímeros sintéticos y lo convertía en el tercer polímero sintético más importante junto al polietileno (PE) y al polipropileno (PP) (Shen, Worrell, & Patel, 2012).

Según el código RIC (Código de Identificación de Resinas) desarrollado por la Sociedad de Industrias Plásticas (SPI) para la identificación de los residuos plásticos, la resina de PET se identifica con el número 1 rodeado por tres flechas y acompañado de las siglas PET en la parte inferior (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, 2010). Dicho código se encuentra generalmente en el fondo de los envases fabricados con este material.



Figura 17 - Código de Identificación de Resinas. (Ministerio del Interior y REMER, 2020)

Tipos de PET

Se pueden distinguir, fundamentalmente, tres tipos de PET en cuanto a la finalidad que tenga cada uno: el grado textil, el grado botella y el grado film.

El grado textil fue la primera aplicación industrial del PET. Durante la Segunda Guerra Mundial se usó para reemplazar a fibras naturales como el algodón o el lino. Desde el principio, al PET de grado textil, más comúnmente conocido como poliéster, se le atribuyeron excelentes cualidades para el proceso textil, como su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional como hemos señalado anteriormente, además del fácil cuidado de la prenda tejida (lavado y secado rápidos sin necesidad de planchado). Algunas de las limitaciones que presenta este material son: difícil tintura, la formación de pilling (bolitas) y la acumulación de electricidad estática, problemas para los que se están desarrollando soluciones.

El grado botella se comenzó a producir en Europa a partir de 1974 y su primera comercialización se llevó a cabo en Estados Unidos. Desde entonces ha experimentado un gran crecimiento y una continua demanda, debida principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costes de fabricación y comodidad en su manejo. La más reciente y exitosa aplicación del PET, es el envasado de aguas minerales, también se ha

comenzado a utilizar en el envasado de productos farmacéuticos, de droguería o alimenticios como salsas, mermeladas o miel.

Por último, el PET grado film, se utiliza en gran cantidad para la fabricación de películas fotográficas, de rayos X y de audio.

Otra clasificación que nos interesa realizar, para entender el posterior análisis de la huella de carbono, es la realizada según el origen de las materias primas utilizadas para la producción de PET, en donde se pueden distinguir principalmente tres tipos: el PET virgen (vPET), el PET reciclado (rPET) o el PET proveniente de productos orgánicos (bio-PET).

El PET virgen es el que se obtiene directamente a partir de diferentes fracciones de petróleo, pasando por distintos procesos químicos hasta la obtención de la resina de PET.

El PET reciclado proviene del reciclaje de residuos de este mismo material, principalmente de envases y de botellas, aunque, actualmente, del 30% de PET que se utiliza para hacer botellas, solo una pequeña fracción se recicla en fibras (Asociación de Investigación de la Industria Textil - AITEX, 2019). Además, en ocasiones, la producción de PET reciclado no se realiza 100% con material reciclado, sino que se añade una cantidad de PET virgen si se requieren unas propiedades específicas.

El bio-PET o PET bio-basado es una resina de poliéster formada por etilenglicol proveniente de residuos orgánicos y ácido tereftálico proveniente del petróleo. El etilenglicol se obtiene del etileno, el cual se ha obtenido por deshidratación catalítica del etanol biológico. Este etanol, en muchos casos, está formado por maicena en un 60% y 40% de azúcar de caña (Shen, Worrell, & Patel, 2012). Se espera que la creciente demanda de bio-PET para fabricar diversas soluciones de envasado, incluidas botellas, impulse esa demanda, que se estimó en 823.600 toneladas en 2016. En los últimos años, la mayoría del bio-PET consiste en un 70% de ácido tereftálico purificado (PTA) a base de petróleo y un 30% de monoetilenglicol (MEG) de base biológica. Sin embargo, las compañías han estado invirtiendo fuertemente en la investigación para el desarrollo de PET 100% biológico que comprende MEG biológico y PTA naturalmente derivado. (Asociación de Investigación de la Industria Textil - AITEX, 2019).

Como uno de los objetivos de este trabajo es evaluar la importancia que tiene la economía circular en la industria, en nuestro caso nos centraremos en el estudio del PET reciclado y el PET virgen, siendo este último nuestro sistema de referencia con el que lo compararemos. A

continuación, para tener más información, se hablará más sobre ellos y se explicarán los procesos de producción de cada uno.

5.1 POLIÉSTER VIRGEN (vPET)

El camino para la producción de los plásticos vírgenes hoy en día comienza con la extracción de petróleo crudo y la posterior obtención de los compuestos en las plantas petroquímicas a través de procesos como el refinado, el reformado o el craqueo.

Para la obtención de PET, se necesita primero la obtención de los dos compuestos principales: el etilenglicol (EG) y el ácido tereftálico (PTA), aunque, en algunas ocasiones, se utilizará tereftalato de dimetilo (DMT) en lugar de PTA (García Sánchez, 2017).

Para obtener el etilenglicol, en primer lugar, se realiza la síntesis del etileno obtenido del refinado y el cracking del petróleo. Posteriormente, se oxida en presencia de catalizadores hasta obtener el óxido de etileno (EO). Mediante la adición de agua al óxido, se obtiene el etilenglicol (EG), liberando gran cantidad de energía en forma de calor durante la reacción. Es muy importante que el glicol sea lo más puro posible y que esté libre de impurezas coloreadas, agua, ácidos y halógenos (Carrión Fité, 2014).

La producción del ácido tereftálico purificado se logra al mezclar el para-xileno, obtenido del refinado y el reformado catalítico de la fracción de petróleo rica en compuestos aromáticos (Carrión Fité, 2014), con el ácido acético proveniente del metanol obtenido tras la extracción de gas natural (Plastics Europe, 2020).

Una vez producidos el etilenglicol y el ácido tereftálico purificado, obtendremos el monómero de PET, el bis(2-hidroxi-etileno) o BHET ($C_{12}H_{14}O_6$), por esterificación directa entre ambos (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005). Este proceso se puede realizar sin necesidad de utilizar un catalizador si se realiza a gran temperatura ($275^{\circ}C$) ya que así ocurrirá a gran velocidad (Carrión Fité, 2014). Además, en este caso, únicamente será necesario eliminar el agua como producto secundario (Carrión Fité, 2014).

La obtención del BHET también se puede realizar, como hemos apuntado anteriormente, utilizando dimetiltereftalato en vez de PTA. En este caso, el DMT se obtiene a partir del para-xileno y del metanol, a diferencia que el PTA, que utilizaba ácido acético.

A continuación, se obtiene el monómero de PET por transesterificación del DMT con etilenglicol (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005). Durante este proceso, la mezcla se calienta por encima de los 150°C y se obtiene metanol como subproducto, el cual se eliminará por destilación (Carrión Fité, 2014).

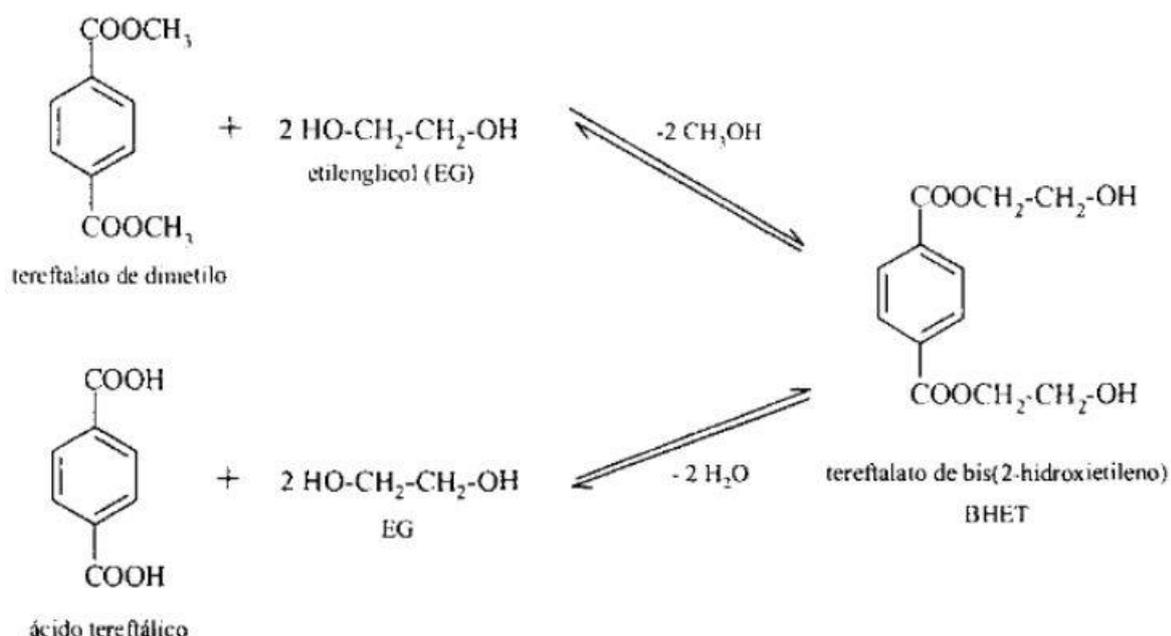


Figura 18 - Obtención del BHET a partir de DMT y a partir de PTA. (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005)

Como hemos visto, la obtención del BHET se puede realizar por dos caminos diferentes, pero el proceso con PTA ofrece una serie de ventajas frente al DMT. Estas ventajas son, principalmente, las siguientes: menor tiempo de reacción para lograr el peso molecular, uso de agua en vez de metanol como agente de condensación o menor coste del ácido tereftálico (Plastics Technology México, 2016). Esta serie de ventajas han hecho que, en la actualidad, la mayoría de las plantas petroquímicas opten por la obtención del monómero a partir del ácido tereftálico purificado y no a partir del DMT (Plastics Technology México, 2016).

El siguiente paso es obtener el polímero de PET a través de la polimerización del monómero hasta alcanzar el peso molecular deseado. Para ello, se realiza un proceso de policondensación en estado fundido (MPP) del BHET para incrementar la longitud de la cadena del polímero (Plastics Technology México, 2016).

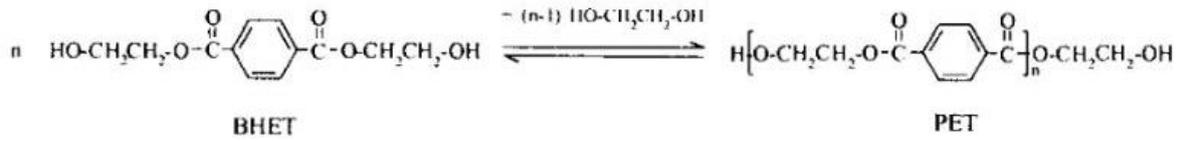


Figura 19 - Condensación del BHET para formar PET. (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005)

Será necesario el empleo de trióxido de antimonio (Sb₂O₃) como catalizador y una disminución de la presión para una eficiente eliminación del etilenglicol como subproducto y así poder obtener el peso molecular deseado (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005). Para la posterior transformación en fibras textiles, el peso molecular ha de ser bastante alto, en torno a 20 kg/mol (Carrión Fité, 2014).

El grado de polimerización se deduce a partir de la viscosidad del fundido o viscosidad intrínseca, la cual tiene unidades de volumen/masa y está directamente relacionada con el peso molecular promedio del polímero en solución (Berghoff, 2011). Cuando se alcanza el valor deseado, la reacción se detiene aplicando nitrógeno a presión (Carrión Fité, 2014). Una vez finalizada la policondensación en estado fundido, se obtiene el polímero de PET amorfo, el cual suele tener un rango de viscosidad intrínseca de entre 0.45 y 0.65 decilitro/gramos, con un contenido entre 30 y 150 ppm de acetaldehído (Plastics Technology México, 2016).

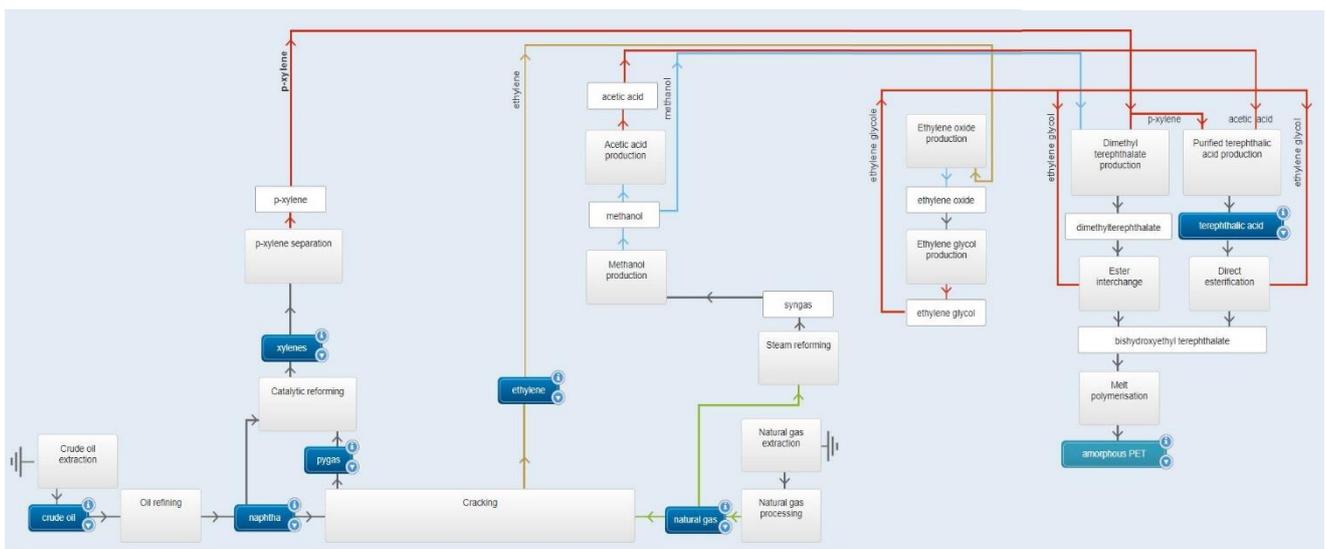


Figura 20 - Proceso de producción del PET amorfo. (Plastics Europe, 2020)

El PET amorfo fundido pasa, debido a la presión ejercida por el nitrógeno, por un tamiz en la base del autoclave para darle forma de hilos y se le hace pasar por agua fría para que solidifique el polímero líquido (Carrión Fité, 2014). Antes de que el material esté totalmente solidificado, los hilos llegan a las cortadoras que los transforman en pellets (Carrión Fité, 2014). Posteriormente se secan con aire y se almacenan para su posterior transporte. El aspecto final de estas etapas en fase fundida es un material pelletizado transparente y amorfo (García Sánchez, 2017).

Las fibras de poliéster utilizadas en los tejidos textiles se obtienen a partir del PET amorfo conseguido a través de los procesos explicados anteriormente. En cambio, si se quiere obtener PET de grado botella, el PET amorfo deberá pasar algún proceso adicional hasta conseguir un PET algo más cristalino.

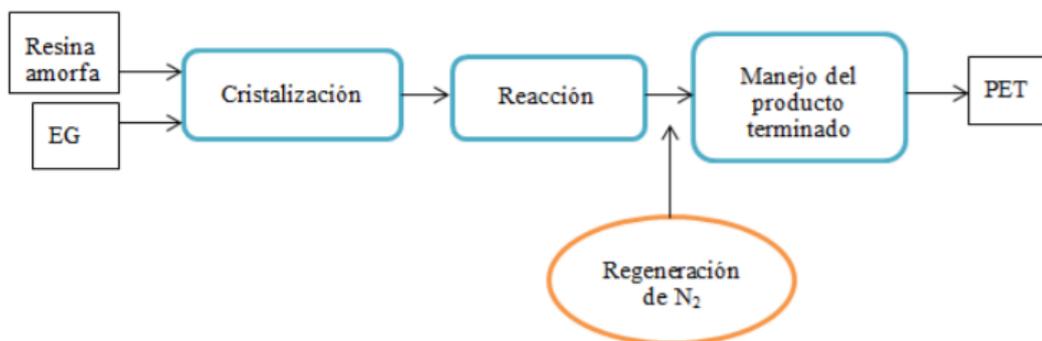


Figura 21 - Etapas de la polimerización en estado sólido (SSP) del PET. (García Sánchez, 2017)

Para ello, tras finalizar las etapas de la fase fundida, se lleva a cabo un proceso en fase sólida, conocida como polimerización en estado sólido (SSP), que consta de varias etapas en fase sólida. El objetivo de estas es aumentar la viscosidad del polímero y lograr una temperatura de fusión uniforme, además de conseguir una cristalización parcial del material (Plastics Technology México, 2016).

