

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis del Impacto Ambiental de la Fabricación de
Prendas de Algodón en España

Autora: María Carrillo Mihura

Tutoras: Fátima Arroyo Torralvo

María Luisa López Castejón

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis del Impacto Ambiental de la Fabricación de Prendas de Algodón en España

Autora:

María Carrillo Mihura

Tutoras:

Fátima Arroyo Torralvo

María Luisa López Castejón

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Trabajo de Fin de Grado: Análisis del Impacto Ambiental de la Fabricación de Prendas de Algodón en España

Autora: María Carrillo Mihura

Tutoras: Fátima Arroyo Torralvo
María Luisa López Castejón

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

*A mis padres, mi hermana y mis
abuelos*

A Javi

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecerles a mis padres el apoyo que me han brindado estos largos y duros años de carrera, entendiéndome y apoyándome hasta el último día.

A mis abuelos, que han creído siempre en mí.

A Javi, que no podría haber sido un mejor ejemplo para seguir, ayudándome cuando lo he necesitado y brindándome todo su apoyo, solo puedo darle las gracias una y mil veces, ya que sin él no lo habría conseguido.

A mis tutoras, por haberse volcado con la idea de este trabajo desde el principio, orientarme y compartir conmigo sus conocimientos, sin duda la mejor decisión para poner el broche final a esta etapa fue contar con ellas.

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado pone en contexto del estado actual del sector textil y algodonero a nivel europeo y nacional, haciendo hincapié en la problemática ambiental derivada de ellos. El objetivo es concienciar acerca de los impactos ambientales que supone el uso de una prenda de vestir, como es una camiseta de algodón confeccionada de manera tradicional. Se presentará un caso base (Caso1), utilizando algodón convencional y energías más tradicionales, y se aportarán soluciones que permitan minimizar dicho impacto ambiental en los casos 2 y 3, cambiando el tipo de algodón, haciendo uso de energías más limpias y reduciendo el uso de productos químicos. Para ello se ha realizado un análisis de ciclo de vida según la norma ISO 14040, modelando los tres casos en el software OpenLCA. Se han valorado cuantitativamente diferentes impactos y se ha analizado su posible reducción con los cambios adoptados respecto al caso base.

Abstract

This Final Degree Project puts in context the current state of the textile and cotton sector at the European and national level, emphasizing the environmental problems derived from them. The objective is to raise awareness about the environmental impacts of using a piece of clothing, such as a traditionally made cotton t-shirt. A base case will be presented (case 1), using conventional cotton and more traditional energies, and providing solutions that allow minimizing environmental impact in cases 2 and 3, changing the type of cotton, making use of cleaner energies and reducing the use of chemicals. For this, a life cycle analysis has been carried out according to the ISO 14040 standard, modelling the three cases in the OpenLCA software. Different impacts have been quantitatively assessed and their possible reduction has been analysed with the changes adopted with respect to the base case.

Agradecimientos	ix	
Resumen	x	
Abstract	xi	
Índice	xii	
Índice de Tablas	xiv	
Índice de Figuras	xv	
Notación	xvi	
1	Introducción	11
1.1.	<i>Motivación</i>	11
1.2.	<i>¿Qué es un análisis de ciclo de vida?</i>	11
1.3.	<i>Sector textil</i>	13
1.3.1.	Contexto Europeo	13
1.3.1.1.	Euratex	15
1.3.2.	Contexto Nacional	16
1.3.3.	Impacto ambiental del sector textil	18
1.4.	<i>Sector algodónero</i>	19
1.4.1.	Contexto Europeo	20
1.4.2.	Contexto Nacional	21
1.4.3.	Impacto Ambiental del sector del algodón	22
2	ACV prendas textiles de algodón	25
2.1.	<i>Definición objetivo, alcance y unidad funcional</i>	25
2.1.1	Objetivo	25
2.1.2	Alcance	25
2.1.2.1	Cultivo y producción de la fibra de algodón	25
2.1.2.2	Producción del hilo y tejido	26
2.1.2.3	Fabricación de la prenda	27
2.1.2.4	Transporte y venta en tienda	27
2.1.2.5	Uso de la prenda	27
2.1.2.6	Fin de vida	27
2.1.3	Unidad funcional	28
2.2.	<i>Inventario de ciclo de vida</i>	30
2.2.1.	CASO 1: Algodón convencional	30
2.2.2.	CASO 2: Algodón orgánico	32
2.2.3.	CASO 3: Algodón reciclado	34
2.3.	<i>Evaluación de impactos</i>	36
2.3.1.	Comparativa etapa 1: Cultivo y producción de la fibra	37
2.3.2.	Comparativa etapa 2: Producción del hilo y tejido	38
2.3.3.	Comparativa etapa 3: Fabricación de la prenda	39
2.3.4.	Comparativa etapa 4: Transporte y venta	40
2.3.5.	Comparativa etapa 5: Uso de la prenda	41
2.3.6.	Comparativa etapa 6: Fin de vida	42

2.4. Interpretación de resultados	43
3 Marcas españolas sostenibles	47
<i>Natural World Ecofriendly</i>	47
<i>ECOALF</i>	47
<i>Blue Banana</i>	48
<i>Inditex</i>	48
4 Conclusiones	49
Referencias	50
Anexo A	54
<i>Fuentes y cálculos del inventario de ciclo de vida de los casos 1, 2 y 3</i>	54
CASO 1	54
1. Cultivo y producción de la fibra	54
2. Producción de hilo y tejido	55
3. Fabricación de la prenda	57
4. Transporte y venta	58
5. Uso de la prenda	59
6. Fin de vida	59
CASO 2	60
1. Cultivo y producción de la fibra	60
2. Producción de hilo y tejido	61
3. Fabricación de la prenda	61
4. Transporte y venta	62
5. Uso de la prenda	63
6. Fin de vida	63
CASO 3	64
1. Cultivo y producción de la fibra	64
2. Producción de hilo y tejido	65
3. Fabricación de la prendas	65
4. Transporte y venta	66
5. Uso de la prenda	66
6. Fin de vida	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entradas y salidas del Caso 1	31
Tabla 2. Entradas y salidas del Caso 2	33
Tabla 3. Entradas y salidas del Caso 3	35
Tabla 4. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 1	37
Tabla 5. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 2	38
Tabla 6. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 3	39
Tabla 7. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 4	40
Tabla 8. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 5	41
Tabla 9. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 6	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ACV según Norma ISO 14040	12
Figura 2. La producción textil se ha casi duplicado a nivel mundial (Fuente: [9])	14
Figura 3. Esquema del pasaporte digital de prendas (Fuente: [10])	15
Figura 4. Aspectos destacados del comercio textil europeo (Fuente: [14])	16
Figura 5. Evolución del número de empresas en España en el sector textil	17
Figura 6. Comercio exterior del sector textil español en 2022	17
Figura 7. Algodón (Fuente: [22])	20
Figura 8. Evolución del consumo de algodón de la industria de la moda española	21
Figura 9. Evolución de la producción de la industria algodonera en España	22
Figura 10. Cultivo de algodón (Fuente: [27])	22
Figura 11. Volumen de aguas azules, grises y verdes necesarias en la producción de una camiseta	23
Figura 12. Gráficas de la huella hídrica y uso de suelo de la producción de una camiseta de algodón	24
Figura 13. ACV Camiseta de algodón convencional (Elaboración propia)	29
Figura 14. Logo OpenLCA	36
Figura 15. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 1	37
Figura 16. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 2	38
Figura 17. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 3	39
Figura 18. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 4	40
Figura 19. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 5	41
Figura 20. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 6	42
Figura 21. Comparativa de los impactos ambientales de todo el ACV	44
Figura 22. Comparativa de los recursos del ACV	44
Figura 23. Calentamiento global por etapas	45
Figura 24. Consumo de agua por etapas	45
Figura 25. Consumo energético por etapas	46
Figura 26. Toxicidad por etapas	46
Figura 27. Logo Natural World	47
Figura 28. Logo ECOALF	47
Figura 29. Logo Blue Banana	48
Figura 30. Logo Inditex	48

Notación

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

La “*fast fashion*” constituye hoy en día uno de los mayores problemas ambientales a los que tiene que hacer frente la sociedad del siglo XXI. Uno de los motivos del crecimiento de esta corriente es el aumento de la publicidad que llega de manera rápida y eficaz a cualquier usuario, mostrándole un producto que se convierte en necesidad en cuestión de segundos. A su vez, existen numerosas plataformas en las que se pueden comprar tanto prendas, zapatos y accesorios, como decoración del hogar, con envíos cada vez más rápidos y con muy bajo coste. Así, se ha evolucionado a una sociedad consumista con un estilo de vida dominado por el deseo de la inmediatez. Todo ello hace que se acumulen numerosos residuos, que incluyen el embalaje y el artículo comprado cuando acaba su vida útil.

Poco a poco van aflorando marcas más concienciadas con estas cuestiones, así como las ya existentes que intentan avanzar hacia una producción más sostenible. Sin embargo, es importante destacar el papel del consumidor, ya que es el que decide que prenda comprar, por lo que es importante este avance de las marcas para que pueda obtener una información mayor acerca de cada producto y tenga la posibilidad de elegir los que sean más respetuosos con el medio ambiente. A su vez, el usuario también juega un papel importante a la hora de darle uso a las prendas, así como en la disposición final de esta, ya que son etapas que marcan mucho el impacto ambiental de una prenda en ciclo de vida.

En este Trabajo de Fin de Grado se va a realizar el análisis de ciclo de vida de una prenda considerada como básica y que está al alcance de la mayoría: una camiseta blanca de algodón. Además del caso base se analizarán dos supuestos más, para los cuáles se sustituirá el cultivo de algodón convencional por orgánico en el Caso2, y la producción de fibra de algodón reciclado en el Caso3, así como se evolucionará a energías más renovables y a la disminución del uso de productos tóxicos. Con ello, se pretende analizar los diferentes cambios que pueden hacer que la fabricación de esta prenda sea más sostenible, desde el cultivo hasta su disposición final.

1.2. ¿Qué es un análisis de ciclo de vida?

El análisis de ciclo de vida, en adelante ACV, es una herramienta que sirve para medir y cuantificar el impacto ambiental de un producto, servicio, proceso o sistema a lo largo de su ciclo de vida, desde su origen (extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución) hasta el uso y eliminación (mantenimiento, reutilización, reciclado y disposición en vertedero) [1]. Asimismo, constituye un elemento determinante en la transición hacia un modelo de economía circular y sostenible, ya que ésta busca una producción de bienes y servicios más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

El ACV de un producto tiene en cuenta todas las etapas, desde su origen (extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución), hasta el uso y eliminación (mantenimiento, reutilización, reciclado y disposición en vertedero).

Debido a la complejidad de realizar un Análisis de Ciclo de Vida, su aplicación se estandarizó en los años 90 por la organización ISO (Organization for Standardization) mediante las siguientes normas [2]:

- UNE EN ISO 14040: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE EN ISO 14041: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario.
- UNE EN ISO 14042: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.

- UNE EN ISO 14043: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida.

Que más tarde, en 2006 fueron anuladas y sustituidas por:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.

A continuación, según la metodología propuesta por la norma ISO 14040 [3] y como se muestra en la **Figura 1**, se detallan brevemente las distintas fases en las que se puede dividir un ACV:

1. Definición de objetivos, alcance y límites, exponiendo los motivos por los que se realiza el análisis, identificando los aspectos ambientales (aquel elemento que puede interferir en el medio ambiente), así como los motivos por los que se lleva a cabo el análisis.
2. Inventario, recopilando las entradas (consumo de recursos y materiales) y salidas (emisiones al aire, suelo, aguas y generación de residuos) que puedan causar un impacto, es decir, balances de materia y energía.
3. Evaluación de impactos de las anteriores. Se establece una relación entre las entradas y salidas con los posibles impactos sobre el medio ambiente, salud humana y recursos. El objetivo será la clasificación, caracterización y evaluación de la importancia de los impactos generados.
4. Interpretación de resultados. En este último eslabón que combina los resultados de las etapas anteriores, ya se habrán identificado las fases y elementos que generan las principales cargas ambientales, de manera que puedan llevarse a cabo mejoras y establecer prioridades, si es el caso de un único proceso, así como elegir la mejor opción si se comparan varios.



Figura 1. Esquema ACV según Norma ISO 14040

Por otro lado, los análisis de ciclo de vida se pueden clasificar como: [1]

- **ACV conceptual:** estudio cualitativo para la identificación de impactos ambientales más significativos, siendo éste de carácter más general.
- **ACV simplificado:** considera datos genéricos y abarca el ciclo de vida de forma superficial, centrándose en las etapas más importantes, proporcionando finalmente un análisis de fiabilidad de los resultados.
- **ACV completo:** análisis en detalle cualitativo y cuantitativo, haciendo uso de todos los datos disponibles y teniendo en cuenta todas las etapas.

Los análisis de ciclo de vida que se desarrollaron en la década de los 70, a raíz de la crisis energética, se centraban en balances de materia y energía, y debido a la relación que el consumo energético guarda con el gasto de recursos, emisiones y residuos, hoy en día estos análisis han evolucionado y son mucho más detallados y tienen en cuenta otros aspectos, que gracias a los ACV pueden ser medidos de manera cualitativa y cuantitativa en cada etapa de un proceso [4]. Por ello, los análisis de ciclo de vida suponen un gran avance y permiten conocer de cada uno de los eslabones de la cadena, los puntos fuertes y débiles, lo que permite tomar medidas que ayuden a reducir el consumo de recursos innecesarios, así como disminuir el impacto ambiental de las etapas que lo requieran.

1.3. Sector textil

En la actualidad, la producción y consumo de productos textiles se sitúa como el cuarto mayor impacto negativo sobre el medio ambiente y el cambio climático, así como el tercero en el uso de agua y suelo desde el punto de vista del ciclo de vida a escala global [5].

Por otro lado, los mismos autores hacen referencia a un mayor uso de prendas durante menos tiempo, favoreciendo el fenómeno conocido como “*fast fashion*” (moda rápida, barata y de baja calidad), aumentando los residuos textiles que serán incinerados o llevados al vertedero, ya que apenas pueden ser reciclados. Por ello, empieza a existir una preocupación por los efectos que causa esta acumulación de residuos, y se ha comenzado a regularizar su tratamiento, implementando normas para el diseño de los productos, haciendo que sea más ecológico y sostenible, constituyendo esta primera parte del proceso (el diseño) un papel muy importante para lograr la reducción del impacto medioambiental. Sin embargo, también se observa que las generaciones nacidas en el siglo XX son más exigentes a la hora de comprar una prenda, dando mayor importancia a la sostenibilidad; por lo que se prevé que los mercados de segunda mano dupliquen su volumen en un corto espacio de tiempo.

Por último, una de las consecuencias de la globalización y la liberalización de intercambios textiles, es el traslado de la mayor parte de la producción a países en vías de desarrollo (como el Sureste Asiático) [6].

1.3.1. Contexto Europeo

En septiembre del año 2015, la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas aprobó lo que se conoce como Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [7], planteando además los 17 ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible). Esta iniciativa tiene como objetivo la erradicación de la pobreza, fomentando el crecimiento económico y teniendo en cuenta la educación, sanidad, protección social y empleo, haciendo frente al cambio climático.

De este modo, en junio de 2023 se aprobó en el Parlamento Europeo la “*Estrategia de la Unión para la circularidad y sostenibilidad de los productos textiles*” [8], ley que tiene como objetivo conseguir para el año 2030 que los productos textiles sean más duraderos y reciclables, respetando los derechos sociales y del medio ambiente, así como aumentar los medios para la reutilización y reparación, garantizando a su vez la rentabilidad del sector sin dejar de ser asequible. Para ello, habrá de aprobarse también un reglamento imponiendo como requisitos ciertas condiciones a la hora de diseñar los productos, aumentando la durabilidad, la reutilización, la capacidad de ser reparado, la reciclabilidad, así como el uso de materiales reciclados. Estas medidas que empiezan a tomarse en la UE forman parte del plan para lograr una economía circular en 2050, siendo el compromiso de Europa alcanzar la neutralidad climática, para lo que además se pretende reducir un 55% las emisiones de CO₂ para 2030.

Por otra parte, según el artículo publicado por el Parlamento Europeo en 2020 [9], la producción textil utiliza una gran cantidad de agua y suelo (para el cultivo de algodón y otras fibras), lo que provoca que el consumo textil por habitante medio de la UE (en 2020) suponga el empleo de 400 m² de suelo, 9 m³ de agua, 391 kg de materias primas. A su vez, esta industria es la causante del 10% de las emisiones globales de carbono. La Agencia Europea de Medio Ambiente estima que se generaron 270 kg de emisiones de CO₂ por persona, lo que supone que en la UE se produjeron unas emisiones de gases de efecto invernadero de 121 millones de toneladas. En este mismo artículo se estima que, debido a los tintes y productos de acabado, la producción textil es la responsable del 20% de la contaminación del agua potable a nivel mundial. La moda rápida contribuye a esta

contaminación, como ya se adelantó antes. Además de la etapa de producción, la moda rápida fomenta el aumento de los primeros lavados, siendo en estos donde más micro plásticos se liberan.

A pesar de la aparición de nuevas tecnologías, que permiten la transformación de prendas para su reciclaje o bien nuevos usos, solo el 1% de la ropa no deseada es utilizada para este fin. Como puede observarse en la **Figura 2**, entre los años 2000 y 2015 la producción de prendas textiles se duplicó, y, sin embargo, el uso de las prendas ha disminuido en los últimos años. Las redes sociales han tenido un papel importante en el fomento de la *fast fashion*, ya que consigue que las nuevas tendencias lleguen más rápido y a más consumidores. En el futuro, las estrategias a seguir deberán estar enfocadas en desarrollar más modelos de alquiler de ropa, diseñar productos más reutilizables y reciclables (moda circular), concienciar a los consumidores para que compren menos ropa y de más calidad, orientando hacia opciones más sostenibles.



Figura 2. La producción textil se ha casi duplicado a nivel mundial (Fuente: [9])

De este modo, una de las aspiraciones de Europa para 2030 será conseguir que los textiles sean más duraderos y reciclables, aumentando las fibras recicladas en su composición, así como que estén libres de sustancias peligrosas y producidos con respeto a los derechos sociales y del medio ambiente y reduciendo las emisiones de CO₂ [10]. Se describe a su vez la existencia de un reglamento de ecodiseño, el cual obligará a la creación de un pasaporte digital (**Figura 3**), de manera que se verifique con facilidad la manera en que se ha producido la prenda (cómo, dónde, quiénes), seguir su proceso y conocer su ciclo de vida. Así, a través de este medio se ampliará la información básica que ya incluyen las prendas, rastreando su origen hasta el final de su vida útil. Este sistema incluirá unos códigos (QR, etiqueta NFC, RFID) que darán el acceso a todo el historial de la prenda, donde se podrán consultar los siguientes aspectos:

- **Trazabilidad:** indicando la marca, nombre del producto, lugar de fabricación, talla, color...
- **Impacto:** las prendas incluirán indicadores de circularidad, impacto ambiental y social, siendo su objetivo demostrar que han sido elaboradas de forma justa y ética.
- **Composición:** además de incluir la lista de fibras con las que han sido creadas, se exigirá información detallada del origen de las materias primas, el contenido reciclado o la presencia de sustancias químicas.
- **Manual de uso:** se incorporarán instrucciones de uso y cuidado, además de recomendaciones para arreglarla y reciclarla, ya que alargar la vida de la ropa también depende en gran parte del consumidor.



Figura 3. Esquema del pasaporte digital de prendas (Fuente: [10])

Según datos del pacto verde europeo, se estima que la producción de la ropa aumente un 63% de aquí a 2030, incrementándose de 62 millones de toneladas a 102 millones. Sin embargo, la UE alerta que la vida útil de las prendas disminuye cada vez más, al igual que la relación del consumidor con ella. Con este tipo de medidas, que abordan las prendas textiles desde el diseño, se pretende reducir hasta el 80% del impacto negativo producido.

1.3.1.1. Euratex

En este mismo contexto, cabe destacar la importancia de *Euratex* (The European apparel and textile confederation). Se trata de la confederación que representa los intereses de la industria textil y confección de las instituciones de la Unión Europea. Tiene como objetivo crear condiciones favorables para la fabricación de productos textiles. Participan en ella 16 países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suiza y Turquía, que representan 171.000 empresas, con una facturación de 178 mil millones de € y emplean 1,7 millones de trabajadores, siendo la UE el segundo exportador mundial de textiles y prendas de vestir, por lo que es un pilar fundamental de la economía europea. Como se ha mencionado, España pertenece a esta corporación desde su fundación en 1995, con el Consejo Intertextil español, organización formada por asociaciones y federaciones empresariales del sector textil, de ámbito nacional, constituida el 22 de octubre de 1979; forma parte a su vez de la junta de gobierno de Euratex, siendo el 6º país en el ranking de países representados con una cifra de negocio aportada por [11] de 10.371 millones de €, 8.005 empresas y 12.810 trabajadores.

Por otro lado, según los datos aportados por Euratex, en 2022 las exportaciones europeas registraron un incremento del 15% hasta alcanzar los 67 mil millones de €, en tanto que las importaciones se dispararon un 30%, hasta los 138 mil millones de €. A su vez, este comercio superó por primera vez los 200 mil millones de €, debido a ese aumento mencionado de las importaciones, procedentes especialmente de China y Bangladesh, los dos principales proveedores de moda de Europa. Todo esto supone un déficit comercial de la UE en textiles, hecho que preocupa a Euratex ya que no se están cumpliendo los objetivos que pretenden fortalecer la resiliencia y autonomía estratégica, provocando una cierta dependencia de las importaciones y dificultando el desafío de promover y prevalecer productos textiles sostenibles y de alta calidad [12].

