

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de la Energía

Estudio y Optimización de la gestión de Residuos Textiles

Autor: Rosario Ros Cáceres

Tutor: Alicia Ronda Gálvez

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

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de la Energía

Estudio y Optimización de la gestión de Residuos Textiles

Autor:

Rosario Ros Cáceres

Tutora:

Alicia Ronda Gálvez

Profesora Titular

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

Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado: Estudio y Optimización de la gestión de Residuos Textiles

Autor: Rosario Ros Cáceres

Tutor: Alicia Ronda Gálvez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

+ ¡Siempre supe que ibas a llegar!

- Gracias a eso llegué.

Agradecimientos

Siempre me imaginé escribiendo algo súper emotivo y que quedara para los restos en los agradecimientos de mi TFG y ahora que me enfrento a este folio en blanco lo único que me apetece es borrarlo y darle ya a enviar. Supongo que esto no es nada poético, pero representa a la perfección lo que ha sido para mí estudiar esta carrera.

Una carrera de fondo donde llegar a la meta el primero está sobrevalorado, no solo porque no consigues ningún premio diferente al resto, sino porque seguramente te cueste algún que otro problema de salud mental. Una carrera donde muchas veces dudas de ti mismo, de si eres capaz o si lo conseguirás; donde, erróneamente, dejas que los números te definan y piensas en abandonar más de una (y dos) veces. Una carrera a la que, si llego a saber todo lo que traería consigo, a lo mejor no me habría matriculado pero que hoy por hoy estando a punto de terminarla no puedo sentirme más feliz y orgullosa de poder decir que lo conseguí.

En primer lugar, me gustaría agradecer a Alicia la oportunidad de trabajar con ella. Gracias por tu tiempo, tu flexibilidad y predisposición para ayudarme o resolverme cualquier duda en todo momento.

Gracias a todos y cada uno de los que se han cruzado en mi camino a lo largo de estos años, que no han sido pocos (ni las personas, ni los años); esto en parte es de todos, de todo el que en algún momento que necesité una palabra de aliento, consuelo o simplemente una sonrisa me la supo dar. A mis profesores y compañeros, en especial a Ángela, Carmen y Marta, con las que empecé y terminé este camino. Sin vosotras estoy segura de que hoy no estaría aquí.

A mis amigas, por estar siempre ahí, tanto para celebrar mis aprobados como la vida y por consolarme y reírnos juntas de mis suspensos y desgracias. Porque, como siempre os digo, la vida con vosotras se ve mucho mejor.

A mi familia, por su apoyo incondicional. Y a mi madre por haber vivido, o mejor dicho sobrevivido, mi día a día porque hay que reconocer que muchas veces no es fácil convivir con una estudiante de ingeniería en época de exámenes. Gracias por ser padre y madre, como tú siempre dices; por habérmelo dado todo.

Y por último, mencionar a mi padre, que no ha podido vivir esto conmigo pero estoy segura de que estaría muy orgulloso de saber que he llegado aquí. Va por ti.

Rosario Ros Cáceres

Grado en Ingeniería de la Energía

Sevilla, 2024

Agradecimientos	5
Índice de figuras	7
Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10-15
1.1 Antecedentes a nivel mundial	
1.2 Antecedentes a nivel nacional	
1.3 Contexto normativo actual y futuro	
1.3.1 Ámbito europeo	
1.3.2 Ámbito estatal	
2. Residuos textiles	16-22
2.1 Según su origen	
2.1.1 Pre-consumo	
2.1.2 Post-consumo	
2.2 Según su reciclabilidad	
2.2.1 Textiles no reciclables	
2.2.2 Textiles reciclables	
2.3 Cadena de valor textil	
2.4 Recogida de residuos textiles	
3. Gestión de residuos textiles	23-28
3.1 Operaciones de clasificación y separación	
3.1.1 Métodos para mejorar la clasificación y separación	
3.2 Reciclaje textil	
3.2.1 Reciclaje químico textil	
3.2.2 Reciclaje mecánico textil	
3.2.3 Nuevas tecnologías emergentes	
3.3 Moda sostenible	
4. Propuesta plan de gestión	29-31
5. Análisis y conclusiones	32-33
Referencias	34-36
Glosario	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Crecimiento de la población mundial y la producción textil por tipo de fibra	10
Figura 2.- Crecimiento de las ventas de indumentaria y disminución de su uso desde el año 2000	11
Figura 3.- Evolución de los objetivos normativos	13
Figura 4.- Tipos de residuos textiles	17
Figura 5.- Consumo porcentual de diferentes categorías de prendas de vestir y productos y textiles para el hogar en la UE-27 en 2007	18
Figura 6.- Relación entre tipo de tejido y años de uso para que sea sostenible	19
Figura 7.- Cadena de valor del textil	19
Figura 8.- Impacto ambiental según el tipo de textil	20
Figura 9.- Generación estimada y recogida selectiva de residuos textiles por CCAA	21
Figura 10.- Ranking de CCAA por su ratio de recogida selectiva de residuos textiles/generación	21
Figura 11.- Unidades de puntos de recogida por tipología de sistema	21
Figura 12.- Distribución de la recogida de residuos textiles realizados por diferentes operadores	22
Figura 13.- Jerarquía de gestión de residuos	23
Figura 14.- Contenedores tipo jaula	24
Figura 15.- Etiqueta RFID	25
Figura 16.- Producción global de poliéster (Mt)	29
Figura 17.- Mapa de contenedores de ropa, calzado y textil usado en Sevilla	29
Figura 18.- Representación esquemática del proceso de depolimerización catalítica	31
Figura 19.- Reciclado químico de residuos textiles de poliéster	31

En este trabajo se ha estudiado el reciclaje de los residuos textiles, prestando especial atención tanto a los procesos químicos como mecánicos que se están desarrollando e implantando en estos últimos años, con el fin de hacer una propuesta de gestión de los mismos.

La industria de la moda es conocida por los numerosos recursos que utiliza y por las enormes cantidades de residuos que produce en sus prácticas. Se prevé que el consumo mundial de prendas de vestir alcance los 102 millones de toneladas para 2030, acabando gran parte de ellas como residuos a los pocos años de uso. Solamente en España, casi 1 millón de toneladas de residuos textiles acaba en los vertederos cada año. Por ello, esta industria y las empresas de gestión de residuos se enfrentan a una gran presión para adoptar enfoques que sean más sostenibles, tanto en los procesos de producción como en la gestión de sus residuos.

Para hacer frente a esta grave urgencia, en este trabajo se propone examinar en profundidad las estrategias empleadas hoy en día y las nuevas propuestas que se están planteando de cara a los próximos años. De acuerdo a la reciente Ley de Residuos y Suelos Contaminados, en línea con la Directiva Europea, **a partir de 2025 todos los municipios en España deberán recoger selectivamente residuos textiles**. En esta ley se prohíbe la destrucción de excedentes textiles y se prioriza la reutilización, siendo el objetivo principal preparar el 55% de los residuos textiles para la reutilización o el reciclaje en 2025, aumentando al 60% en 2030 y al 65% en 2035 (Parlamento Europeo, 2020). Una vez analizado el panorama actual, se ha propuesto un sistema de gestión para obtener fibras textiles recicladas a partir de las fibras de poliéster separadas de los residuos textiles.

Palabras clave: residuos textiles, industria textil, reciclaje, valorización, gestión residuos

Abstract

This paper studies the recycling of textile waste, paying special attention to both the chemical and mechanical processes that have been developed and implemented in recent years, in order to make a proposal for their management.

The fashion industry is known for the numerous resources it uses and for the huge quantities of waste produced in its practices. Global consumption of clothing is expected to reach 102 million tonnes by 2030, most of which will end up as waste within a few years of use. In Spain, almost 1 million tonnes of textile waste ends up in landfills every year. As a result, the industry and waste management companies are under great pressure to adopt more sustainable approaches to both production processes and waste management.

In order to face this serious urgency, this paper proposes to examine in depth the strategies employed today and the new proposals that are being considered for the coming years. According to the recent Law on Waste and Contaminated Land, in line with the European Directive, from 2025 all municipalities in Spain will have to selectively collect textile waste. This law forbids the destruction of surplus textiles and prioritises reuse, the main objective being to prepare 55% of textile waste for reuse or recycling by 2025, increasing to 60% by 2030 and 65% by 2035 (European Parliament, 2020). Having analysed the current scenario, a management system has been proposed to obtain recycled textile fibres from polyester fibres separated from textile waste.

Key words: textile waste, textile industry, recycling, valorization, waste management

1 INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental asociado al sector textil se ha convertido en uno de los temas más preocupantes de la actualidad. En 2020, la industria mundial de textiles consumió aproximadamente 79 mil millones de m³ de agua, generó 1.700 millones de toneladas de emisiones de CO₂ (aproximadamente el 4,6% de emisiones globales de carbono totales) y fue responsable de 92 millones de toneladas de residuos, lo que representa entre el 2% y el 10% del impacto medioambiental de la UE (Aitex, 2022).

La industria textil es un gigante que contamina y consume muchas materias primas, energía, agua y suelo. La popular *fast fashion*; moda rápida, barata y de baja calidad, hace crecer sin cesar el impacto ambiental de esta industria, al generar grandes cantidades de residuos textiles que se incineran o van al vertedero, ya que con las tecnologías actuales de reciclaje disponibles en Europa, menos de la mitad de la ropa usada se recolecta para su reutilización o reciclaje cuando ya no se necesita.

1.1 Antecedentes a nivel mundial

Como se muestra en la *Figura 1* en los últimos 50 años la producción mundial de fibras textiles se ha multiplicado por 4 mientras que la población lo ha hecho aproximadamente por 2. De la producción mundial de fibras textiles, la de poliéster -fibra química de polímero sintético- representa el 52% del consumo (54 millones de toneladas)

, seguido del algodón -fibra natural de origen vegetal- con el 25% (26 millones de toneladas). El poliéster ha incrementado progresivamente su producción debido a sus propiedades técnicas y precio económico, y la previsión es que aumente todavía más por el mayor consumo de las economías emergentes (Kirsi Niinimäki, 2020).