En primer lugar, se realiza la etapa de cristalización para evitar que se peguen entre ellos durante el posterior proceso de reacción. Durante esta etapa, los pellets de PET se calientan con aire caliente aproximadamente a 170°C hasta que se alcanza la mayor parte del nivel de cristalización deseado (García Sánchez, 2017).

La siguiente etapa es la de reacción, en la que los pellets se hacen pasar por una corriente de N_2 caliente a unos $210^\circ C$ y así lograr eliminar los productos innecesarios del proceso de policondensación, como el agua, el etilenglicol o el acetaldehído. A continuación, se enfrían para así detener la reacción de policondensación en estado sólido (García Sánchez, 2017).

Tras estas etapas en fase sólida se logra una viscosidad aproximada de entre 0,68 y 0,85 y se reduce el contenido de acetaldehído a menos de 1ppm (Plastics Technology México, 2016), dando lugar a pellets opacos de color blanquecino (García Sánchez, 2017). Una vez se obtiene este PET parcialmente cristalino de grado botella, se transforma en un envase de este material tras un proceso de moldeo por soplado (Plastics Europe, 2020).

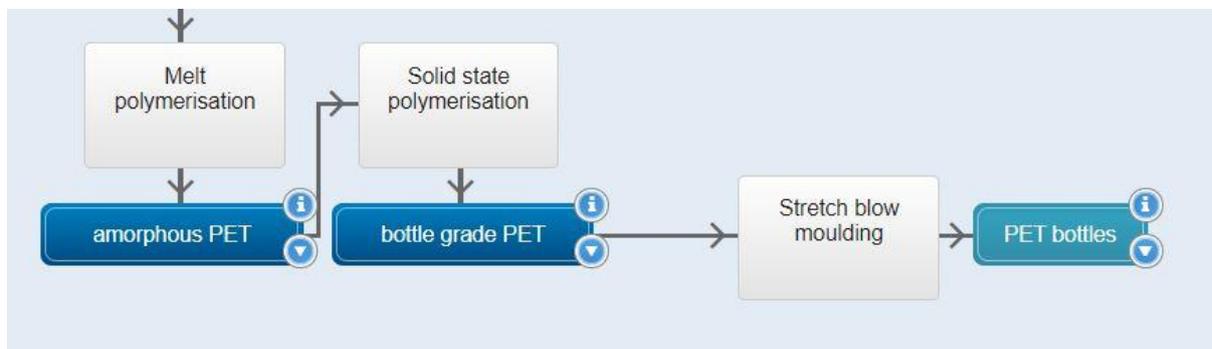


Figura 22 - Proceso de obtención del PET de grado botella a partir del PET amorfo. (Plastics Europe, 2020)

En el caso de que se quisiera conseguir el PET de grado film, una vez se tiene el PET amorfo, habría que realizar una extrusión por soplado para obtener la película o lámina de este material.



Figura 23 - Proceso de obtención del PET de grado film a partir del PET amorfo. (Plastics Europe, 2020)

5.2 POLIÉSTER RECICLADO (rPET)

Para la obtención del PET reciclado, se necesitan, principalmente, los residuos generados de este material, ya que es la materia prima. Tras su recogida, deben pasar una serie de procesos hasta transformarlos en los productos deseados.

En 2007, 4,5 millones de toneladas de botellas de PET fueron recogidas y recicladas para obtener 3,6 millones de toneladas de escamas de PET reciclado (Thiele, 2009). De este PET reciclado se pueden obtener, entre otros, fibras textiles, cinta de fleje, películas de PET amorfo o incluso se pueden volver a fabricar botellas de este material, lo que sería un reciclaje de ciclo cerrado al ser el producto inicial y final el mismo.

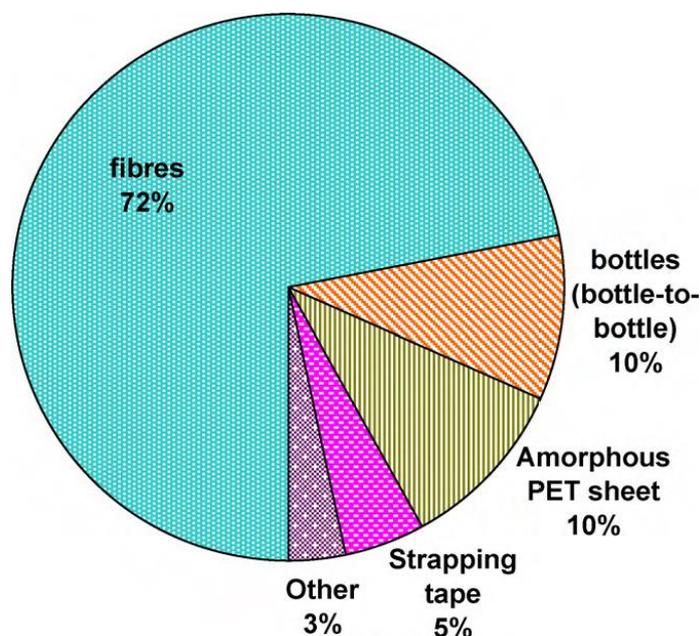


Figura 24 - Aplicaciones del PET reciclado (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

Algunas de las posibles soluciones que se dan para la utilización del PET reciclado son las siguientes (López, 2016):

- Reciclado del PET para la obtención de pellets para la industria de envases y otros no destinados al consumo humano.
- Reciclado del PET para la obtención de fibra de poliéster para la industria textil.
- Reciclado del PET para la obtención de fibra sintética para la industria de las alfombras.

- Reciclado del PET para la industria de mobiliario doméstico.
- Reciclado del PET para relleno térmico.
- Reciclado del PET para material de relleno.
- Reciclado del PET para la obtención de láminas para fabricación de blísters y cajas.
- Reciclado del PET para la obtención de cinta de fleje, que es una cinta de gran tenacidad la cual puede ser producida de PET con una gran viscosidad intrínseca (>0.80) y mínima en contaminación, la cual compite con el acero y el polipropileno.
- Reciclado del PET para su utilización en materiales de construcción.

En este trabajo, nos vamos a centrar en el reciclaje de residuos de PET, principalmente botellas, para su transformación en fibras textiles a través de un reciclaje de ciclo abierto. La cantidad de fibras textiles recicladas a partir de botellas de plástico fue de 2,6 millones de toneladas en el año 2007 (Thiele, 2009). Los procesos de reciclaje que hemos visto pueden ser mecánico, químico o energético, por lo que para la obtención de PET reciclado se podrá utilizar tanto el mecánico como el químico.

En este estudio, para la obtención de fibras de PET reciclado a partir de botellas de PET, se analizarán 4 tipos de reciclaje (Shen, Worrell, & Patel, 2010), siendo dos de ellos mecánicos y los otros dos químicos.

En primer lugar, tenemos el reciclaje mecánico, en el cual se obtienen primeramente escamas de PET reciclado a partir de las botellas de plástico recogidas y atravesando varios procesos de limpieza, clasificación y corte principalmente. Como vemos en la siguiente figura, hay un eficiencia del 75% (Shen, Worrell, & Patel, 2010), ya que se pierde una cuarta parte del material durante todos el proceso.

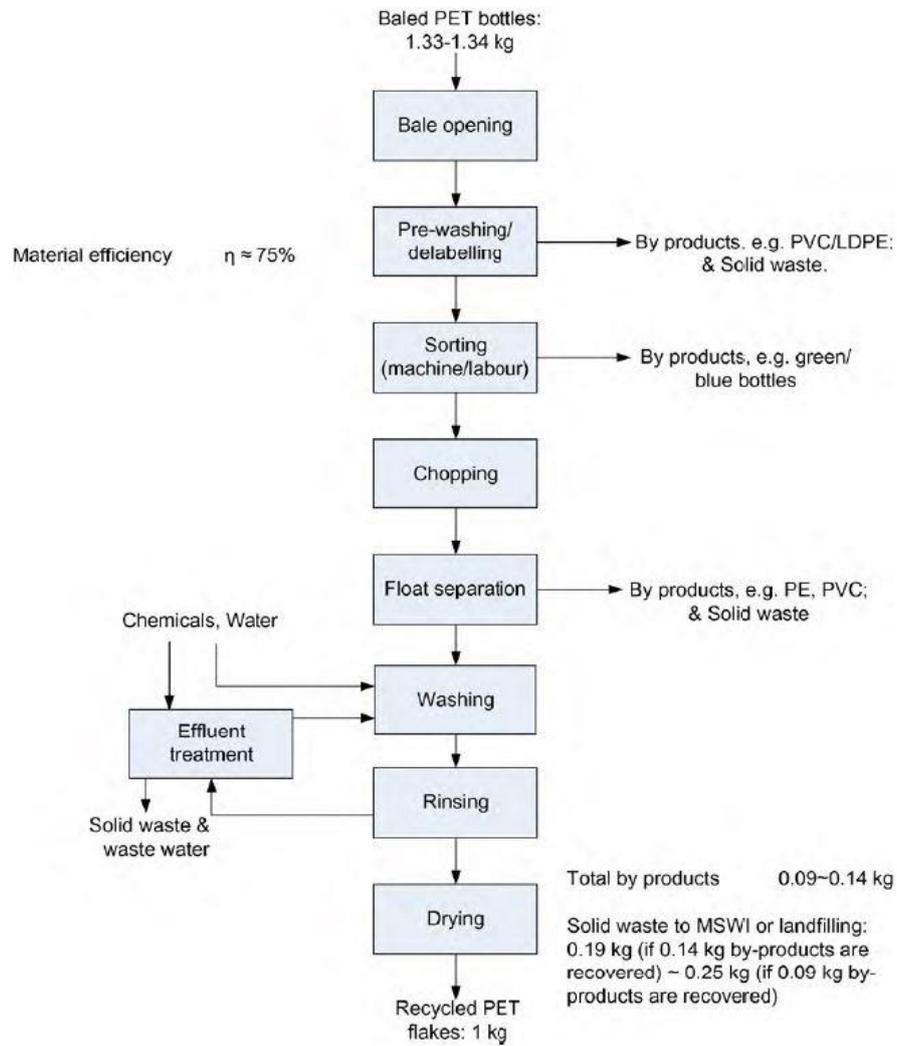


Figura 25 - Proceso de producción de escamas de PET recicladas a partir de residuos de botellas de PET. (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

Tras obtener las escamas de PET recicladas, las fibras se pueden obtener de dos maneras diferentes: transformando estas escamas directamente en fibra corta o realizando un paso intermedio obteniendo pellets y posteriormente obtener fibra larga. El primer proceso se conoce como reciclaje mecánico, mientras que el segundo se ha llamado reciclaje semimecánico (Shen, Worrell, & Patel, 2010). A continuación, se presentan los procesos que intervienen en estas dos opciones para observar las diferencias entre ambas.

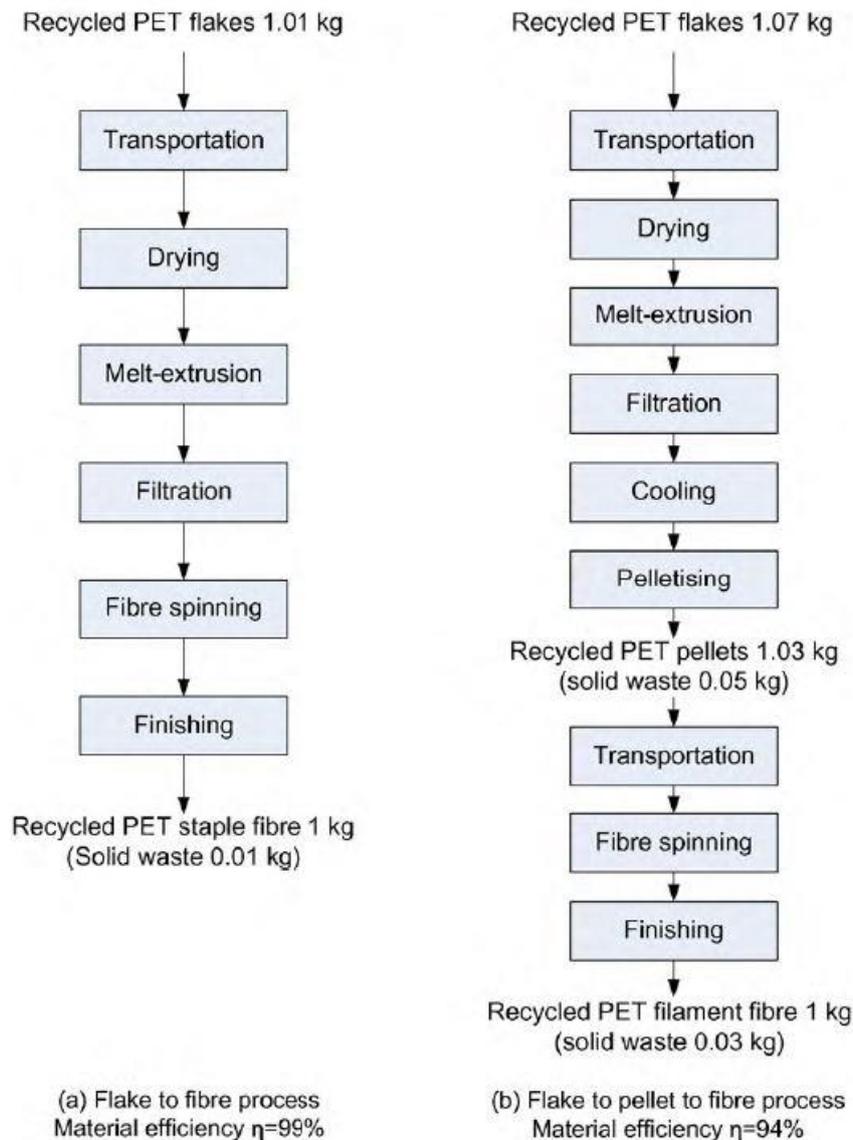


Figura 26 - Procesos de reciclaje mecánico y semimecánico para la obtención de fibras de PET. (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

Como hemos señalado anteriormente, también se pueden realizar dos tipos de reciclaje químico si se desean obtener fibras de PET recicladas a partir de residuos de botellas de PET. En primer lugar, está el reciclaje químico en el cual se retrocede en su proceso químico hasta obtener el BHET, monómero del PET, a través de un proceso de despolimerización por glicólisis (Shen, Worrell, & Patel, 2010). A continuación, se repolimeriza y se producen los pellets de PET reciclados para, posteriormente, transformarlos en fibra larga. Este proceso tiene una eficiencia del material del 96% (Shen, Worrell, & Patel, 2010).