Asimismo, se deberán redoblar los esfuerzos en aumentar las cifras de las exportaciones de la UE para reequilibrar las relaciones comerciales con el resto del mundo [13]. A continuación, el artículo resume varios aspectos del *Informe de primavera de 2023* [14] de Euratex (**Figura 4**), en el que destaca las diferencias que han existido entre el comercio en valor y en volumen, ya que, aunque las exportaciones aumentaron un 15% en valor, disminuyeron un 7% en volumen. Además, se percibe la existencia de cierta incertidumbre en el consumidor

debido a las elevadas cifras de inflación, consecuencia de los precios de la energía y las políticas cambiantes del banco central, lo que se ha traducido en una menor demanda.



Figura 4. Aspectos destacados del comercio textil europeo (Fuente: [14])

Finalmente, este mismo artículo transcribe las conclusiones del director general de Euratex, Dirk Vantighem: “Este informe confirma una vez más que el textil es uno de los sectores más globalizados de la economía europea. De ahí la importancia de tener en cuenta esa dimensión global al diseñar las políticas nacionales y de la UE. No hacerlo puede tener un efecto devastador en la competitividad global de la industria textil europea”. Y sobre el futuro ultimó: “Es esencial estabilizar la inflación, restaurar la confianza del consumidor y garantizar la igualdad de condiciones para todos los operadores de la industria textil. Sobre esa base, las empresas europeas pueden prosperar y ofrecer empleos de calidad a 1,3 millones de trabajadores”.

1.3.2. Contexto Nacional

En España, el sector textil y de confección ha sido uno de los grados motores económicos del país, siendo esta industria hoy en día una de las cinco mayores exportadoras del territorio nacional, representando un 6,1% de total de ventas al exterior, según datos del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo [15].

En la década de los 80, Galicia recuperó el protagonismo que había compartido con Cataluña en este sector. Así, se marcó un antes y un después en la industria de la moda, ya que, con la ayuda de la Asociación Textil Gallega, empresas como Inditex, Adolfo Domínguez o Roberto Verino fueron adquiriendo cierta posición en el panorama mundial, junto a otros diseñadores madrileños como Agatha Ruíz de la Prada o Jesús del Pozo. Tras esto, España se constituyó como uno de los principales países de diseño textil y crecieron exponencialmente sus exportaciones, gracias a Inditex, Mango o Tendam. En 2009, las ventas internacionales de las empresas españolas de moda se elevaron a 12.657 millones de € (prendas de vestir, calzado, accesorios, cosmética y

perfumería), y en 2018 se vieron duplicadas, aumentando a 24.753 millones de € [16].

Sin embargo, con la ya mencionada globalización, muchas empresas desplazaron su producción a países del sudeste asiático, Marruecos o Turquía, donde los costes son mucho menores. Como consecuencia, si en los 2000 se partía de 34.237 empresas, en 2013 no se superaban las 19.300. Sin embargo, como puede observarse en la **Figura 5**, a partir del 2013, la deslocalización se frenó se volvió a apostar por la producción local y la curva se linealizó, contando España en 2022 con 19.600 empresas en el sector textil.

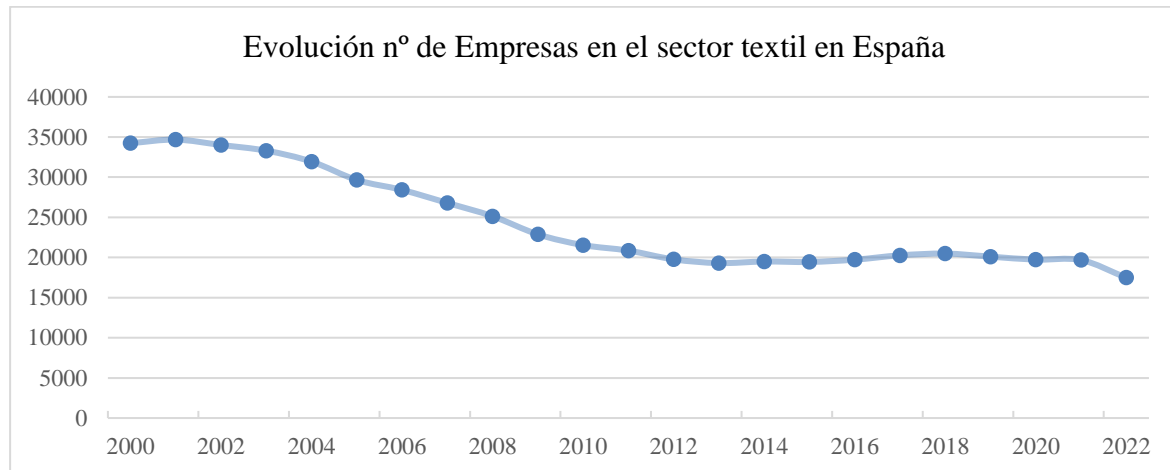


Figura 5. Evolución del número de empresas en España en el sector textil

(Fuente: [17]) (Elaboración propia)

Por otro lado, según los datos arrojados en “*Informe Económico de la Moda en España 2023*” [18], el sector textil sigue en la carrera por recuperar la cifra de negocio prepandemia, habiendo conseguido este año un repunte llegando a los 19.765 millones de €. En el ámbito del comercio exterior, se produjo un récord histórico, llegando a los 23.574 millones de €, siendo Francia el mayor comprador, seguido de Italia y Portugal. Por su parte, China se consolidó como el mayor proveedor de España en el sector textil, seguido de Bangladesh y Turquía.

En el siguiente gráfico (**Figura 6**) se pueden observar las importaciones y exportaciones de España dividida en subsectores:

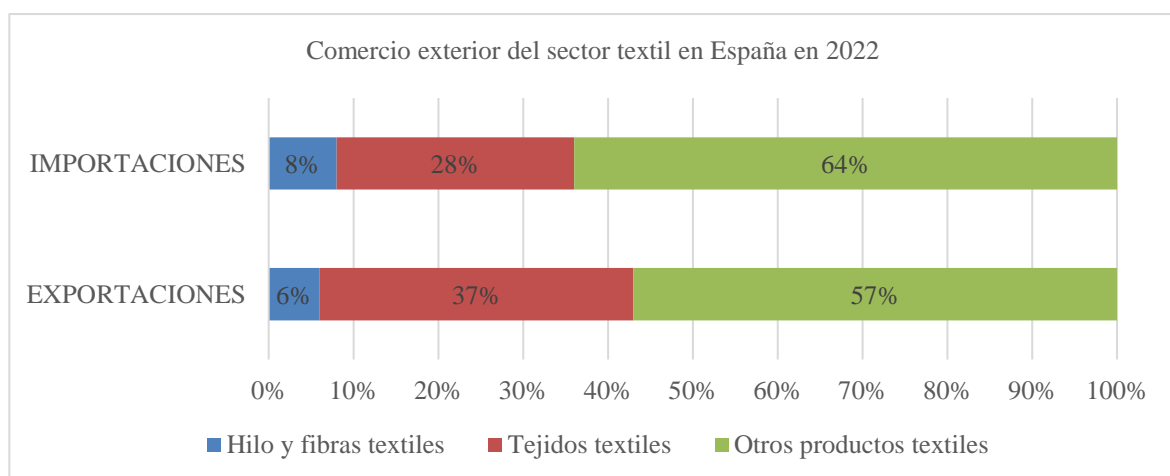


Figura 6. Comercio exterior del sector textil español en 2022

(Fuente [18]) (Elaboración propia)

Por otro lado, Women Action Sustainability (WAS) junto con KPMG han elaborado un estudio [19] para analizar qué sucede con el sector textil español, analizando bastantes puntos interesantes que se resumen a

continuación.

Se da importancia al papel del consumidor, ya que deben estar concienciados con la compra de productos sostenibles para poder alcanzar esa economía circular deseada, sin olvidar que esta transición debe ser compartida con las organizaciones e instituciones. De esta forma, deben crecer los diseñadores que utilicen productos orgánicos, haciendo hincapié en este valor añadido, que como ya se comentó anteriormente será obligatorio.

Sin embargo, aunque ha incrementado el número de consumidores sensibilizados con el cambio climático, los agentes del sector todavía advierten que esta inquietud no es de las más determinantes a la hora de comprar un producto, siendo el precio uno de los principales factores, otorgando a la sostenibilidad una importancia media. En esta misma línea, el sector considera que no está preparado para dar respuesta a las expectativas sostenibles, por motivos económicos, la falta de herramientas y tecnologías concretas, además de la necesidad de colaboración y concienciación en todos los puntos de la cadena de valor.

Por ello, los principales retos a afrontar son: el cambio de un modelo lineal a circular y el reciclaje textil, que con este cambio será más eficiente. Otro desafío será mejorar la predicción de la demanda, lo que disminuirá el consumo de recursos innecesarios y la alta producción de residuos, recortando costes necesarios y siendo más competitivo. Se añadirían también a esta lista la trazabilidad, el cumplimiento de derechos humanos, la disminución de plásticos, el consumo responsable de energía y la promoción de la igualdad de género.

Así, los elementos que ayudarán a hacer frente a estos retos serán:

- La información, como la referida a la procedencia de las prendas, los materiales empleados...
- Una correcta trazabilidad, que permitirá conocer todos los eslabones de la cadena de valor, y así las empresas podrán enfrentarse de forma más rápida a los retos que pudieran surgir, como adelantarse a posibles riesgos.
- Una adecuada predicción de la demanda (con KPI's e indicadores concretos) permitirá producir lo necesario, que se traducirá en una reducción de consumo de recursos y residuos.
- Una buena formación en todos los eslabones de la cadena de valor, ya que la sostenibilidad y los ODS son conceptos recientes.
- Inversión en investigación y acceso a las nuevas tecnologías que hagan que los diseños sean más sostenibles y competitivos, así como la colaboración y creación de alianzas estratégicas.

Finalmente, en [5] se menciona la *Ley de Residuos y Suelos Contaminados para una economía circular* [20], siendo la primera vez que legalmente se refieren a los residuos textiles en España. Esta norma regula la prevención de residuos textiles en la producción, como la gestión de estos restos. Lo que se busca es el fomento de la reutilización de las prendas, así como evitar la eliminación de los excedentes, pudiendo usarse en otros procesos o bien donarlos. A su vez, se pretende que en un futuro los residuos textiles sean recogidos de forma separada y aumentar la responsabilidad de los productores, de manera que estos se encarguen de sus productos durante todo su ciclo de vida.

1.3.3. Impacto ambiental del sector textil

Como ha quedado reflejado anteriormente, el sector de la moda plantea varios impactos ambientales a los que poco a poco se va dando solución, cambiando la forma de producción tradicional, utilizando productos más respetuosos con el medio ambiente y energías renovables, así como luchando por los derechos laborales en los países en vías de desarrollo, donde suele haber mayor producción textil.

A continuación, se detallan los principales impactos ambientales producidos por la industria textil [21]:

- Contaminación del agua: algunos efluentes de la industria textil pueden contener sustancias tóxicas (como el plomo, el mercurio y el arsénico), que son perjudiciales tanto para la salud humana de los residentes que viven cerca de las riberas de los ríos donde podrían ser vertidos, así como dañinas para la vida acuática. Asimismo, esta contaminación puede llegar a los mares y terminar por extenderse al resto del mundo. A su vez, algunos cultivos de algodón emplean una gran cantidad de fertilizantes..., en lo que se profundizará más adelante.

- Consumo de agua: los tintes y acabados requieren una gran cantidad de agua dulce, pudiéndose necesitar hasta 200 toneladas por tonelada de tejido teñido. Las fibras que menos necesitan son el lino y las recicladas.
- Contaminación por microfibras: existen prendas sintéticas (como el poliéster o el nylon) que son capaces de liberar 700.000 microfibras individuales que llegarán a los océanos, ingiriéndose posteriormente por los organismos acuáticos, y debido a la cadena alimentaria terminarán por introducir el plástico en nuestros alimentos. Estas fibras sintéticas también liberan pequeñas partículas al aire mientras se usa la prenda.
- Residuos: cada día se generan más residuos textiles, puesto que la ropa se ha convertido en algo rápidamente desechable, por lo que la mayoría termina en vertederos e incineradoras. Como se ha mencionado anteriormente, las fibras sintéticas contienen plástico no biodegradable que podrían tardar hasta 200 años en descomponerse.
- Productos químicos: constituyen uno de los principales componentes de la ropa, utilizándose en la producción de la fibra, teñidos y blanqueos, siendo algunas de estas sustancias perjudiciales y tóxicas para los consumidores.
- Emisiones de gases de efecto invernadero: la industria de la moda, como se citó anteriormente, representa un 10% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, siendo liberado en las etapas de producción, fabricación y transporte de las prendas. Los combustibles fósiles se utilizan en la producción de fibras sintéticas, necesitando una mayor cantidad de energía. A su vez, la mayor parte de la producción se encuentra en países como China, Bangladesh o India, cuya principal fuente de energía es el carbón, emitiendo al ambiente CO₂, además de otros tantos gases más dañinos que este. Asimismo, la huella de carbono será mayor cuando haya que recorrer más distancia entre etapa y etapa del proceso.
- Degradación de los suelos: un suelo sano es necesario tanto para el cultivo de alimentos como para la absorción de CO₂. Debido al sobrepastoreo de cabras (para la cachemira) y de las ovejas (para la lana), el uso de fertilizantes para el cultivo del algodón, la deforestación causada por fibras a base de madera (como el rayón), provocan la degradación del suelo, lo que influye en la seguridad alimentaria global y contribuyen al calentamiento global.
- Destrucción de la selva tropical: los bosques antiguos y en peligro de extinción son talados para plantaciones en masa de árboles cuya madera es necesaria para fabricar tejidos a base de madera como el rayón, la viscosa y el modal. Esto supone una amenaza para el ecosistema y las comunidades indígenas.

Varias de las soluciones que se proponen y que reduciría la mayoría de los impactos, serían las siguientes:

- Elegir fibras orgánicas, naturales o semisintéticas que no requieran productos químicos en su producción y que sean respetuosas con los suelos.
- Producir en países que cumplan con las normativas medioambientales y los derechos de los trabajadores, y que utilicen energías renovables.
- Lavar la ropa solo cuando sea necesario y a temperaturas más bajas, en torno a los 30°, así como lavar antes de usar una prenda por primera vez.
- Comprar menos ropa, pero de más calidad y reciclarla al final de su vida útil.

1.4. Sector algodonero

El algodón [22] es una fibra textil de origen vegetal que produce una familia del género *Gossypium* (**Figura 7**), perteneciente a las malváceas. Sus fibras están compuestas principalmente por celulosa y se utilizan en la producción de telas entre otras aplicaciones, siendo una de las fibras naturales esenciales en el sector textil.

Su importancia es debida a sus numerosas propiedades: es duradero, puede encogerse y arrugarse con facilidad, es higroscópico (absorbe humedad y agua), es transpirable, suave y versátil, como hipoalergénico.



Figura 7. Algodón (Fuente: [22])

En cuanto a la forma de cultivarlo requiere sol, lluvia moderada y una constante temperatura cálida en suelos pesados, siendo tolerante a la sal y a la sequía. Las mayores superficies donde se encuentra están en China, India, Estados Unidos, Pakistán, Egipto y Australia.

Por otro lado, un 60% de estas fibras se utilizan para la producción de prendas textiles, siendo también frecuente su uso en ropa de cama, paños de limpieza, toallas, gafas y vendajes, así como en procesos industriales y aceites.

Finalmente, en el mismo artículo se describen las etapas por las que pasa el algodón en general en la industria textil:

- Procesamiento inicial: después de secar el algodón a su llegada del campo para facilitar su proceso, se separa la fibra de restos de hojas, suciedad, semillas, etc.
- Hilado: las fibras se estiran y se hilan, manual o automáticamente en rueca, o hiladoras mecánicas. El objetivo es formar hilos compuestos por varias hebras.
- Tejido: utilizando la urdimbre de hilos y el telar, se teje entrecruzando los hilos transversal y verticalmente, recibiendo una imprimación que servirá de capa protectora.
- Teñido y estampado: el color puede administrarse a la tela tejida, las fibras o el hilo antes de tejerlo. Con rodillos de cobre se imprimen en la tela ilustraciones y ornamentaciones.
- Tratamiento: aplicación de químicos y reforzantes para garantizar su duración y resistencia.

1.4.1. Contexto Europeo

La Unión Europea representa el 2% de la producción mundial con aproximadamente 360.000 toneladas de fibras, siendo Grecia (220.000 hectáreas) y España (61.568 hectáreas) sus suministradoras [23]. Aunque esta superficie sea mínima, la UE es un sector clave en el textil, ya que estos países se encuentran entre los 10 principales exportadores mundiales. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) prevé que la producción mundial de algodón crecerá un 1,5% anual en 2029.

De este modo los principales destinos del 75%, del algodón producido en Europa, son Turquía, Egipto, Marruecos y el Sudeste Asiático; el 25% restante se utiliza directamente en el sector textil europeo, cubriendo el 40% de sus necesidades. Sin embargo, gran parte del algodón exportado vuelve al mercado europeo ya convertidos en prendas confeccionadas.

En 2019 se fundó ECA (European Cotton Alliance), la Alianza Europea del algodón, formada por asociaciones y federaciones algodonerías españolas y griegas. Su sede se encuentra en Larissa (Grecia) y dispone de una sucursal en Sevilla (España). Sus objetivos son promocionar y aumentar la producción de algodón en Europa con medios sostenibles y respetando el medio ambiente, con una completa trazabilidad en la cadena de producción.

Por ello, en marzo de 2023 en Sevilla, ECA presentó la iniciativa “EUCOTTON”, cuya misión es promover la

producción europea de algodón por sus increíbles características como son la sostenibilidad, trazabilidad y transparencia. Además, el algodón cultivado en España y Grecia es no transgénico, lo que lo diferencia de los otros países. Este proyecto tiene un ciclo de vida de 3 años, y recalcará que este algodón es de primera calidad, no modificado genéticamente (no OGM). Asimismo, el cultivo de algodón produce tres veces menos gases de efecto invernadero que otras producciones de fibras, aportando además oxígeno a la atmósfera.

Finalmente, la producción de algodón en Europa también atrae varios beneficios económicos ya que existen negocios relacionados con ella, trabajando 1,7 millones de personas en esta industria y llegando a alcanzar una facturación de 178.000 M€.

1.4.2. Contexto Nacional

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [24], se puede conocer que en España la mayor superficie cultivada de algodón se encuentra en Andalucía (99,9%), donde tiene una gran importancia socioeconómica, existiendo también pequeños cultivos en Murcia.

España es un exportador neto de fibra de algodón, siendo la cantidad exportada (en los periodos de 2013/14 a 2015/16), según los datos del Ministerio, unas 60 mil toneladas, y las importadas en torno a las 3 mil toneladas, tanto intracomunitarias como extracomunitarias. De las exportaciones, un tercio es destinado a la Unión Europea, y los dos tercios restantes a países extracomunitarios. En 2014/15 se alcanzó un volumen de exportaciones récord, siendo de 79 mil toneladas. Asimismo, los países extracomunitarios a los que más se exporta son: Bangladesh, Marruecos e Indonesia.

En España, el sector textil se localiza principalmente en Cataluña (60%) y la Comunidad Valenciana (25%), siendo la industria algodonera una de las principales secciones debido a su volumen de producción y exportaciones [25].

Por otro lado, según los datos de [26], para 2022 se anticipó un retroceso del consumo de algodón del 15%, pero la cifra de negocio se vería incrementada en un 9%, recuperándose así niveles prepandemia en muchos indicadores, pero reduciendo el consumo y la producción. Esto es debido al aumento de los costes de energía, materias primas y transporte que, combinado con el desabastecimiento, colocaron a las empresas textiles en una situación compleja.

En el siguiente gráfico (**Figura 8**), puede apreciarse la evolución del consumo de algodón de la industria de la moda en España:

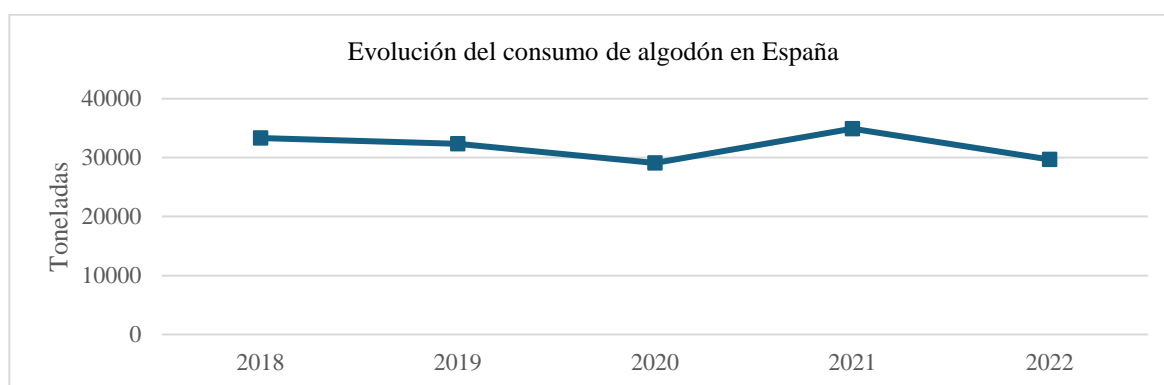


Figura 8. Evolución del consumo de algodón de la industria de la moda española

(Fuente: [25]) (Elaboración propia)

Asimismo, la industria española algodonera registró una subida del 31% en el comercio exterior, y las importaciones aumentaron un 29,8%.