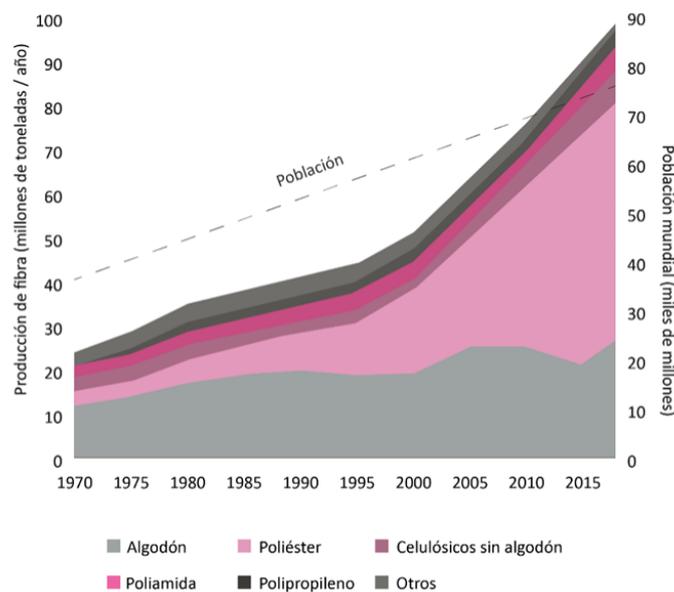


Figura 1.- Crecimiento de la población mundial y la producción textil por tipo de fibra (Kirsi Niinimäki, 2020)

Como se muestra en la *Figura 2*, un conocido gráfico generado por la Fundación Ellen MacArthur, es exponencial el crecimiento que ha experimentado la industria de la moda desde inicios del siglo XXI. Actualmente está valorada en más de 2,5 billones de dólares y emplea a más de 75 millones de personas en todo el mundo (sin incluir las personas que trabajan en el cultivo del algodón). En los últimos 15 años, por ejemplo, las ventas mundiales de prendas de vestir se han duplicado, sin embargo, el día que nos desprendemos de esta ropa ha sido utilizada un 36% menos veces que al inicio de este periodo (MacArthur, 2017).

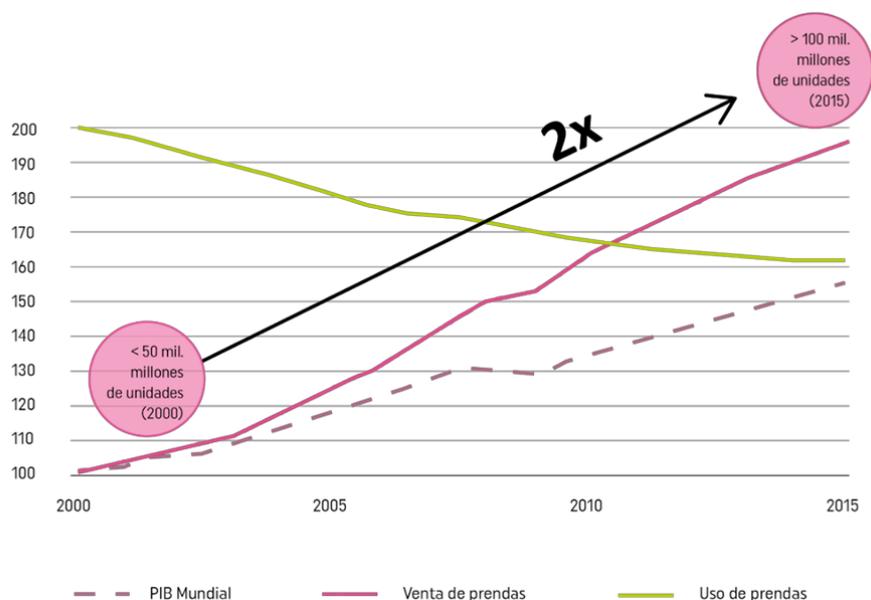


Figura 2.- Crecimiento de las ventas de indumentaria y disminución de su uso desde el año 2000 (MacArthur, 2017)

Se estima que el aumento general en la demanda de producción de ropa es del 2% anual desde el año 2000, cuando comenzó el fenómeno de la *fast fashion* y se prevé, por tanto, que el consumo mundial de prendas de vestir alcance los 102 millones de toneladas para 2030 (Quantis, 2018).

Los plazos de producción más cortos también han permitido a los fabricantes de ropa introducir nuevas líneas con mayor frecuencia; Zara ofrece 24 nuevas colecciones de ropa cada año, H&M ofrece de 12 a 16 y los actualiza semanalmente. Entre todas las empresas de ropa europeas, el número promedio de colecciones de ropa se ha más que duplicado, de dos al año en 2000 a aproximadamente cinco al año en 2011.

El aumento del consumo y la eficiencia en el sistema de producción de las prendas de vestir, a su vez, también ha contribuido a la bajada del precio de las prendas y, a pesar de que actualmente tenemos más ropa en nuestros armarios, el gasto promedio por persona en ropa y calzado ha disminuido (Nathalie Remy, 2016). Se estima que aproximadamente el 5% del presupuesto de los hogares en la UE se destina a ropa y calzado, de los cuales aproximadamente el 80% se destina a ropa y el 20% a calzado. En 2015 los ciudadanos de la UE compraron 6,4 millones de toneladas de ropa nueva (12,66 kg por persona). Según estimaciones de la Agencia Europea de Medio Ambiente entre 1996 y 2012, la cantidad de ropa comprada por persona en la UE aumentó en un 40% y, al mismo tiempo, más del 30% de la ropa del armario de los europeos no ha sido utilizada durante al menos un año (Nikolina, 2019).

1.2 Antecedentes a nivel nacional

En el contexto nacional, la gestión de los residuos textiles presenta graves deficiencias. En España, cerca de 990.000 toneladas de textiles van a parar a los vertederos cada año y sólo se recoge el 12,1% de los residuos generados, según el último análisis de Modare. Hasta hace relativamente poco, esos residuos recogidos se exportaban a países del norte de África o de Centroamérica, donde se les daba un segundo uso (Juárez, 2022).

Puesto que la recogida selectiva de textiles será obligatoria a partir de 2025, debido a la nueva Ley de Residuos y Suelos Contaminados (Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo, sobre residuos), las empresas están ya trabajando en proyectos que permitan su adaptación cuanto antes. La principal dificultad a la que se enfrentan se debe a que los residuos textiles no se separan del resto de fracciones de residuos. Esta clasificación constituye un procedimiento muy complejo y costoso ya que cualquier prenda de vestir, por su naturaleza, suele combinar varias fibras en su composición o integrar etiquetas e hilos fabricados con otro material como cremalleras, botones, remaches, hilos y tintes.

También parece inminente la prohibición de la destrucción de los excedentes de producción de prendas de vestir y el desarrollo de las bases para la implantación de un régimen de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) para los textiles, siguiendo el ejemplo de Francia y de acuerdo a lo que contempla el texto borrador del anteproyecto de Ley de residuos y suelos contaminados (2020) que transpondrá la Directiva 2018/851 a la legislación española.

Es por ello que en los últimos años, con el objetivo de dar respuesta a esta problemática, han surgido varias tecnologías basadas en métodos químicos, ya que los métodos tradicionales, como el primario (reuso-reutilización), el secundario (mecánico-térmico) y el cuaternario (recuperación de energía), no han dado resultados satisfactorios. El siguiente trabajo se encargará de profundizar en el estudio y la optimización de los diferentes procesos de gestión de los residuos textiles que están emergiendo como solución a este gran desafío.

1.3 Contexto normativo actual y futuro

En este apartado se describe la normativa de aplicación referente a residuos textiles, así como los objetivos marcados en cada caso.

1.3.1 Ámbito europeo

- **Directiva Europea 2008/98/CE, modificada por la Directiva Europea 2018/851 sobre residuos**

En el ámbito de los textiles, señala varios aspectos a trasponer normativamente por cada uno de los Estados miembros:

- El textil es uno de los materiales por el cual *“deben conferirse competencias de ejecución a la Comisión a fin de establecer criterios detallados para aplicar el fin de la condición de residuo”*. Es decir, queda un camino a realizar para poder establecer los criterios mediante los cuales se fijará el fin de la condición de residuo para determinados textiles. En este sentido, se entiende también que se contemplarán los criterios de toxicidad de la composición de estos, para poder determinar las posibles transformaciones a realizar para lograr el fin de la condición de residuo.

- En el artículo 3, de definiciones, la nueva Directiva de residuos incluye la definición de “Residuos Municipales” en los que se incluye el textil:

“residuos municipales”: los residuos mezclados y los residuos recogidos de forma separada de origen doméstico, incluidos papel y cartón, vidrio, metales, plásticos, biorresiduos, madera, textiles, envases, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, residuos de pilas y acumuladores, y residuos voluminosos, incluidos los colchones y los muebles.”

- Por otra parte, en el artículo 9, relativo a la prevención de residuos también se menciona expresamente el flujo de residuos textiles:

«Los Estados miembros adoptarán medidas para prevenir la generación de residuos. Como mínimo, estas medidas: (...) fomentarán la reutilización de los productos y la implantación de sistemas que promuevan actividades de reparación y reutilización, en particular respecto a los aparatos eléctricos y electrónicos, textiles y muebles, así como envases y materiales y productos de construcción.»

- Finalmente, los textiles vuelven a aparecer en la modificación del artículo 11 sobre preparación para la reutilización y el reciclado:

«1. Los Estados miembros adoptarán medidas para promover las actividades de preparación para la reutilización, en particular fomentando el establecimiento de redes de preparación para la reutilización y de reparación y el apoyo a tales redes, facilitando, cuando ello sea compatible con la correcta gestión de los residuos, su acceso a residuos mantenidos en sistemas o instalaciones de recogida que puedan ser preparados para la reutilización pero que no estén destinados a ser preparados para la reutilización por esos sistemas o instalaciones, así como promoviendo la utilización de instrumentos económicos, criterios de adjudicación, objetivos cuantitativos u otras medidas.»