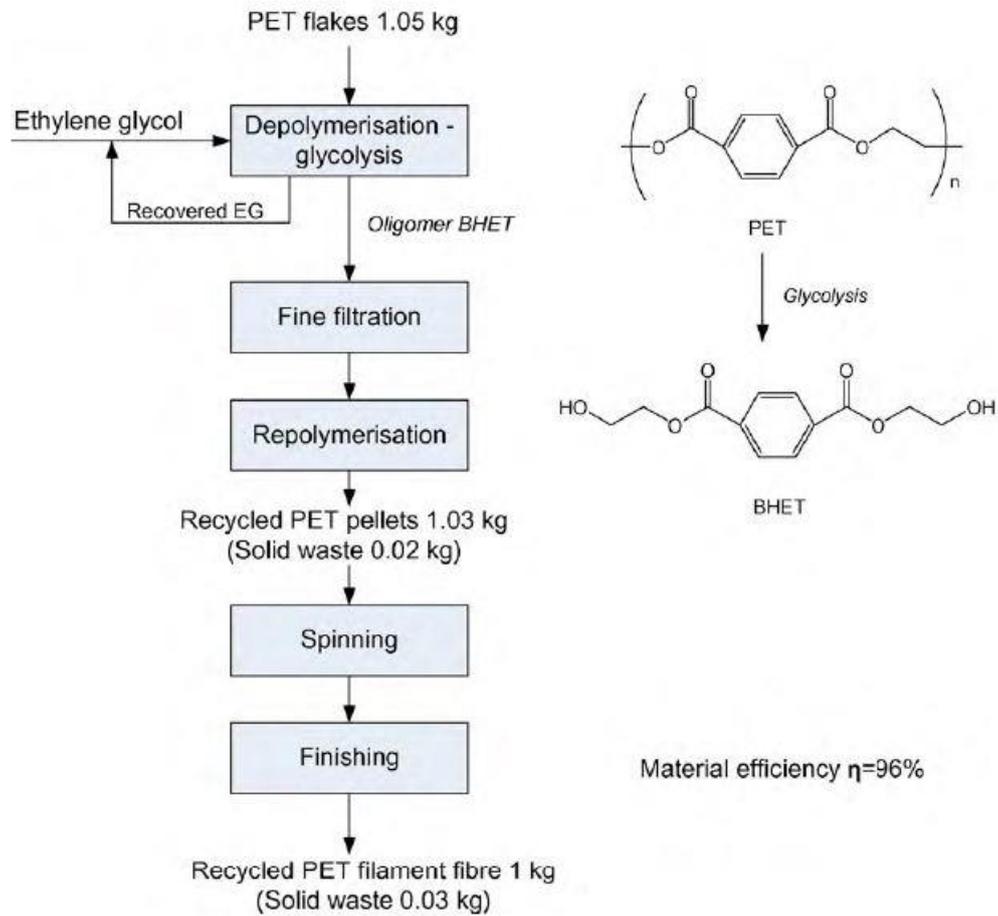


Figura 27 - Reciclaje químico mediante glicólisis con vuelta al BHET. (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

En segundo lugar, se puede volver hasta uno de los principales compuestos del PET, el DMT, mediante un proceso de despolimerización por metanólisis y, posteriormente, repolimerizarlo para obtener la fibra de PET reciclado (Shen, Worrell, & Patel, 2010). En la siguiente figura se muestran estos procesos.

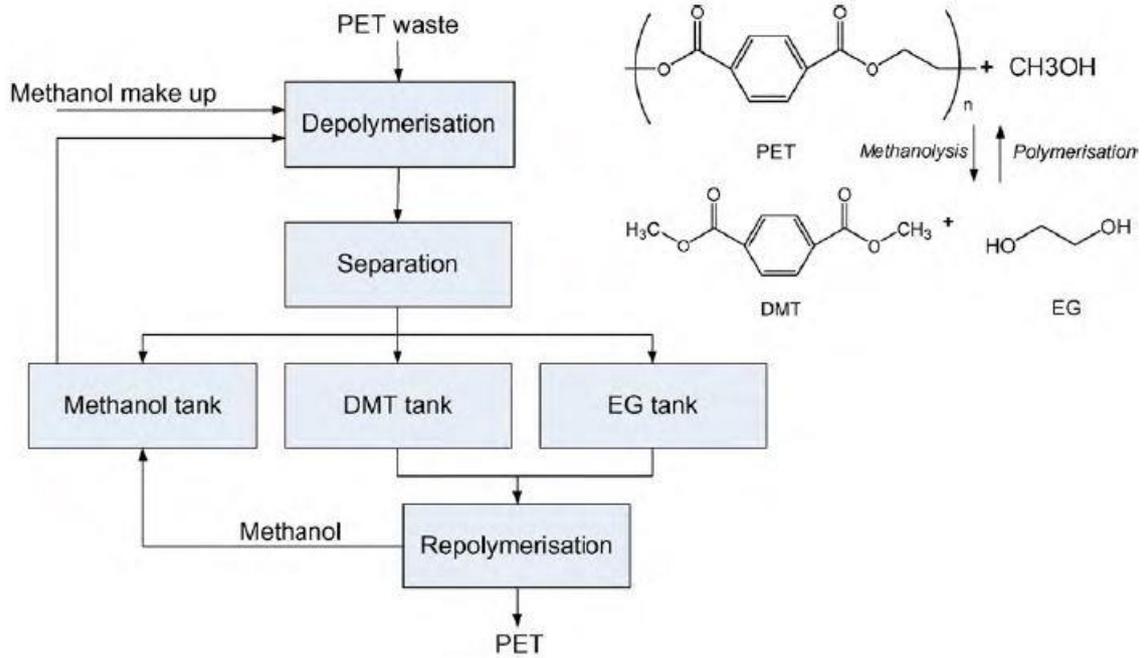


Figura 28 - Reciclaje químico mediante metanólisis con vuelta al DMT. (Shen, Worrell, & Patel, 2010)

Especialmente, cuando los residuos plásticos están limpios y compuestos de un solo tipo de plásticos, el reciclaje mecánico o semimecánico es el más atractivo.

6 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Una vez que en la metodología ya se han definido los objetivos, el alcance, la unidad funcional y los límites del sistema, el siguiente paso es la búsqueda de los datos necesarios para la realización del cálculo de la huella de carbono.

En primer lugar, calculamos la cantidad de material que tendremos en cada proceso del ciclo de vida del producto. Se ha definido un peso final de las camisetas de 156 gramos, pero, durante los procesos de manufactura, existe una pérdida de material que es diferente para cada uno de ellos, lo tendremos en cuenta para este estudio. Se exponen a continuación estas pérdidas para el poliéster y para el algodón (Marks and Spencer plc, 2002), en donde se aprecia una pequeña diferencia entre ambos, por lo que la fibra necesaria al principio de cada proceso será diferente para cada material.

Tabla 5 - Pérdida de material del poliéster durante su manufactura. (Marks and Spencer plc, 2002)

Proceso	Pérdidas de material (%)	Fibra de salida (g)
Fibra		179,02
Preparación de la fibra	2,00	175,51
Hilatura	1,00	173,78
Tejeduría	3,00	168,71
Tintado y acabado	3,00	163,80
Confección	5,00	156,00

Tabla 6 - Pérdida de material del algodón durante su manufactura. (Marks and Spencer plc, 2002)

Proceso	Pérdidas de material (%)	Fibra de salida (g)
Fibra		177,29
Preparación de la fibra	2,00	173,81
Hilatura	1,00	172,09
Tejeduría	2,00	168,71
Tintado y acabado	3,00	163,80
Confección	5,00	156,00

Una vez que se tienen los datos para realizar los cálculos, también son necesarios los factores de emisión para obtener las emisiones finales. Estos factores se han obtenido de diferentes fuentes oficiales y son diferentes para cada país, habiendo, en algunos casos, bastante diferencia entre ellos.

Para nuestro estudio necesitaremos datos de dos países, de China y de España, por lo que hemos recopilado esta información para cada uno de ellos. Los datos de China los hemos obtenido de un informe realizado entre un laboratorio estadounidense y el grupo de energía del gobierno chino (Lawrence Berkeley National Laboratory's China Energy Group, 2012), mientras que para los de España hemos acudido al Ministerio de Transición Ecológica (Ministerio de Transición Ecológica, 2020).

Para el caso de China, además del mix eléctrico, necesitaremos los factores de emisión de otras fuentes de energía como el carbón, el gas natural y el petróleo necesarios para la producción de PET virgen, mientras que, para España, nos valdrá con el mix eléctrico.

Tabla 7 - Factores de emisión de las fuentes de energía en China. (Lawrence Berkeley National Laboratory's China Energy Group, 2012)

Fuente de energía	Factor de emisión
Electricidad	0,674 (kg CO ₂ eq/kWh)
Petróleo	0,277 (kg CO ₂ eq/kWh)
Gas natural	0,202 (kg CO ₂ eq/kWh)
Carbón	0,342 (kg CO ₂ eq/kWh)

Tabla 8 - Factores de emisión de las fuentes de energía en España. (Ministerio de Transición Ecológica, 2020)

Fuente de energía	Factor de emisión
Electricidad	0,310 (kg CO ₂ eq/kWh)

Como hemos señalado en la metodología, los resultados de emisiones se obtienen del producto entre los datos de actividad o datos de emisiones y los factores de emisión correspondientes.

A continuación, se mostrarán los datos obtenidos para cada fase del ciclo de vida y para producto, indicando en cada uno de ellos lo que incluye y la fuente bibliográfica de donde ha sido obtenido. La obtención de los resultados finales a partir de estos datos se realizará en el siguiente apartado de resultados, donde se explicarán todos los procedimientos para su consecución.

6.1 ANÁLISIS DE LA FASE DE OBTENCIÓN DE MATERIALES

En esta primera fase del ciclo de vida, analizaremos cuáles son los materiales que van a constituir la camiseta y explicaremos los procesos por los que pasan cada uno de ellos antes de convertirlos en fibras textiles. Para este estudio, hemos elegido camisetas 100% fabricadas de un único material, siendo estos 100% poliéster virgen, 100% poliéster reciclado y 100% algodón virgen.

Además, el valor de masa que se utilizará en esta fase será diferente para cada caso, ya que para los materiales vírgenes se tomará la masa necesaria para el primer proceso de la fase de manufactura, mientras que para el caso del poliéster reciclado habrá que añadir una pérdida adicional de material ya que se ha tenido en cuenta la pérdida que hay en la producción de las escamas y en la producción de los pellets a partir de las escamas.

Tras conocer cuáles son los materiales de los que están hechas las camisetas, el siguiente paso es el de encontrar los datos necesarios para el cálculo de la huella de carbono de esta fase.

Poliéster virgen (vPET)

Como hemos explicado anteriormente, el proceso de producción de PET virgen lleva detrás una serie de transformaciones que van desde la extracción de las materias primas provenientes del petróleo, a través de diferentes procesos, hasta la obtención de la resina de PET. Durante todo este proceso de producción de PET virgen, se emplean diferentes fuentes de energía, las cuales se muestran a continuación junto a su valor de energía consumido (Plastics Europe, 2005).

Tabla 9 - Fuentes de energía primarias para producir 1 kg de PET amorfo. (Plastics Europe, 2005)

Fuel type	Fuel prod'n & delivery energy (MJ)	Energy content of delivered fuel (MJ)	Fuel use in transport (MJ)	Feedstock energy (MJ)	Total energy (MJ)
Coal	4.28	3.60	0.11	<0.01	8.00
Oil	0.93	9.66	0.20	22.42	33.21
Gas	3.90	14.58	0.11	17.24	35.83
Hydro	0.14	0.06	<0.01	-	0.20
Nuclear	3.07	1.28	0.09	-	4.43
Lignite	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Wood	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sulphur	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Biomass (solid)	0.05	0.02	<0.01	<0.01	0.07
Hydrogen	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Recovered energy	<0.01	-1.26	<0.01	-	-1.26
Unspecified	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Peat	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Geothermal	0.01	0.01	<0.01	-	0.02
Solar	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Wave/tidal	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
Biomass (liquid/gas)	0.11	0.05	<0.01	-	0.16
Industrial waste	<0.01	<0.01	<0.01	-	0.01
Municipal Waste	0.05	0.02	<0.01	-	0.07
Wind	0.01	<0.01	<0.01	-	0.01
Totals	12.55	28.03	0.52	39.66	80.75

Estos datos recogen la energía empleada para la producción de los combustibles y su suministro, la energía que contiene el propio combustible, los combustibles utilizados en el transporte y la energía que tiene la materia prima, por lo que se consideran unos datos bastante completos.

Como vemos, las principales fuentes de energía son el petróleo, el gas natural y el carbón. Estas tres suman un 95% del total, por lo que utilizaremos estas tres para los cálculos, mostrándolas en una tabla a continuación.

Tabla 10 - Datos de actividad de las fuente de energía de la fase de obtención de materiales para el poliéster virgen. (Plastics Europe, 2005)

Fuente de energía	Datos de actividad
Petróleo	33,21 (MJ/kg)
Gas natural	35,83 (MJ/kg)
Carbón	8,00 (MJ/kg)

Una vez que se obtiene la resina, esta se lleva a un proceso de pelletizado por extrusión donde se obtendrán los pellets de PET. Este proceso consume una cantidad de energía (European Plastics and Rubber Machinery - EUROMAP, 2011), que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11 - Datos de actividad de la fase de obtención de materiales para el poliéster virgen. (European Plastics and Rubber Machinery - EUROMAP, 2011)

Procesos	Datos de actividad
Obtención de los pellets	0,680 (kWh/kg)

La masa utilizada en este caso, de acuerdo con lo señalado anteriormente, es de 179,02 gramos.

Poliéster reciclado (rPET)

Para la fase de obtención del PET reciclado se ha elegido el tipo de reciclaje semimecánico ya que en éste se realiza un paso intermedio en el que se obtienen pellets antes de producir la fibra, por lo que nos permite realizar una comparación más exacta con el caso del PET virgen.

En esta fase se tendrán en cuenta principalmente cuatro etapas: la relacionada con el transporte durante la recogida de los residuos de PET, la clasificación y limpieza de los residuos, la obtención de las escamas de PET, y la posterior transformación de éstas en pellets.

En España predomina el transporte de mercancías por carretera, representando el 76 % del total en el año 2016 (Centro Español de Logística y Everis Spain S.L.U., 2016), por lo que asumimos que la recogida de residuos se realizará por este medio de transporte.

Para esta etapa de recogida de residuos de PET, se ha utilizado un dato de emisiones que representa la cantidad de CO₂ equivalente que se genera durante un transporte por carretera y que depende tanto del peso como de la distancia (Delft University of Technology, 2020).



Figura 29 - Medios de transporte utilizados en el transporte de mercancías en España en 2016. (Centro Español de Logística y Everis Spain S.L.U., 2016)

Tras la recolección de los residuos, se realizan varias etapas de clasificación y limpieza. En este caso, el dato de emisiones de CO₂ equivalente viene dado por kilogramo de material (Delft University of Technology, 2020).

Tabla 12 - Datos de emisiones de la fase de obtención de materiales para el poliéster reciclado. (Delft University of Technology, 2020)

Procesos	Datos de emisiones
Transporte y recogida de los residuos	0,0724 (kg CO ₂ eq/t*km)
Clasificación y limpieza	0,087 (kg CO ₂ eq/kg)

La posterior etapa es la de la producción de las escamas tras un proceso de corte, cuyo dato de actividad viene dado en kWh por tonelada de material (Delft University of Technology, 2020).

A continuación, las escamas se transforman en pellets después de pasar por un proceso de extrusión en estado fundido o pelletizado igual que para el caso del vPET (European Plastics and Rubber Machinery - EUROMAP, 2011), haciéndose necesaria una cantidad de energía en el proceso.

Tabla 13 - Datos de actividad de la fase de obtención de materiales para el rPET

Procesos	Datos de actividad
Producción de los escamas	430 (kWh/t)
Producción de los pellets	0,680 (kWh/kg)

De este modo, ya hemos recopilado todos los datos necesarios para el cálculo de la huella de carbono de la fase de obtención de materiales para la camiseta de poliéster reciclado, la cual finaliza con la obtención de los pellets.

En este caso, se ha establecido la pérdida de material que hay en la producción de las escamas y en la producción de los pellets la cual se ha explicado en el apartado de reciclado semimecánico del rPET. Entonces, la masa en cada uno de los procesos será diferente. Para la producción de las escamas, como la eficiencia en términos de material es de 75% se utilizará una masa de 237,206 gramos. En cambio, para la producción de los pellets, en la que la eficiencia es de 94%, la masa usada será 189,765 gramos.