A continuación, se muestra la evolución de la producción de la industria algodonera en España (**Figura 9**):

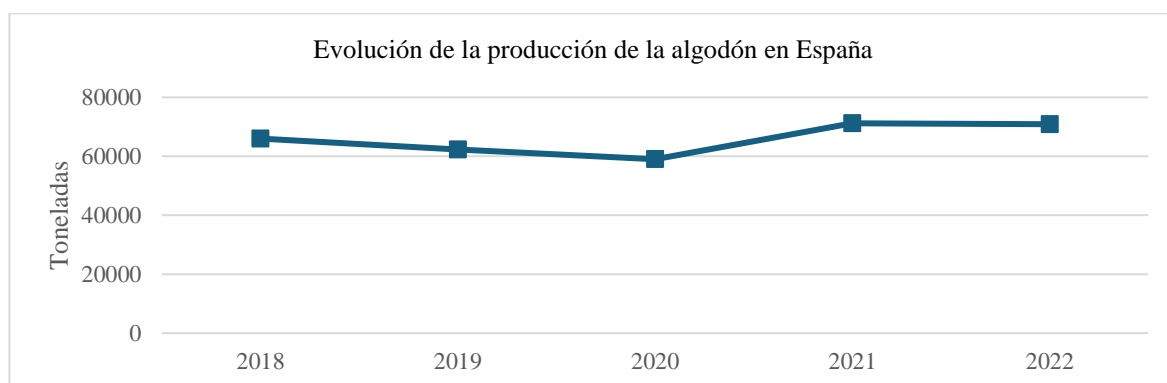


Figura 9. Evolución de la producción de la industria algodonera en España

(Fuente: [25]) (Elaboración propia)

Por último, en cuanto al comercio exterior, los principales proveedores españoles en 2021 fueron Pakistán, China y Turquía, y por su parte los clientes fueron Marruecos, Italia y Francia.

1.4.3. Impacto Ambiental del sector del algodón

Como se mencionó anteriormente, los cultivos de algodón (**Figura 10**) causan distintos impactos ambientales como son [21]:

- **Contaminación del agua:** se utilizan diversos fertilizantes en la producción de algodón para los cultivos, que pueden contaminar tanto el agua que se filtra al suelo como a aire, mediante su evaporación.
- **Consumo de agua:** este tipo de cultivos suelen requerir abundante agua para su crecimiento, sin embargo, usualmente son explotados en zonas cálidas y secas. Para producir 1 kg de algodón se precisan unos 9.700 L de agua. Las consecuencias pueden ya apreciarse en el Mar de Aral, donde prácticamente se ha drenado toda el agua gracias a este consumo excesivo.
- **Productos químicos:** estas plantaciones frecuentemente utilizan fertilizantes que provocan enfermedades en los algodoneros, así como degradan los suelos y finalmente estos productos tóxicos se filtran contaminando aguas dulces y oceánicas.



Figura 10. Cultivo de algodón (Fuente: [27])

Por otro lado, con el “Método de las huellas” descrito en [28] se pueden conocer datos cuantitativos de los impactos que causa la producción de una camiseta de algodón. En este procedimiento evalúan las huellas

hídricas y de suelo, pudiendo ser de los siguientes tipos:

- Agua azul: la dulce procedente de la extracción de los acuíferos subterráneos, lagos y ríos.
- Agua verde: la que proviene de la lluvia.
- Agua gris: es la cantidad de agua que se demanda para la disolución de los contaminantes que se hayan podido generar, así como eliminar la toxicidad.
- Suelo: área que se precisa para un fin.

Así, en esta producción, el sector que más recursos reclama es el cultivo del algodón, suponiendo un 65% de la huella de suelo y un 68% de la huella de agua. Se necesitan en torno a 9.900 l de agua para cultivar una cantidad suficiente de semillas, con las que se conseguirá una tonelada de tejido. En este caso, para las labores de riego se deriva un tercio del consumo de aguas azules.

Durante la fase de cosecha, se necesita una cantidad abundante de aguas grises debido a la utilización de abonos y plaguicidas que contienen nitrógeno, que se filtra a las aguas subterráneas. Este tipo de agua también es necesaria en el procesado, ya que se liberan contaminantes en las fases de blanqueado, tinte e impresión.

A continuación, se muestra un gráfico de las cantidades de agua requeridas en la producción de una camiseta de algodón según tipo (**Figura 11**):

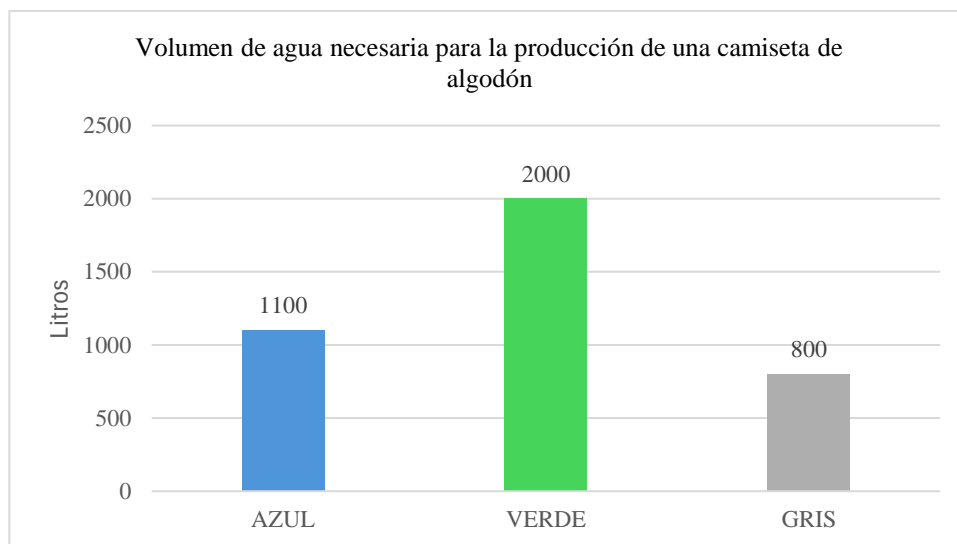


Figura 11. Volumen de aguas azules, grises y verdes necesarias en la producción de una camiseta de algodón (Fuente: [28]) (Elaboración propia)

Asimismo, en este informe se estima el uso de terreno y el consumo de agua para la elaboración de una camiseta de algodón, partiendo de las siguientes premisas: para fabricar una camiseta de 250g, son necesarios 667g de algodón en rama, requiriendo que una hectárea produzca 2,04 toneladas (**Figura 12**).

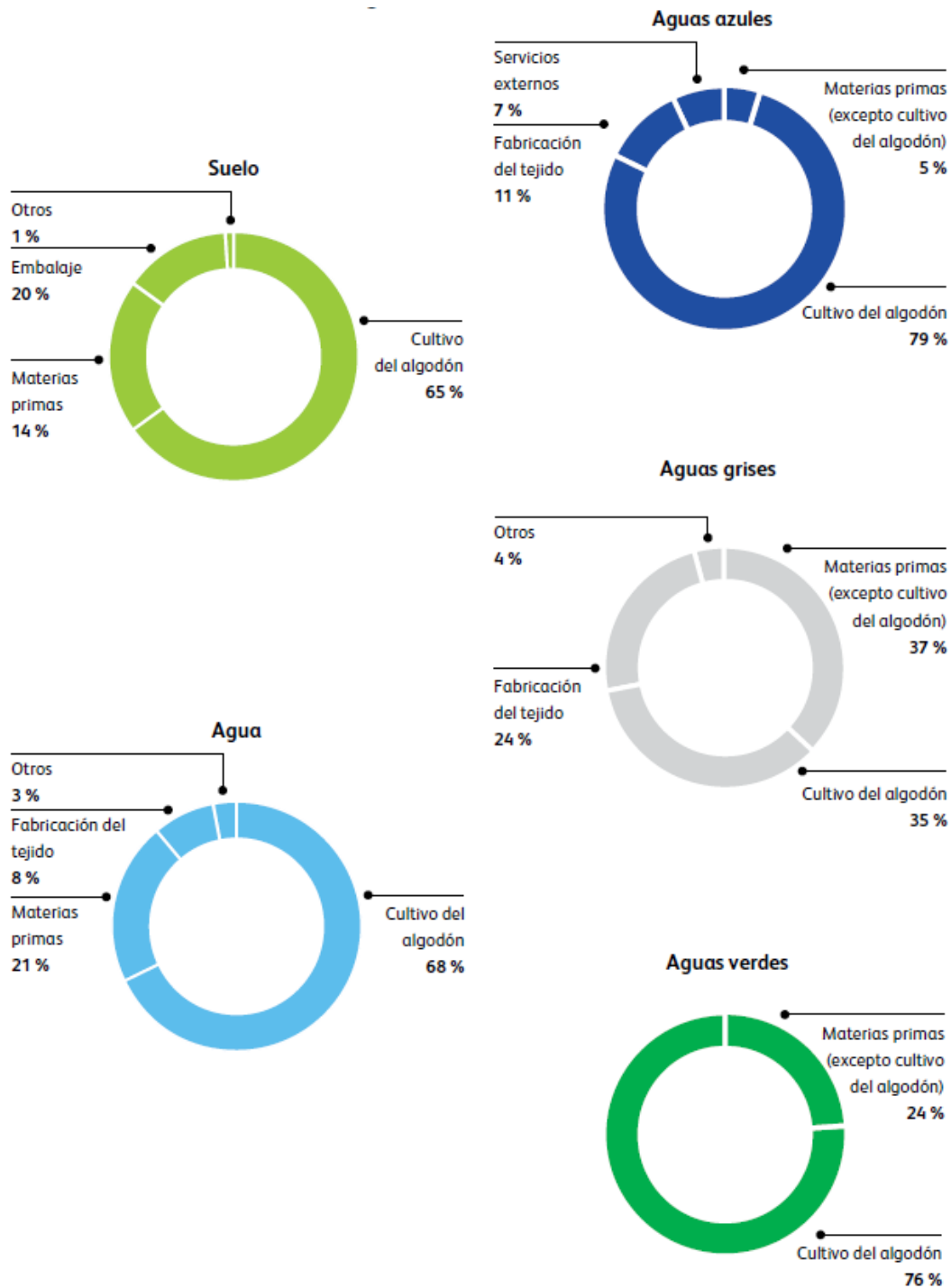


Figura 12. Gráficas de la huella hídrica y uso de suelo de la producción de una camiseta de algodón
(Fuente: [28])

Muchos de estos impactos se podrían reducir con el reciclaje de la ropa ya que, por ejemplo, la fase de cultivo que consume tanta agua se eliminaría casi por completo, así como la contaminación de los productos químicos utilizados en estas plantaciones.

2 ACV PRENDAS TEXTILES DE ALGODÓN

Los análisis de ciclo de vida se realizan atendiendo a la norma ISO 14040. En la introducción se describieron los cuatro pasos a seguir, definición de objetivos y alcances, inventario, análisis de impactos y evaluación de resultados. Con esta base, y utilizando la información de [6], [29], [30] y [27] se planteará un ACV de la producción en España de una prenda de algodón, desde la extracción de la materia prima hasta el fin de su vida útil, incluyendo su disposición final.

Para llevar a cabo el ACV, se utilizará el software OpenLCA, ya que es una herramienta que sirve para medir las huellas ambientales de cada paso del proceso de forma analítica; además, permite realizar un análisis de sensibilidad para analizar la influencia de ciertos parámetros en los impactos ambientales. Por ello, aunque el caso principal será la producción de una prenda de algodón en España, se irán modificando variables para poder averiguar qué cambios serían sustanciales y así optimizar el proceso lo máximo posible.

2.1. Definición objetivo, alcance y unidad funcional

2.1.1 Objetivo

El objetivo principal de este estudio es evaluar las alternativas que pueden tomarse en las distintas etapas del ciclo de vida de una camiseta de algodón, para disminuir su incidencia en el medio ambiente. Como ha podido apreciarse en la introducción, existen varios impactos ambientales producidos por el sector textil y algodonero, que cada día crecen con rapidez debido en gran parte al auge de la fast fashion. Al producir más y con más celeridad, se necesitan muchos más recursos, tanto materiales como energéticos, y a su vez se producen más residuos, tanto en el proceso productivo como al final de la vida útil. Es por ello por lo que se realiza este análisis, para encontrar los puntos del procedimiento en los que puedan mejorarse ciertos aspectos. Cabe destacar que esta evolución a un modelo más sostenible no solo dependerá de los productores, y de los consumidores también toman parte, en las fases de compra, uso y fin de vida.

2.1.2 Alcance

En esta fase, se definirá el ciclo de vida completo de una prenda textil de algodón, especificando lo que incluye y excluye este análisis. Además de la descripción, se incluirán los impactos ambientales de cada etapa del proceso.

2.1.2.1 Cultivo y producción de la fibra de algodón

Se comienza con el cultivo de algodón, que requiere de la preparación del suelo, siembra, riego y cosecha, para lo cual se necesitan aportes de agua, energía y productos químicos.

Una vez cultivado, se recolectan y transportan a la fábrica las cápsulas, para producir la fibra de algodón. Aunque en los cultivos de España la mayoría de esta colecta es utilizada para el textil, un excedente se utiliza como aceite de semillas para el pasto de animales. Los siguientes pasos que seguir serán [31]:

- Limpieza: para retirar las impurezas, se esponja el algodón, suavizando así sus fibras. Además, en este paso se puede modificar la humedad según se desee con un acondicionamiento, introduciéndolo posteriormente en la secadora.
- Desmotado: en este proceso se extrae la fibra de las semillas.
- Limpieza final: la pelusa obtenida anteriormente se limpia y peina.
- Prensado: finalmente, tras compactar y empaquetar las pelusas de algodón, se almacenan y transportan para ser transformadas en hilo.

De esta manera, los impactos de esta etapa son los siguientes:

- CONSUMO DE AGUA: este tipo de cultivos requiere de un gran aporte de agua, muchas veces por

irrigación, es decir consumen agua dulce, suponiendo un grave problema en lugares donde exista una escasez de agua y agotando los acuíferos.

- CONSUMO DE ENERGÍA: tanto la maquinaria agrícola, como la fábrica encargada de la producción de la fibra precisan de un gran aporte de energía.
- CONTAMINACIÓN DE AGUA: se usan pesticidas y fertilizantes (abonos nitrogenados, desinfectantes, herbicidas) para obtener altos rendimientos. Esta práctica, incide en diferentes aspectos, como las aguas subterráneas y superficiales, que tras pasar por los cultivos se filtra y termina en los mares y océanos, con una alta carga de compuestos que pueden afectar a la fauna y flora.
- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: A su vez, estas sustancias químicas contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero (como el CO₂, CH₄ y N₂O), debido a que pueden permanecer en el aire, afectando también a las vías respiratorias. La maquinaria agrícola y la fábrica, debido al uso de combustibles, producirá emisiones que contribuirán a la huella de carbono.
- RESIDUOS: se generan distintos residuos, como son las semillas y subproductos, como la cascarilla que se obtiene tras el desmotado.

2.1.2.2 Producción del hilo y tejido

Seguidamente, las fibras se convierten en hilo y más tarde en el tejido. Este paso es muy importante, ya que la forma de hilado influirá en las propiedades, textura y grosor del producto final.

Así, el procedimiento consiste en [32]:

- **Apertura y limpieza**: como primer paso se limpian los fardos de fibras de algodón, abriéndolas y descomponiéndolas en mechones, mediante soplado. Además, en esta etapa se mezclan diferentes tipos de fibras, ya que pueden provenir de diferentes fuentes y pueden existir diferencias de color y textura, por lo que es necesario homogeneizarlas.
- **Cardado**: esta fase es fundamental en el proceso de hilado. Se separan las fibras de manera individual a partir de los mechones, y se colocan en paralelo, generando una capa uniforme, seguido de una última limpieza. Al finalizar este proceso, las fibras se pueden mezclar con otros tipos de fibra, de manera que estén sueltas para recuperar su forma natural, pero bien unidas a las de alrededor.
- **Peinado**: esta etapa es opcional, sin embargo, para obtener la mayor calidad posible es necesaria. Así, se busca un incremento en la resistencia, suavidad y brillo, dando lugar a hilos más finos. El proceso consiste en colocar las fibras rectas y paralelas, y posteriormente se eliminan las que sean demasiado cortas o largas.
- **Mechado y estirado**: este paso aumenta la resistencia del hilo, mejorando su calidad, además de eliminar las impurezas residuales. Las cintas pasan por unos cilindros de estiramiento, haciéndolas mucho más finas, entrelazándolas, de manera que se obtienen los hilos individuales. Por lo tanto, una vez terminada esta etapa, se consiguen hilos firmes y suaves.
- **Hilado**: dependiendo del hilo final buscado, se continúa estirando y dando tensión a los hilos; las hebras más resistentes y sólidas se forman aplicando más tensión, por el contrario, cuanta menos tirantez, más maleables serán.
- **Bobinado**: los hilos se enrollan en forma de cono o cilindro, en lo que se conoce como bobina. Además, se aplica un último control de calidad para confirmar que no existen defectos.
- **Vaporizado**: finalmente, se someten los hilos a vapor y vacío, disminuyendo polvo, pelusas y carga electrostática. Este último aporte de humedad aumenta la resistencia del material, elevando su calidad.

Tras este proceso, se obtienen las bobinas de hilo de algodón que se utilizarán en la producción del tejido, descrito a continuación [33]:

- **Tejido**: para la elaboración de la tela, los hilos se entrelazan en telares formando un patrón. Los hilos más flexibles y elásticos se producen mediante tricotado (bucles de hilo).
- **Acabado**: este es el paso que diferencia los tejidos en cuanto a estética, ya que se somete a lavados,

blanqueos, teñidos y estampados en función del aspecto, textura y color deseados.

Una vez definido todo el procedimiento necesario para la elaboración del tejido de algodón partiendo de las fibras, se detallan los posibles impactos ambientales que podrían sucederle:

- CONSUMO DE ENERGÍA: como puede observarse, esta etapa está compuesta de varias subetapas, que requieren un gran aporte de energía, ya que es necesario alcanzar una humedad y temperaturas específicas,
- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: las fábricas donde se desarrolla esta fase pueden utilizar combustibles fósiles que emitan gases como el CO₂ al ambiente. Por otro lado, se liberan fibras al aire, por lo que también podrían afectar a la salud al ser aspiradas
- CONTAMINACIÓN DE AGUA: en los procesos de acabado y teñido se liberan al agua compuestos químicos que pueden ser tóxicos y difíciles de degradar.

2.1.2.3 Fabricación de la prenda

Cuando se han obtenido los telares, se utiliza un patrón para cortar las piezas, cosiéndolos más tarde para producir la prenda deseada. La problemática ambiental asociada a esta etapa:

- CONTAMINACIÓN DE AGUA: el último paso del proceso textil son la introducción de distintos acabados, como pueden ser la serigrafía, botones, tachuelas, lentejuelas, cremalleras y etiquetas. Muchas veces esta parte tiene un gran impacto, ya que todos esos elementos y adornos suelen ser de plástico y otros materiales difíciles de reciclar.
- Por último, uno de los grandes problemas de esta fase es el impacto social. La mayoría de los procesos de confección, se realizan en el sudeste asiático, donde no existen los derechos laborales, por lo que trabajan muchas horas y en malas condiciones.

2.1.2.4 Transporte y venta en tienda

A continuación, se pasa a la fase de transporte, que puede ser terrestre, marítimo o aéreo, siendo este último el más contaminante. Cabe destacar que la huella de carbono de una prenda será mayor si la distancia que debe recorrer desde que se extrae la fibra hasta que es comprada es muy grande. Por ello, el impacto ambiental que produce es:

- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: emisiones de gases y partículas a la atmósfera, por lo que la distribución óptima influirá tanto en los costes como en la sostenibilidad del proceso.

En este paso, no solo el medio de transporte es importante, sino también la elección de los tipos de etiqueta y embalaje (en caso de ser un pedido online). Además, también podrían tenerse en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero que produce el cliente al desplazarse al punto de venta.

2.1.2.5 Uso de la prenda

En cuanto al uso, existen dos componentes clave: el mantenimiento y la utilización. Por ello, en cuanto a la problemática ambiental:

- CONSUMO DE AGUA: habría que tener en cuenta la frecuencia de lavado. Una lavadora con capacidad de carga de 7 kg de ropa en el programa “ECO”, puede llegar a consumir de 42 a 62 l de agua, y una de 5 kg, sería de 39 a 52l, siendo la primera la más eficiente [34].
- CONTAMINACIÓN DE AGUA: debido a los detergentes y microfibras liberadas, el agua utilizada en cada lavado es contaminada, por lo que deberá ser tratada posteriormente en plantas de aguas residuales.

Por otro lado, se debe tener en cuenta la duración de uso, mientras más se cuide la prenda, mayor será su vida útil y menor será su impacto.

2.1.2.6 Fin de vida

Los principales métodos de gestión de prendas textiles cuando termina la vida útil de una prenda son el reciclaje, vertedero o incineración. Antes de desechar una prenda, es necesario contemplar diferentes alternativas. Una de

ellas podría ser la venta en plataformas de segunda mano (cada vez más en auge), o donarla. Si tiene algún defecto de uso, se podría arreglar o darle otro uso a esa tela.

Si la única opción es desecharla, como se ha mencionado anteriormente, en un futuro cercano se dispondrá de contenedores que estarán destinados a la recogida de ropa exclusivamente. Sin embargo, la mayoría de las prendas son tiradas a los contenedores normales, por lo que terminarán en incineradoras y vertederos.