Siempre que se cumpla lo dispuesto en el artículo 10, apartados 2 y 3, los Estados miembros adoptarán medidas para promover el reciclado de alta calidad y, a tal efecto, establecerán la recogida separada de residuos.

Siempre que se cumpla lo dispuesto en el artículo 10, apartados 2 y 3, los Estados miembros establecerán una recogida separada, al menos, para el papel, los metales, el plástico y el vidrio, y, a más tardar el 1 de enero de 2025, para los textiles.»

Es decir, a los textiles, en la Directiva Marco de Residuos de 2008, solo se los mencionaba respecto al fin de la condición de residuo, mientras que, en la mencionada Directiva que la modifica (DIRECTIVA (UE) 2018/851), los textiles pasan a ser considerados residuos municipales y se les otorga especial atención tanto en la prevención como en la preparación para la reutilización.

En el punto 29 de la exposición de motivos de la Directiva, se urge a los Estados miembros a **facilitar la prolongación de la vida útil de los productos de consumo y a promover las redes de reutilización y reparación dirigidas por las entidades de la Economía Social.**

En la siguiente figura (Figura 3), se muestra como se le ha ido dando más importancia con el paso de los años a los residuos textiles y cuál se pretende que sea la evolución de los objetivos normativos en cuanto a su gestión.

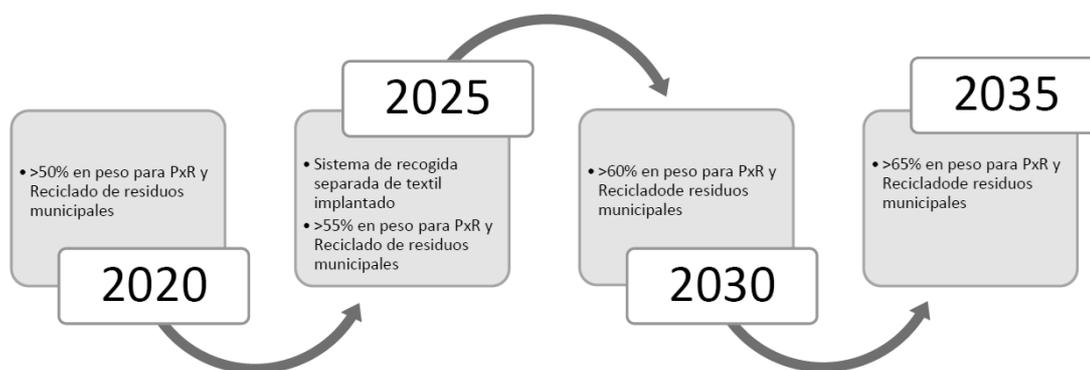


Figura 3.- Evolución de los objetivos normativos (Moda re-, 2021)

• Plan de acción para la economía circular de la comisión europea

La Comisión Europea planteó en marzo de 2020 un nuevo Plan de Acción de Economía Circular, que es uno de los principales elementos del Pacto Verde Europeo, el nuevo programa de Europa en favor del crecimiento sostenible (Comisión Europea, 2020).

El Plan pretende adaptar nuestra economía a un futuro ecológico y reforzar nuestra competitividad, protegiendo al mismo tiempo el medio ambiente y confiriendo nuevos derechos a los consumidores. Sus principales objetivos son:

- Hacer que los productos comercializados en la UE duren más, sean más fáciles de reutilizar, reparar y reciclar.
- Informar de forma fidedigna sobre la reparabilidad y la durabilidad de los productos, para que el consumidor pueda tomar decisiones más sostenibles desde el punto de vista ambiental.
- Garantizar que se produzcan menos residuos.
- Centrarse en los sectores que utilizan más recursos y que tienen un elevado potencial de circularidad, en concreto el Plan fija el foco en aquellos sectores con mayor repercusión ambiental como el textil, junto con materiales de alto impacto de uso.
- Aumento del PIB de la UE hasta en un 0,5% adicional de aquí a 2030 y creación de unos 700.000 nuevos puestos de trabajo.

En cuanto al ámbito del textil, se propondrá una estrategia integral que tendrá por objetivos: reforzar la competitividad industrial y la innovación del sector, impulsar el mercado de productos textiles sostenibles y circulares de la UE, incluido el de reutilización de los productos textiles, abordar el fenómeno de la moda rápida y promover nuevos modelos de negocio.

Otras cuestiones relevantes del Plan de Acción de Economía Circular en lo tocante al textil y a la Economía Social son:

- Revisión de las normas de la UE sobre los traslados de residuos para facilitar la preparación de los materiales a efectos de reutilización y reciclado de los residuos en la propia UE. Con el objetivo de restringir las exportaciones de residuos que tengan efectos nocivos para el medio ambiente y la salud en terceros países o que puedan someterse a tratamiento interno dentro de la UE. Aunque la referencia es general, especialmente para residuos tóxicos y contaminantes, también tendrá influencia sobre los textiles.
- El potencial de la economía social, pionera en la creación de empleo vinculado a la economía circular, se verá fortalecido por los beneficios mutuos que aportarán el apoyo a la transición ecológica y el refuerzo de la inclusión social, en particular a través del Plan de acción para la aplicación del Pilar Europeo de Derechos Sociales.
- La Comisión velará porque sus instrumentos de apoyo a la adquisición de capacidades y la creación de empleo contribuyan también a acelerar la transición hacia una economía circular, concretamente en el contexto de la actualización de su Agenda de Capacidades, la adopción de un pacto por las capacidades que incluirá asociaciones a gran escala con múltiples partes interesadas, y el Plan de acción para la economía social. Se promoverán las inversiones en sistemas de educación y formación, aprendizaje permanente e innovación social al amparo del Fondo Social Europeo Plus.

1.3.2 Ámbito estatal

- **Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados y anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados (2020)**

La Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados incorpora los correspondientes objetivos fijados en el artículo 11 de la Directiva 2008/98/CE. Esta Directiva ha sido revisada por la Directiva (UE) 2018/851 en lo que respecta a los objetivos de preparación para la reutilización y reciclado de residuos municipales, así como en la incorporación de la obligatoriedad de la recogida separada de residuos textiles y, por lo tanto, su transposición a nivel español está en proceso de tramitación a través del Borrador de anteproyecto de ley de residuos y suelos contaminados (publicado el 2 de junio de 2020).

El anteproyecto de ley incluye los residuos textiles dentro de los residuos municipales y dispone como aspectos clave en este ámbito:

- Medidas de prevención incluyendo la fracción textil:

*«Artículo 17. Objetivos de la prevención de residuos: A partir de 2021, **queda prohibida la destrucción de excedentes no vendidos de productos no perecederos tales como textiles, juguetes, aparatos eléctricos, entre otros, salvo que dichos productos deban destruirse conforme a otra normativa.**»*

*«Artículo 18. Medidas de prevención: **Fomentar la reutilización de los productos y la implantación de sistemas que promuevan actividades de reparación y reutilización** y en particular para los aparatos eléctricos y electrónicos, textiles y muebles, envases y materiales y productos de construcción.»*

- **Implantación obligatoria de la recogida separada del textil antes del 31 de diciembre de 2024:**

*«Artículo 25. Recogida separada de residuos para su valorización: **Se prohíbe la incineración, con y sin valorización energética, y el depósito en vertedero de los residuos recogidos de forma separada para su preparación para la reutilización y para su reciclado, de conformidad con el artículo 24, a excepción de los residuos generados en las operaciones de preparación para la reutilización y de reciclado de estos residuos recogidos de forma separada, que podrán destinarse a incineración o depósito en vertedero, si estos destinos ofrecen el mejor resultado medioambiental, de conformidad con el artículo 8.**»*

- Definición de objetivos de preparación para la reutilización, reciclaje y valorización que incluyen la fracción textil:

«Artículo 26. Objetivos de preparación para la reutilización, reciclado y valorización.

a) Para 2020, la cantidad de residuos domésticos y comerciales destinados a la preparación para la reutilización y el reciclado para las fracciones de papel, metales, vidrio, plástico, biorresiduos u otras fracciones reciclables deberá alcanzar, en conjunto, como mínimo el 50% en peso; al menos un 2% corresponderá a la preparación para la reutilización, fundamentalmente de residuos textiles, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, muebles y otros residuos susceptibles de ser preparados para su reutilización.

c) Para 2025, se aumentará la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos municipales hasta un mínimo del 55% en peso; al menos un 5% corresponderá a la preparación para la reutilización, fundamentalmente de residuos textiles, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, muebles y otros residuos susceptibles de ser preparados para su reutilización.

d) Para 2030, se aumentará la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos municipales hasta un mínimo del 60% en peso; al menos un 10% corresponderá a la preparación para la reutilización, fundamentalmente de residuos textiles, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, muebles y otros residuos susceptibles de ser preparados para su reutilización.

e) Para 2035, se aumentará la preparación para la reutilización y el reciclado de residuos municipales hasta un mínimo del 65% en peso; al menos un 15% corresponderá a la preparación para la reutilización, fundamentalmente de residuos textiles, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, muebles y otros residuos susceptibles de ser preparados para su reutilización.»

- Implementación de la responsabilidad ampliada del productor en el sector textil:

«Disposición final cuarta. Residuos textiles y plásticos de uso agrario: Reglamentariamente, en el plazo máximo de 5 años desde la entrada en vigor de esta ley, se desarrollarán regímenes de **responsabilidad ampliada del productor para los textiles** y los plásticos de uso agrario no envases en aplicación de los artículos 37 y 38.»

- **Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022**

Es el instrumento para orientar la política de residuos en España que impulsa las medidas necesarias para mejorar las deficiencias detectadas y promueve las actuaciones que proporcionan un mejor resultado ambiental y que aseguran el cumplimiento con los objetivos legales.