Algodón virgen

Para el caso del algodón, esta etapa lo forman la producción de este material y los transportes desde las zonas de cultivo hasta las zonas de manufactura. El dato de actividad obtenido para la producción del algodón (Marks and Spencer plc, 2002), considera la electricidad y los combustibles empleados en la plantación, limpieza y producción de la fibra y la energía consumida durante la producción de los fertilizantes y los pesticidas utilizados, por lo que se ha considerado bastante completo.

El dato de transporte ha sido obtenido de un estudio que analizaba cuáles eran las mayores zonas de cultivo de algodón de China y las mayores zonas de manufactura de este país y hacía un media de las distancias y los medios de transporte (Wang, y otros, 2015), por lo que también se considera una gran aproximación de lo que se desea obtener.

Tabla 14 - Datos de la fase de obtención de materiales para el algodón

Procesos	Datos de actividad y emisiones
Producción del algodón	13,514 (kWh/kg)
Transporte	0,003 (kg CO ₂ eq/0,28kg)

Como hemos explicado, la masa utilizada en esta fase para el caso del algodón virgen será de 177,29 gramos.

6.2 ANÁLISIS DE LA FASE DE MANUFACTURA

Una vez que se obtienen los materiales, se realizan varios procesos que transformarán la fibra textil en una prenda de vestir. Estos procesos de manufactura son muy similares para todos los textiles, por lo que se han tomado los mismos datos para los tres materiales y, de ese modo, no habría grandes diferencias en este aspecto. Los procesos seleccionados son los siguientes: producción de la fibra larga, preparación de la fibra, hilatura, tejeduría, acabado y confección (Marks and Spencer plc, 2002).

Lo que sí cambiará los resultados será el hecho de que, al estar producidas en diferentes países, el mix eléctrico será diferente para cada una de ellas. La cantidad de material también variará los resultados finales de esta fase, de manera que será igual para los poliésteres y diferente para el caso del algodón, tal y como hemos visto en la pérdida de material que se genera en cada caso.

Se ha asumido que la fuente de energía principal para esta fase era electricidad, por lo que se utilizarán los factores de emisión correspondientes para cada caso.

Poliéster virgen y poliéster reciclado

Para los dos materiales de poliéster, los datos recopilados (Marks and Spencer plc, 2002) vienen en unidades de MJ por cada kilogramo de material y se muestran a continuación.

Tabla 15 - Datos de actividad de la fase de manufactura de los poliésteres. (Marks and Spencer plc, 2002)

Procesos	Datos de actividad (MJ/kg)
Producción de la fibra larga	13,640
Preparación de la fibra	6,000
Hilatura	18,700
Tejeduría	10,600
Acabado	11,400
Confección	2,000

Algodón virgen

Los procesos de manufactura para el algodón virgen son los mismos que para los poliésteres. En cambio, en este caso, como la obtención de la fibra estaba incluida en el dato encontrado para la fase de obtención de los materiales, en este caso omitimos este proceso. Entonces, los datos de actividad utilizados (Marks and Spencer plc, 2002) para los cálculos son los presentados en la siguiente tabla.

Tabla 16 - Datos de actividad de la fase de manufactura del algodón. (Marks and Spencer plc, 2002)

Procesos	Datos de actividad (MJ/kg)
Preparación de la fibra	6,000
Hilatura	18,700
Tejeduría	10,600
Acabado	11,400
Confección	2,000

6.3 ANÁLISIS DE LA FASE DE DISTRIBUCIÓN

Una vez que las camisetas ya están confeccionadas y terminadas, el siguiente paso es distribuir estos productos desde las fábricas donde se ha llevado a cabo la manufactura, hasta los territorios donde estas se consumen.

Para poder hacer una comparación y observar la importancia que tiene realizar un consumo local de cercanía, hemos asumido que los dos materiales vírgenes que se producían en China

se consumirán en España, mientras que el material reciclado se producía y se consumirá en el mismo territorio, también en España.

La región a la que más algodón exporta China a nivel mundial es Europa, la cual tiene una cuota de mercado de más del 28% (Wang, y otros, 2015), por lo que nuestra elección de elegir España como país de consumo se asemeja a lo que acontece en la realidad.

		Export proportion
<hr/>		
Units		
Asia	Hong Kong	5.71%
	Macao	0.17%
	Taiwan	0.48%
	Japan	14.90%
	Korea	2.29%
	Turkey	0.36%
European Union		28.17%
Africa		3.30%
Australia		2.30%
America	USA	20.36%
	Canada	2.31%
	Mexico	0.23%
<hr/>		

Figura 30 - Cuota de mercado de la exportación de algodón desde China. (Wang, y otros, 2015)

Se ha asumido que la fuente de energía principal para esta fase es la electricidad, por lo que se utilizará el factor de emisión correspondiente a España, ya que el consumo de las tres camisetas se realiza en este país.

A continuación, se exponen los datos obtenidos para cada uno de los casos de estudio.

Poliéster virgen y algodón virgen

Para estos dos materiales vírgenes, el dato que se ha obtenido ha sido un dato de emisiones (Wang, y otros, 2015) que se asemeja completamente a nuestro caso, ya que asume como origen los principales territorios de manufactura de China y cuyo destino es Europa. Este dato tiene en cuenta tanto la distancia recorrida de China a Europa como los medios de transporte más utilizados.

Tabla 17 - Dato de emisiones de la fase de distribución (China-Europa) para las camisetas de materiales vírgenes. (Wang, y otros, 2015)

Procesos	Dato de emisiones
Transporte China-Europa	0,375 (kg CO ₂ eq/0,28kg)

Poliéster reciclado

Como el poliéster reciclado es producido en España y se consumirá también en España, el dato utilizado será el mismo dato de emisiones usado en el proceso de recogida de los residuos de la fase de obtención de materiales.

Tabla 18 - Dato de emisiones de la fase de distribución (transporte nacional) de la camiseta de poliéster reciclado. (Delft University of Technology, 2020)

Procesos	Datos de emisiones
Transporte por carretera	0,0724 (kg CO ₂ eq/t*km)

6.4 ANÁLISIS DE LA FASE DE USO

Tras la distribución, las prendas le llegan al consumidor, que hará un uso de éstas. Durante esta fase también se producen una cantidad de emisiones a lo largo de su vida útil, principalmente provenientes de los procesos de lavado, secado y planchado.

La cantidad de gente que realiza el lavado a mano es una proporción muy pequeña, por lo que asumimos que el lavado se realizará en una lavadora. Además, en España, solo el 16,5% de la población española utiliza secadora (Euromonitor Internacional, 2019), de manera que no se incluye en los límites del sistema.

El impacto que tiene el lavado depende de varios factores, entre ellos están la capacidad de carga de la lavadora, la temperatura a la que se realice el lavado y el consumo de la propia lavadora. Además, durante el lavado, también se hace un gran gasto de agua y detergente, por lo que estos también se tendrán en cuenta.

Para una familia media de 4 personas, se recomienda una lavadora de capacidad no superior a 8kg para minimizar la cantidad de agua y electricidad consumida (Organización de Consumidores y Usuarios, 2012), de modo que elegiremos esta capacidad para realizar los cálculos.

Si dividimos el peso de una de las camisetas de estudio entre la capacidad total de la lavadora, obtendremos el porcentaje de energía que consumirá una camiseta en cada lavado; en nuestro caso, el porcentaje es de 1,95%

El consumo, como hemos comentado, también depende de la temperatura a la que se realice el lavado. El 45% de los españoles opta por un lavado con agua fría (Samsung Newsroom España, 2017), ya que garantiza un mayor cuidado de la ropa y un ahorro mayor frente al lavado en caliente, el cual solo lo utiliza el 18% de la población; el resto lo hacen a temperatura media. La temperatura habitual de un lavado en frío es de 30°C (Samsung Newsroom España, 2017), por ello asumiremos esta temperatura para los cálculos.

Para el consumo energético por cada lavado, hemos elegido los datos de una lavadora con eficiencia energética A+++ de una marca conocida y obtenida en el año 2020. Estos datos se multiplican por el porcentaje del consumo de energía de una camiseta en cada lavado calculado anteriormente y obtenemos el consumo de cada camiseta por cada lavado.

Como hemos asumido en la metodología, las camisetas se utilizarán 50 veces a lo largo de su ciclo de vida y después de cada uso se procederá al lavado. Es decir, cada una de ellas se lavará un total de 50 veces antes de su fase postconsumo.

En cuanto al consumo de agua, las lavadoras de 7 kg consumen entre 42 y 45 litros de agua por lavado (Ministerio para la Transición Ecológica, 2020), por lo que hemos estimado que una lavadora de 8 kg de capacidad consume una media de 47 litros en cada lavado. Por cada litro de suministro, tratamiento y bombeo de agua se requieren 0,001 kWh de electricidad (Marks and Spencer plc, 2002).

En este estudio también se incluye el uso de detergente durante el lavado, y el dato de actividad obtenido es de 1 kWh consumido en cada lavado (Marks and Spencer plc, 2002). Este dato se refiere al consumo energético durante la manufactura de un detergente estándar y cuya dosis utilizada será la recomendada por el fabricante.

La siguiente etapa, una vez la prenda de vestir se ha secado al aire libre, es el planchado, el cual en algunas ocasiones no es necesario, ya que depende del material. Para una camiseta hecha 100% de poliéster a veces no es tan necesario este tratamiento, pero para este estudio sí se tendrá en cuenta. Para una prenda de algodón sí es necesario, por lo que se tendrá en cuenta, aunque se realizará una diferenciación con los dos poliésteres.

La potencia elegida para la plancha es de 1600W (Marks and Spencer plc, 2002). Durante el planchado, no se consume electricidad de forma continua, si no que este consumo se realiza de forma intermitente, sólo para mantener la temperatura. El consumo de electricidad en los momentos en los que se tiene que mantener la temperatura es del 100%, mientras que para el resto del tiempo el consumo se reduce mínimo un 80% (Roy, Pathak, & Misra, 2016).

El periodo de tiempo de cada ciclo de “máximo consumo-consumo reducido” está sobre 1 minuto (Roy, Pathak, & Misra, 2016), por lo que hemos asumido, para los tres casos, que la mitad del tiempo estarán consumiendo el 100% de la potencia, y la otra mitad el consumo será solo del 20%.

Los datos de la fase de uso para los dos poliésteres serán los mismos, por lo que los reunimos en una misma tabla, haciendo diferenciación con el algodón en dos de los datos. A continuación, se muestran estas tablas con los datos recopilados para el cálculo de la huella de carbono de esta fase de uso para los tres materiales.

Poliéster virgen y poliéster reciclado

En primer lugar, un lavado de sintéticos a 30°C y carga de 8kg consume alrededor de 0,70 kWh por lavado (Miele, 2020). El segundo punto que los diferencia del algodón es en el tiempo de planchado establecido, donde se tomará de 1 minuto para cada camiseta de poliéster.

Tabla 19 - Datos de actividad de la fase de uso para el poliéster virgen y el poliéster reciclado

Procesos	Datos de actividad
Lavadora	0,7 kWh/lavado
Agua	47 L/lavado
Detergente	1 kWh/lavado
Potencia de la plancha	1,6 kW
Tiempo de planchado	1 minuto

Algodón virgen

Para el algodón, se ha obtenido que un lavado a 30°C con una carga de 8kg consume alrededor de 0,80 kWh (Miele, 2020), algo más que los materiales sintéticos. Además, el tiempo que se ha fijado para el planchado de una camiseta de este material es de 2 minutos.

Tabla 20 - Datos de actividad de la fase de uso para el algodón virgen

Procesos	Datos de actividad
Lavadora	0,8 kWh/lavado
Agua	47 L/lavado
Detergente	1 kWh/lavado
Plancha	1,6 kW
Tiempo de planchado	2 minutos

6.5 ANÁLISIS DE LA FASE POSTCONSUMO

Cuando finaliza la fase de consumo, los productos se desechan y se convierten en residuos. Como hemos visto anteriormente, se pueden llevar a cabo distintos procesos de postconsumo. En este estudio, se utilizará un proceso diferente para cada una de las tres camisetas, los cuáles se explicarán a continuación.

Poliéster virgen

En primer lugar, la camiseta de poliéster virgen se llevará a un proceso de incineración de residuos con recuperación de energía. En este caso, aunque se realice con recuperación de energía, la contabilidad total en términos de contaminación sale en contra del medio ambiente, ya que no se obtiene una cantidad negativa que disminuiría la cantidad de CO₂eq, si no que el dato de emisión es positivo y de valor 1,131 kg CO₂eq/kg de material (Delft University of Technology, 2020).

Tabla 21 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del poliéster virgen. (Delft University of Technology, 2020)

Proceso	Dato de emisiones
Incineración con recuperación de energía	1,131 (kg CO ₂ eq/kg)

Poliéster reciclado

En segundo lugar, la camiseta de rPET se reciclará para que tenga una nueva vida, por lo que, tal y como indicamos en la metodología, al utilizar el método de corte para productos reciclados, la fase de postconsumo no añade ninguna emisión nociva debido a que esta se tiene en cuenta en la siguiente vida.

Tabla 22 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del poliéster reciclado

Proceso	Dato de emisiones
Reciclado	No se cuentan en esta vida

Algodón virgen

Finalmente, para la prenda de algodón virgen se ha elegido la deposición de ésta en un vertedero. Es el denominado “gas de vertedero” el causante de las emisiones de este proceso de postconsumo. Este se forma a partir de la materia orgánica presente en los residuos urbanos que, al descomponerse, origina gases, principalmente metano y dióxido de carbono. El gas de vertedero se compone principalmente de biogás, el cual es una mezcla de gases, compuesta por metano (entre 50% y 70%) y dióxido de carbono (entre 30% y 50%), con

algunos otros componentes en menores proporciones como el nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno (Natural Zone, 2016). En este caso, el dato de emisión es de 2,310 kg CO₂eq/kg de material (Delft University of Technology, 2020) y está referido a la deposición de material en un vertedero de residuos orgánicos sin prevención de emisiones de CH₄.

Tabla 23 - Dato de emisiones de la fase de postconsumo del algodón virgen. (Delft University of Technology, 2020)

Proceso	Dato de emisiones
Deposición en un vertedero	2,310 (kg CO ₂ eq/kg)

7 RESULTADOS

Una vez que hemos recopilado todos los datos, se realizan los cálculos correspondientes y se obtienen las emisiones deseadas, las cuales se presentan en forma de tablas en los siguientes apartados.

Para explicar cómo se ha llegado a los resultados, se explicarán con detalle cómo se han llevado a cabo los cálculos en el primer caso. Para el resto de los casos, como los cálculos se realizan de la misma manera, se expondrán de una forma más resumida.

Los resultados se presentan por cada tipo de material y por cada fase del ciclo de vida, resumiendo todos ellos en un apartado al final. Además, se incluye un apartado en el que se realizará una comparación de los resultados y una posterior discusión de estos.

7.1 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE POLIÉSTER VIRGEN

7.1.1 Fase de obtención de materiales

Como esta fase la componen dos procesos, se muestran en primer lugar los resultados del primer proceso, el de la producción de la resina de PET. Los resultados de este proceso se han obtenido aplicando los siguientes factores de conversión:

$$DA \left(\frac{MJ}{kg} \right) * \frac{1}{3,6} \left(\frac{kWh}{MJ} \right) * M(kg) * FE \left(\frac{kg.CO_2eq}{kWh} \right) = E(kg.CO_2eq)$$

Donde:

- DA: dato de actividad
- M: masa
- FE: factor de emisión
- E: emisiones

Estos datos de actividad, los factores de emisión y la masa son los indicados en la fase de cálculos. Tras esto, se obtienen los resultados, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24 - Huella de carbono del proceso de producción de resina de PET virgen

Fuente de energía	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Petróleo	0,458
Gas natural	0,359
Carbón	0,136
TOTAL (producción de PET)	0,953

A continuación, se presenta, en otra tabla, los resultados finales de los dos procesos que incluye esta fase.