De esta manera los impactos ambientales asociados serían:

- CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: un 85% de los residuos textiles son depositados en vertederos e incineradoras [35]. Por un lado, en los vertederos se emite una gran cantidad de CH₄, y por otro, en las incineradoras se emite CO₂, NO_x, y otros gases potencialmente contaminantes; así como cenizas volantes.
- CONTAMINACIÓN DE AGUA: además en los vertederos pueden infiltrarse materiales que terminarán contaminando los acuíferos.

2.1.3 Unidad funcional

Para este estudio, se ha considerado como unidad funcional una camiseta de algodón blanca de 250 gramos, ya que es una prenda bastante al alcance de la mayoría de las personas.

De esta manera, los usuarios podrán ser conscientes de las mejoras que pueden aportar con pequeños cambios haciendo algo tan simple como comprar, usar y reciclar una camiseta de algodón blanca.

En la **Figura 13**, se puede observar un esquema del análisis de ciclo de vida anteriormente detallado. Inventario del ciclo de vida

ACV CAMISETA DE ALGODÓN CONVENCIONAL

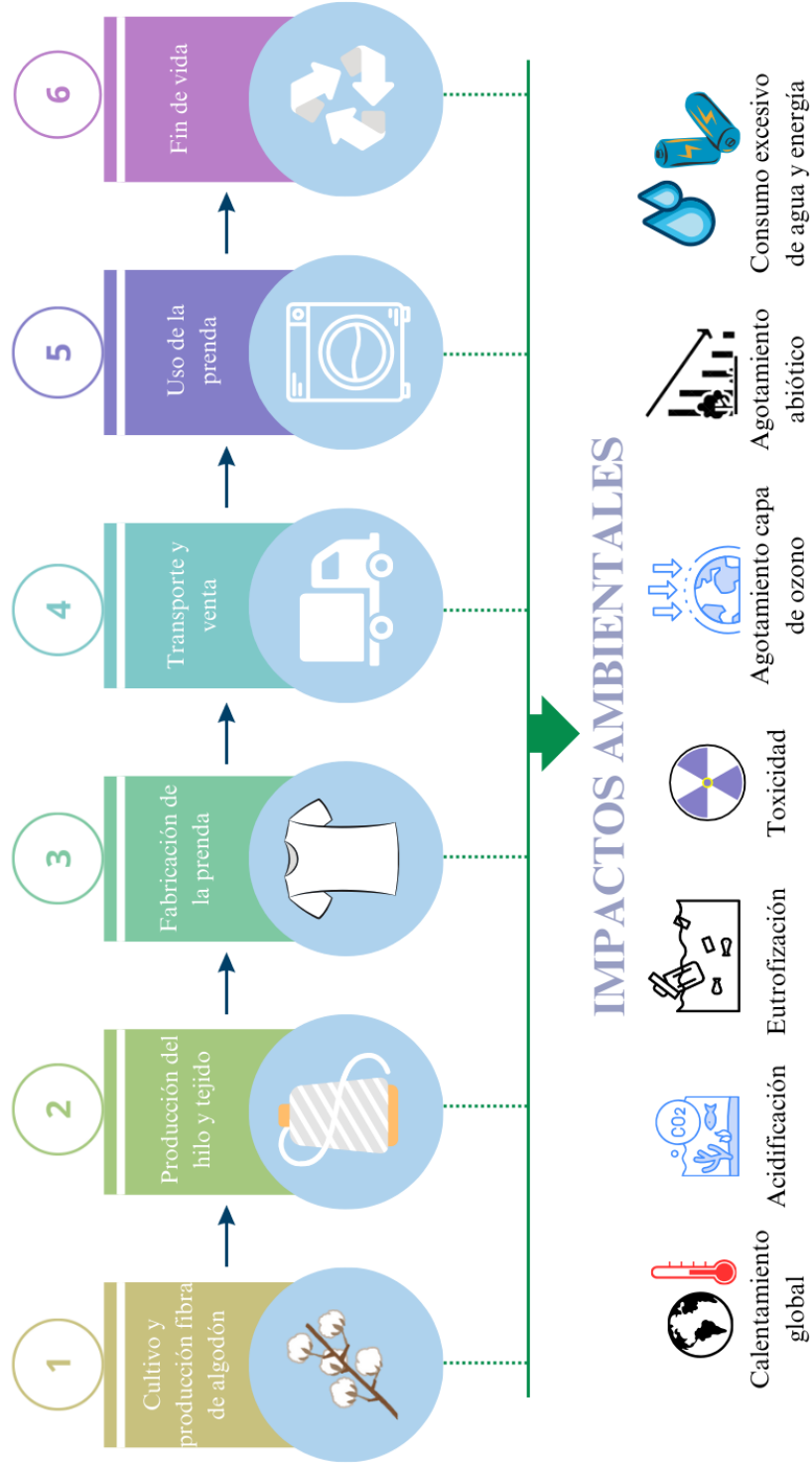


Figura 13. ACV Camiseta de algodón convencional (Elaboración propia)

A continuación, se detallarán los casos objeto de estudio, analizando cuantitativamente las entradas y salidas. Se irán tomando distintas medidas para mejorar los impactos ambientales, de manera que se puedan comparar los tres casos y observar si los cambios son sustanciales.

2.2. Inventario de ciclo de vida

2.2.1. CASO 1: Algodón convencional

En este primer supuesto, las características de cada etapa son las siguientes (considerando todos los pasos expuestos anteriormente):

- **ETAPA 1. Cultivo y producción de la fibra:** se sembrará y obtendrá la fibra de algodón convencional en una finca en Sevilla, ya que como se mencionó anteriormente el 99% de la producción española se encuentra en Andalucía, ocupando Sevilla el primer puesto con un 68% del área total cultivada [36].
- **ETAPA 2. Producción de hilo y tejido:** una vez producida la fibra, se obtendrán el hilo y tejido en una fábrica de algodón en Sevilla, cuya energía se obtiene del carbón.
- **ETAPA 3. Fabricación de la prenda:** la mayor industria textil española se encuentra en la Comunidad Valenciana (22.53% de las empresas en 2022), [17] por lo que se ha decidido optar en este caso por una fábrica textil en Valencia, por lo que es importante incluir los costes y gastos asociados a este transporte.
- **ETAPA 4. Transporte y venta:** una vez confeccionada la camiseta, volverá a Sevilla por carretera, y su embalaje estará compuesto por plástico, que posteriormente será un residuo de esta etapa.
- **ETAPA 5. Uso de la prenda:** una vez obtenida por el usuario, será lavada un total de 55 veces, en una lavadora de 5 kg de capacidad, utilizando un programa de 90 minutos, y haciendo uso posteriormente de la secadora.
- **ETAPA 6. Fin de vida:** en la última etapa de este caso, la disposición final del producto será la incineración. Aunque en Andalucía no existen hoy en día incineradoras de residuos, se va a suponer que se dispone de una en Sevilla para poder comparar los impactos ambientales de las tres alternativas, sin incluir transportes a otras comunidades para que no se vean alterados los resultados con parámetros que no pertenecerían al método de disposición final.

Los parámetros están recogidos en la siguiente tabla (**Tabla 1**), y los cálculos necesarios para su obtención se incluyen en el Anexo A.

Tabla 1. Entradas y salidas del Caso 1

ENTRADAS			SALIDAS	
1,1520	Algodón en bruto (kg)	1. Cultivo y producción fibra	Fibra de algodón (kg)	0,4150
2389,0000	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	280,0000
0,1632	Productos químicos (kg)		Residuos (kg)	0,7370
0,0667	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,6020
1,7292	Ocupación cultivo (m2)			
0,4150	Fibra de algodón (kg)	2. Producción hilo y tejido	Tejido de algodón (kg)	0,2920
2,0430	Consumo energético (kWh)		Contaminación de agua (l)	54,0200
72,8200	Consumo de agua (l)		Residuo sólidos (kg)	0,0066
0,1380	Productos químicos(kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	1,3227
0,2818	Carbón (kg)		Emisiones partícula (kg)	7,6660
0,1900	Diesel (l)		Emisiones gases (kg)	168,6920
0,2920	Tejido de algodón (kg)	3. Fabricación prenda	Prenda terminada (kg/ítem)	0,2500
0,7740	Consumo energético (kWh)		Contaminación de agua (l)	1,0800
1,1200	Consumo de agua (l)		Residuo tejido (kg)	0,0420
0,0097	Productos químicos (kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,0061
0,0023	Transporte: Diesel (l)			
0,2500	Prenda terminada (kg/ítem)	4. Transporte y venta	Prenda vendida (kg/ítem)	0,2500
0,7284	Envases y embalaje (kg)		Residuos embalajes (kg)	0,7284
0,0023	Transporte: Diesel (l)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	2,9730
0,2500	Prenda vendida (kg/ítem)	5. Uso prenda	Prenda usada (kg/ítem)	0,2500
143,0000	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	32,0000
10,3125	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	3,7162
0,0750	Detergente (l)			
0,2500	Prenda usada (kg/ítem)	6. Fin de vida	Recurso fin de vida	Incineración
0,9311	Consumo energético (kWh)		Emisiones gases (kg)	0,000012
			Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,025500

2.2.2. CASO 2: Algodón orgánico

Para este caso, se proponen varias alternativas dirigidas a mejorar el procedimiento:

- **ETAPA 1. Cultivo y producción de la fibra:** se propone el cultivo de algodón orgánico. Una de las ventajas principales es que en este tipo de cultivo no se utilizan productos químicos, por lo que los impactos ambientales se reducen. Asimismo, con este cambio también se conseguirá reducir el consumo de agua y energía, así como las emisiones de CO₂, al reducir el uso de estos químicos que pueden liberar este tipo de gas al aire. De la cosecha de 2020/2021 en España, se obtuvieron 26 toneladas de fibra de algodón orgánico cultivado en 54 hectáreas de tierras certificadas para este fin, así como otras 4 toneladas en hectáreas que están en el proceso de conversión [37].
- **ETAPA 2. Producción de hilo y tejido:** para este paso se ha considerado el cambio de planta de carbón a planta de gas natural, manteniendo la sede en Sevilla. Aunque este cambio siga siendo un combustible fósil, se emiten gases menos contaminantes, y muchos menos residuos.
- **ETAPA 3. Fabricación de la prenda:** para reducir los impactos asociados al transporte de este proceso, se ha decidido cambiar la sede de Valencia a Sevilla, ya que, aunque la Comunidad Valenciana ostenta la mayor producción textil, Andalucía se encuentra en el puesto número 3, con un 13,9%.
- **ETAPA 4. Transporte y venta:** para reducir los residuos producidos por el embalaje de plástico se ha optado por usar un envase más biodegradable, el cartón.
- **ETAPA 5. Uso de la prenda:** se analizará el uso de una lavadora de 7 kg, y el empleo de un programa más corto (60 minutos), y se seguirá utilizando la secadora como último paso.
- **ETAPA 6. Fin de vida:** finalmente, la camiseta será llevada al vertedero, ya que en este se reducen las cantidades de emisiones de CO₂ y N₂O.

En la siguiente tabla (**Tabla 2**) se encuentran los datos calculados para el Caso2 y los cálculos realizados se hallan en el Anexo A.

Tabla 2. Entradas y salidas del Caso 2

ENTRADAS			SALIDAS	
1,1520	Algodón en bruto (kg)	1. Cultivo y producción fibra	Fibra de algodón (kg)	0,4150
205,0934	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	0,0000
0,0000	Productos químicos (kg)		Residuos (kg)	0,7370
0,0258	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,3256
3,1125	Ocupación cultivo (m2)			
0,4150	Fibra de algodón (kg)	2. Producción hilo y tejido	Tejido de algodón (kg)	0,2920
2,0430	Consumo energético (kWh)		Contaminación de agua (l)	54,0200
72,8200	Consumo de agua (l)		Residuo sólidos (kg)	0,0066
0,1380	Productos químicos(kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,4210
1,3010	Gas natural (m3)		Emisiones partícula (kg)	7,6660
0,1900	Diesel (l)		Emisiones gases (kg)	168,6920
0,2920	Tejido de algodón (kg)	3. Fabricación prenda	Prenda terminada (kg/ítem)	0,2500
0,7740	Consumo energético(kWh)		Contaminación de agua (l)	1,0800
1,1200	Consumo de agua (l)		Residuo tejido (kg)	0,0420
0,0097	Productos químicos (kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,0000
0,0000	Transporte: Diesel (l)			
0,2500	Prenda terminada (kg/ítem)	4. Transporte y venta	Prenda vendida (kg/ítem)	0,2500
0,3150	Envases y embalaje (kg)		Residuos embalajes (kg)	0,3150
0,0000	Transporte: Diesel (l)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	2,7027
0,2500	Prenda vendida (kg/ítem)	5. Uso prenda	Prenda usada (kg/ítem)	0,2500
121,7857	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	32,0000
7,0714	Consumo energético(kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	3,1431
0,0750	Detergente (l)			
0,2500	Prenda usada (kg/ítem)	6. Fin de vida	Recurso fin de vida	Vertedero
0,0100	Consumo energético (kWh)		Emisiones CH4 (kg)	0,0200

2.2.3. CASO 3: Algodón reciclado

Finalmente, en este último caso se presentan las siguientes alternativas:

- **ETAPA 1. Cultivo y producción de la fibra:** se sustituye el cultivo del algodón, ya que se hará uso de algodón reciclado, lo que presenta ventajas en cuanto al consumo de agua y energético, emisiones de CO₂ y el uso de productos químicos.
- **ETAPA 2. Producción de hilo y tejido:** a continuación, se analizará la posibilidad de producir el tejido en una planta en Sevilla que emplea un 50% de gas natural y un 50% de energía renovable. Además, se sustituirán los tintes tóxicos (como los tintes reactivos y los agentes blanqueadores) por otros naturales de origen vegetal.
- **ETAPA 3. Fabricación de la prenda:** la confección será en Sevilla, y se disminuirá el uso de productos químicos perjudiciales, como las siliconas, suavizantes y antiarrugas.
- **ETAPA 4. Transporte y venta:** El embalaje de cartón será posteriormente reciclado, y se emplearán vehículos eléctricos para su distribución.
- **ETAPA 5. Uso de la prenda:** se hará uso de los programas “ECO” para los 55 lavados, y se suprimirá el empleo de secadora, dejando escurrir la camiseta al aire.
- **ETAPA 6. Fin de vida:** como último paso, se optará por el reciclaje de la prenda, reduciendo los impactos ambientales asociados a esta etapa.

Así, la siguiente tabla (**Tabla 3**) recoge todos los parámetros calculados para este caso, recogidos en el Anexo A.

Tabla 3. Entradas y salidas del Caso 3

ENTRADAS			SALIDAS	
0,4980	Tejido de algodón (kg)	1. Cultivo y producción fibra	Fibra de algodón (kg)	0,4150
716,7000	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	84,0000
0,0490	Productos químicos (kg)		Residuos (kg)	0,0830
0,0334	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,3010
0,0000	Ocupación cultivo (m2)			
0,4150	Fibra de algodón (kg)	2. Producción hilo y tejido	Tejido de algodón (kg)	0,2920
2,0430	Consumo energético (kWh)		Contaminación de agua (l)	0,0000
72,8200	Consumo de agua (l)		Residuo sólidos (kg)	0,0066
0,0000	Productos químicos(kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,4658
0,6505	Gas natural (m3)		Emisiones partícula (kg)	7,6660
0,1000	Diesel (l)		Emisiones gases (kg)	84,3460
0,2920	Tejido de algodón (kg)	3. Fabricación prenda	Prenda terminada (kg/ítem)	0,2500
0,7740	Consumo energético (kWh)		Contaminación de agua (l)	0,1500
1,1200	Consumo de agua (l)		Residuo tejido (kg)	0,0420
0,0084	Productos químicos (kg)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,0000
0,0000	Transporte: Diesel (l)			
0,2500	Prenda terminada (kg/ítem)	4. Transporte y venta	Prenda vendida (kg/ítem)	0,2500
0,3150	Envases y embalaje (kg)		Residuos embalajes (kg)	0,0000
0,0000	Transporte: Diesel (l)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	1,7230
0,2500	Prenda vendida (kg/ítem)	5. Uso prenda	Prenda usada (kg/ítem)	0,2500
98,2143	Consumo de agua (l)		Contaminación de agua (l)	20,4800
1,9741	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	2,1059
0,0750	Detergente (l)			
0,2500	Prenda usada (kg/ítem)	6. Fin de vida	Recurso fin de vida	Reciclaje
0,0000	Consumo energético (kWh)		Emisiones CO2 (kg CO2-eq)	0,0000

2.3. Evaluación de impactos

El siguiente paso según la norma ISO 14040 es la evaluación de los impactos. Una vez calculadas todas las entradas y salidas para cada caso, se procede a implementar los modelos en el software *OpenLCA* (Figura 14). Este programa gratuito surgió en 2006 y está dirigido por la empresa de ingeniería, consultoría y desarrollo de software *GreenDelta*.



Figura 14. Logo OpenLCA

Esta aplicación permite modelar los flujos de entrada y salida de cada etapa, y crear sistemas de producto agregando los procesos secuencialmente.

Para compararlos, se ha hecho uso del método de impacto ambiental *CML-IA* [38]. Esta metodología ha sido creada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los Países Bajos. Esta manera de estudiar impactos ambientales se basa en el empleo de puntos intermedios, cuantificando las siguientes categorías ambientales:

- Agotamiento abiótico: representa la disminución de recursos, desde el punto de vista ambiental y económico.
- Agotamiento abiótico de combustibles fósiles: en este caso es particularizado para los recursos que se utilizan como medio para obtener energía (carbón, gas natural).
- Eutrofización: se refiere al aumento descontrolado de materia orgánica en un medio acuático, debido al vertido de nutrientes inorgánicos, que favorece la aparición de algas, que enturbian el agua provocando que no llegue la luz a todo el ecosistema.
- Toxicidad humana: sustancias que se liberan y emiten que producen efectos nocivos para la salud de los seres humanos.
- Agotamiento de la capa de ozono: daño producido a la capa que protege la tierra, formada por ozono, debido a sustancias producidas en procesos industriales que liberan, entre otros, cloro y bromo.
- Ecotoxicidad terrestre: daño en el medio ambiente que afecta a plantas y seres vivos.
- Acidificación: proceso por el cual disminuye el pH de un medio acuático, provocado por el aumento de CO₂.
- Ecotoxicidad acuática marina: liberación de sustancias nocivas a mares y océanos provocando la destrucción de ecosistemas.
- Oxidación fotoquímica: se produce cuando se forman sustancias nocivas gracias a las reacciones químicas impulsadas por la presencia de luz. Puede provocar el conocido “smog”, y son muy perjudiciales para los cultivos.
- Calentamiento global (GWP 100a): la radiación térmica que emite la tierra se queda aprisionada en la atmósfera debido a la acumulación de gases de efecto invernadero. Por otro lado, “GWP 100a” (acrónimo del inglés Global Warming Potential), representa la cantidad de calor que es atrapado por un gas de efecto invernadero en la atmósfera, comparado con el dióxido de carbono. Por otro lado, el 100 representa el número de años para los que se ha realizado el cálculo.
- Ecotoxicidad acuática de agua dulce: al igual que la anterior, representa la destrucción de ecosistemas acuáticos, siendo en este caso los correspondientes a aguas dulces, como lagos y ríos.

Así, se ha ido comparando cada etapa de los tres casos descritos, obteniendo los siguientes resultados:

2.3.1. Comparativa etapa 1: Cultivo y producción de la fibra

En esta primera etapa se han obtenido los resultados que se muestran en la **Tabla 4**. El impacto ambiental más importante es la ecotoxicidad del medio marino, debido en gran parte a la cantidad de productos químicos que se utilizan en el cultivo, que se ven drásticamente reducidos en el cultivo de algodón orgánico ya que se utilizan plagas de insectos para controlar las etapas en la cosecha. Además, también se disminuye considerablemente en el caso del algodón reciclado, pero no tanto como en el Caso 2 ya que se usan bastantes productos químicos para adecuar la fibra de algodón al aspecto deseado.

El siguiente factor con impacto es la oxidación fotoquímica, dañina para los cultivos y que podría producir efecto “smog” en verano, debido a que, en los días de más calor, con una luz solar muy intensa, se puede producir un aumento de ozono troposférico.

Tabla 4. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 1

Categoría de impacto	C1.1 Cultivo y producción fibra de algodón	C2.1 Cultivo y producción fibra de algodón orgánico	C3.1 Producción fibra de algodón reciclado
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	4,54338E-10	1,7506E-10	2,27169E-10
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	3,662009654	1,410999222	1,831004827
Eutrofización (kg PO4 - eq)	0,000101819	3,92315E-05	5,09093E-05
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	0,028554371	0,011002209	0,014277185
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	1,84882E-08	7,12363E-09	9,24408E-09
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,00014087	5,42784E-05	7,04351E-05
Acidificación (kg SO2 eq)	0,001506957	0,000580642	0,000753479
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	47,67532612	18,36965339	23,83766306
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	8,17715E-05	3,15072E-05	4,08857E-05
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	0,905561966	0,442564656	0,452780983
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,000506009	0,000194969	0,000253004

Si se comparan empleando porcentajes (siendo el 100% el caso más desfavorable), se puede observar en la **Figura 15**. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 1 que las mejoras descritas en todos los impactos consiguen reducir hasta en un 61% los impactos producidos con la elección del algodón orgánico, siendo este el mejor de los casos.