Según se indica en el PEMAR 2016-2022, más un total de 990.000 toneladas de residuos textiles van a parar a la fracción resto. También cabe destacar el necesario impulso a la recogida separada de esta fracción:

«De acuerdo con nuestras estimaciones, sería necesario incrementar la preparación para la reutilización y el reciclado neto de textiles en 0,49 millones de toneladas.

Las medidas para captar este material deben estar centradas fundamentalmente en promover una mejor separación en los hogares, en promover y reforzar la red de recogida, bien municipal o mediante acuerdos con las entidades de economía social y con otras entidades autorizadas.»

Este plan deberá de ser actualizado para incorporar las modificaciones establecidas por la Directiva Europea 2018/851 y la correspondiente modificación de la Ley 22/2011 de residuos que la transpondrá.

2 RESIDUOS TEXTILES

Un residuo es, según la ley, «cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar»; atendiendo a esta definición, los residuos textiles serán prendas, calzado o ropa del hogar que, bien porque dejan de utilizarse o porque llegan al final de su vida útil, se desechan (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2011).

2.1 Según su origen

Los residuos textiles pueden clasificarse en dos tipos según dónde se originan.

2.1.1 Pre-consumo

Los residuos pre-consumo son los generados durante el largo proceso de producción textil antes de convertirse en prenda y llegar al consumidor. Se producen durante los procesos de obtención de fibras, hilados, tejidos, procesos de tintura, estampado y acabado, y especialmente durante el proceso de confección industrial. Los recortes de tejido generados en el proceso de corte de patrones son muy preciados porque se conoce su composición y color.

Cuando se hace la marcada en el proceso de confección industrial, (distribución óptima de los patrones sobre el tejido, como actividad previa al corte), el aprovechamiento del tejido varía mucho en función del diseño de la prenda, distribución de la rayas, cuadros o estampados, etc. El residuo generado durante este proceso se calcula que es del 15% si bien puede variar desde el 10% en pantalones, jeans, blusas hasta el 30% en prendas especiales.

Otro flujo importante y creciente en los últimos años son los excedentes de producción o “*deadstock*”, que son prendas que han sido devueltas o bien que no se han llegado a vender ni en rebajas y que pueden considerarse también residuos pre-consumo. Algunas empresas destinan estas prendas a incinerar para su valorización energética lo que representa un desperdicio sustancial de recursos. Esta práctica está prohibida en Francia y a partir del 2021 también se prohibió en España, de acuerdo con el borrador del anteproyecto de Ley de residuos y suelos contaminados (2020).

Según Ecotextile News, en 2016, solo un tercio de toda la ropa importada en la UE se vendió al precio inicialmente previsto a los minoristas, un segundo tercio se vendió con descuento en rebajas y el tercio restante no llegó a venderse nunca (Mowbray, 2016). En 2018 se supo que la marca sueca de moda rápida H&M tenía existencias no vendidas por valor de 4 billones de euros en sus almacenes, que terminaron incinerándose (The New York Times, 2018) y en este mismo año la marca de lujo británica Burberry también incineró sus excedentes de producción acumulados por valor de 30 millones de euros (BBC News, 2018).

Los **residuos pre-consumo tienen un gran interés para los procesos de reciclado** tanto mecánico como químico puesto que se conoce con exactitud su composición (% de fibras) y color, lo cual permite una segregación fácil y segura que garantiza la uniformidad de suministro en las cadenas de producción que siguen los procesos de reciclado “regenerados” o bien los químicos que precisan un substrato de monomaterial o bien como máximo de dos fibras (poliéster/algodón).

Según datos recogidos por INTEXTER UPC, España es el mayor productor de Europa de hilo reciclado, con un volumen de alrededor de 61.000 toneladas anuales. Se calcula que del orden de 50.000 toneladas/año proceden de residuos de pre-consumo, de las cuales 25.000 toneladas se generan en Catalunya, si bien aún se desconoce con exactitud el volumen de los excedentes de producción (Casas, 2019).

2.1.2 Post-consumo

Se trata de las prendas de vestir que los consumidores descartan, ya sea porque han llegado al final de su vida útil, porque no se pueden seguir usando con la misma finalidad con que se produjeron o simplemente porque el consumidor decide prescindir de esa prenda, aunque esté en buenas condiciones. Estos residuos pueden desecharse en la fracción resto y terminar en un vertedero, o ser depositados en los contenedores de ropa usada para su reutilización o reciclado.

A nivel global, diversas fuentes apuntan que en el año 2015 se consumieron 62 millones de toneladas en una población de 7.300 millones de personas, generándose 8,5 kg de residuos textiles por persona, y se pronostica un incremento del 63% para el año 2030, llegando a los 102 millones de toneladas consumidas por 8.600 millones de personas, debido principalmente a una mayor demanda por parte de los países emergentes asiáticos. Es decir, para 2030 se estima que el consumo de prendas llegará a 11,9 kg/habitante/año (Fundación Economía Circular, 2020).

En la *Figura 4* se muestra un esquema que resume de una manera más visual lo anteriormente mencionado en referencia los tipos de residuos textiles según su origen.

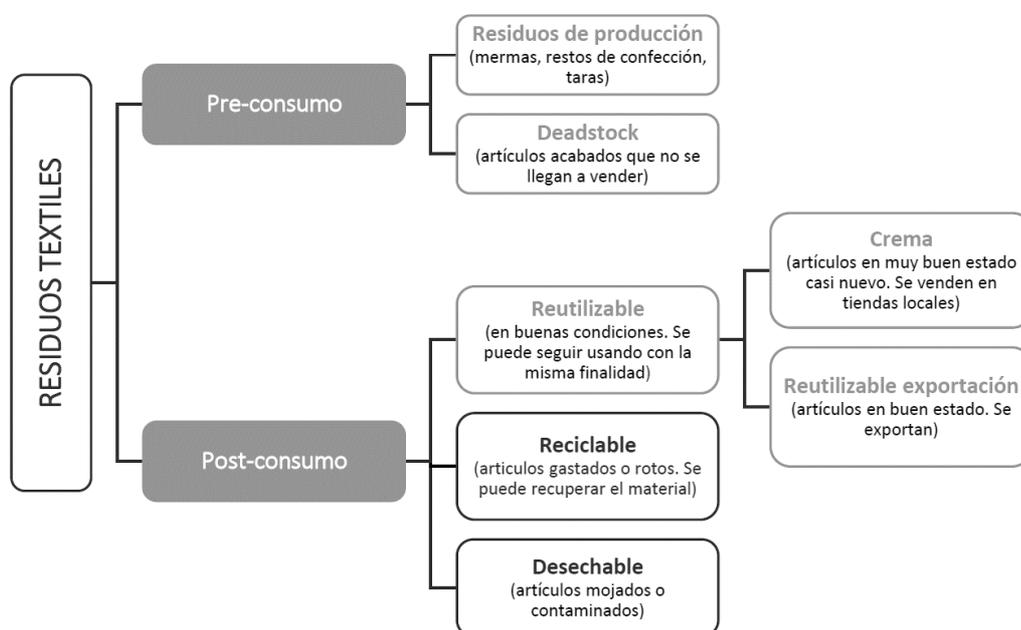


Figura 4.- Tipos de residuos textiles (Diez, 2020)

En 2019 se publicó un informe donde se estudiaba la vida útil de tres tipos de prendas (camisetas, pantalones y camisetas de punto con cuello) en seis países distintos (China, Alemania, Italia, Japón, Reino Unido y EE. UU.) y se concluyó que su vida útil era de 3,1 a 3,5 años por prenda, aunque con variaciones significativas entre países (Jesse Daystar, 2019). Esta corta vida útil de las prendas, junto con el aumento del consumo, ha provocado un incremento del 40% en los residuos textiles depositados en vertederos en los EE. UU entre 1999 y 2009 y, a nivel mundial, los textiles representan ya el 22% del conjunto de residuos mezclados. Del total de fibras producidas en 2015, el 73% (39 Gt) terminaron en vertederos al final de su vida útil (Nynne Nørup, 2019).

Según datos de INTEXTER UPC, se calcula que el volumen de residuos textiles post-consumo en España es del orden de 900.000 toneladas/año (19 kg/habitante/año), de las cuales 153.000 toneladas se generan en Catalunya. (Casas, 2019). En este mismo orden de magnitud, la Fundación para la Economía Circular presentó un estudio en octubre de 2020 que estima la generación de residuo textil en 1.060.200 toneladas en 2017 lo que supone unos 23 kg/habitante/año (PERTE en Economía Circular, 2022).

Existen pocos estudios sobre la tipología de producto de los residuos post-consumo o la composición de fibras de los mismos. A nivel de la UE, los datos disponibles sobre consumos porcentuales de prendas de vestir y textiles para el hogar en relación con los diferentes tipos de productos se presentan en la *Figura 5*, en general, los productos de vestir se consumen en cantidades mucho más altas que los productos textiles para el hogar (Adrien Beton, 2014).