Tabla 25 - Huella de carbono de la fase obtención de materiales del poliéster virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Producción de PET	0,953
Obtención de los pellets	0,102
TOTAL	1,055

7.1.2 Fase de manufactura

Para la fase de manufactura, como los datos de actividad recopilados también estaban en unidades de MJ/kg, el cálculo se realiza de la misma manera que en la fase anterior, utilizando en este caso el factor de emisión de la electricidad chino y la masa correspondiente para cada proceso.

Tabla 26 - Huella de carbono de la fase de manufactura del poliéster virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Producción de la fibra larga	0,567
Preparación de la fibra	0,244
Hilatura	0,754
Tejeduría	0,415
Acabado	0,434
Confección	0,072
TOTAL	2,486

7.1.3 Fase de distribución

Para obtener los resultados de la fase de distribución para el caso del poliéster virgen, el dato de emisiones al tener unidades de kg de CO₂eq por cada 280 gramos, en este caso habrá que realizar el siguiente cálculo para acomodarlo a nuestro caso, en el cual la masa es de 156 gramos:

$$DE \left(\frac{kg \cdot CO_2eq}{280 g} \right) * 156 (g) = E(kg \cdot CO_2eq)$$

Donde:

- DE: dato de emisión
- E: emisiones

Tabla 27 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de poliéster virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Transporte China-Europa	0,209

7.1.4 Fase de uso

En primer lugar, el dato de actividad de la lavadora tiene unidades de kWh por cada lavado, por lo que para obtener el resultado de emisiones se realiza el siguiente proceso de conversión:

$$DA \left(\frac{kWh}{lavado} \right) * 50 (lavados) * 1,95\% * FE \left(\frac{kg \cdot CO_2eq}{kWh} \right) = E(kg \cdot CO_2eq)$$

Donde el 1,95% viene, tal y como explicamos en el apartado de cálculos, de dividir el peso de una de las camisetas entre la carga total de la lavadora. El factor de emisión utilizado para todos los procesos de esta fase será el mix eléctrico español, el cual tiene un valor de 0,310 kg CO₂eq/kWh.

En segundo lugar, para contabilizar las emisiones que se generan por el consumo de agua, ya que el dato de actividad que tenemos es de 47L por lavado, se realizará el siguiente procedimiento para calcular el resultado de emisiones:

$$DA \left(\frac{L}{\text{lavado}} \right) * 50 (\text{lavados}) * 1,95\% * 0,001 \left(\frac{kWh}{L} \right) * FE \left(\frac{kg.CO_2eq}{kWh} \right) = E(kg.CO_2eq)$$

A continuación, se calculan las emisiones generadas por el uso de detergente. Como el dato obtenido viene dado en kWh por cada lavado, el resultado se obtendrá del mismo modo que para hallar las emisiones de la lavadora, utilizando el mismo procedimiento de conversión.

Por último, para obtener las emisiones del proceso de planchado se realiza un cálculo algo más largo, ya que había momentos durante el planchado que se utilizaba el 100% de la potencia y otros en los que solo se utilizaba el 20%.

Para el caso de los dos poliésteres el planchado era de 1 minuto, donde 30 segundos se utilizaba el 20% de la potencia y los otros 30 segundos se consumía la totalidad de la potencia, 1.600 W. La conversión se realizaría de la siguiente manera para los 50 planchados:

$$(20\% * 1,6kW + 100\% * 1,6kW) * 30(s) * \frac{1h}{3600s} * 50 (\text{planchados}) * FE \left(\frac{kg.CO_2eq}{kWh} \right) = E(kg.CO_2eq)$$

Realizando todos estos cálculos, se obtienen los resultados de cada proceso y se suman para obtener el total de emisiones de esta fase.

Tabla 28 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de poliéster virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Lavadora	0,212
Agua	0,014
Detergente	0,302
Plancha	0,248
TOTAL	0,776

7.1.5 Fase de postconsumo

Al haber recogido un dato de emisiones directamente en kg CO₂eq/kg, solo tendremos que multiplicar este dato por la masa de la camiseta (156 gramos) para obtener el resultado de emisiones deseado.

Tabla 29 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de poliéster virgen

Proceso	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Incineración con recuperación de energía	0,176

7.1.6 Emisiones totales

Sumamos todos los valores de emisiones y obtenemos la cantidad total de CO₂eq que genera una camiseta de poliéster virgen a lo largo de todo su ciclo de vida.

Tabla 30 - Huella de carbono total de la camiseta de poliéster virgen

Fases	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Obtención de materiales	1,055
Manufactura	2,486
Distribución	0,209
Uso	0,776
Postconsumo	0,176
TOTAL	4,702

Para analizar cómo interviene cada una de las fases en el total de la huella de carbono, mostraremos el porcentaje de cada una en un gráfico.

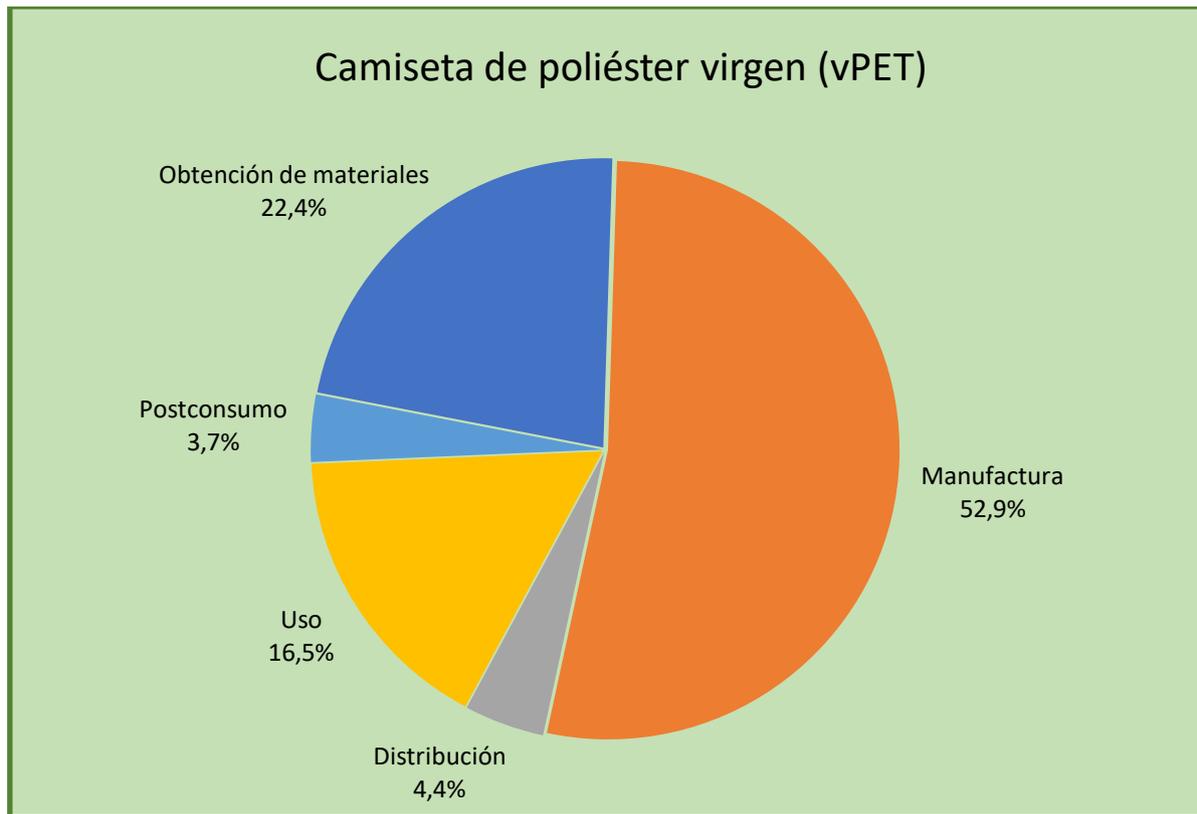


Figura 31 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de poliéster virgen

Los resultados que hemos obtenido para el caso de una camiseta fabricada de poliéster virgen indican que la fase de manufactura emite más de la mitad de los GEI generados a lo largo del ciclo de vida de la camiseta. Le siguen la fase de obtención de materiales y la fase de uso, con un porcentaje de 22,4% y 16,5% respectivamente. Las fases que menos emisiones generan son las fases de postconsumo y distribución, ambos con menos de un 5% del total.

7.2 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE POLIÉSTER RECICLADO

7.2.1 Fase de obtención de materiales

Como el dato de emisión utilizado viene en unidades de $\text{kg CO}_2\text{eq/t*km}$, habrá que multiplicar este dato por la masa de ese proceso (237,206 gramos) y la distancia recorrida durante el transporte. Como la recogida de residuos se realiza en España, se ha elegido Madrid como ciudad de referencia para contabilizar la distancia media. Para ello se han

recopilado las distancias entre Madrid y el resto de las provincias de la península ibérica (Diteco S.A., 2020), resultando una distancia media de 371,55 km.

Para la clasificación y limpieza solo habrá que multiplicar por la masa necesaria en ese proceso (237,206 gramos), indicada en la fase de cálculos, ya que el dato viene dado por unidad de masa.

Para la producción de las escamas, de igual modo, habrá que multiplicar por la masa que interviene en ese proceso (237,206 gramos), mientras que en la producción de los pellets la masa utilizada será de 189,765 gramos.

Tabla 31 - Huella de carbono de la fase de obtención de materiales del poliéster reciclado

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Transporte y recogida de los residuos	0,006
Clasificación y limpieza	0,021
Producción de las escamas	0,032
Producción de los pellets	0,040
TOTAL	0,099

7.2.2 Fase de manufactura

Los resultados de la fase de manufactura se realizarán de la misma manera que para el caso anterior del poliéster virgen, ya que no cambia en ningún aspecto. Eso sí, el factor de emisión utilizado será el del mix eléctrico español, ya que esta manufactura se realiza en España.

Tabla 32 - Huella de carbono de la fase de manufactura del poliéster reciclado

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Producción de la fibra larga	0,210
Preparación de la fibra	0,091
Hilatura	0,280
Tejeduría	0,154
Acabado	0,161
Confección	0,027
TOTAL	0,923

7.2.3 Fase de distribución

Las emisiones de esta fase se obtendrán de la misma manera que se han obtenido las emisiones en la etapa de transporte y recogida de residuos de la fase anterior. El único cambio reside en la masa utilizada, ya que, en esta fase, la masa es la correspondiente a una camiseta ya fabricada, es decir, 156 gramos.

Tabla 33 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de poliéster reciclado

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Transporte nacional por carretera	0,004

7.2.4 Fase de uso

En la fase de uso, la obtención de los resultados se consigue de la misma manera que en el caso anterior del poliéster virgen.

Tabla 34 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de poliéster reciclado

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Lavadora	0,212
Agua	0,014
Detergente	0,302
Plancha	0,248
TOTAL	0,776

7.2.5 Fase de postconsumo

En esta fase de postconsumo, como no se contabilizan las emisiones al utilizar el método de corte, esta fase no genera ninguna emisión de GEI.

Tabla 35 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de poliéster reciclado

Proceso	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Reciclado	0,000

7.2.6 Emisiones totales

A continuación, recopilamos todas las emisiones de las diferentes fases en una misma tabla y obtenemos la huella de carbono total de una camiseta de poliéster reciclado.

Tabla 36 - Huella de carbono total de la camiseta de poliéster reciclado

Fases	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Obtención de materiales	0,099
Manufactura	0,923
Distribución	0,004
Uso	0,776
Postconsumo	0,000
TOTAL	1,802

Para visualizar mejor cómo influye en el total cada una de las fases del ciclo de vida de la camiseta, mostramos los porcentajes de cada una de ellas en un gráfico.

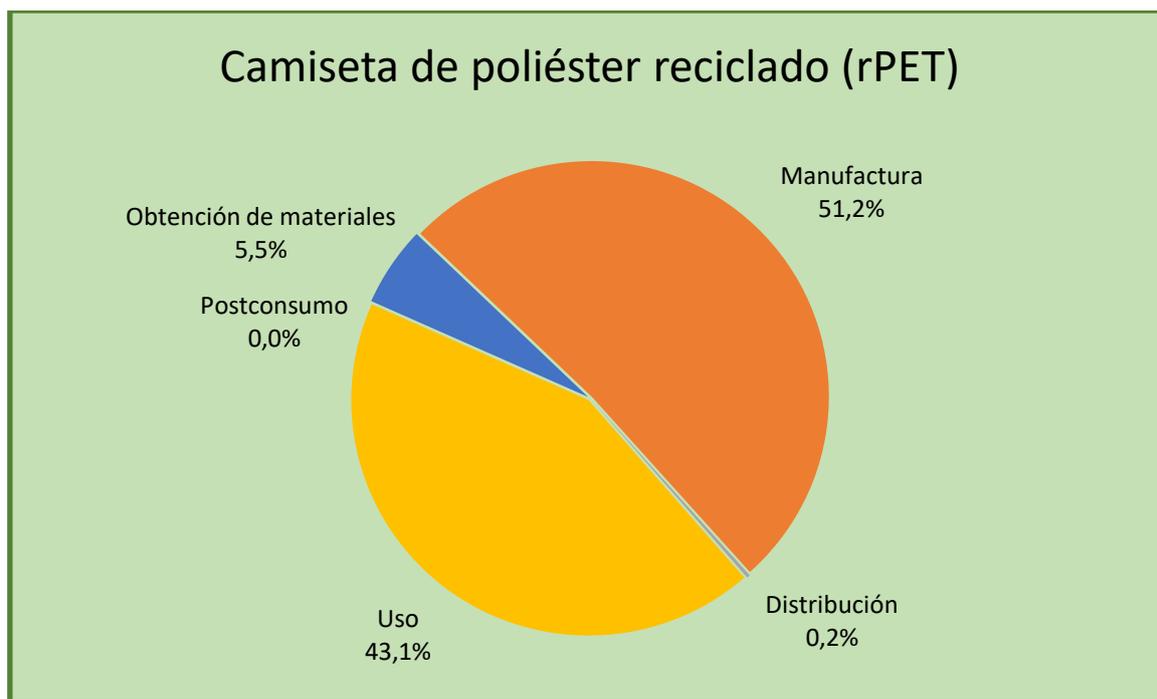


Figura 32 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de poliéster reciclado

Como podemos observar, para una camiseta hecha de poliéster reciclado, las fases de manufactura y de uso son las que más emisiones generan durante el ciclo de vida, con un 51,2% y un 43,1% respectivamente. Por otro lado, las fases del ciclo de vida que menos aportan a la emisión de GEI son las fases de distribución, con un 0,2% del total, y de postconsumo, con un 0,0%. Durante esta última fase, como hemos expuesto anteriormente, no hay emisiones nocivas, ya que se trata de un producto que se va a reciclar y, según el método utilizado, las emisiones del proceso de reciclado no se contabilizan en esta vida. La fase de obtención de los materiales emite un 5,5% del total.

7.3 RESULTADOS DE LA CAMISETA DE ALGODÓN VIRGEN

7.3.1 Fase de obtención de materiales

Para la producción del algodón, el dato de actividad, cuya unidad era kWh/kg, habrá que multiplicarlo por la masa correspondiente en ese proceso (177,29 gramos).

En cambio, para el transporte, como el dato viene dado por cada 280 gramos de material, este habrá que llevarlo a nuestra cantidad de masa como se ha hecho anteriormente:

$$DE \left(\frac{\text{kg. CO}_2\text{eq}}{280 \text{ g}} \right) * 177,29 \text{ (g)} = E(\text{kg. CO}_2\text{eq})$$

Tabla 37 - Huella de carbono de la fase de obtención de materiales del algodón virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Producción del algodón	2,002
Transporte	0,002
TOTAL	2,004

7.3.2 Fase de manufactura

Los resultados para esta fase se obtienen de la misma manera que se han obtenido en esta misma fase para los otros dos casos, realizando el proceso de conversión correspondiente.