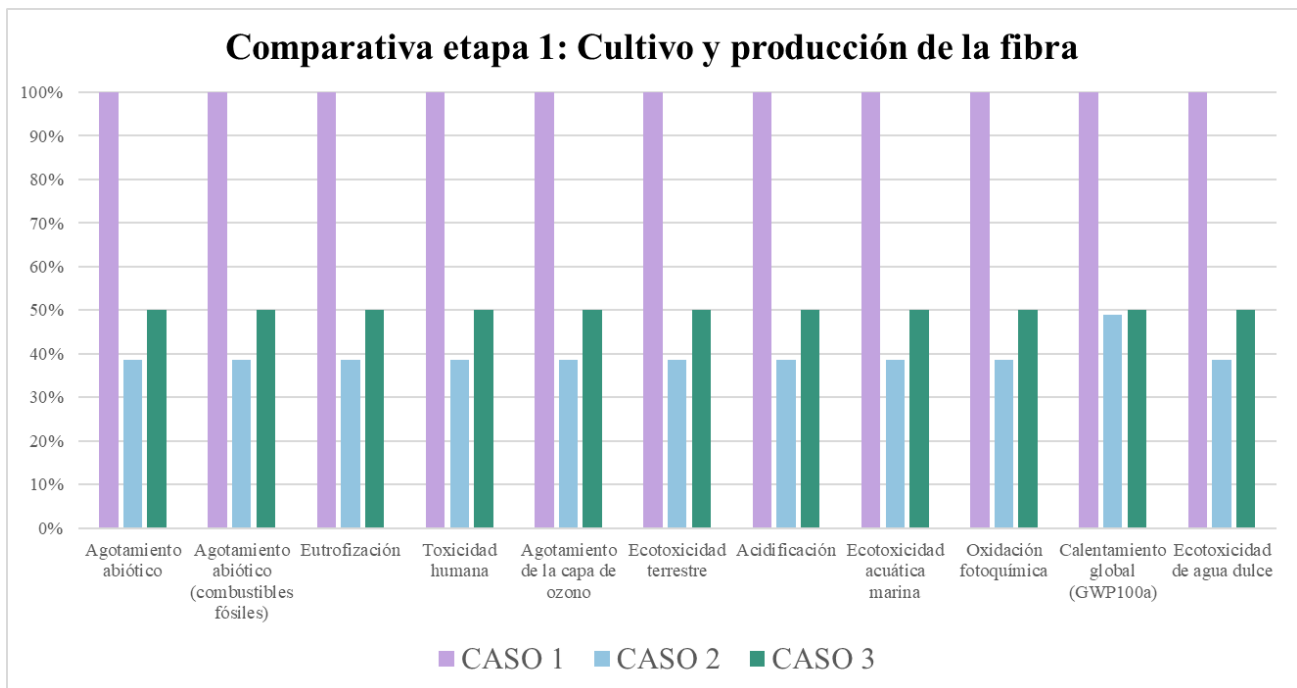


Figura 15. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 1

2.3.2. Comparativa etapa 2: Producción del hilo y tejido

En la segunda etapa se observan cambios más variados (**Tabla 5**). De nuevo, la ecotoxicidad acuática marina ocupa el primer puesto, debido a la gran cantidad de productos químicos que se usan en la producción de hilo y tejido. Le seguirían la toxicidad humana, ya que en estos procesos se liberan muchas micropartículas, así como vapores de estos productos al ambiente; el agotamiento abiótico de los combustibles fósiles, debido al uso de carbón, gas natural y diésel, que va disminuyendo en cada caso gracias a las medidas adoptadas.

En el Caso3, al reducirse y sustituirse los productos químicos por otros menos nocivos y el uso de combustibles fósiles, se consigue erradicar prácticamente la eutrofización y la acidificación, así como la oxidación fotoquímica.

Tabla 5. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 2

Categoría de impacto	C1.2 Producción de hilo y tejido	C2.2 Producción de hilo y tejido	C3.2 Producción de hilo y tejido
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	2,16271E-08	1,77984E-08	1,39162E-08
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	122,2513406	122,1331805	112,1662027
Eutrofización (kg PO4 - eq)	13,99904845	4,457913029	0,003118672
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	136,3777899	45,1355923	7,160731389
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	5,77978E-07	5,77805E-07	5,66287E-07
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,005197947	0,005066328	0,004314812
Acidificación (kg SO2 eq)	53,87764601	17,18095214	0,046157619
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	1491,249881	1488,779913	1460,280229
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	1,86426332	0,595139487	0,002504635
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	10,89366466	9,978544906	9,298007448
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,016532453	0,01650679	0,015498885

De esta manera, en la siguiente gráfica (**Figura 16**), se observa que el mejor de los casos sería el 3, consiguiendo reducir todos los impactos y eliminando casi al 100% la eutrofización, la acidificación y la oxidación fotoquímica.

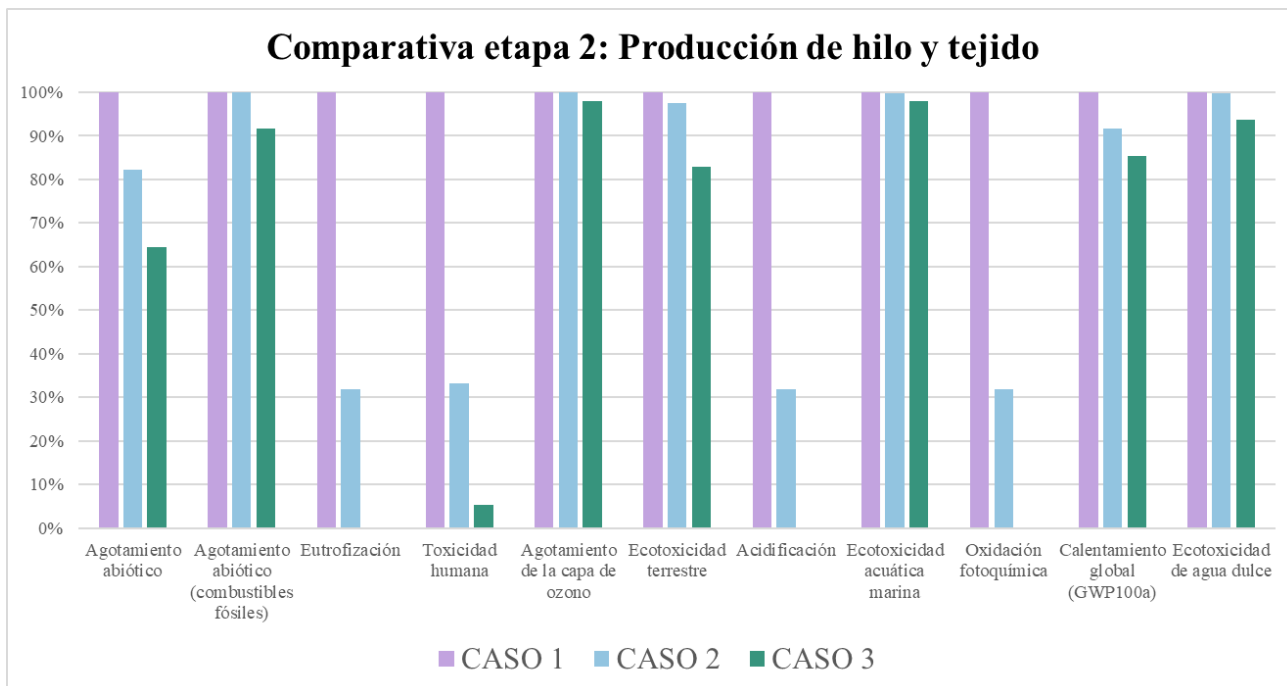


Figura 16. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 2

2.3.3. Comparativa etapa 3: Fabricación de la prenda

A continuación, vuelve a ser un gran problema la ecotoxicidad marina, que consigue reducirse casi en un 70% en el Caso 3, seguida del agotamiento de combustibles fósiles que es mejorado en el Caso 2 y 3.

A continuación, se encuentra el calentamiento global, que también experimenta una disminución de casi el 50% en el Caso 2, y de un 60% en el Caso 3.

Tabla 6. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 3

Categoría de impacto	C1.3 Fabricación de la prenda	C2.3 Fabricación de la prenda	C3.3 Fabricación de la prenda
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	6,36935E-09	5,44729E-09	4,39952E-09
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	164,8090278	43,90568396	22,16284478
Eutrofización (kg PO4 - eq)	0,002692067	0,001220755	0,000985946
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	0,658960175	0,342352779	0,241939429
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	3,69712E-07	2,21664E-07	1,79028E-07
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,009243689	0,001688965	0,001364097
Acidificación (kg SO2 eq)	0,035868119	0,018067669	0,014592405
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	914,4988256	571,6035726	288,5357911
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	0,002136839	0,0009804	0,000791823
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	7,399360293	3,965157786	2,981530585
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,018211267	0,006066793	0,004899863

Las mayores mejoras se producen en el Caso 3, con una media de reducción del 65%, reduciendo considerablemente la ecotoxicidad terrestre y el agotamiento de combustibles fósiles (**Figura 17**).

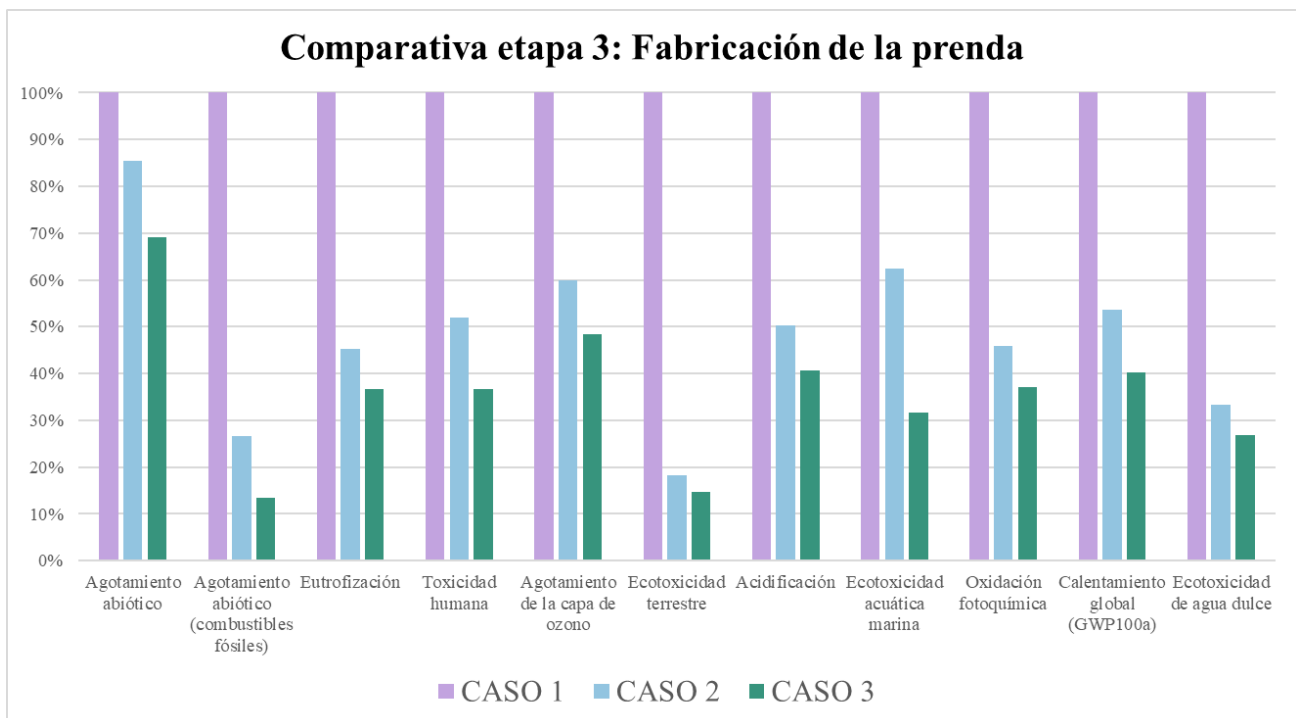


Figura 17. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 3

2.3.4. Comparativa etapa 4: Transporte y venta

En esta etapa, se aprecia una disminución en los casos 2 y 3 del uso de combustibles fósiles, ya que se suprime el desplazamiento de Valencia a Sevilla.

Con respecto a las etapas anteriores, se consigue reducir considerablemente (en torno al 90% para los casos 2 y 3) el agotamiento abiótico, el de la capa de ozono, así como la ecotoxicidad terrestre.

De nuevo, en el Caso 3 se elimina casi por completo la eutrofización, la acidificación y la oxidación fotoquímica (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 4

Categoría de impacto	C1.4 Transporte y venta	C2.4 Transporte y venta	C3.4 Transporte y venta
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	2,01589E-07	1,77984E-08	1,75774E-08
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	338,1188459	122,1331805	94,14409762
Eutrofización (kg PO4 - eq)	14,00248558	4,457913029	0,003386829
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	136,8120298	45,1355923	7,264575593
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	5,67606E-06	5,77805E-07	6,11057E-07
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,044005312	0,005066328	0,004689991
Acidificación (kg SO2 eq)	53,90501161	17,18095214	0,049848539
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	2392,853283	1488,779913	1399,518712
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	1,865758527	0,595139487	0,002704456
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	20,68453905	12,68054491	12,02631375
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,032117243	0,01650679	0,013380811

Así, el caso más favorable sería el Caso 3, consiguiendo reducir más de un 50% casi todos los impactos. El Caso 2 también supone una gran mejora, ya que se consigue una media de disminución del 34% (Figura 18).

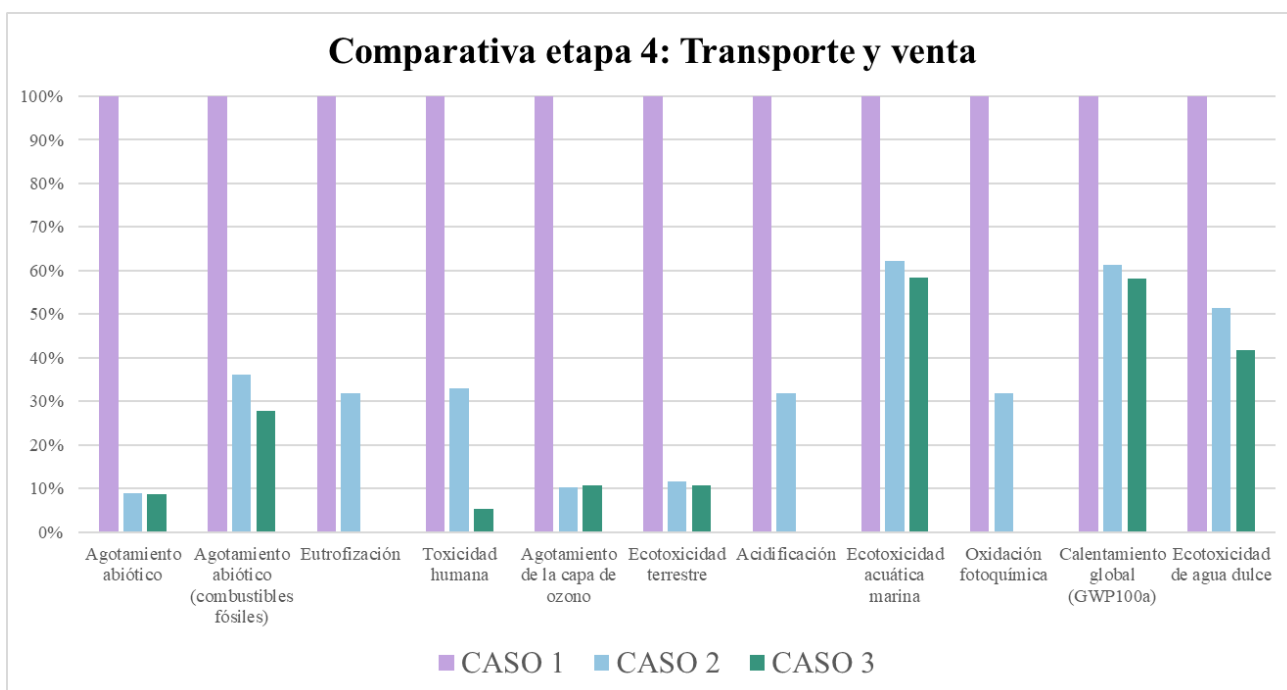


Figura 18. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 4

2.3.5. Comparativa etapa 5: Uso de la prenda

La etapa de uso es de las más problemáticas. En cada lavado y secado se desprenden muchas fibras, incluso accesorios de las prendas, así como detergente. Por ello, la ecotoxicidad acuática marina vuelve a ser el mayor impacto (Tabla 8).

Por otro lado, el calentamiento global se ve muy reducido en el Caso 3 gracias al lavado ECO y el secado al aire.

Tabla 8. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 5

Categoría de impacto	C1.5 Uso de la prenda	C2.5 Uso de la prenda	C3.5 Uso de la prenda
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	7,66147E-08	5,36153E-08	1,78464E-08
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	730,9930541	432,1445905	170,8937223
Eutrofización (kg PO4 - eq)	0,01843426	0,012015358	0,003999441
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	5,07375702	3,369629813	1,087054624
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	3,22817E-06	2,18174E-06	7,26216E-07
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,03102367	0,016623749	0,005533393
Acidificación (kg SO2 eq)	0,268859035	0,177832223	0,059193361
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	8285,590288	5626,045868	2049,447872
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	0,014779544	0,009649648	0,003211989
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	58,04933504	39,29128758	14,07185353
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,096445361	0,059712812	0,023221252

En este caso, los cambios adoptados estiman que el mejor escenario es el correspondiente al Caso 3, con una media de reducción del 80% (Figura 19).

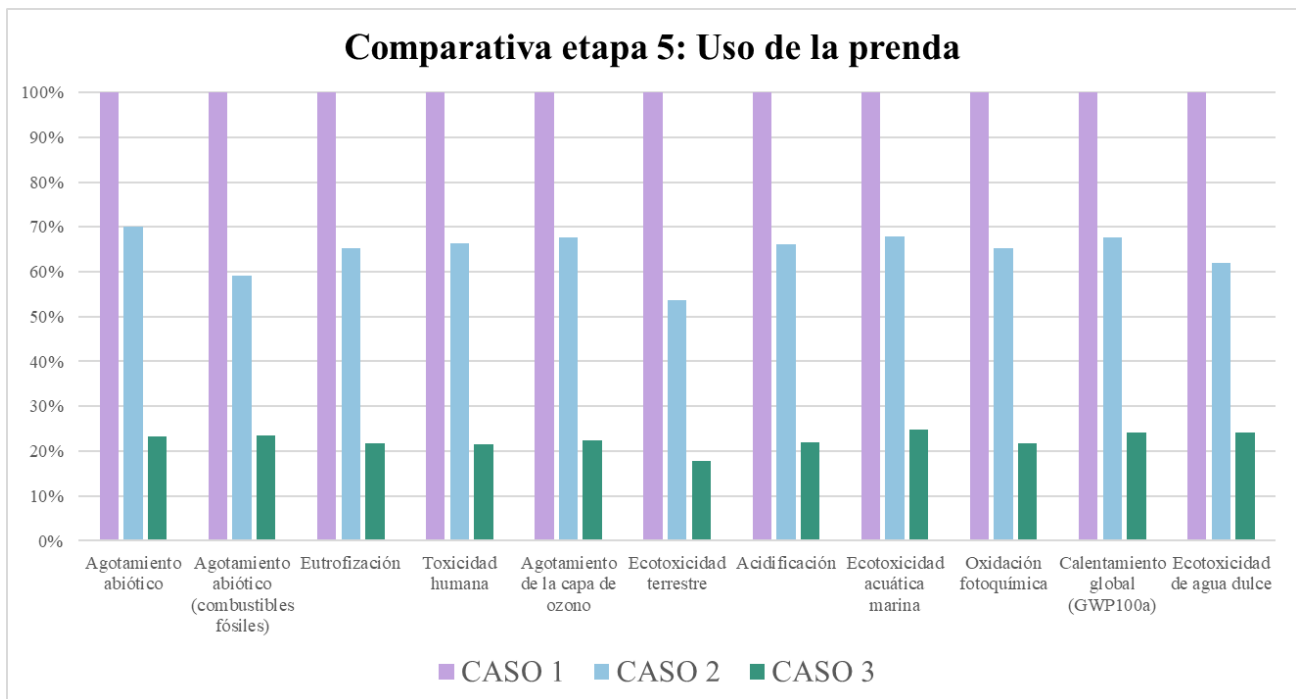


Figura 19. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 5

2.3.6. Comparativa etapa 6: Fin de vida

En esta última etapa, se consiguen grandes cambios en prácticamente todos los impactos, reduciendo tanto en el Caso 2 como el 3 el agotamiento abiótico, de la capa de ozono y la ecotoxicidad terrestre. A su vez, el Caso 3 consigue erradicar la eutrofización, acidificación y oxidación fotoquímica (**Tabla 9**).

Tabla 9. Resultados de los impactos ambientales de la etapa 6

Categoría de impacto	C1.6 Fin de vida	C2.6 Fin de vida	C3.6 Fin de vida
Agotamiento abiótico (kg Sb eq)	2,01589E-07	1,77984E-08	1,75774E-08
Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ)	338,1188459	122,1331805	94,14409762
Eutrofización (kg PO4 - eq)	14,0024872	4,457913029	0,003386829
Toxicidad humana (kg 1,4-DB eq)	136,8120448	45,1355923	7,264575593
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	5,67606E-06	5,77805E-07	6,11057E-07
Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq)	0,044005312	0,005066328	0,004689991
Acidificación (kg SO2 eq)	53,90501786	17,18095214	0,049848539
Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq)	2392,853283	1488,779913	1399,518712
Oxidación fotoquímica (kg C2H4 eq)	1,865758877	0,595139487	0,002704456
Calentamiento global (GWP100a) (kg CO2 eq)	20,71003905	12,68054491	12,02631375
Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DB eq)	0,032117243	0,01650679	0,013380811

Así, se consiguen reducciones del 66% de media para el Caso 2, y del 80% para el Caso 3, siendo de nuevo el más favorable (**Figura 20**).