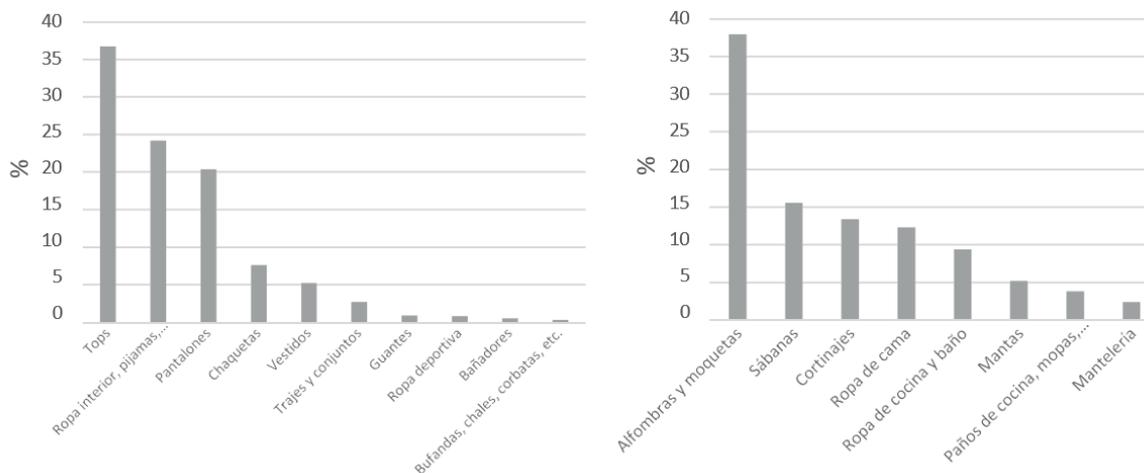


Figura 5.- Consumo porcentual de diferentes categorías de prendas de vestir y productos y textiles para el hogar en la UE-27 en 2007 (Adrien Beton, 2014)

Dentro del grupo de prendas de vestir, la categoría de “tops”, con el 36,7% es la más importante. Dentro de esta categoría, las camisetas y chalecos tuvieron los mayores consumos (803.857 toneladas) seguidos de jerséis de fibras sintéticas (712.756 toneladas). Otras categorías que consumen en grandes cantidades incluyen por una parte la ropa interior, pijamas, calcetines y medias (24,2%) y pantalones (20,4%) del consumo total, respectivamente. El desglose del consumo de productos textiles para el hogar muestra como los revestimientos para suelos constituyen la mayor proporción de productos de textil hogar consumidos, principalmente debido al alto consumo de alfombras (771.057 toneladas) (Adrien Beton, 2014).

2.2 Según su reciclabilidad

2.2.1 Textiles no reciclables

No todos los textiles tienen el mismo potencial para el reciclaje, lo que genera un desafío adicional en la gestión de los residuos textiles. Esta categoría se refiere a materiales que, debido a su composición o proceso de fabricación, presentan dificultades significativas para ser reciclados.

En el caso del cuero sintético, por ejemplo, material común en productos como chaquetas, zapatos y bolsos, su composición a base de polímeros sintéticos lo hace resistente a los procesos de reciclaje tradicionales. Sin embargo, a medida que la conciencia ambiental y las demandas de sostenibilidad crecen, la industria está trabajando activamente en el desarrollo de técnicas y tecnologías innovadoras para abordar este desafío. Se están investigando procesos de reciclaje químico y mecánico, comentados más adelante, que permiten aprovechar mejor los materiales utilizados en el cuero sintético con el fin de reducir su impacto ambiental.

Otro ejemplo son las mezclas de fibras difíciles de separar, ya que representan un obstáculo importante para su reciclaje. En muchos productos textiles, se utilizan diferentes tipos de fibras, y algunas combinaciones son difíciles de descomponer en sus componentes individuales para su posterior reciclaje. Este problema plantea desafíos técnicos, pero también crea oportunidades para la innovación. La investigación en técnicas de separación de fibras y procesos de reciclaje más eficientes están en curso para superar estos obstáculos y permitir el reciclaje de textiles mixtos.

2.2.2 Textiles reciclables

Afortunadamente, existe un grupo de textiles que son altamente reciclables, contribuyendo de manera significativa a la reducción de estos residuos y al fomento de prácticas sostenibles. Entre los tipos de residuos textiles reciclables destacan el algodón, el lino, la lana y otros materiales naturales. Estos materiales pueden ser sometidos a procesos de reciclaje que les permiten tener una segunda vida, lo que beneficia tanto al medio ambiente como a la economía circular. En ese proceso de reciclaje se pueden convertir en nuevos productos y, por tanto, tiene el potencial de reducir drásticamente la cantidad de residuos textiles que terminan en vertederos.

En este análisis de ciclo de vida que se muestra en la *Figura 6*, en el escenario habitual en España y partiendo de 4 años de uso, las prendas de nailon son las que menos impacto ambiental generan. En el extremo contrario se sitúa el cuero, el tejido con mayor impacto ambiental de los analizados; para que una prenda de cuero tenga menos impacto ambiental que una de nailon habría que usarla durante 24 años más (OCU, 2022). Es por ello que esto demuestra que es esencial tener en cuenta su impacto, tanto al comprarlos como su gestión a la hora de desecharlos según el tipo de residuo textil, con el fin de minimizar su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles en la industria textil y la sociedad en general.

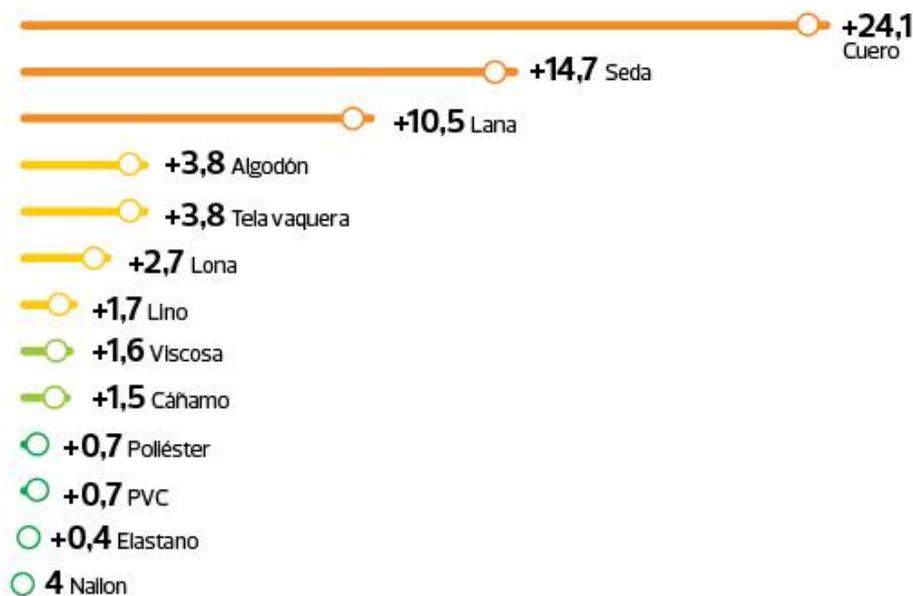


Figura 6.- Relación entre tipo de tejido y años de uso para que sea sostenible (OCU, 2022)

2.3 Cadena de valor textil

La **cadena de valor** del sector, como se aprecia en la *Figura 7*, está altamente diversificada e involucra a todo un ecosistema de multiagentes imprescindibles para la generación y posterior gestión del producto final (diseñadores, hiladores, tejedurías, pasamanerías, tinturas y acabado de tejidos, confección, tejidos no tejidos, distribuidoras y comercializadoras, recogida, selección y preparación, recicladores, proveedores de materias primas); consecuentemente, se caracteriza por una estructura empresarial muy atomizada, donde menos del 2 % son empresas de más de 50 trabajadores.



Figura 7.- Cadena de valor del textil (Herranz, 2024)

Su carácter multisectorial, en la medida que está vinculada con muchos sectores (ropa, calzado, hogar, auxiliar de la automoción, sanitario, construcción, etc.), facilita la generación de oportunidades y colaboraciones intersectoriales para crear un valor compartido. Asimismo, dispone de una amplia representación y especialización en España (industriales, marcas, proveedores de materias primas, universidades, centros tecnológicos, etc.).

El sector textil está considerado según el “Green Deal” como un sector estratégico con objetivos que se están articulando a través de diferentes iniciativas; de igual manera, el Nuevo Plan de Acción de Economía Circular de la Comisión Europea lo ha considerado como un sector clave y la sostenibilidad del sector textil ha sido discutida incluso en el seno del G20.

La oportunidad de abordar la dimensión ambiental de este sector viene definida por las fuertes repercusiones asociadas a la producción y consumo, pues el mismo contribuye del 2 al 10 % del impacto ambiental del consumo en Europa (Delgado, 2006). Parte del impacto se produce fuera de nuestras fronteras, caracterizado por una alta huella ambiental debida al uso intensivo del recurso hídrico y energético, y el empleo de una elevada cuantía de productos químicos durante las diferentes fases del proceso de fabricación.

En los últimos años, la industria de la moda se ha convertido en **uno de los sectores industriales con mayor impacto ambiental a nivel global**, principalmente debido a su alta huella de carbono e hídrica. El sector textil es uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero por unidad de material producido. Para fabricar una tonelada de textiles se emiten 17 toneladas de CO₂ equivalente, comparado con una relación de 1 a 3,5 en la producción de plásticos y 1 a 0,92 en la de papel. A nivel mundial, la producción textil genera más gases de efecto invernadero que todos los vuelos internacionales y el comercio marítimo juntos (MacArthur, 2017).

En la siguiente figura (Figura 8) se muestra una relación entre el impacto y el tipo de textil.

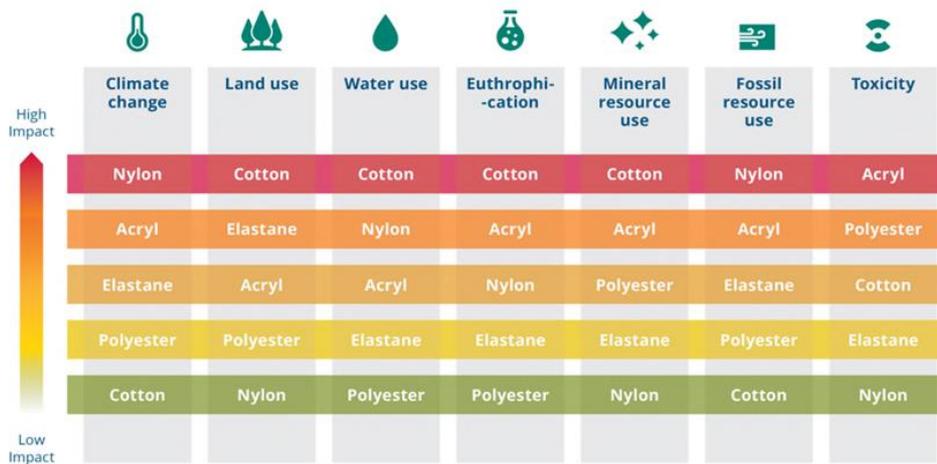


Figura 8.- Impacto ambiental según el tipo de textil (Schumacher & L.Forster, 2021)

2.4 Recogida de residuos textiles

La recogida de los residuos textiles constituye uno de los eslabones principales de la cadena de valor, es el proceso de recolección y transporte de textiles usados o no deseados con el fin de darles un destino adecuado, ya sea para su reutilización, reciclaje o eliminación responsable. Este proceso es fundamental para gestionar de manera efectiva los desechos textiles y reducir su impacto ambiental.