Tabla 38 - Huella de carbono de la fase de manufactura del algodón virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Preparación de la fibra	0,242
Hilatura	0,747
Tejeduría	0,415
Acabado	0,434
Confección	0,072
TOTAL	1,910

7.3.3 Fase de distribución

Las emisiones resultantes para esta fase también se han obtenido de igual manera que para el caso del poliéster virgen, ya que ambos tenían el mismo origen y el mismo destino.

Tabla 39 - Huella de carbono de la fase de distribución de la camiseta de algodón virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Transporte China-Europa	0,209

7.3.4 Fase de uso

Al igual que en los dos casos anteriores, para el cálculo de las emisiones de la fase de uso, se realizan diferentes conversiones hasta adecuar las unidades a las deseadas, y posteriormente, a través del factor de emisión correspondiente, alcanzar los resultados.

Se llevan a cabo los mismos procedimientos de conversión que para los dos materiales vírgenes, pero, en el proceso de lavado, en vez de utilizar el dato de actividad de 0,7 kWh/lavado se utiliza 0,8 kWh/lavado.

Los procesos de agua y detergente son exactamente iguales, mientras que en el planchado cambia el tiempo, por lo que se realizará la siguiente conversión:

$$(20\% * 1,6kW + 100\% * 1,6kW) * 60(s) * \frac{1h}{3600s} * 50 (\text{planchados}) * FE \left(\frac{kg \cdot CO_2eq}{kWh} \right) = E(kg \cdot CO_2eq)$$

Tras todos estos cálculos, se obtienen los siguientes resultados y se suman para conocer la huella de carbono de esta fase para la camiseta de algodón virgen.

Tabla 40 - Huella de carbono de la fase de uso de la camiseta de algodón virgen

Procesos	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Lavadora	0,242
Agua	0,014
Detergente	0,302
Plancha	0,496
TOTAL	1,054

7.3.5 Fase de postconsumo

Como el dato que se había elegido tiene unidades de kg CO₂eq/kg, habrá que multiplicar por la masa de 156 gramos para obtener el resultado siguiente.

Tabla 41 - Huella de carbono de la fase de postconsumo de la camiseta de algodón virgen

Proceso	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Deposición en un vertedero	0,360

7.3.6 Emisiones totales

Reuniendo las emisiones de todas las fases del ciclo de vida y sumándolas obtenemos la huella de carbono total de la camiseta de algodón virgen.

Tabla 42 - Huella de carbono total de la camiseta de algodón virgen

Fases	Emisiones (kg CO ₂ eq)
Obtención de materiales	2,004
Manufactura	1,910
Distribución	0,209
Uso	1,054
Postconsumo	0,360
TOTAL	5,537

A continuación, y como en el resto de casos, se presentan los resultados de la huella de carbono para el algodón virgen en un gráfico, para observar mejor cuáles son las fases que mayor generación de GEI tienen.

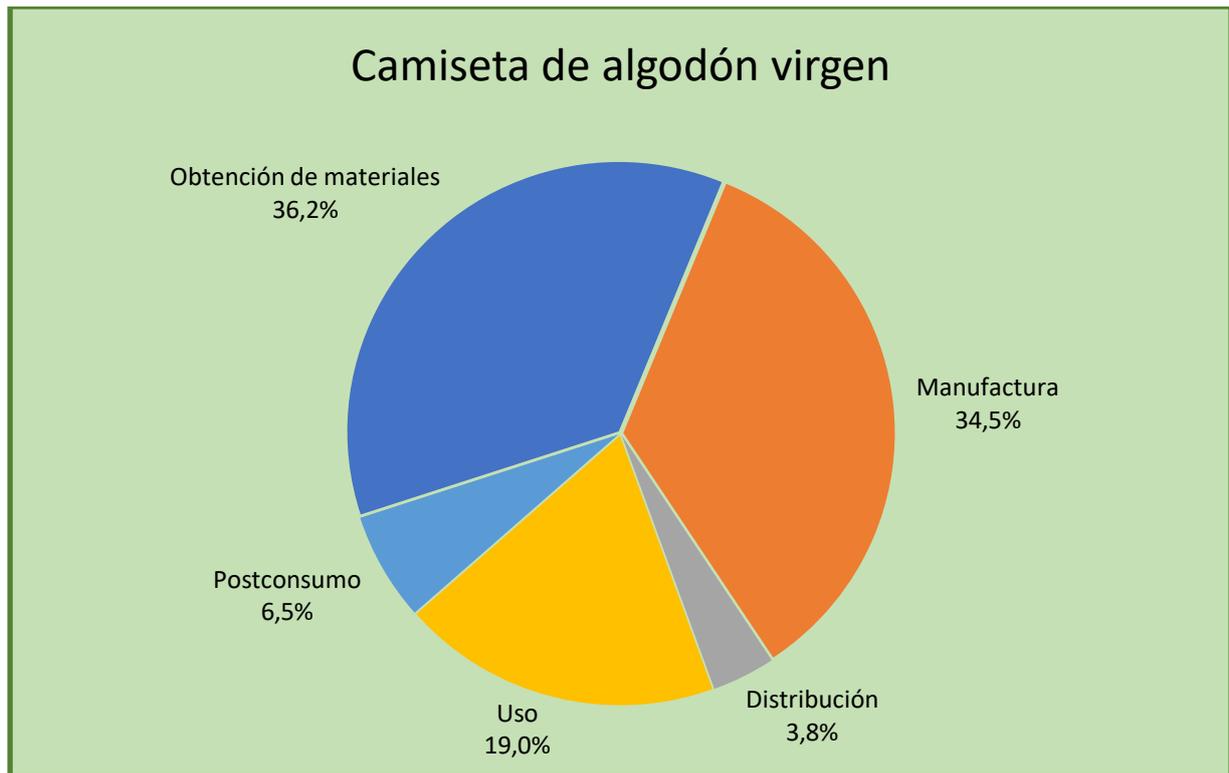


Figura 33 - Contribución de cada fase a la huella de carbono de la camiseta de algodón virgen

Como vemos, la fase de obtención de los materiales y la manufactura son las fases que más contribuyen a la huella de carbono total, con un 36,2% la primera de ellas y un 34,5% la segunda. La fase de uso, con un 19% les sigue, mientras que las fases de distribución y postconsumo favorecen a estas emisiones con un 3,8% y un 6,5% respectivamente.

7.4 COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.4.1 Comparación de los resultados de las fases del ciclo de vida

Obtención de los materiales

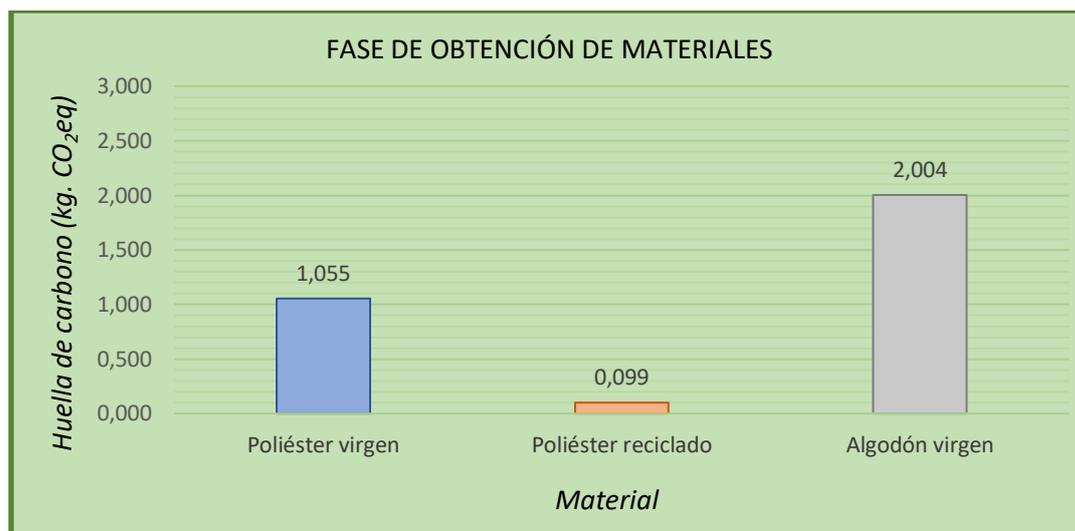


Figura 34 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de obtención de los materiales

Como observamos, la huella de carbono genera casi 1 kg de CO₂eq más durante la obtención del poliéster virgen y casi 2 kg de CO₂eq más durante la producción del algodón virgen respecto al caso del poliéster reciclado, solamente para una camiseta. Pero, si realmente queremos evaluar la diferencia entre ambas, nos podemos poner en la situación de producir 1 millón de camisetas. Esto se traduciría, en valores exactos, en la emisión de 956 toneladas más de CO₂eq para el poliéster virgen y 1.905 toneladas más de CO₂eq para el caso del algodón virgen.

Manufactura

Durante esta fase, las principales diferencias residen en el lugar donde se realice la manufactura, ya que el mix eléctrico será diferente para cada país. Por ello, y de acuerdo con los resultados obtenidos, el poliéster virgen y el algodón virgen manufacturados en China generan 1,563 kg de CO₂eq más y 0,987 kg de CO₂eq más respectivamente respecto al poliéster reciclado, el cual está manufacturado en España. Esto supone más del doble de lo que se emite durante la manufactura de la camiseta fabricada en España.

En cambio, como en el caso anterior, si producimos 1 millón de camisetas en vez de solo una, la diferencia se multiplica por este factor. De este modo, se emitirán 1.563 toneladas más de CO₂eq durante la manufactura de las camisetas de poliéster virgen y 987 toneladas más de CO₂eq para las camisetas de algodón virgen.

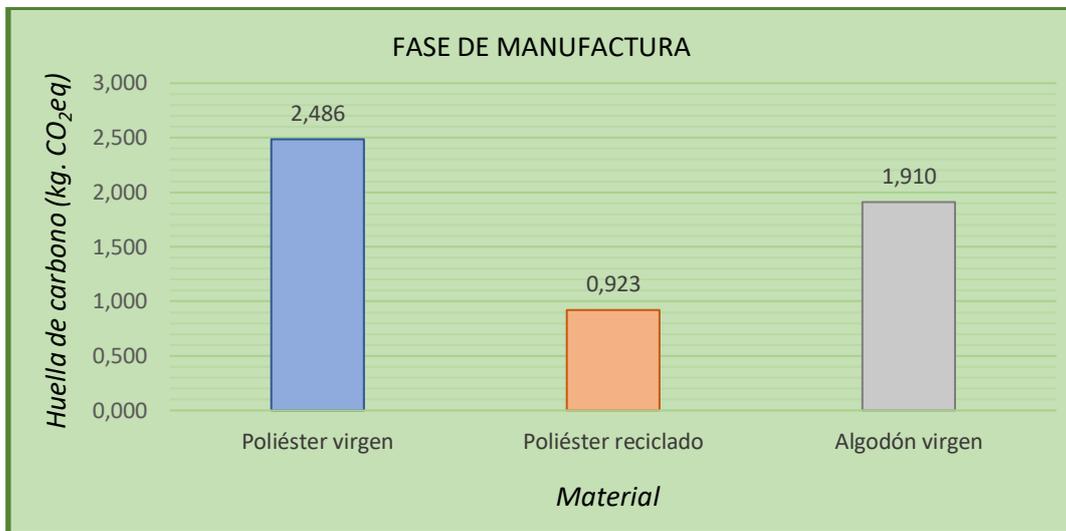


Figura 35 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de manufactura

Distribución

La huella de carbono obtenida para el poliéster reciclado es muy pequeña, ya que es el resultado del transporte nacional por carretera de una sola camiseta. En cambio, para los dos materiales vírgenes el transporte es a nivel internacional por lo que los resultados son bastante mayores respecto al primer caso. Concretamente, para la distribución de 1 millón de camisetas provenientes de China, se generan 205 toneladas más de CO₂eq que si dicho transporte se realizara a nivel nacional en España.

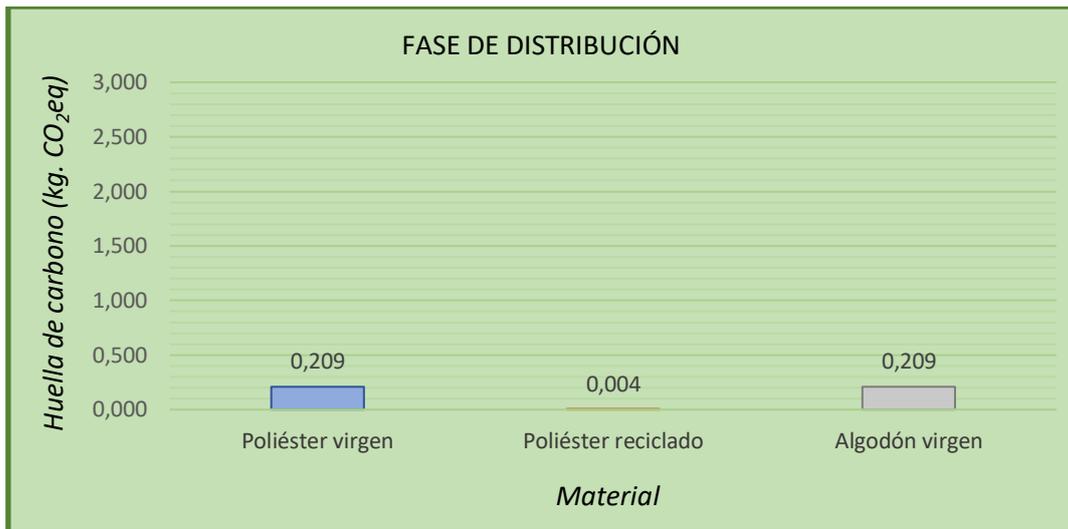


Figura 36 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de distribución

Uso

Los resultados de la fase de uso son prácticamente iguales debido a que se realizan exactamente los mismos procesos en los tres casos, pero con la diferencia del consumo si se trata de un material o de otro. Por ello se ha obtenido el mismo resultado para las camisetas fabricadas de poliéster, mientras que, para la de algodón, la huella de carbono es mayor, debido a ese mayor consumo.

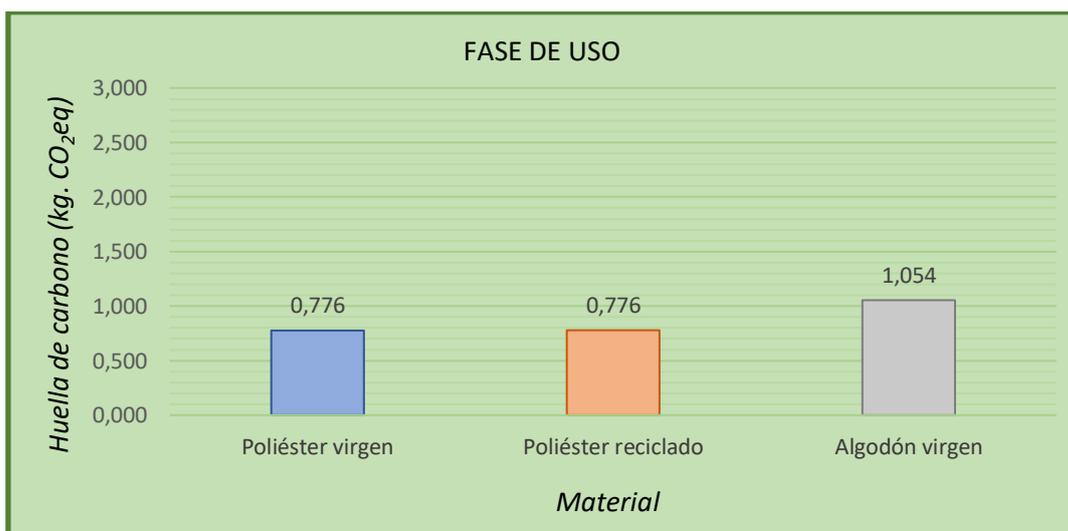


Figura 37 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de uso

Postconsumo

En la fase de postconsumo podemos ver cómo hay bastante diferencia entre llevar los residuos a procesos de incineración o de deposición en vertederos y reciclarlos para que tengan una nueva vida. En este caso obtenemos que, si se incineran 1 millón de camisetas después de su uso, estarían generando 176 toneladas más de CO₂eq que si se reciclase, mientras que, si se llevaran a un vertedero, generarían 360 toneladas más de CO₂eq a la atmósfera.