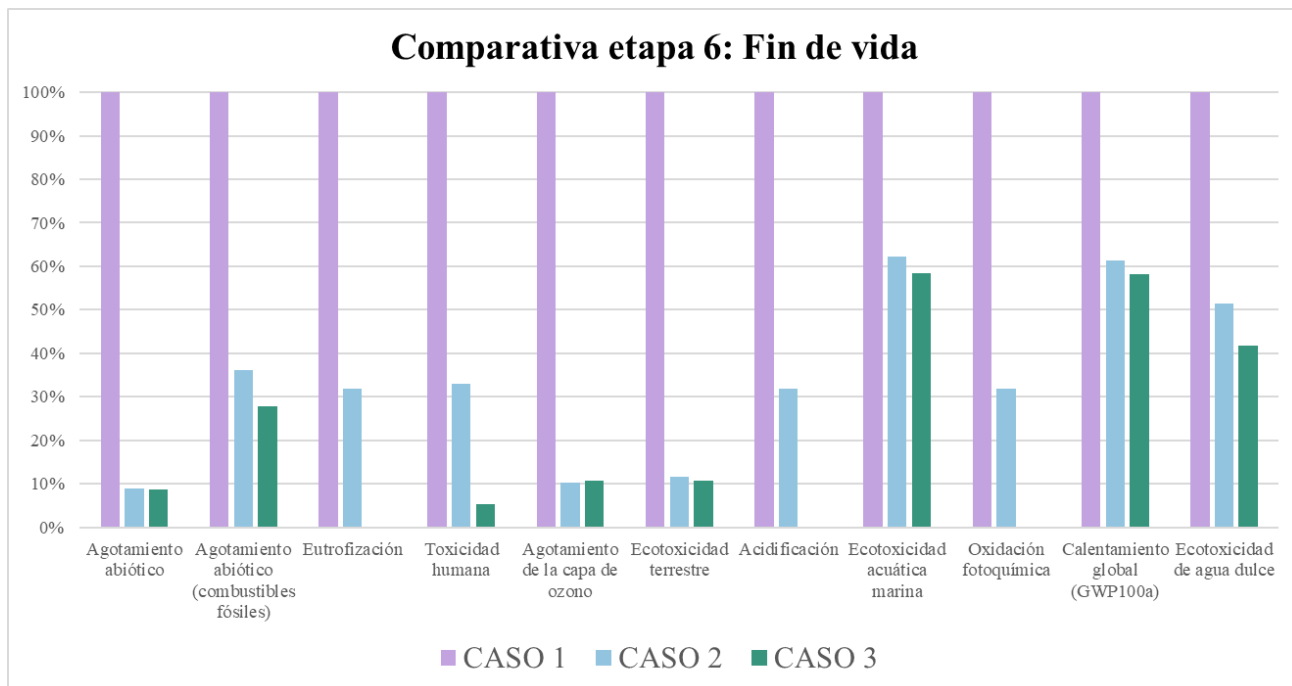


Figura 20. Comparativa de los impactos ambientales de la etapa 6

2.4. Interpretación de resultados

Finalmente, una vez evaluados todos los impactos ambientales asociados a cada etapa, se comentarán los resultados obtenidos. Por un lado, y como ha quedado reflejado en el apartado anterior, el Caso 3 es el más favorable de todos, aunque el 2 también representaría una buena alternativa al Caso 1.

A continuación, se detallan las mejoras para cada impacto ambiental, representadas en la **Figura 21** :

- Agotamiento abiótico: se ha conseguido reducir en un 86% en el Caso 3 respecto al Caso 1, así como un 78% en el Caso 2, debido a la disminución del uso de recursos, como el hídrico.
- Agotamiento abiótico (combustibles fósiles): en el Caso 2, se reduce en un 50% gracias a la sustitución del carbón por el gas natural, mientras que en el Caso 3 se ha reducido un 71% al incorporar energías renovables combinadas con el uso de gas natural.
- Eutrofización: se ha erradicado por completo en el Caso 3, ya que se utilizan en la mayoría de las etapas productos más respetuosos con el medio ambiente. Aun así, el Caso 2 también aporta buenos resultados con una reducción del 68%.
- Toxicidad humana: en la misma línea, la sustitución de productos nocivos con el medio ambiente también repercutirá en la disminución de la toxicidad de estos en el ser humano, llegando a reducirse un 67% en el Caso 2 y un 94% en el Caso 3.
- Agotamiento de la capa de ozono: esta problemática ha sido estos últimos años muy preocupante, y en este caso de estudio se ha conseguido reducir su impacto hasta en un 83% con las medidas adoptadas en el Caso 3, así como un 73% para el Caso 2.
- Ecotoxicidad terrestre: de nuevo, con las medidas adoptadas en los casos 2 y 3 se consigue una gran disminución de un 75% y 85%, respectivamente.
- Acidificación: este impacto se elimina por completo en el Caso 3, gracias a los cambios llevados a cabo en cuanto a los productos químicos, siendo el Caso 2 también una buena alternativa con una reducción del 68%.
- Ecotoxicidad acuática marina: una de las mayores problemáticas de este estudio, ya que no son solo productos químicos los que llegan a los océanos, durante la producción de hilo y tejido y la fabricación de la camiseta también se liberan muchas micropartículas que son emitidas tanto al aire, como al agua utilizada en estos procesos. Aun así, se ha conseguido disminuir a un 57% este impacto en el Caso 3 y un 41% en el Caso 2.
- Oxidación fotoquímica: este impacto es el tercero en ser eliminado completamente en el Caso 3, consiguiendo una buena reducción del 68% en el Caso 2.
- Calentamiento global: este impacto, ligado a la huella de carbono, es hoy día uno de los más problemáticos. Así como la ecotoxicidad acuática marina, en el Caso 3 se ha reducido un 57% y en el Caso 2 un 43%.
- Ecotoxicidad de agua dulce: antes de llegar a los mares y océanos, estos químicos y micropartículas pasan por lagos y ríos, contaminando y arruinando en muchos casos los ecosistemas. Con los cambios adoptados, se ha obtenido una mejoría del 41% en el Caso 2 y del 64% en el Caso 3.

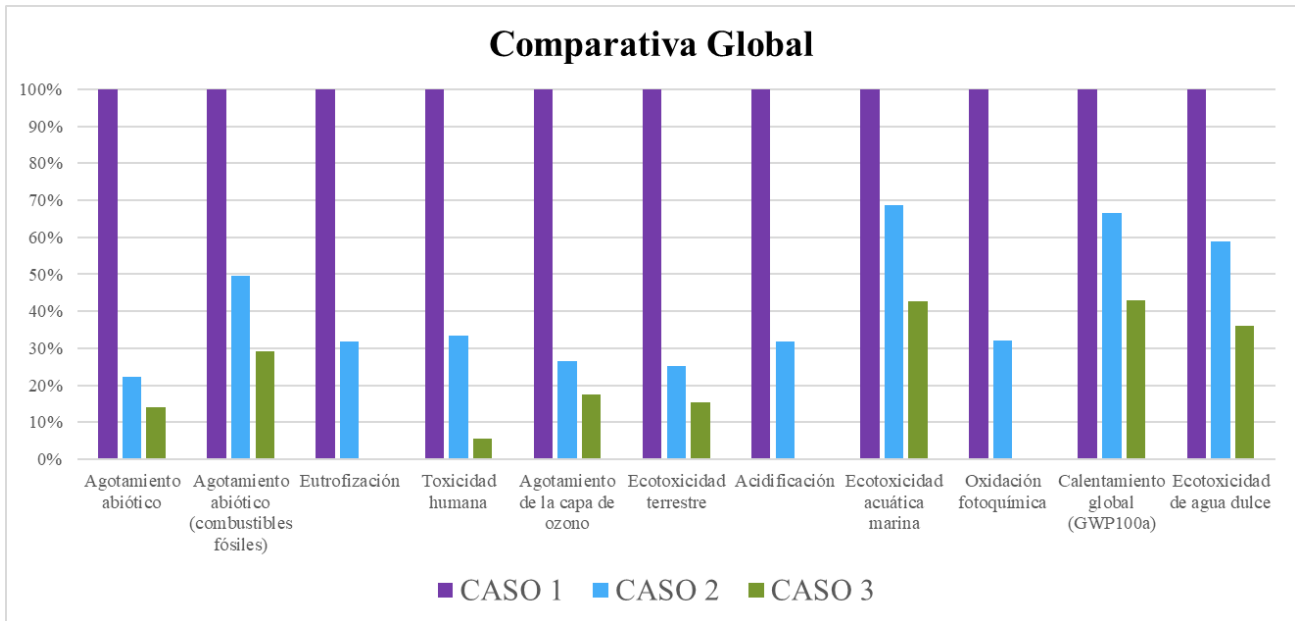


Figura 21. Comparativa de los impactos ambientales de todo el ACV

Por otro lado, en cuanto los recursos utilizados (agua y energía), se han conseguido los siguientes resultados (**Figura 22**):

- Consumo de agua: se consiguen mejores resultados en el Caso 2, ya que el cultivo de algodón orgánico, en comparación con la obtención de fibra a partir de algodón reciclado, requiere menos aporte de recurso hídrico. Aun así, como se puede observar ambas soluciones son buenas alternativas ya que se consiguen reducciones de más del 60%.
- Consumo energético: para este recurso se ha conseguido en el Caso 3 una reducción del 65%, mientras que para el caso del cultivo orgánico se ha reducido un 30%.

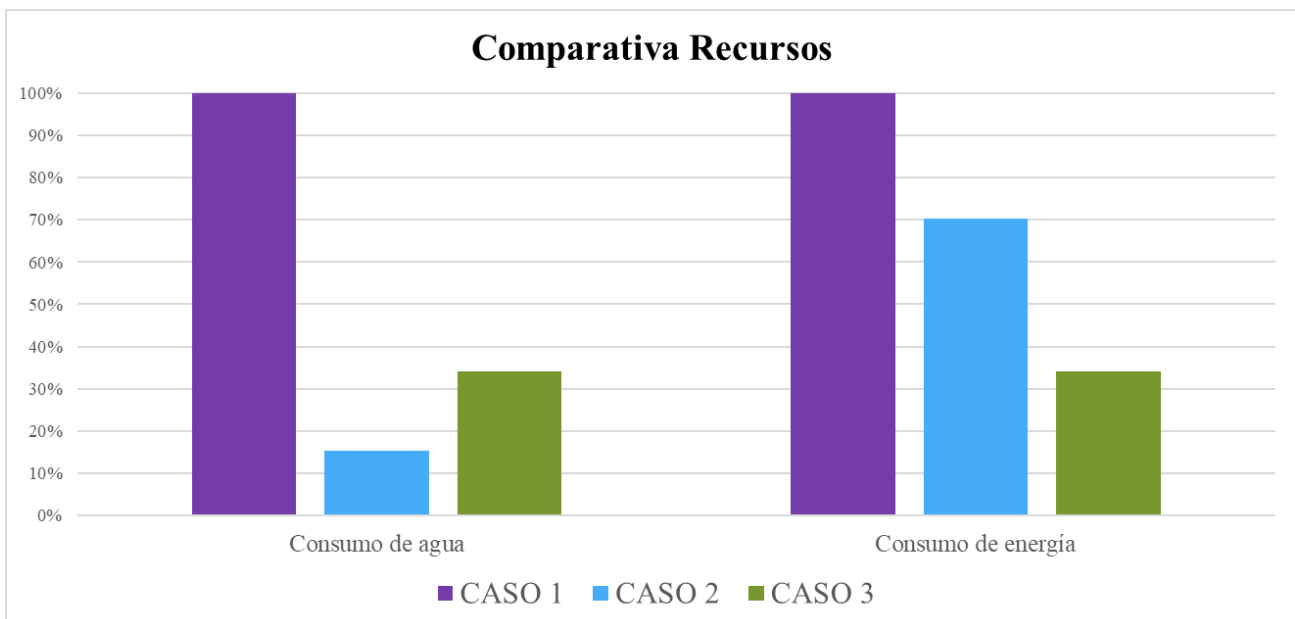


Figura 22. Comparativa de los recursos del ACV

Una vez comparados los casos, es interesante saber cuáles son las etapas que más impacto producen. Por un lado, en cuanto al calentamiento global (gases de efecto invernadero) (**Figura 23**), la etapa más contaminante sería la 5, es decir, la etapa del uso de la prenda.

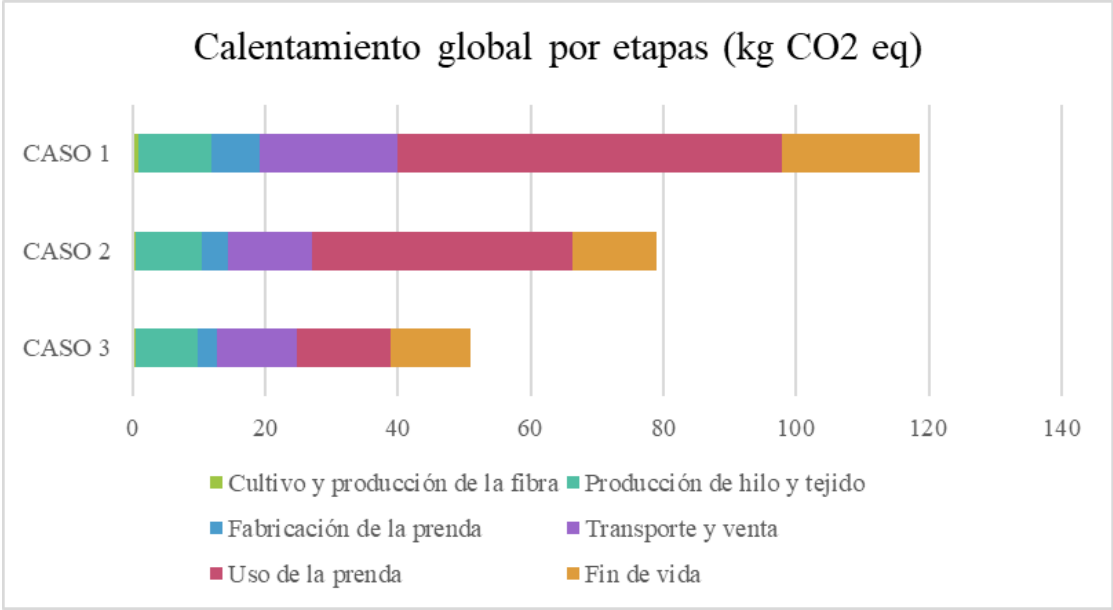


Figura 23. Calentamiento global por etapas

En el caso de la huella hídrica, la etapa más problemática es la del cultivo y producción de la fibra. Este uso del recurso se ve drásticamente reducido en los casos 2 y 3 (**Figura 24**).

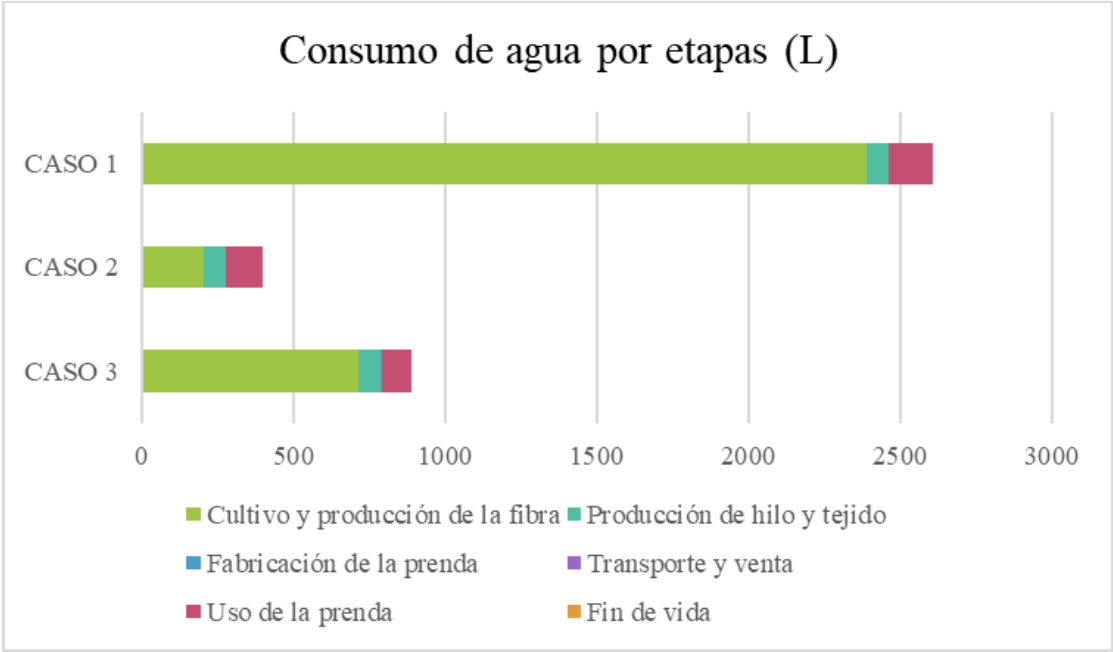


Figura 24. Consumo de agua por etapas

En cuanto al consumo energético, la etapa 5, uso de la prenda, vuelve a ser la más problemática, seguida de la etapa 2 (producción del hilo y tejido) (Figura 25).

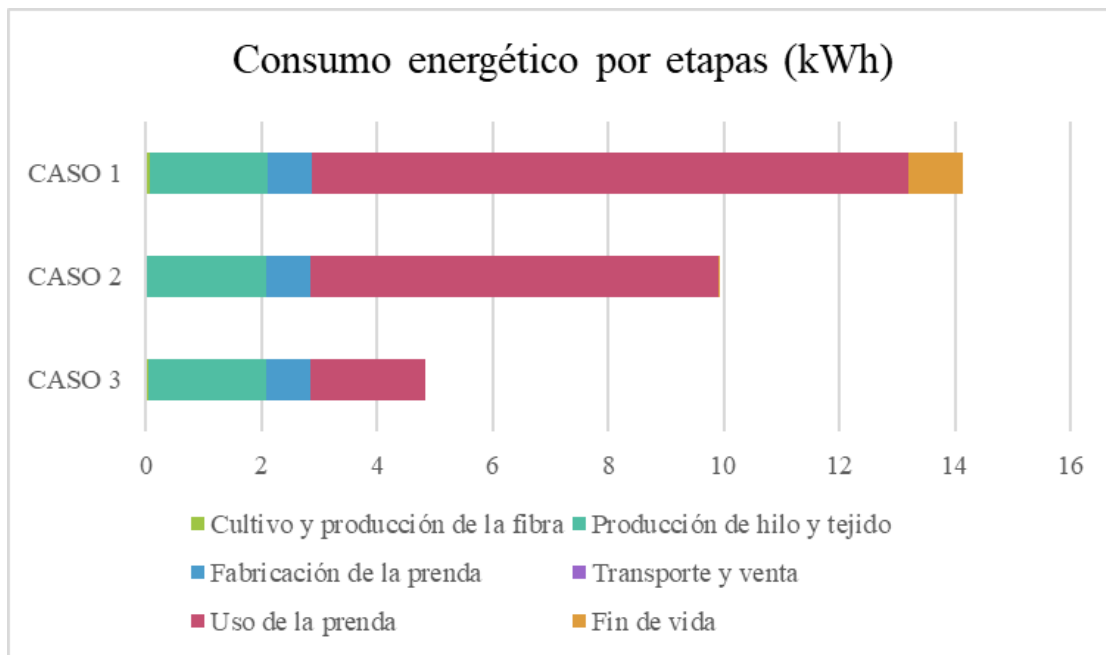


Figura 25. Consumo energético por etapas

Finalmente, en cuanto a la toxicidad (humana, terrestre, marina y de agua dulce), la etapa 5, uso de la prenda, resulta ser la más contaminante de todas (Figura 26).