A nivel estatal, la recogida de residuos textiles identificada en el año 2019 ascendió a 108.296 toneladas, desagregadas por Comunidad Autónoma como se muestra en la Figura 9.

Comunidad Autónoma	Recogida selectiva	Recogida selectiva kg/hab./año	Habitantes	Toneladas generadas	RS / generación
Andalucía	15.886	1,89	8.414.240	159.871	9,94%
Aragón	2.971	2,25	1.319.291	25.067	11,85%
Asturias, Principado de	2.881	2,82	1.022.800	19.433	14,82%
Balears, Illes	3.148	2,74	1.149.460	21.840	14,41%
Canarias	3.961	1,84	2.153.389	40.914	9,68%
Cantabria	1.289	2,22	581.078	11.040	11,67%
Castilla y León	5.600	2,33	2.399.548	45.591	12,28%
Castilla - La Mancha	3.515	1,73	2.032.863	38.624	9,10%
Catalunya	20.288	2,64	7.675.217	145.829	13,91%
Comunitat Valenciana	15.243	3,05	5.003.769	95.072	16,03%
Euskadi	10.457	4,74	2.207.776	41.948	24,93%
Extremadura	566	0,53	1.067.710	20.286	2,79%
Galicia	5.259	1,95	2.699.499	51.290	10,25%
Madrid, Comunidad de	11.569	1,74	6.663.394	126.604	9,14%
Murcia, Región de	2.759	1,85	1.493.898	28.384	9,72%
Navarra, Comunidad Foral	2.049	3,13	654.214	12.430	16,48%
Rioja, La	855	2,70	316.798	6.019	14,20%
TOTAL	108.296	2,31	46.854.944	890.244	12,16%

Figura 9.- Generación estimada y recogida selectiva de residuos textiles por CCAA (Moda re-, 2021)

De la anterior figura se puede establecer un ranking de Comunidad Autónoma (Figura 10), en función de su ratio de recogida respecto de la generada:

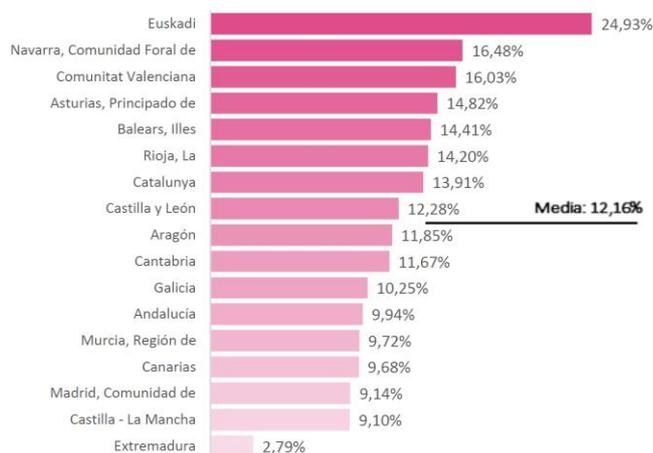


Figura 10.- Ranking de CCAA por su ratio de recogida selectiva de residuos textiles/generación (Moda re-, 2021)

Esta recogida se lleva a cabo a través de diversos métodos, que vamos a comentar a continuación.

En primer lugar, tenemos los **puntos de recolección** que consiste en establecer puntos de recogida específicos para textiles reciclables en lugares de fácil acceso para la comunidad, como supermercados, centros comerciales, parques o estaciones de transporte público. Estos puntos de recolección pueden estar equipados con contenedores claramente identificados para que las personas depositen sus textiles usados de manera conveniente.

En lo referente a los sistemas de recogida, se han dividido en cuatro tipologías, obteniéndose las unidades en cada sistema que se muestran en la *Figura 11*:

TIPOLOGÍAS SISTEMAS DE RECOGIDA	Unidades
Contenedores en vía pública	19.548
Contenedores parroquias, colegios, centros comerciales	1.570
Punto limpio fijo	350
Punto limpio móvil (*)	354
TOTAL	21.822

(*) Cantidad de ubicaciones con cobertura de punto limpio móvil.

Figura 11.- Unidades de puntos de recogida por tipología de sistema (Moda re-, 2021)

Como puede observarse en la figura anterior, el sistema de recogida más destacado es el de **contenedores en vía pública**, habiéndose identificado 19.548 unidades. Teniendo en cuenta la falta de datos, el número de contenedores se estima mayor al documentado y, por tanto, también superior a los 16.000 estimados por la Fundación de la Economía Circular (Fundación Economía Circular, 2020). La cantidad recogida mediante este sistema es de unas 101.700 t, es decir el 94% de la cantidad recogida que ha podido documentarse.

Tal como se muestra en la *Figura 12*, el operador con una mayor relevancia en la recogida de residuos textiles a nivel estatal es Cáritas/moda-re, que recoge el 41% del total, seguido de HUMANA, con un 16%.

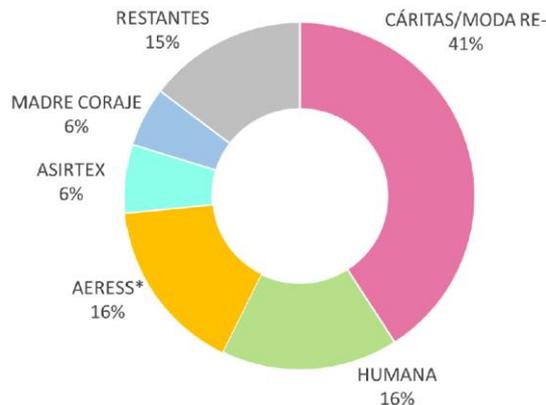


Figura 12.- Distribución de la recogida de residuos textiles realizados por diferentes operadores (Moda re-, 2021)

Por otro lado, se organizan **servicios de recogida puerta a puerta** para textiles reciclables en áreas residenciales; Barcelona es una de las ciudades pioneras en este sistema de recogida. Esto puede hacerse de forma regular, semanal o mensual, según la disponibilidad de recursos y la demanda de la comunidad; los ciudadanos pueden programar una recogida en línea o por teléfono para que sus textiles usados sean recogidos en su domicilio.

De forma más puntual se organizan **eventos de recolección y campañas comunitarias** en colaboración con organizaciones locales, escuelas, empresas y organizaciones benéficas. Estos eventos incluyen campañas de sensibilización sobre la importancia del reciclaje textil y pueden llegar a ofrecer incentivos, como descuentos en tiendas locales o cupones de compra, con el fin de fomentar la participación. Este tipo de actividades no solo fomenta la reutilización de textiles en buen estado, sino que también reduce la cantidad de textiles enviados a vertederos.

Al combinar estos métodos y adaptarlos a las necesidades y características de cada comunidad, es posible mejorar significativamente la recolección de textiles reciclables, disminuyendo así la cantidad de textiles que terminan en vertederos y promoviendo un cambio hacia una economía más circular y sostenible.

3 GESTIÓN DE RESIDUOS TEXTILES

La gestión de estos residuos varía según el país, la región y las políticas locales, pero generalmente involucra una combinación de diferentes enfoques.

La **jerarquía de residuos** es un sistema que clasifica las estrategias de gestión de residuos en función de su impacto ambiental. Esta jerarquía, adoptada en legislaciones y directrices a nivel mundial, proporciona un marco esencial para una gestión sostenible y eficiente de los residuos. Se compone de cinco niveles principales: reducción, reutilización, reciclaje, compostaje, valorización y eliminación.

Tal como se muestra en la *Figura 13*, la reducción será siempre la opción preferida; mientras que la eliminación será la menos deseada.



Figura 13.- Jerarquía de gestión de residuos

Veamos un poco más en detalle en qué consiste cada una de las fases que componen la jerarquía de residuos:

- **Reducción:** Este es el primer y más importante paso en la jerarquía de residuos. Implica la minimización de la cantidad de residuos generados en primer lugar, a través de estrategias como el diseño eficiente de productos y la optimización de los procesos de producción.
- **Reutilización:** Este nivel se refiere al uso repetido de productos o componentes en su forma original, en lugar de desecharlos después de su primer uso. Esto puede implicar la reparación de artículos dañados, la donación de artículos no deseados o la compra de artículos de segunda mano.
- **Reciclaje:** Durante el reciclaje, los materiales que no puede ser reutilizados son recogidos y transformados en nuevos productos.
- **Compostaje:** El compostaje es una forma de reciclaje que transforma los residuos orgánicos, como por ejemplo los restos de comida y jardinería, en compost, un ingrediente muy utilizado para enriquecer el suelo.
- **Valorización:** Este término se refiere a la recuperación de recursos de los residuos. Puede incluir la extracción de energía de los residuos a través de la incineración, es decir la recuperación de energía de residuos, la gasificación, la digestión anaeróbica y otros procesos.
- **Eliminación:** El último de los procesos en la jerarquía de residuos. Involucra la disposición final de los residuos, ya sea en vertederos o mediante la incineración sin recuperación de energía. Al estar la última en la jerarquía de residuos, se trata del proceso que tiene un mayor impacto ambiental, recomendando evitarlo en la medida de lo posible.