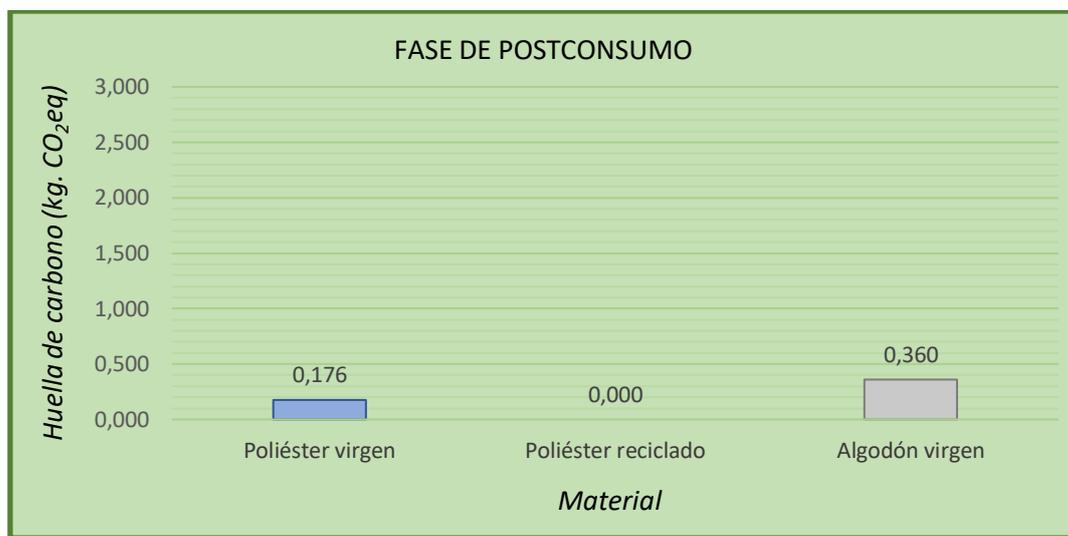


Figura 38 - Comparativa de la huella de carbono de la fase de postconsumo

A continuación, se presentan los gráficos anteriores reunidos en uno solo para así apreciar de mejor modo las diferencias que hay entre cada una de las fases del ciclo de vida para cada una de las camisetas estudiadas.

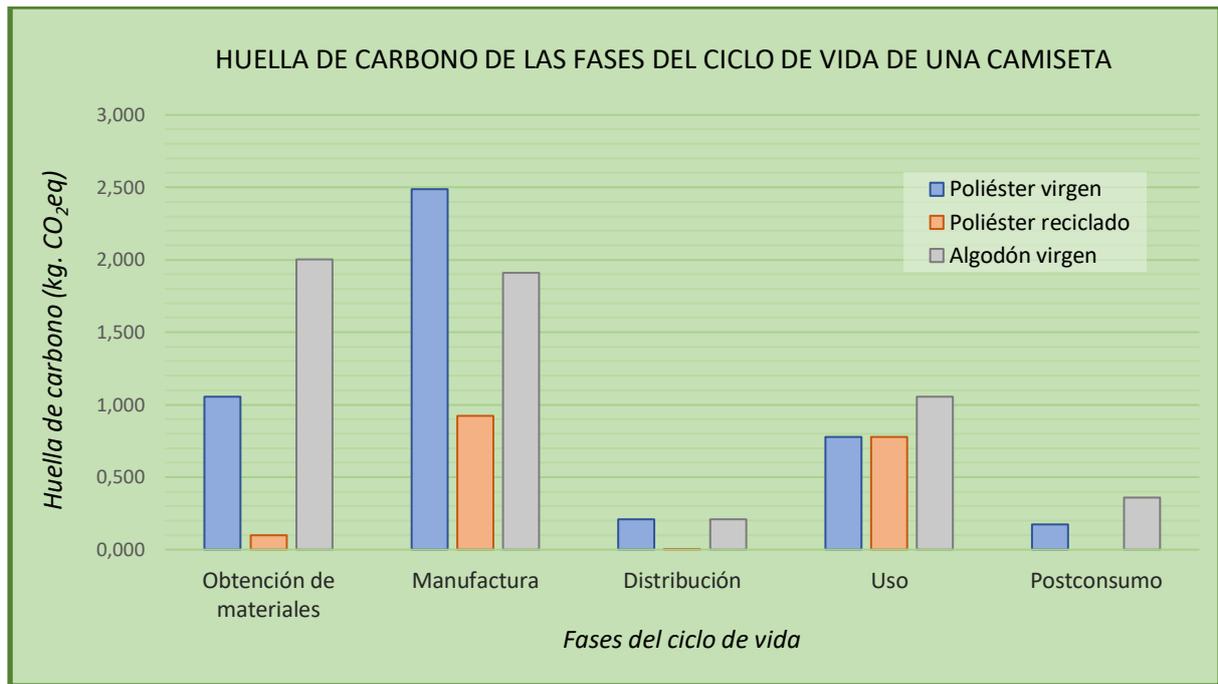


Figura 39 - Comparativa de la huella de carbono de las diferentes fases del ciclo de vida

Como se puede observar, las dos primeras fases son las de mayor influencia para los casos de los materiales vírgenes, mientras que para el caso del poliéster reciclado las fases de mayor influencia son la de manufactura y la de uso. Además, las fases de distribución y postconsumo para los tres casos contribuyen muy poco a la huella de carbono total.

7.4.2 Comparativa de los resultados totales

Si todos los datos expuestos en el apartado anterior los acumulamos, obtenemos la huella de carbono total para cada una de las camisetas, la cual se muestra a continuación.

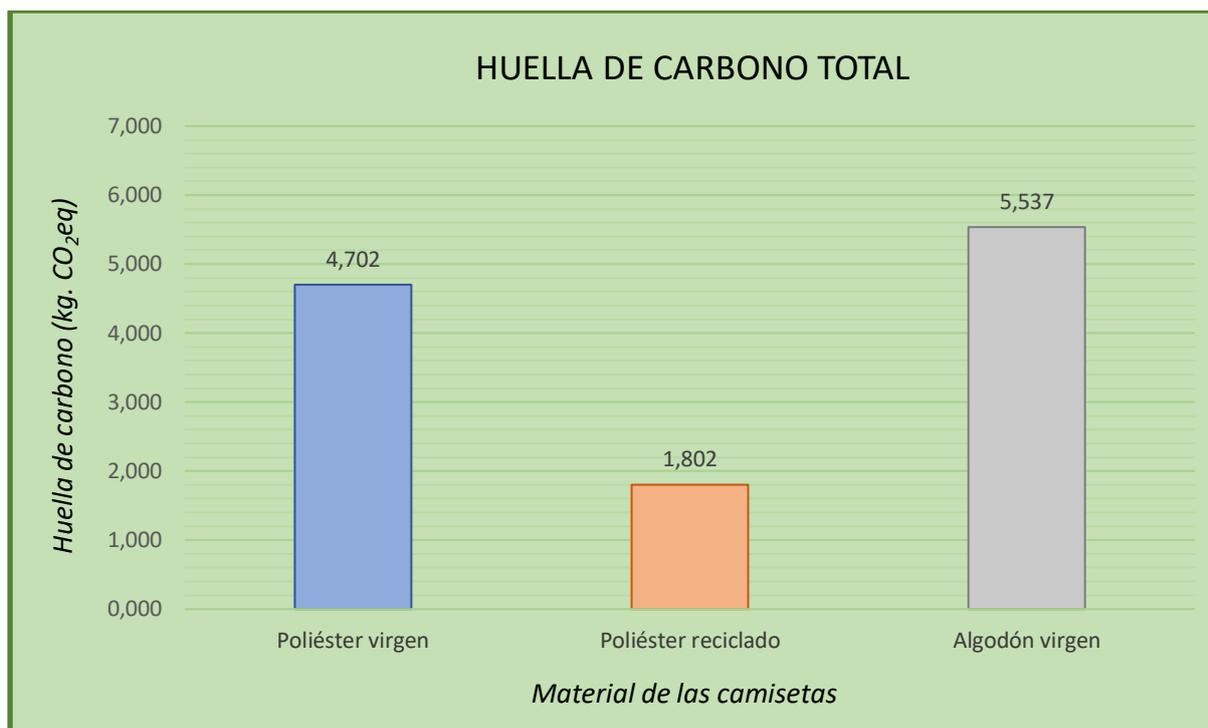


Figura 40 - Comparativa de la huella de carbono de las tres camisetas estudiadas

Tal y como observamos, la huella de carbono para la camiseta de poliéster virgen es de 4,702 kg de CO₂eq, la camiseta de poliéster reciclado emite 1,802 kg de CO₂eq y la de algodón virgen emite 5,537 kg de CO₂eq a lo largo de todo el ciclo de vida.

Con estos resultados podemos valorar la influencia de ir sumando las emisiones de cada una de las fases en el resultado total. Y es que, un producto reciclado, fabricado en un país donde el mix eléctrico depende fuertemente de las energías renovables, que su consumo se realiza en el mismo territorio en el que se produce y que se recicla después de su uso, emite una cantidad de gases de efecto invernadero mucho menor que si el producto se fabrica con materiales vírgenes, se manufactura en un país que depende en mayor medida de fuentes de energía no renovables, cuyo consumo se realiza en otra parte del mundo y que no se recicla.

En nuestro estudio, estos dos casos son los del poliéster virgen y el poliéster reciclado, en donde vemos que hay una diferencia de 2,9 kg de CO₂eq emitidos a la atmósfera, y esto solo es la diferencia por cada camiseta. Si realizamos la misma equivalencia que anteriormente, produciéndose 1 millón de camisetas en esas dos condiciones, la diferencia sería de 2.900 toneladas de CO₂eq. Ahorrar tal cantidad de emisiones equivale a plantar 145.000 árboles, o a ahorrarse el consumo de energía eléctrica de más de 3.700 hogares durante un año. (Grupo

Bimbo, 2019); también equivale a ahorrarse la producción de 6.827 barriles de petróleo o a las emisiones generadas por 228 personas a lo largo de toda su vida (Plastics Europe, 2010).

Si se comparan las emisiones de la camiseta de poliéster reciclado con la de algodón virgen, obtenemos valores algo más importantes. Y es que se emiten 3,735 kg de CO₂eq más durante el ciclo de vida de una sola camiseta de algodón virgen respecto una de poliéster reciclado, en las condiciones que hemos asumido en este estudio. Esto equivaldría a generar 3.735 toneladas de CO₂eq más si la producción, en vez de ser para una camiseta, se realizase para 1 millón de camisetas.

La principal razón de esta diferencia entre la camiseta de algodón virgen y la de poliéster reciclado reside en la fase de obtención de materiales en donde el algodón genera una gran cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Este problema, se reduciría en gran medida si se utilizara el algodón orgánico en su caso.

Este algodón hace un uso óptimo y sostenible de los recursos naturales, por lo que no utiliza insumos externos como fertilizantes químicos, herbicidas, pesticidas sintéticos, y semillas modificadas genéticamente, aunque sí se pueden utilizar insumos externos que sean ecológicos. Además, se utilizan prácticas naturales como la rotación de cultivos o abonos de animales en vez de fertilizantes artificiales. El control de plagas se realiza mediante métodos 100% biológicos como autóctonos o insectos. Este algodón se recolecta a mano para evitar defoliantes como los que se utilizan en el algodón convencional, ya que, al recolectarse mediante máquina, se tiene que rociar la plantación con herbicidas químicos para que las hojas se caigan antes de su recolecta.

En general, los datos que se obtienen en el cálculo de la huella de carbono pueden variar mucho entre unos casos de estudio y otros, ya que hay muchos factores que pueden alterar estos resultados. Estos factores son principalmente los límites del sistema, es decir, los procesos que se van a tener en cuenta en el estudio y los que no, el mix energético del que dependa cada país. Por ello, se ha encontrado un estudio en el que la huella de carbono de una camisa de algodón fabricada en China es de 8,771 kg de CO₂eq (Wang, y otros, 2015), mientras que en otro trabajo la huella de carbono total era de 20,56 kg de CO₂eq (Moazzem, Crossin, Daver, & Wang, 2018) para una camiseta producida en China y consumida en Australia. En cambio, para un chal fabricado con fibras recicladas se obtuvo en otro trabajo el total de 2,559 kg de CO₂eq (Rana, y otros, 2015).

8 CONCLUSIONES

Como se ha observado a lo largo del trabajo, la industria de la moda juega un papel muy importante a la hora de hablar tanto de sostenibilidad como también de economía, por lo que se hace especialmente necesario obtener una solución al gran problema medioambiental que convierte a esta industria en la segunda más contaminante del mundo (Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo, 2019).

Los avances que se están realizando actualmente tienen que llevar de la mano a gobiernos, empresas y consumidores hacia la misma dirección de una moda sostenible que trate de apoyar estas iniciativas que persiguen objetivos comunes a ellos, para, entre todos, lograr reducir el impacto que produce esta industria.

La implantación de la economía circular se propone como solución a una gran parte del problema que tiene esta industria y, para ello, se ha decidido realizar el cálculo de la huella de carbono de una prenda de vestir realizando un análisis previo del ciclo de vida del producto y, posteriormente, valorar si esta propuesta cumplía las expectativas.

Una vez realizados los cálculos sobre la huella de carbono y habiendo presentado los resultados, podemos observar cómo hay diferencias significativas en cuatro de las cinco fases del ciclo de vida de las camisetas, las cuales pasaremos a analizar a continuación.

En primer lugar, en la fase de obtención de los materiales vemos cómo la huella de carbono para la camiseta de poliéster reciclado es mínima en comparación con la de los materiales vírgenes. Esto se debe, principalmente, a que un material reciclado solo tiene que pasar procesos de recogida, limpieza y transformaciones físicas o químicas, mientras que, para el caso del poliéster virgen, a estos se le une la extracción de los materiales necesarios para la producción del PET virgen. Para la camiseta de algodón virgen, en cambio, los principales factores que afectan a la huella de carbono de esta fase del ciclo de vida son tanto la maquinaria utilizada durante la gestión de la plantación, como los pesticidas y fertilizantes empleados.

En la manufactura de las camisetas, hemos obtenido un valor más bajo para el caso de la camiseta fabricada de poliéster reciclado, pero la diferencia no depende del material del que estén hechas, sino que, principalmente, es el mix eléctrico que tenga cada país el que genera esa disparidad. Por lo que, en este caso, se ha evidenciado la importancia del uso de las

energías renovables en la industria de cada país, ya que posteriormente se refleja en las emisiones de gases de efecto invernadero nocivas para la atmósfera.

La huella de carbono generada durante la fase de distribución es claramente mayor para los dos casos en los cuales su producción y su consumo se realizan en diferentes partes del mundo. Esta diferencia existe principalmente por dos motivos, el primero de ellos es la distancia, y el segundo es el medio de transporte utilizado, el cual en el caso de los transportes intercontinentales suele ser el transporte por barco y/o por avión.

Durante la fase de uso, la huella de carbono generada es muy parecida para los tres materiales, y esto se debe a dos razones. En primer lugar, porque sus procesos son prácticamente iguales y, en segundo lugar, porque el mix eléctrico es el mismo al estar las tres camisetas consumidas en el mismo país. Lo que sí podría variar sería el valor de la huella de carbono si se utilizaran otros electrodomésticos con un consumo distinto o se incluyeran otros procesos en esta fase, pero la diferencia entre los tres casos seguiría siendo similar por los dos aspectos comentados anteriormente.