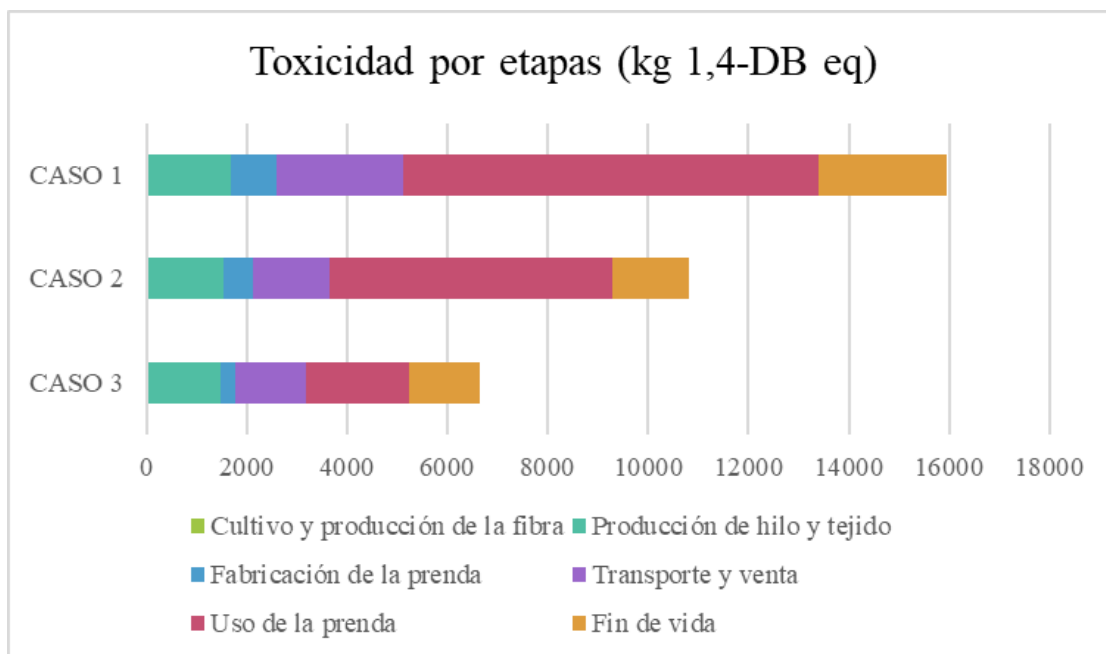


Figura 26. Toxicidad por etapas

3 MARCAS ESPAÑOLAS SOSTENIBLES

Este estudio demuestra que tanto consumidores como productores tienen un papel relevante en la disminución de impactos ambientales. A continuación, se exponen algunas de las marcas españolas que aplican prácticas más respetuosas con el medio ambiente y las medidas que adoptan:

Natural World Ecofriendly

Natural World – Eco friendly [39] es una marca de calzado afincada en La Rioja, cuyo objetivo es la creación de productos 100% ecológicos. Afirman que la producción es respetuosa con el medio ambiente, ya que utilizan un sistema con más de 100 años denominado “Sistema de Vulcanización”. Además, no hacen uso de productos nocivos, y el algodón que utilizan es 100% ecológico, además de emplear embalajes 100% reciclables y reciclados. Por un lado, en la producción de algodón, consiguen reducir la huella hídrica y de carbono reciclando los tejidos sobrantes en su producción, que reutilizan como materia prima. A su vez, la placa de caucho de la suela contiene como mínimo un 30% de caucho reciclado (**Figura 27**).



Figura 27. Logo Natural World

ECOALF

ECOALF [40], fundada por Javier Goyeneche en 2009, es una empresa de ropa, calzado y accesorios. Su primer objetivo es disminuir el consumo de recursos, haciendo uso de materiales. En 2023 consiguió el título de empresa más responsable de España. Además, han conseguido elaborar una colección de algodón 100% reciclado. Esta apuesta es fruto de 12 años de investigación, para alcanzar un producto de alta calidad que pudiera hacerle frente al de algodón convencional, que no sea de un solo uso, sino que se pueda reciclar indefinidamente. Según sus datos, han conseguido un ahorro de 1,4 mil millones de litros de agua en comparación con los modelos de producción existentes. Están comprometidos en convertirse una marca cero emisiones para 2030, y para ello han inaugurado una tienda en la ciudad de Madrid, utilizando materiales de madera de bosques españoles con un impacto positivo de CO₂ (**Figura 28**).



Figura 28. Logo ECOALF

Blue Banana

Blue Banana [41], es una marca fundada en 2016 por dos jóvenes de 18 años. Uno de sus objetivos es inspirar a las nuevas generaciones a que conozcan mundo y vivan aventuras, a la vez que producir prendas de alta calidad. Por ello, en 2021 negativizaron sus emisiones de CO₂ participando en proyectos con las Naciones Unidas encaminados a mejorar el medio ambiente. En 2020 salió a la luz una colección hecha de productos 100% sostenibles. Además, realizaron un informe analizando los ciclos de vida de varios de sus productos junto a “DCycle” (software de gestión medioambiental para empresas) [42], en el que con las medidas adoptadas conseguían una reducción media por prenda del 24% en cambio climático, 4% en la eutrofización y de hasta un 77% en el uso de agua, comparadas con prendas del mismo tipo fabricadas con productos no sostenibles (**Figura 29**).



Figura 29. Logo Blue Banana

Inditex

La empresa textil más grande de España, **Inditex** [43], forma parte del Pacto Mundial de las Naciones Unidas desde 2001. Dentro de sus objetivos a corto plazo, en 2025, tienen intención de reducir un 25% el uso de agua en su cadena de producción y que el lino y poliéster empleados sean producidos de manera más sostenible. A medio plazo, en 2030, quieren mejorar la biodiversidad protegiendo, restaurando o regenerando 5 millones de hectáreas de terreno, reduciendo sus emisiones de CO₂ en más de un 50%, así como hacer uso de materias primas que generen menos impacto. En 2040, se han propuesto disminuir un 90% la huella de carbono en comparación a las emisiones de 2018. Como se mencionó en la introducción, es muy importante que la circularidad de un producto esté presente en el diseño de este, por ello apuestan por trabajadores que sean expertos en sostenibilidad. Otra de las medidas adoptadas recientemente es la implantación en 2022 de “Zara Pre-Owned”, función incorporada en la aplicación de la tienda, que permite vender y comprar prendas de segunda mano contribuyendo a alargar la vida de estas (**Figura 30**).

The logo for Inditex is the word 'INDITEX' in a bold, black, uppercase, sans-serif font.

Figura 30. Logo Inditex

4 CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Grado se han estudiado cuantitativa y cualitativamente los impactos ambientales que suponen el ciclo de vida completo de una camiseta de algodón, para tres casos distintos. Para ello, se han seguido las directrices que marca la norma ISO 14040. Así, el primer paso fue definir el objetivo y alcance del estudio, con la definición de su unidad funcional, que como se ha detallado anteriormente es una camiseta de algodón. Posteriormente, se ha realizado el inventario numérico de entradas y salidas para los tres casos (cálculos detallados en los anexos), para seguidamente introducirlos en el software *OpenLCA*, el cual calculará los impactos ambientales asociados. Una vez concluido este paso, se han aportado tablas y gráficos con los resultados y se ha procedido a la evaluación e interpretación de estos, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Se demuestra que la producción convencional (Caso 1) tal y como hoy la conocemos supone un problema medioambiental grave, incidiendo en el medio ambiente con impactos como el calentamiento global, agotamiento abiótico y ecotoxicidad marina, entre otros. Desde el cultivo, con el gran consumo de agua, hasta la disposición final, se pueden tomar medidas a corto y largo plazo para conseguir evolucionar a un modelo de fabricación más sostenible.
- En el Caso 2 se sustituyó el cultivo convencional por el orgánico, se utilizó como combustible fósil gas natural (anteriormente carbón), se trasladó la sede de la fábrica de la prenda a Sevilla (suprimiendo las emisiones asociadas al transporte a Valencia), se mejoró el embalaje sustituyendo el plástico por cartón, se optimizó el programa de la lavadora y, por último, se dispuso en vertedero. Con las medidas tomadas, se observaron grandes cambios en cuanto al consumo de agua (reducción del 85%), en gran parte por el cambio de cultivo al algodón orgánico, así como reducir en casi un 60% de media todos los impactos ambientales, siendo este el mejor modelo para la primera etapa.
- Para el Caso 3, se usa como materia prima algodón reciclado, se produce el tejido en una fábrica que combina gas natural con energía renovable, se reduce el uso de productos químicos, se utiliza un envoltorio reciclado, se programa la lavadora en función “ECO”, suprimiendo la secadora y se reutilizará la prenda. Así, ha resultado el más favorable de todos, consiguiendo de media un 80% de disminución de impactos, lo que deja ver que las medidas adoptadas en cuanto a reducción de productos químicos y de combustibles fósiles, así como el reciclaje como método de disposición final, han resultado efectivas.
- La disposición final del producto es una etapa que tiene bastante margen de mejora. La ya mencionada “fast fashion” hace que se compre mucho, y se reutilice poco. Por ello, si se aboga por la compra de calidad y más sostenibles, y se favorecen las plataformas como “Vinted” (que permite la compra y venta de productos de segunda mano) se conseguirá un gran avance en esta etapa.
- Si se compara por etapas, la de uso de la prenda es la más contaminante en cuanto a calentamiento global, consumo energético y toxicidad. Con esto, se deja constancia del importante papel del consumidor en este proceso. No solo es crucial la elección de productos más sostenibles, sino también el empleo que se hace de estos.

Así, están floreciendo cada día más empresas concienciadas con métodos de producción más sostenibles, como las ya existentes intentan avanzar a prácticas más respetuosas. Aun así, esta evolución es costosa y requiere una gran inversión en departamentos de investigación.

Por ello, se debe fomentar el aprendizaje de ambas partes, consumidores y productores, para que tengan conciencia de las consecuencias, tanto positivas como negativas, que puedan tener sus actos en este sector. Por otro lado, los gobiernos también deben apoyar las iniciativas que estén encaminadas a mejorar la calidad de los productos ambientalmente, ya que fomentará la aparición de nuevas empresas que quieran contribuir a este cambio. A su vez, será importante saber diferenciar entre las empresas que realmente han tomado conciencia, de las que estén realizando un “green washing”, implementando leyes que permitan conocer la cadena de suministro de cada producto.

REFERENCIAS

- [1] E. E. Testing, *Análisis de Ciclo de Vida (ACV): qué es y para qué sirve*, 2024.
- [2] E. E. Testing, *ISO 14040: Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia*, 2024.
- [3] I. O. f. Standarditazion, *ISO 14040:2006 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia*, 2006.
- [4] F. d. I. d. I. U. P. d. Cataluña, *Análisis de ciclo de vida (Gestión Ambiental)*.
- [5] Fide, «La regulación del impacto ambiental de la moda: hacia la deseada circularidad,» *El Confidencial*, 24 Noviembre 2022.
- [6] A. G. Frutos, Trabajo de Fin de Máster Ingeniería Química, Evaluación ambiental de los productos textiles durante todo su ciclo de vida e introducción de estrategias de economía circular, Madrid, 2021.
- [7] N. Unidas, *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, 2015.
- [8] P. Europeo, «Estrategia de la Unión para la circularidad y sostenibilidad de los productos textiles,» 2023. [En línea]. Available: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0215_ES.html.
- [9] P. E. Sociedad, «El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente,» 29 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>.
- [10] N. Fariña, «Pacto textil 2030: las líneas rojas de la Unión Europea para una moda más sostenible,» *El País*, 08 Junio 2023.
- [11] C. I. español, «Consejo Intertextil Español,» [En línea]. Available: <https://consejointertextil.com/euratex/>.
- [12] Modaes, «Las exportaciones textiles en Europa aumentan un 15% y las importaciones crecen un 30% en 2022,» 19 Mayo 2023.
- [13] «La industria textil europea, cada vez más expuesta a la presión global,» 19 Mayo 2023.
- [14] Euratex, «Informe de Primavera 2023,» 2023.
- [15] E. Brands, «De la deslocalización de los 90 a la producción local: pasado, presente y futuro de la industria textil española,» *El Confidencial*.
- [16] P. Riaño y C. Angelis, «Diez años de altibajos para la ‘Spanish armada’».
- [17] C. E. e. I. A. Agencia de Ciencia, «Principado de Asturias,» Marzo 2024. [En línea]. Available: https://www.idepa.es/detalle-cpi/-/asset_publisher/zxT81Eepo2hu/content/sector-textil-el-sector-en-

espana-informacion-general.

- [18] Modaes, «Informe económico de la moda en España,» 2023.
- [19] W. KPMG, «La transformación sostenible del sector textil,» 2021.
- [20] G. d. España, «Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática),» 09 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>.
- [21] S. Y. Style, *¿Qué le pasa a la industria de la moda?*.
- [22] D. O. Álvarez, «Enciclopedia Humanidades, Algodón,» [En línea]. Available: <https://humanidades.com/algodon/>.
- [23] EUCotton, «European Cotton Alliance (ECA),» [En línea]. Available: <https://eucotton.eu/european-cotton-alliance/>.
- [24] G. d. España, «Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación,» [En línea]. Available: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/algodon/>.
- [25] A. I. T. d. P. A. (Aitpa), «Aitpa,» [En línea]. Available: https://www.aitpa.es/?page_id=335.
- [26] C. Juárez, «El algodón anticipa una contracción de la producción en 2022, pero con más ingresos,» *Modaes*, 16 Noviembre 2022.
- [27] L. G. Estrugo, «¿Conoces los ciclos de vida de una prenda?,» *Franca Magazine*, 2022.
- [28] H. Burley, *La huella de tus pasos*, Amigos de la tierra ed., 2015.
- [29] J. F. Samaniego, *ANALIZANDO EL CICLO DE VIDA EN LA MODA*, The Good Shop, 2022.
- [30] Anne, *Ciclo de vida de una prenda: Producción e impacto en 5 pasos*, Cosh!, 2023.
- [31] M. Negm y S. Sanad, «Cotton fibres, picking, ginning, spinning and weaving,» de *Handbook of Natural Fibres Volume 2: Processing and Applications*, Woodhead Publishing, 2020.
- [32] Tecotex, «¿Cómo es el proceso de hilado?,» 11 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://tecotex.com.ar/como-es-el-proceso-de-hilado/>.
- [33] B. Recovo, *¿Cómo se obtiene el algodón para hacer telas y cómo se fabrican?*.
- [34] P. H. Hernández, *Lavadoras y Lavavajillas que consumen poca agua*, 2015.
- [35] N. Unidas, «UN Helps Fashion Industry Shift to Low Carbon,» 6 Septiembre 2018.
- [36] J. Salvador, «Andalucía, un paraíso para el algodón,» *La Vanguardia*, 2018.
- [37] T. Exchange, «Organic Cotton Market Report,» 2022.
- [38] L. CO2IntBio, «Asistencia técnica para la realización de ACV,» 2020.

- [39] «Natural Word,» [En línea]. Available: <https://www.naturalworldeco-shop.com/es/nosotros>.
- [40] «ECOALF,» [En línea]. Available: <https://ecoalf.com/pages/historia>.
- [41] «Blue Banana,» [En línea]. Available: <https://www.bluebananabrand.com/pages/sustainability#section-environment>.
- [42] D. x. B. Banana, «One step ahead through sustainability».
- [43] «Inditex,» [En línea]. Available: <https://www.inditex.com/itxcomweb/es/sostenibilidad>.
- [44] H. Kazan, D. Akgul y A. Kerc, «Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques,» Springer-Verlag, 2020.
- [45] «Agroinformación,» 2016. [En línea]. Available: <https://agroinformacion.com/la-cosecha-algodon-alcanza-los-2-400-kilos-hectarea-aumentan-los-precios/#:~:text=Cultivos%20Industriales-,La%20cosecha%20de%20algod%C3%B3n%20alcanza%20los%202.400,hect%C3%A1rea%20y%20aumentan%20los%20precios&text=A%20escasos%2>.
- [46] «GESRUTA. Software de transporte y logística,» 2022. [En línea]. Available: <https://programadetransporte.es/cuanto-consume-un-camion/#:~:text=El%20dato%20que%20corrobor%20esta,por%20cada%20100%20kil%C3%B3metros%20recorridos..>
- [47] «Michelin,» [En línea]. Available: <https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/calcular-emisiones-de-co2#:~:text=Un%20litro%20de%20di%C3%A9sel%20crea,la%20flota%20en%20un%20mes..>
- [48] T. Rojas, «Polietileno de baja densidad (LDPE): guía de propiedades, aplicaciones y beneficios,» *Tecnología del Plástico*, 2023.
- [49] S. Rana, S. Pichandi, S. Moorthy, A. Bhattacharyya, S. Parveen y R. Fanguerio, «Carbon Footprint of Textile and Clothing Products,» de *Handbook of Sustainable Apparel Production*, 2015.
- [50] Repsol. [En línea]. Available: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/cuanto-consume-secadora/#:~:text=La%20media%20es%20de%20unos,0%20C10%20en%20hora%20llana..>
- [51] Conforama, 2022. [En línea]. Available: <https://www.conforama.es/blog/cuanta-agua-gasta-una-lavadora-y-cuanto-nos-cuesta/#:~:text=Las%20lavadoras%20m%C3%A1s%20habituales%20son,agua%20por%20lavado%20como%20m%C3%A1ximo..>
- [52] Naturgy, *¿Cuánto consume una lavadora?*, 2023.
- [53] L. Iriarte, «Esta es la cantidad exacta de detergente que debes echar a la lavadora,» *Deia*, 26 Enero 2024.
- [54] G. Bueno, «Zabalgardi 2020: incineración sin valorización respalda cuantiosas primas y una exención sorprendente,» 2021.
- [55] L. S. García, Trabajo de Fin de Grado de Ingeniería Química. Evaluación del impacto de la implantación de un sistema de recogida selectiva de residuos textiles en la huella de carbono de la gestión de residuos municipales, 2020.

- [56] F. Atabal, «¿Qué es la densidad del cartón y como se mide?,» 28 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.cartonajes-malaga.com/es/que-es-densidad-carton/>.
- [57] Prezero, *Los residuos como fuente de combustible limpio*.
- [58] «Textilife Ecotextiles El Delfin,» [En línea]. Available: <https://eldelfin.es/sostenibilidad/#:~:text=Con%20el%20hilado%20de%20algod%C3%B3n%20convencional%20se%20producen%20casi,no%20hay%20emisiones%20de%20CO2..>
- [59] OCU, *Lavadoras: Algodón ECO vs Algodón a 40º*, 2018.

Fuentes y cálculos del inventario de ciclo de vida de los casos 1, 2 y 3

CASO 1

1. Cultivo y producción de la fibra

- **ENTRADAS:**

- **Algodón en bruto (kg):**

Se estima que para la producción de 1 camiseta de algodón de 0.25kg son necesarios **1,152 kg** de algodón en bruto [44].

- **Consumo de agua (l):**

En [28] se estiman que para confeccionar una camiseta de 250 gramos de algodón son necesarios 3900 l de agua. De ellos, se estiman 1100 l de agua azul, de los cuales el 79% formarían parte del cultivo, es decir, 869 l. A su vez, se consumirán 2000 l de agua verde, siendo un 76% destinado al cultivo, dando un total de 1520 l.

Así, el agua total necesaria será la suma de ambas: **2389 l**.

- **Productos químicos (kg):**

Durante el cultivo se necesitarán distintos productos químicos, los cuales son detallados en [44] para 1000 camisetas, por lo tanto, extrapolarlo linealmente se obtienen las cantidades necesarias para este caso:

Pesticidas: 0,0006 kg

Insecticidas: 0,00058 kg

Fungicidas: 0,00023 kg

Herbicidas: 0,00023 kg

Fertilizantes tipo N: 0,127 kg

Fertilizantes tipo P: 0,0346 kg

Dando un total de **0,1632 kg**.

- **Energía (kWh):**

De la misma manera que anteriormente, con los datos aportados en [44], se ha obtenido la energía necesaria extrapolarlo linealmente para el caso de 1 camiseta: **0,0667 kWh**.

- **Ocupación cultivo (m²):**

Para calcular este dato se necesita el rendimiento de los cultivos de algodón, que según [45], es de 1 hectárea por cada 2400 kg de fibra producida.

Además, [44] fija en 0,415 kg de fibra los resultantes de la explotación de 1,152 kg de algodón en bruto. Por lo tanto, conocido el dato que para 2400 kg de fibra son necesarias 1 ha (10⁴ m²), se calcula que para 0,415 kg serán requeridos **1,7292 m²**.

- **SALIDAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Como se ha indicado en el párrafo anterior, la fibra resultante será **0,415 kg**.

- **Agua contaminada (l):**

Además de agua de tipo azul y verde, [28] menciona el agua gris, que sería la necesaria para disolver los contaminantes filtrados. En este TFG se ha considerado contar esta agua como la contaminada. Para 1 camiseta se utilizan 800 l de agua gris, destinando el 35% al cultivo, es decir, **280 l**.

- **Residuos (kg):**

Se ha estimado que el residuo estará compuesto por la diferencia entre el algodón en bruto y la fibra obtenida: **0,737 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

De la fuente mencionada anteriormente que aportaba datos para 1000 camisetas [44], se obtienen **0,602 kg CO₂-eq** de emisiones para 1 camiseta.

2. Producción de hilo y tejido

• **ENTRADAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Se fijan en **0,415 kg** de fibra [44] los resultantes de la explotación de 1,152 kg de algodón en bruto

- **Consumo energético (kWh):**

En [44] estiman que para 1000 camisetas son necesarios 1259 kWh en la etapa de hilado y 784 kWh en la elaboración del tejido, por lo que para 1 camiseta serán 1,259 kWh y 0,784 kWh, respectivamente. Sumando ambas cantidades se tiene un total de **2,043 kWh**.

- **Consumo de agua (l):**

De la misma fuente, para 1000 camisetas se requieren 21,08 m³ en el hilado y 51,74 m³ en el tejido, que para 1 camiseta serán 0,021 m³ y 0,0517 m³, dando un total haciendo la conversión a l de: **72,82 l**.

- **Productos químicos (kg):**

A su vez, [44] aporta una larga lista de los productos químicos utilizados en esta etapa para 1000 camisetas, por lo que dividiendo entre 1000 se obtiene la cantidad requerida para 1 camiseta:

Tintes reactivos: 0,00913 kg

Tintes de indantreno: 0,00015 kg

Alginato: 0,013 kg

Amonio: 0,00005 kg

Bicarbonato de amonio: 0,00001 kg

Ácido acético: 0,00176 kg

Aglutinante: 0,0106 kg

Emulsionante: 0,00061 kg

Glicerina: 0,00051 kg

Agente descolado: 0,0001 kg

Peróxido de hidrógeno: 0,0012 kg

Hidrosulfito de sodio: 0,00195 kg

Tensioactivos: 0,00049 kg

Catalizador: 0,00006 kg

Antiespumante: 0,00011 kg
Ludigol: 0,00036 kg
Agente blanqueador: 0,0003 kg
Polietilenglicol: 0,00025 kg
Alcohol de polivinilo: 0,00031 kg
Hidroximetanosulfonato de sodio: 0,00074 kg
Jabón: 0,00031 kg
Carbonato de sodio: 0,00469 kg
Bicarbonato de sodio: 0,00327 kg
Silicato de sodio: 0,0012 kg
Hidróxido de sodio: 0,01629 kg
Ácido sulfúrico: 0,0006 kg
Ácido tartárico: 0,00003 kg
Tricloroetileno: 0,00005 kg
Cloruro de sodio: 0,06177 kg
Carbamida (urea): 0,00819 kg
Aceite: 0,00014 kg
Todos ellos suman un total de **0,138 kg**.