Cada uno de los pasos en la jerarquía de residuos representa una estrategia para gestionar los residuos, con el objetivo de maximizar la eficiencia y minimizar el impacto ambiental.

Cuando se trata de los residuos textiles, aquellos que no pueden ser reutilizados, reciclados o valorizados energéticamente son enviados a vertederos para su disposición final. Sin embargo, esta opción se considera la menos favorable desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad, debido al desperdicio de recursos textiles y al potencial de contaminación del suelo y el agua.

3.1 Operaciones de clasificación y separación

Las prendas de vestir constan de distintos tejidos, adornos y accesorios, como botones o cremalleras, y contienen una amplia variedad de materias primas, combinaciones de fibras sintéticas y naturales, plásticos y metales, lo que dificulta su eliminación de una forma sostenible.

«La industria del reciclaje requiere fracciones puras o mezclas muy específicas», explica Annika Ludes, ingeniera del Departamento de Soluciones Digitales de Stadler. «Esto significa que hay que quitar los adornos y los accesorios del tejido. Los distintos materiales de la prenda, como el tejido interior, el forro o las costuras, deben separarse, y después hay que clasificar las distintas fibras de cada tejido (algodón, elastano, poliéster)» (STADLER, 2023).

Hoy en día, la clasificación de los productos textiles se realiza de forma manual en las instalaciones especializadas a las que llegan los residuos en contenedores de tipo jaula (*Figura 14*), y sólo se puede reciclar una pequeña parte del material resultante. Las posteriores operaciones a las que son sometidas las prendas son también mayoritariamente manuales en gran parte de las instalaciones actuales; aunque ya existen en España instalaciones que disponen de un elevado grado de mecanización y digitalización de sus procesos, a la altura de las más avanzadas de Europa. Se están produciendo muchos avances en el ámbito de la automatización del proceso con el objetivo de producir las fracciones de alta calidad que se requieren para dar respuesta al reto del reciclaje.



Figura 14.- Contenedores tipo jaula

3.1.1 Métodos para mejorar la clasificación y separación

Estos son algunos de los métodos que se están desarrollando hoy en día con el fin de mejorar la clasificación y separación de textiles reciclables en función del tipo de fibra o mezcla. Estas tecnologías ya se empiezan a encontrar disponibles en el mercado y permiten un mayor rendimiento en la clasificación de las fibras, reduciendo de forma notable la necesidad de trabajo manual. A continuación, se describen con mayor detalle algunas de las más relevantes.

La tecnología más comúnmente utilizada es la **NIR (Infrarrojo Cercano)** o espectroscopia de infrarrojo cercano, la cual se está perfeccionando y desarrollando en varios proyectos europeos dedicados a la clasificación de textiles, tras haber demostrado un gran éxito en la clasificación de envases.

Cuando un material es expuesto a la radiación NIR, su respuesta óptica varía según su composición química, lo que permite utilizar esta técnica para clasificar diferentes materiales. En las líneas de clasificación, los materiales, dispuestos por separado en una cinta transportadora, son irradiados con NIR mediante un conjunto de lámparas. La luz es absorbida de manera parcial y selectiva por cada prenda al pasar por el cabezal de medición, y un sensor capta y analiza espectralmente la radiación, obteniendo un espectro infrarrojo característico según la composición de la prenda. Este espectro resultante se compara con los espectros almacenados en una base de datos o biblioteca de espectros previamente fijado (Diez, 2020).

No obstante, esta tecnología presenta dificultades con prendas que contienen varios tipos de fibras, especialmente cuando el porcentaje de alguna de ellas es muy bajo, como en el caso del elastano. Aunque parece que estas líneas pueden detectar mezclas que contienen más del 3-5% de elastano, no son capaces de identificar hilos de elastano recubiertos de algodón. Es por ello que una limitación de esta tecnología es su inaplicabilidad a prendas compuestas por varias capas no homogéneas, como los anoraks o prendas con diferentes tejidos.

Este procedimiento permite reciclar todo tipo de residuos textiles independientemente de su estado de degradación, es decir, ya sean de origen post-industrial, pre-consumo o post-consumo independientemente de los contaminantes presentes en las fibras textiles (aditivos, tintes y acabados superficiales). Además, reduce el consumo de materias primas de origen fósil, empleando residuos textiles como materia prima para la obtención de nuevos productos textiles, así como la recirculación y reutilización de todos los reactivos químicos involucrados en el proceso, supone un proceso químico con residuo prácticamente cero (Aitex).

Entre las diversas tecnologías de **procesamiento químico del poliéster**, destacan la despolimerización térmica y catalítica. Dado que la despolimerización catalítica ofrece varias ventajas en comparación con otras tecnologías, esta estrategia está siendo estudiada más intensamente en la comunidad científica y ya se han establecido las primeras plantas industriales en países como Japón, Estados Unidos o India. Según el solvente empleado en la reacción de depolimerización, el proceso se denomina glicólisis (glicoles), hidrólisis (agua), metanólisis (metanol), aminólisis (aminas) o amonólisis (amoníaco). Entre los procesos de despolimerización disponibles, la glucólisis es la tecnología más estudiada y desarrollada debido a sus múltiples ventajas como son: simplicidad y flexibilidad, bajos costos de inversión y mantenimiento, condiciones de reacción más suaves o la baja volatilidad del solvente.

En cuanto al **reciclaje químico del algodón**, es una tecnología que aún está en sus inicios y requiere más investigación y desarrollo para alcanzar escala comercial. Específicamente, el procesamiento químico del algodón puede considerarse un proceso en el que las fibras se disuelven y luego se regeneran mediante hilado utilizando un proceso de "hilado en húmedo con chorro seco". En esta dirección, se ha demostrado que los líquidos iónicos (LI) son disolventes eficaces para materiales a base de celulosa y pueden utilizarse para el tratamiento químico del algodón. Estudios recientes sobre el uso de líquidos iónicos como disolventes para fibras de celulosa han demostrado importantes ventajas de este proceso, como su baja presión de vapor, las altas propiedades mecánicas de las fibras resultantes y el hecho de que puede realizarse en un solo paso. El proceso, denominado Ioncell-F, permite la producción de fibras naturales procesadas químicamente con propiedades mecánicas muy superiores a las fibras comerciales de viscosa y Lyocell.

Actualmente, hay numerosos proyectos e investigaciones en desarrollo que exploran las diversas tecnologías relacionadas con el reciclaje químico, ya que presenta grandes ventajas como su capacidad para manejar grandes volúmenes de residuos. Sin embargo, la mayoría de estos proyectos se encuentran en fases muy tempranas. Los desafíos son significativos, ya que la ropa usada no solo presenta una variedad de composiciones de fibras, sino que también contiene una extensa lista de productos químicos utilizados durante el proceso textil, especialmente en la tintura, el estampado y el acabado.

3.2.2 Reciclaje mecánico textil

En este procedimiento los textiles se someten a procesos mecánicos, como el desfibrado, para separar las fibras de los otros componentes. Dependiendo del tipo de material y de la aplicación deseada se pueden utilizar diferentes métodos de separación de fibras, como trituración, cardado o trituration. Una vez descompuestas en fibras, pueden estar contaminadas con impurezas como cremalleras, tintes o residuos, por lo que se requiere un proceso de limpieza para eliminar estas impurezas y producir fibras limpias que puedan reciclarse.

El procesamiento mecánico de textiles proporciona diversos beneficios ambientales, como la reducción de la contaminación y el uso de recursos naturales al reducir la necesidad de producir nuevas fibras a partir de materias primas vírgenes. Sin embargo, también tiene limitaciones, ya que algunos tipos de textiles (como los que contienen mezclas de fibras) pueden ser más difíciles de procesar mecánicamente debido a las diferencias en las propiedades de las fibras. Además, es posible que las fibras recicladas no tengan las mismas propiedades que las fibras vírgenes, lo que puede limitar su uso en determinadas aplicaciones textiles avanzadas.

El proceso de reciclado mecánico va desde la clasificación de los residuos una vez que llegan a la planta, hasta su trituración para reducirlos al tamaño adecuado para su valorización, ya sea directamente o mediante la aplicación de otro proceso que puede ser físico, como la fusión de materiales, o utilizando métodos de reciclaje químico. Antes de convertir estos residuos en productos granulados/micronizados e incluso después del procesamiento mecánico, es fundamental un posterior proceso de clasificación. Para ello se considerarán dos opciones: operaciones de clasificación y separación antes y después de la trituración mecánica (Aitex).

3.2.3 Nuevas tecnologías emergentes

En cuando a las nuevas tecnologías emergentes en este sector; por un lado, encontramos la **biotecnología textil**, utiliza enzimas, microorganismos y procesos biológicos para modificar o degradar materiales textiles con el fin de obtener productos más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

La biotecnología también se utiliza para promover la biodegradación de materiales textiles. Los microorganismos como las bacterias y los hongos pueden descomponer los componentes de los textiles, como la celulosa del algodón o la queratina de la lana, en productos más simples que pueden ser reintegrados en el medio ambiente de manera segura.

Otra aplicación interesante de la biotecnología textil es la bioproducción de fibras textiles utilizando microorganismos modificados genéticamente. Por ejemplo, se han desarrollado microorganismos capaces de producir proteínas similares a la seda o a la lana, que pueden ser utilizadas para fabricar fibras textiles con propiedades únicas, como la resistencia y la elasticidad. Estas fibras biofabricadas tienen el potencial de ser una alternativa sostenible a las fibras tradicionales, ya que pueden producirse de manera más eficiente y con menor impacto ambiental.

Esta nueva tecnología también está siendo explorada para una variedad de otras aplicaciones emergentes, como la producción de tintes naturales mediante fermentación microbiana, la mejora de la resistencia a las arrugas de los tejidos mediante el tratamiento enzimático y la modificación de las propiedades de absorción de humedad de los textiles mediante el recubrimiento con biopolímeros.