En la fase de postconsumo también encontramos un contraste bastante significativo. Esto se debe, principalmente, a que la camiseta de poliéster reciclado también se reciclará cuando termine su vida útil, por lo que no se contabiliza ninguna emisión al haber aplicado el método de corte. En cambio, para las camisetas fabricadas con materiales vírgenes, como en este estudio no se reciclan, hay una cantidad pequeña de emisiones que, aunque no sea muy significativa en el total de cada caso, si lo comparamos con la emisión nula de la camiseta de poliéster reciclado, se concluye que sí existe una gran diferencia.

Para concluir, observamos cómo las emisiones provenientes de cada una de las fases del ciclo de vida de un producto se van acumulando y se traducen en una huella de carbono total bastante diferenciada entre los casos de los materiales vírgenes y el caso del material reciclado.

Si asumimos que el mix eléctrico entre unos países y otros se podría igualar si se utilizaran las mismas fuentes de energía en la misma proporción, obtendríamos unos resultados más igualados en los que, aun así, se mantendrían las diferencias en tres de las cinco fases del ciclo de vida.

Estas tres fases son: la obtención de los materiales, la distribución y el postconsumo. Por lo que estas son las fases trascendentales dónde habría que incidir para reducir la huella de carbono que se genera durante el ciclo de vida de estos productos y, en general, de las prendas de vestir, las cuales la industria de la moda se encarga de producir.

Dos de estas tres fases tienen bastante relación entre sí. Y es que, tal y como hemos visto, la huella de carbono de las prendas de vestir se puede reducir en la fase de obtención de materiales, utilizando materias primas recicladas, y en la fase de postconsumo, reciclando los productos. Esta cuestión la solucionaría la implantación de la economía circular a través de la valorización de residuos.

9 BIBLIOGRAFÍA

- 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*. Obtenido de https://www.aitex.es/wp-content/uploads/2019/01/Entregable-7_Informe-de-Resultados-Final_SPUNTEX.pdf
- Asociación Ibérica de Reciclaje textil - ASIRTEX. (2016). *La ropa usada: Tendencias de un mercado emergente. El residuo olvidado en el siglo XX*. Obtenido de <https://www.asirtex.org/wp-content/uploads/2019/05/La-Ropa-Usada.-Tendencias-de-un-mercado-emergente.-El-residuo-olvidado-en-el-siglo-XXI..pdf>
- Berghoff, C. F. (2011). *DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE MATRICES COMPUESTAS QUITOSANO/POLÍMERO SINTÉTICO PARA REGENERACIÓN DE TEJIDO ÓSEO*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2769/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bertolotti, B., Chávez, J., Laos, R., Rospigliosi, C., & Nakamatsu, J. (2005). *Poliésteres y Reciclaje Químico del Poli(tereftalato de etileno)*. Obtenido de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/18726/18963>
- Carrión Fité, F. J. (2014). *MATERIALS PEL DISSENY DE PRODUCTES TÈXTILS - Poliéster*. Obtenido de <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliester-5467.pdf>
- Centro Español de Logística y Everis Spain S.L.U. (2016). Obtenido de http://contenidos.ceoe.es/CEOE/var/pool/pdf/cms_content_documents-file-499-estudio-de-caracterizacion-del-sector-del-transporte-y-la-logistica-en-espana-resumen-ejecutivo-y-conclusiones.pdf
- CESCE. (2019). *Informe sectorial de la economía española: Textil*.
- Clotsy Brand. (2020). Obtenido de <https://www.clotsybrand.com/>
- CNAE. (2009). *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*. Obtenido de <https://www.cnae.com.es/>
- Conferencia de la ONU sobre Comercio y Desarrollo. (2019). *El costo ambiental de estar a la moda*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
- Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia. (s.f.). *Ahorro del agua en el hogar*. Obtenido de <http://www.ecorresponsabilidad.es/fichas/agua.htm#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20de%20gastos%20de,Kg%20de%20CO2%20por%20m3>.
- Consultoría textil Gabriel Farias. (2016). *Tendencias globales del sector textil*. Obtenido de <https://gabrielfariasiribarren.com/tendencias-globales-del-sector-textil/>

Consultoría textil Gabriel Farias. (2019). *Moda circular es reciclaje de textiles*. Obtenido de <https://gabrielfariasiribarren.com/moda-circular-es-reciclaje-de-textiles/>

Delft University of Technology. (2020). Bases de datos Idematapp.

Diteco S.A. (2020). Obtenido de <http://www.ditecosa.es/webroot/empresa/uploads/descargas/docs/distancias.html>

EAE Business School. (2018). *El sector textil en 2018*. Obtenido de http://marketing.eae.es/prensa/SRC_SectorTextil.pdf

El Economista. (2020). *Ranking de Empresas Españolas*. Obtenido de <https://ranking-empresas.eleconomista.es/TEXTIL-SANTANDERINA.html#ranking-sectorial-empresas>

Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*. Obtenido de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy_Full-Report_Updated_1-12-17.pdf

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *WHAT IS THE CIRCULAR ECONOMY?* Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>

EURATEX. (2018). *The Textile and Clothing Industry - Annual Report 2018*. Obtenido de <http://consejointertextil.com/wp-content/uploads/Euratex-annual-report-2018-LR.pdf>

EUR-Lex. (2020). Principio de «quien contamina paga» y responsabilidad ambiental. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28120&from=IT>

Euromonitor Internacional. (2019). *Home Laundry Appliances in Spain*.

European Plastics and Rubber Machinery - EUROMAP. (2011). *Energy Efficiency: Plastics and Rubber Machines Well Placed!* Obtenido de https://www.vdma.org/documents/105897/164524/kug_D_20120302_EUROMAP_energy_efficiency_summary.pdf/c62a9f70-d7be-4bec-af0a-f6afd52b0e3d

Fashion Network. (2013). *La UE aspira a que el sector de la moda y el lujo contribuya un 20% al PIB*. Obtenido de <https://es.fashionnetwork.com/news/La-ue-aspira-a-que-el-sector-de-la-moda-y-el-lujo-contribuya-un-20-al-pib,372622.html>

Fashion Network. (2015). *El fondo para víctimas del Rana Plaza se completa 2 años después*. Obtenido de <https://es.fashionnetwork.com/news/El-fondo-para-victimas-del-rana-plaza-se-completa-2-anos-despues,538595.html>

Fashion Network. (2018). *UN addresses fashion industry's 'underestimated' environmental impact*. Obtenido de <https://ww.fashionnetwork.com/news/Un-addresses-fashion-industry-s-underestimated-environmental-impact,954914.html>

- Fernández, I. J. (2016). *Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera*. Obtenido de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/fernandez.pdf>
- Fruit of the Loom. (2020). Obtenido de <https://www.jerzees.com/ftl/product-details/IC47MR?color=White>
- García Sánchez, M. (2017). *Ingeniería básica de una planta de producción de Polietileno Tereftalato*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91113/fichero/TFGdefinitivo.pdf>
- GettyImages. (2011). *Industrial Pollution in Bangladesh*. Obtenido de <https://media.gettyimages.com/photos/every-day-9-year-old-jashim-collects-pieces-of-cloth-from-the-liquid-picture-id477070861?s=2048x2048>
- Greenpeace. (2016). *Timeout for fast fashion*. Obtenido de <https://wayback.archive-it.org/9650/20200401053856/http://p3-raw.greenpeace.org/international/Global/international/briefings/toxics/2016/Fact-Sheet-Timeout-for-fast-fashion.pdf>
- Greenpeace España. (2009). *Incineración de residuos: malos humos para el clima*. Obtenido de <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/costas/091124-02.pdf>
- Greenpeace España. (2016). *12 cosas que (probablemente) no sabías sobre el plástico*. Obtenido de <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/Blog/12-cosas-que-probablemente-o-sabas-sobre-el-p/blog/57441/#:~:text=En%20la%20econom%C3%ADa%3A,la%20producci%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1stico%20nuevo.>
- Greenpeace España. (2018). *Propuestas de Greenpeace*. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/democracia-y-contrapoder/presupuestos-generales-2018/n14/>
- Grupo Bimbo. (2019). *Grupo Bimbo reduce en más de 100 mil toneladas de CO2e su huella de carbono a nivel global*. Obtenido de <https://grupobimbo.com/es/grupo-bimbo-reduce-impacto-ambiental>
- Hossain, A. (2016). *Life Cycle Analysis of a Polyester Garments - A comparative study between Virgin polyester & Recycled polyester*. Obtenido de <http://dspace.daffodilvarsity.edu.bd:8080/bitstream/handle/123456789/3336/173-32-356%20%20%2820%25%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ICANE. (2017). *Estadística Estructural de Empresas del Sector Industrial*. Obtenido de https://www.icane.es/c/document_library/get_file?uuid=61af1442-5b2e-4d39-ba8e-bcd0b6a4ccda&groupId=10138
- ICANE. (2018). *Directorio de Empresas de Cantabria*. Obtenido de <https://www.icane.es/direcan/>

- INE. (2020). *Empresas por actividad principal (divisiones CNAE 2009) y edad*. Obtenido de <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=3954#!tabs-tabla>
- INE. (2020). *Ocupados por sexo y rama de actividad. Valores absolutos y porcentajes respecto del total de cada sexo*. Obtenido de <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=4875#!tabs-tabla>
- IPCC. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. Obtenido de Climate Change 2013: The Physical Science Basis: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- ISEM. (2016). *El Sector de la Moda en España: retos y desafíos*. Obtenido de <http://xn--observatoriomodaespaola-cic.com/wp-content/uploads/2016/06/INFORME.pdf>
- Lawrence Berkeley National Laboratory's China Energy Group. (2012). *China's Industrial Carbon Dioxide Emissions in Manufacturing Subsectors and in Selected Provinces*. Obtenido de <https://china.lbl.gov/sites/all/files/lbl-5575e-industrial-co2-emissionsjune-2012.pdf>
- López, C. (2016). *Reciclado del plástico [PET*] para la obtención de fibra textil*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/trabajo_final/reciclado_PET.pdf
- Marks and Spencer plc. (2002). *Streamlined Life Cycle Assessment of Two Marks & Spencer plc Apparel Products*.
- McKinsey & Company. (2017). *The State of Fashion*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Retail/Our%20Insights/The%20state%20of%20fashion/The-state-of-fashion-2017-McK-BoF-report.ashx>
- McKinsey&Company. (2019). *The State of Fashion*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Retail/Our%20Insights/The%20State%20of%20Fashion%202019%20A%20year%20of%20awakening/The-State-of-Fashion-2019-final.ashx>
- Miele. (2020). *Instrucciones de manejo de la lavadora*. Obtenido de https://www.miele.es/pmedia/ZGA/TX2070/10653980-000-01_10653980-01.pdf
- Ministerio de Transición Ecológica. (2020). *Factores de Emisión*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf
- Ministerio del Interior y REMER. (2020). *Glosario de envases y embalajes*. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum19/vdm02539.htm>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2020). Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/preguntas_hv.aspx

- Ministerio para la Transición Ecológica. (2020). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf
- Moazzem, S., Crossin, E., Daver, F., & Wang, L. (2018). *Baseline Scenario of Carbon Footprint of Polyester T-Shirt*.
- National Geographic España. (2020). *¿Cuánto consumen tus electrodomésticos?* Obtenido de https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/cuanto-consumen-tus-electrodomesticos_13235
- Natural Zone. (2016). *¿Qué es el "gas de vertedero"?* Obtenido de <http://www.natzone.org/index.php/areas-de-investigacion/desarrollo-tecnologico/item/136-que-es-el-gas-de-vertedero#:~:text=El%20denominado%20%E2%80%9Cgas%20de%20vertedero,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero.>
- Observatorio Regional del Cambio Climático de la Región de Murcia. (2008). *Estrategia de la Región de Murcia Frente al Cambio Climático 2008-2012*. Obtenido de <http://www.ecorresponsabilidad.es/pdfs/orcc/ermcc.pdf>
- Organización de Consumidores y Usuarios. (2012). *Elige tu lavadora según tus necesidades familiares*. Obtenido de <https://www.ocu.org/electrodomesticos/lavadora/consejos/consejo-elegir-lavadora>
- Plastics Europe. (2005). *Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyethylene Terephthalate (PET) (Amorphous grade)*.
- Plastics Europe. (2010). *La contribución de los materiales plásticos al desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://web.ua.es/es/ecocampus/documentos/consejos-ambientales/plasticseurope.pdf>
- Plastics Europe. (2020). *Ecoperfiles*. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/es/resources/eco-profiles#>
- Plastics Technology México. (2016). *Detrás de la producción del PET*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/art%3ADculos/detr-s-de-la-produccion-del-pet>
- Ramos López, Á. (2014). *Responsabilidad social empresarial - Seguridad industrial dentro de la industria de la moda*. Obtenido de https://www.academia.edu/11690914/Responsabilidad_Social_Empresarial_dentro_de_la_Industria_de_la_Moda_Caso_Bangladesh
- Rana, S., Pichandi, S., Karunamoorthy, S., Bhattacharyya, A., Parveen, S., & Figueiro, R. (2015). *Carbon Footprint of Textile and Clothing Products*.
- Real Academia Española. (2020). *Diccionario de la lengua española*.

- Revista Técnica de Medio Ambiente - RETEMA. (2019). *Funcionalización de materias de origen bio y reciclada para la obtención de multifilamentos de alto valor añadido*. Obtenido de <https://www.retema.es/articulo/funcionalizacion-de-materias-de-origen-bio-y-reciclada-para-la-obtencion-de-multifila-pTtC7>
- Roy, N., Pathak, N., & Misra, A. (2016). *Fine-grained appliance usage and energy monitoring through mobile and power-line sensing*.
- Samsung Newsroom España. (2017). *Hábitos de lavado de los consumidores españoles*. Obtenido de <https://news.samsung.com/es/infografia-habitos-de-lavado-de-los-consumidores-espanoles>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). *Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling*. Obtenido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921344910001618?token=7BF900ECAD E534AD9A0270DEE85B928360B160C09A9F9C2C301CC6CEE8BB00DCD9C5690AA94F497EC62F3E7101AE0430>
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2012). *Comparing life cycle energy and GHG emissions of bio-based PET, recycled PET, PLA, and man-made cellulose*.
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2010). *Identificación de resinas*. Obtenido de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND10/d2095_spnd10.html#:~:text=La%20Sociedad%20de%20las%20Industrias,los%20residuos%20dom%C3%A9sticos%2C%20en%201988.
- Thiele, U. (2009). *The 13th international polyester recycling symposium*.
- UICN. (2017). *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Source*. Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf>
- United Nations - UNECE. (2018). *Fashion is an environmental and social emergency, but can also drive progress towards the Sustainable Development Goals*. Obtenido de <https://www.unece.org/info/media/news/forestry-and-timber/2018/fashion-is-an-environmental-and-social-emergency-but-can-also-drive-progress-towards-the-sustainable-development-goals/doc.html>
- Wang, C., Wang, L., Liu, X., Du, C., Ding, D., Jia, J., . . . Wu, G. (2015). Carbon footprint of textile throughout its life cycle: a case study of Chinese cotton shirts. *Journal of Cleaner Production*.
- Zhu, F. (.), Johnson, J. A., Ablin, D. W., & Ernst, G. A. (2019). *Efficient Petrochemical Processes: Technology, Design and Operation*. Obtenido de https://books.google.es/books?id=hq3DwAAQBAJ&pg=PA21&lpg=PA21&dq=Efficient+Petrochemical+Processes:+Technology,+Design+and+Operation+polyester+resin&source=bl&ots=RjfpFVerPx&sig=ACfU3U2By5A7A7q4IEtWL7Wj_WNL-takxw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewiOrlw2oTrAhWNxIUKH