- **Carbón (kg):**

Para los kg de carbón necesarios, si para 7,25 kWh se requiere 1 kg, para 2,043 kWh de este caso se estiman **0,2818 kg**.

- **Diésel (l):**

De la misma manera que anteriormente, si para 1000 camisetas serían 0,19 m³ [44], para 1 camiseta serán **0,19 l**.

• **SALIDAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

Con la cantidad de fibra que se ha obtenido, se producen 0,346 kg de hilo y **0,292 kg** de tejido de algodón [44].

- **Agua contaminada (l):**

A su vez, si para 1000 camisetas se contaminan 2280 l de agua en la etapa de hilado, y 51740 l en la producción del tejido [44], para 1 camiseta serán 2,28 l y 51,74 l, respectivamente.

Si se suman ambas cantidades, se obtiene un total de **54,02 l**.

- **Residuos sólidos (kg):**

De la misma manera, se obtienen 0,00029 kg de residuos sólidos en el proceso de hilado y 0,00627 kg en el de la obtención del tejido [44].

Sumando estas cifras se producen **0,0066 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Para las emisiones de CO₂ se sumarán las asociadas al uso de carbón y de diésel. Por cada kilogramo de carbón se emiten 2,88165 kg CO₂-eq, en este caso para 0,2817 serán 0,812 kg CO₂-eq. A su vez, por

cada litro de diésel se generan 2,68779 kg CO₂-eq, por lo que para 0,00019 m³ serán 0,5106 kg CO₂-eq. Para el total, se suman ambas emisiones: **1,3227 kg CO₂-eq**.

- **Emisiones de partículas (kg):**

En esta etapa del proceso se generan muchas partículas que se quedan suspendidas en el aire. Para 1000 camisetas serían 7666 kg [44], por lo que para una unidad serán **7,666 kg**.

- **Emisiones de gases (kg):**

Además de las emisiones de CO₂, se emiten otros tipos de gases peligrosos a la atmósfera, que calculados para una camiseta son los siguientes [44]:

CO: 38,719 kg

SO₂: 10,617 kg

NO: 41,172 kg

NO₂: 66,488 kg

VOC: 11,696 kg

Sumando todas ellas: **168,692 kg**.

3. Fabricación de la prenda

• **ENTRADAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

De los 0,415 kg de fibra de algodón se obtienen **0,292 kg** de tejido de algodón [44].

- **Consumo energético (kWh):**

Para 1000 camisetas se requieren 774 kWh [44], extrapolando linealmente para 1 camiseta se obtienen **0,774 kWh**.

- **Consumo de agua (l):**

De la misma manera, si para 1000 camisetas se necesitan 1120 l de agua [44], para 1 camiseta serán **1,12 l**.

- **Productos químicos (kg):**

De esta misma fuente, [44], se pueden estimar los productos químicos necesarios para 1 camiseta extrapolando linealmente, resultando:

Aceite: 0,00004 kg

Siliconas: 0,00094 kg

Suavizante: 0,00469 kg

Antiarrugas: 0,0039 kg

Butano: 0,00006 kg

Etoxilato de alcohol: 0,00009 kg

Dando un total de **0,0097 kg**.

- **Diésel (l):**

La confección de la prenda se realiza en Valencia. Primero, se han obtenido los datos del gasto de un camión que transporta 25 toneladas, siendo este de 35 l cada 100 km [46].

Por otro lado, la distancia entre Sevilla y Valencia por carretera son 654 km. Con ello, el combustible necesario extrapolado para 1 camiseta será **0,0023 l**.

- **SALIDAS:**

- **Prenda terminada (kg/ítem):**

Una vez confeccionada la prenda, se habrá obtenido una camiseta de **0,25 kg/ítem** [44].

- **Agua contaminada (l):**

En este proceso, se habrán contaminado **1,08 l** de agua, calculados tras una extrapolación lineal con los datos de [44].

- **Residuos de tejido (kg):**

De la diferencia entre el tejido de entrada y la prenda de salida se obtienen los residuos: **0,042 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Para este cálculo, se utiliza la relación de 2,68 kg CO₂-eq por litro de diésel [47]. Así, para los 0,002289 l se emitirán **0,0061 kg CO₂-eq**.

4. Transporte y venta

- **ENTRADAS:**

- **Prenda terminada (kg/ítem):**

Calculado en la etapa anterior: **0,25 kg/ítem**.

- **Envases y embalaje (kg):**

En este primer caso se utiliza un sobre de plástico de polietileno. Las medidas serán 0,35 m de ancho por 0,45 m de alto, siendo el área total 0,1575 m². Multiplicando por un espesor de 0,005 m, resulta un volumen de 0,0007875 m³.

Siendo la densidad del polietileno 925 kg/m³ [48], y multiplicando por el volumen anterior, se obtiene la masa necesaria para el envase: **0,7284 kg**.

- **Diésel (l):**

En esta etapa se debe volver a Sevilla para vender la prenda, por lo tanto, se utilizará la misma cantidad de diésel que en el viaje de ida: **0,0023 l**.

- **SALIDAS:**

- **Prenda vendida (kg/ítem):**

La misma cantidad que la prenda terminada: **0,25 kg**.

- **Residuos embalaje (kg):**

Al no ser reciclados, serán la misma cantidad que el propio embalaje en sí, **0,7284 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Para este cálculo, [49] estima que la huella de carbono (para una camiseta de 0,222 kg) emitida en la distribución serán 0,87 kg CO₂-eq, en el catálogo 1,53 kg CO₂-eq y el embalaje 0,24 kg CO₂-eq.

Extrapolando linealmente para una camiseta de 0,25 kg serán respectivamente: 0,9797 kg CO₂-eq, 1,7229 kg CO₂-eq y 0,2702 kg CO₂-eq. Sumando las cantidades: **2,973 kg CO₂-eq**.

[50]

5. Uso de la prenda

• ENTRADAS:

- **Prenda vendida (kg/ítem):**

Calculada en el apartado anterior: **0,25 kg/ítem.**

- **Consumo de agua (l):**

En este primer supuesto se utiliza una lavadora de 5 kg, que en el caso más desfavorable gastará 52 l [51]. Extrapolando linealmente, para una camiseta de 0,25 kg supondrá un gasto de 2,6 l, y multiplicando para 55 lavados será un total de **143 l.**

- **Consumo energético (kWh):**

En cuanto a la energía necesaria, se utilizará un lavado de 90 minutos, que gracias a los datos aportados en [52] para 60 minutos (1,5kWh) se extrapola y se obtienen 2,25 kWh.

Suponiendo 55 lavados y una lavadora de 5 kg, para una camiseta de 0,25 kg serán necesarios 6,1875 kWh.

Por otro lado, se estima que una secadora de 7 kg tiene un gasto de 2,1 kWh por ciclo, por lo que para 55 secados y una camiseta de 0,25 kg serán 4,125 kWh.

Sumando ambas cantidades se obtiene un total de **10,3125 kWh.**

- **Detergente (l):**

La cantidad de detergente necesaria se ha estimado gracias a [53], que fija en dos cucharadas la dosis para un lavado de 5 kg. Si se supone que dos cucharadas son 0,03 l, extrapolando linealmente para 55 lavados y una camiseta de 0,25 kg se obtiene un total de **0,075 l.**

• SALIDAS:

- **Prenda usada (kg/ítem):**

La prenda usada seguirá siendo de **0,25 kg/ítem.**

- **Agua contaminada (l):**

Se ha supuesto que el agua contaminada en la fase de uso es la correspondiente al agua gris destinada a la partida "Otros" [28], siendo esta **32 l.**

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

De nuevo, haciendo uso de los datos aportados en [49], que calculan que 1 camiseta de 0,222 kg emite 3,3 kg CO₂-eq, se estima que para una de 0,25 kg CO₂-eq serán **3,7162 kg CO₂-eq.**

6. Fin de vida

• ENTRADAS:

- **Prenda usada (kg/ítem):**

Calculado en la etapa anterior: **0,25 kg/ítem.**

- **Consumo energético (kWh):**

Para el siguiente cálculo, se han utilizado los datos aportados en [54]. En este informe se estima que con 224,59 kt se pueden generar 630,52 GWh, con un rendimiento del 42,98%. Por ello, para calcular cual sería el consumo energético asociado a una camiseta de 0,25 kg, se ha calculado cual ha sido la energía empleada dividiendo la generada por el rendimiento, y extrapolando linealmente se obtendría la energía empleada: **0,9311 kWh.**

- **SALIDAS:**

- **Recurso fin de vida:**

- Incineración.**

- **Emisiones de gases (kg):**

En [55] se han calculado las emisiones de gases asociadas a 48253 ton de residuos, por lo que extrapolando linealmente para 0,25 kg:

CH₄: 0,000000052 kg

N₂O: 0,0000125 kg

Sumando estas cantidades se obtendría un total de **0,000012 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Finalmente, en cuanto a emisiones de CO₂, con la misma fuente usada en el cálculo anterior se estiman **0,0255 kg CO₂-eq**.

CASO 2

1. Cultivo y producción de la fibra

- **ENTRADAS:**

- **Algodón en bruto (kg):**

Calculado en el Caso 1: **1,152 kg**.

- **Consumo de agua (l):**

De los datos aportados en [6], se estima que el agua necesaria en los cultivos de algodón orgánico es un 8,5849% de la utilizada en el convencional, requiriendo **205,0934 l**.

- **Productos químicos (kg):**

Como se adelantó en la descripción del caso, en el cultivo de algodón orgánico no se utilizan químicos, por lo que este parámetro se vuelve **0**.

- **Consumo energético (kWh):**

De nuevo, se obtiene que la energía requerida será un 39% de la convencional [6]: **0,0258 kWh**.

- **Ocupación cultivo (m²):**

De la misma fuente, [6], se estima que la ocupación de cultivo para el algodón orgánico es superior a la anterior, viéndose multiplicada por 1,8: **3,1125 m²**.

- **SALIDAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,415 kg**.

- **Agua contaminada (l):**

Al no utilizar ningún tipo de químico, no se filtra agua contaminada al subsuelo: **0 l**.

- **Residuos (kg):**

Se generan los mismos que en el caso anterior: **0,737 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Finalmente, se calcula el porcentaje de emisiones del algodón orgánico en comparación con el convencional gracias a los datos aportados en [6], reduciéndose a un 54%: **0,3256 kg CO₂-eq.**

2. Producción de hilo y tejido

• **ENTRADAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,415 kg.**

- **Consumo energético (kWh):**

Calculado en el Caso 1: **2,043 kWh.**

- **Consumo de agua (l):**

Calculado en el Caso 1: **72,82 l.**

- **Productos químicos (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,138 kg.**

- **Gas natural (m³):**

En este caso se sustituye el carbón por una energía más limpia, el gas natural. En [44] se requieren 1301 m³ para 1000 camisetas, por lo tanto, para 1 camiseta serán **1,301 m³.**

- **Diésel (l):**

Calculado en el Caso 1: **0,19 l.**

• **SALIDAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,292 kg.**

- **Agua contaminada (l):**

Calculado en el Caso 1: **54,02 l.**

- **Residuos sólidos (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,0066 kg.**

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

En este caso, para 1000 camisetas se emiten 421 kg CO₂-eq [44], por lo que para 1 camiseta **0,421 kg CO₂-eq.**

- **Emisiones de partículas (kg):**

Calculado en el Caso 1: **7,666 kg.**

- **Emisiones de gases (kg):**

Calculado en el Caso 1: **168,692 kg.**

3. Fabricación de la prenda

• **ENTRADAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,292 kg.**

- **Consumo energético (kWh):**

Calculado en el Caso 1: **0,774 kWh.**

- **Consumo de agua (l):**

Calculado en el Caso 1: **1,12 l.**

- **Productos químicos (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,0097 kg.**

- **Diésel (l):**

En este caso, al eliminarse el transporte de una ciudad a otra, se suprime el uso de diésel: **0 l.**

• **SALIDAS:**

- **Prenda terminada (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**

- **Agua contaminada (l):**

Calculado en el Caso 1: **1,08 l.**

- **Residuos de tejido (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,042 kg.**

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Al anular el transporte, y por consiguiente el uso de diésel, se elimina las emisiones de CO₂ al ambiente: **0 kg CO₂-eq.**

4. Transporte y venta

• **ENTRADAS:**

- **Prenda terminada (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**

- **Envases y embalaje (kg):**

En este segundo supuesto se sustituye el embalaje de plástico por uno de cartón. Las medidas serán las mismas, con 0,1575 m², despreciando el espesor.

Gracias a los datos aportados en [56], 5 m² de cartón supondrían una masa de 10 kg, por lo tanto, para 0,1575 m² serán **0,315 kg.**

- **Diésel (l):**

Al haber supuesto en este caso que la fábrica está en Sevilla, este parámetro será **0 l.**

• **SALIDAS:**

- **Prenda vendida (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**

- **Residuos embalaje (kg):**

Misma cantidad que la utilizada en la variable de entrada: **0,315 kg.**

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Utilizando la misma fuente que en el Caso 1, [49], pero eliminando en este caso las emisiones referidas al embalaje, queda un total de **2,7027 kg CO₂-eq**.

5. Uso de la prenda

• **ENTRADAS:**

- **Prenda vendida (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem**.

- **Consumo de agua (l):**

En este supuesto se sustituye la lavadora de 5 kg por una de 7 kg, y el lavado pasa a ser de 90 minutos a 60 minutos.

Una lavadora de 7 kg consume 62 l [51], por lo que para 55 lavados y una camiseta de 0,25 kg serán **121,7857 l**.

- **Consumo energético (kWh):**

De la misma manera, y haciendo uso de los datos aportados en [52], para 55 ciclos y una camiseta de 0,25 kg el gasto energético será de 2,9464 kWh.

El gasto de la secadora fue calculado en el Caso 1: 4,125 kWh.

Por lo tanto, el consumo energético de ambos electrodomésticos será: **7,0714 kWh**.

- **Detergente (l):**

Calculado en el Caso 1: **0,075 l**.

• **SALIDAS:**

- **Prenda usada (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem**.

- **Agua contaminada (l):**

Calculado en el Caso 1: **32 l**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Para este último dato, se ha hecho una media de porcentajes entre la reducción del consumo de agua (85%), contaminación de agua (100%) y consumo energético (69%), con una disminución al 85%: **3,1431 kg CO₂-eq**.

6. Fin de vida

• **ENTRADAS:**

- **Prenda usada (kg/ítem):**

Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem**.

- **Consumo energético (kWh):**

Con los datos aportados en [57], que estiman que son necesarios 40 kWh para tratar 1 tonelada de residuos urbanos, se ha extrapolado linealmente para 0,25 kg obteniendo **0,01 kWh**.

- **SALIDAS:**

- **Recurso fin de vida:**

Vertedero

- **Emisiones de gases (kg):**

Finalmente, gracias a los datos aportados en [55], se estiman en **0,02 kg** de emisiones de CH₄ para una camiseta de 0,25 kg.

CASO 3

1. Cultivo y producción de la fibra

- **ENTRADAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

En este caso, no se utilizará algodón en bruto como en los casos anteriores, ya que se reciclará una prenda ya existente.

Por ello se estima que, para llegar a los 0,415 kg de fibra buscados, se necesitará un 20% más de tejido de algodón: **0,498 kg**.

- **Consumo de agua (l):**

Gracias a los datos aportados en [58], con el uso de algodón reciclado se consigue reducir en un 70% el consumo de agua en esta etapa: **716,7 l**.

- **Productos químicos (kg):**

Además, también se produciría un ahorro del 70 % en el uso de químicos: **0,0480 kg**.

- **Consumo energético (kWh):**

De la misma fuente, se estima un 50% de ahorro energético: **0,0334 kWh**.

- **Ocupación cultivo (m²):**

Al no ser necesaria esta etapa, el dato se vuelve **0 m²**.

- **SALIDAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Como se adelantó anteriormente, serán **0,415 kg**.

- **Agua contaminada (l):**

En este caso, con la reducción en el consumo de agua del 70% mencionada en [58], se va a suponer que se reduce en la misma cantidad el agua contaminada: **84 l**.

- **Residuos (kg):**

Se estiman que serán los resultantes de la diferencia entre el tejido entrante y la fibra de salida: **0,083 kg**.

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Se producirá una disminución del 50% [58] en las emisiones de CO₂: **0,301 kg CO₂-eq**.

2. Producción de hilo y tejido

- **ENTRADAS:**

- **Fibra de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,415 kg.**

- **Consumo energético (kWh):**

Calculado en el Caso 1: **2,043 kWh.**

- **Consumo de agua (l):**

Calculado en el Caso 1: **72,82 l.**

- **Productos químicos (kg):**

Se utilizan productos naturales que no dañan el medio ambiente: **0 kg.**

- **Gas natural (m³):**

Al ser una planta que funcionará con un 50% de energía renovable y otro 50% de gas natural, la cantidad necesaria será la mitad que en el caso anterior: **0,6505 m³.**

- **Diésel (l):**

Al igual que antes, se supone la mitad de cantidad: **0,1 l.**

- **SALIDAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,292 kg.**

- **Agua contaminada (l):**

Al no utilizar productos tóxicos y perjudiciales para el medio ambiente, no existirá contaminación de agua: **0 l.**

- **Residuos sólidos (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,0066 kg**

- **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**

Se suman la mitad de las producidas por el gas natural 0,2105 kg CO₂-eq, y la mitad de las del diésel 0,25534 kg CO₂-eq, dando un total de **0,46584 kg CO₂-eq.**

- **Emisiones de partículas (kg):**

Calculado en el Caso 1: **7,666 kg.**

- **Emisiones de gases (kg):**

Se supone una disminución también del 50%: **84,346 kg.**

3. Fabricación de la pendas

- **ENTRADAS:**

- **Tejido de algodón (kg):**

Calculado en el Caso 1: **0,292 kg.**

- **Consumo energético (kWh):**

Calculado en el Caso 1: **0,774 kWh.**

- **Consumo de agua (l):**
Calculado en el Caso 1: **1,12 l.**
- **Productos químicos (kg):**
Si se reduce un 13,9% [6] el uso de productos perjudiciales, se obtiene una cantidad de **0,0084 kg.**
- **Diésel (l):**
Calculado en el Caso 2: **0 l.**
- **SALIDAS:**
 - **Prenda terminada (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1; **0,25 kg/ítem.**
 - **Agua contaminada (l):**
Se supone la misma reducción que en el uso de químicos, 13,9%: **0,15 l.**
 - **Residuos de tejido (kg):**
Calculado en el Caso 1: **0,042 kg.**
 - **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**
Calculado en el Caso 2: **0 kg CO₂-eq.**

4. Transporte y venta

- **ENTRADAS:**
 - **Prenda terminada (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**
 - **Envases y embalaje (kg):**
Se supone la misma cantidad calculada en el Caso 2, pero siendo cartón reciclado: **0,315 kg.**
 - **Diésel (l):**
Calculado en el Caso 2: **0 l.**
- **SALIDAS:**
 - **Prenda vendida (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**
 - **Residuos embalaje (kg):**
Se supone que se reciclará el embalaje completo, por lo que no existirán residuos: **0 kg.**
 - **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**
Al introducir coches eléctricos, se eliminan también las emisiones asociadas a la distribución, contabilizando solo las relacionadas al catálogo [49]: **1,723 kg CO₂-eq.**

5. Uso de la prenda

- **ENTRADAS:**

- **Prenda vendida (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**
- **Consumo de agua (l):**
Al utilizar un programa “ECO”, se consigue reducir el consumo de agua de una lavadora de 7 kg a 50 l [59]. Por lo tanto, para 55 ciclos y una camiseta de 0,25 kg será de **98,2143 l.**
- **Consumo energético (kWh):**
En este caso, al hacer uso del programa “ECO” disminuye el consumo energético un 33%, siendo en este caso de **1,9741 kWh** el total, ya que se elimina el uso de secadora.
- **Detergente (l):**
Se utilizará la misma cantidad, **0,075 l**, pero más respetuoso con el medio ambiente.
- **SALIDAS:**
 - **Prenda usada (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**
 - **Agua contaminada (l):**
Se supone la misma reducción que en el consumo de agua [59], es decir, un 36% menos: **20,48 l.**
 - **Emisiones CO₂ (kg CO₂-eq):**
Se supone la misma reducción del consumo energético, un 67% del total: **2,1059 kg CO₂-eq.**

6. Fin de vida

- **ENTRADAS:**
 - **Prenda usada (kg/ítem):**
Calculado en el Caso 1: **0,25 kg/ítem.**
 - **Consumo energético (kWh):**
En este último supuesto se reciclará la camiseta, por lo que serán **0 kWh.**
- **SALIDAS:**
 - **Recurso fin de vida:**
Reciclaje
 - **Emisiones de gases (kg):**
De la misma manera, no se emitirá ningún gas nocivo a la atmósfera: **0 kg.**