Por otro lado, encontramos la **nanotecnología textil** que se emplea para mejorar las propiedades de los textiles reciclados mediante la aplicación de recubrimientos nanométricos o la integración de nanomateriales en la estructura de los tejidos. Esto puede mejorar la resistencia, durabilidad, impermeabilidad y otras características de los textiles reciclados, aumentando así su valor y aplicabilidad en diversos sectores.

En resumen, estas nuevas tecnologías representan una prometedora área de investigación y desarrollo que ofrece soluciones innovadoras y sostenibles para los desafíos actuales en la industria textil, desde su producción hasta su tratamiento. Al aprovechar el poder de los procesos biológicos y mejorar las propiedades y funcionalidades de los textiles, podemos avanzar hacia un futuro en el que los textiles sean más respetuosos con el medio ambiente y más compatibles con un estilo de vida sostenible.

3.3 Moda Sostenible

Aunque el reciclaje de textiles se ha convertido en una práctica cada vez más importante para reducir el impacto ambiental de la industria, la moda sostenible también juega un papel clave en este proceso, ya que busca promover la reutilización y el aprovechamiento de los recursos existentes.

La moda sostenible no solo se trata de reciclar textiles, es un **enfoque ético y responsable** en la producción y el consumo de prendas de vestir. No es solo una etiqueta que puedes poner en una prenda hecha de algodón orgánico, es un sistema integral que busca minimizar el impacto ambiental, social y económico en cada etapa del ciclo de vida de una prenda, desde la producción de la materia prima hasta el reciclaje del producto final.

Como bien dice Stella McCartney, una pionera de la moda sostenible de lujo, «La moda sostenible es más que una tendencia, es una necesidad para preservar nuestro planeta» (El Bien Social, 2023).

En los últimos años, las principales industrias de la moda han comenzado a tomar conciencia sobre el impacto ambiental de la fabricación textil. Como resultado, muchas marcas de moda han adoptado criterios de sostenibilidad, como la instalación de contenedores para la recolección de ropa usada en sus tiendas y la inclusión de esta información en sus informes de responsabilidad social corporativa.

En España, grandes operadores como Inditex, Mango, El Corte Inglés y H&M han implementado contenedores de recolección de ropa usada en sus establecimientos y , también, se ha observado la instalación de numerosos contenedores en los estacionamientos de grandes centros comerciales, gracias a acuerdos entre multinacionales como Alcampo, Carrefour y Decathlon con operadores como moda-re (V.Pinuaga, 2024).

Además de estas acciones consolidadas por las grandes marcas, es importante mencionar otras iniciativas llevadas a cabo tanto a nivel nacional como internacional por los principales productores de moda. A continuación, se detallan estas iniciativas y los resultados de gestión de residuos textiles, extraídos de informes de responsabilidad corporativa y sostenibilidad publicados.

En el caso de **Inditex**, además del impacto que representa la recogida de prendas usadas en sus tiendas y otros puntos de recogida, superando la cifra de 15.000 toneladas en el año 2019, la marca presenta *Closing the loop* como iniciativa para promover la reutilización entre sus clientes.

El grupo también colabora con empresas especializadas en reciclaje para mejorar tecnologías con las que obtener nuevas materias primas, destacándose la colaboración con LENZING fabricante de TENCEL- Lyocell. En este ámbito destaca Refibra® Lyocell, una fibra creada a partir de algodón reciclado y madera de bosques gestionados de forma sostenible que Zara comercializa en su colección *Join Life*; cabe destacar que las prendas *Join Life* representaron el 35% del total de las ventas de Inditex en 2020 frente al 3% en 2016 (INDITEX, 2017).

También es destacable su apoyo a programas de investigación en tecnologías para la creación de nuevas fibras textiles, junto al Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT) y universidades españolas, como las Universidades de Vigo (en cooperación con Clermont, en Francia), Euskadi, Granada (junto con la de Hamburgo, en Alemania) y Politécnica de Valencia. En 2020, la inversión en tecnología para el reciclaje textil habrá alcanzado los 3,5 millones de dólares, tal y como se comprometió el grupo con la *Global Fashion Agenda*.

En el caso de **Mango**, ha lanzado *Second chances* como iniciativa para promover la reutilización entre sus clientes, promoviendo la recogida y reutilización de ropa usada. En 2019 disponían de 420 contenedores en distintos países, recogiendo en este año 30 toneladas en España, destinadas a la reutilización y el reciclaje.

En la primavera de 2020 se lanzaron la primera colección de tejanos en los que el 20% de la materia prima era denim reciclado preparado por Cáritas/moda re, esta colección ya tiene continuidad hoy en día y seguirá creciendo en los próximos años. Además, se unió el proyecto al programa de fidelización de cliente (*MANGO Likes You*), en el que los clientes que reciclan su ropa usada en los contenedores *Second chances* reciben *Likes* para acumular en su cuenta y descambiar por entradas de cine, descuentos o donar para proyectos de acción social (MANGO, 2023).

Por otro lado, **El Corte Inglés** tiene en vigor un convenio de colaboración con moda re- de Cáritas para la recogida de textil y accesorios pre-consumo (muestras y prendas no vendidas al cliente final) y post-consumo (prendas usadas que han sido depositadas por los clientes en puntos de recogida instalados en los centros), y su tratamiento para la reintroducción en el circuito textil y adaptación a diversos usos.

En 2018, El Corte Inglés puso en marcha una campaña de reciclaje de ropa vaquera en colaboración con Cáritas/moda re- e Hilaturas Ferre. Moda re- se encargó de clasificar las prendas y eliminar las fornituras (cremalleras, hebillas, botones y demás embellecimientos) para reciclarse posteriormente. El vaquero se tritura hasta conseguir un nuevo hilo: el “hilo Recover”.

Además, su firma de moda joven “*Easy Wear*”, tiene a la venta en sus centros una colección cápsula de prendas de tejido reciclado: vaqueros, bermudas, chalecos, cazadoras y pantalones. En el año 2019 se reportan 164 referencias en *Easy Wear* con hilo de algodón reciclado *Recover*, a partir del textil recopilado en los contenedores de moda re- de Cáritas, lo que supone una opción más sostenible porque economiza agua, energía y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (El Corte Inglés, 2018).

Por último **H&M**, con su iniciativa para promover la reutilización entre sus clientes recolectó en 2019, entre todas las tiendas del grupo (5.076 tiendas, 160 de las cuales en España), 29.005 toneladas de prendas usadas que entraron en el programa I:CO de Soex. La ropa recogida se destinó entre el 50 y 60% a la reutilización, del 35 al 45% al reciclaje y del 3 al 7% a la valorización energética.

Además, según los datos más recientes del informe de sostenibilidad de 2022, el 84% de los materiales del grupo se reciclan o se obtienen de una manera más sostenible. Esta cifra incluye un 23% de materiales reciclados, lo que acerca a la empresa a su objetivo del 30% para 2025 (ESG News, 2023).

H&M ha lanzado otras iniciativas en el entorno de la reutilización y el reciclaje, como su colección *Conscious* en la que se prevé que vaya creciendo el porcentaje de fibras recicladas utilizadas.

4 PROPUESTA PLAN DE GESTIÓN

A continuación, se propone un plan de gestión para el tereftalato de polietileno (PET). En las últimas décadas, el poliéster se ha convertido en la fibra más empleada en todo el mundo gracias a su ligereza, bajo coste y altas prestaciones mecánicas. Como consecuencia de esto, tal como se puede apreciar en la *Figura 16*, la producción mundial de fibra de poliéster aumentó de casi 58 millones de toneladas en 2019 a 61 millones de toneladas en 2021 tras un ligero descenso debido a la COVID-19 en 2020. Del mismo modo, el volumen mundial de poliéster reciclado (rPET) ha mostrado un importante aumento en los últimos años llegando a ser de casi el 15% en 2021 (Maia Research, 2023).

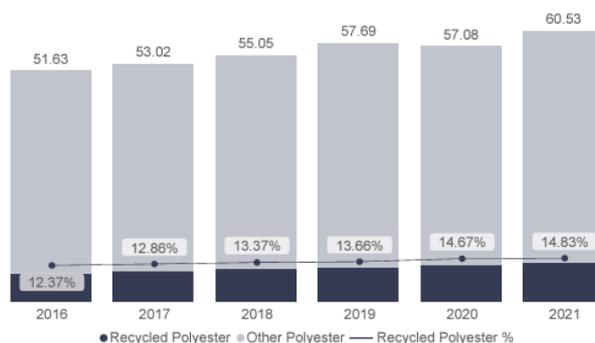


Figura 16.- Producción global de poliéster (Mt) (Maia Research, 2023)

Para plantear nuestro plan de gestión hemos considerado que el proceso se va a aplicar a la gestión de las 23.116 toneladas de residuos textiles que se recogen anualmente en las plantas de tratamiento de la Empresa de Limpieza Pública del Ayuntamiento de Sevilla, Lipasam (Lipasam, 2022). Para ello, se ha supuesto que la composición es similar a la obtenida por una muestra de 500 kg de varios contenedores de ropa usada recolectada por “Formació i Treball” localizados en las vías públicas de Cataluña (Formació i Treball, 2023).

Para el proceso se ha tenido en cuenta 2 etapas: una de recogida y separación de las fibras de poliéster, y la segunda del reciclado químico de dichas fibras.

En primer lugar, es necesario ubicar los contenedores de ropa usada en Sevilla (*Figura 17*) para llevarlos a las plantas de tratamiento, ya que se ha considerado que la planta de gestión de los residuos textiles se ubicará junto a las plantas de tratamiento actuales. Una vez en la planta, en la línea de residuos textiles, en primer lugar se procederá a un triaje manual, para eliminar los impropios. Este tipo de triaje, teniendo en cuenta la recogida separada, se considera suficiente para conseguir un alto grado de separación. Posteriormente, se necesitaría una etapa de triturado y desfibrado de las prendas, cuyo objetivo es reducir el tamaño de los residuos. Finalizada esta operación se procede a homogenizar los residuos y separarlos según su categoría y, por último, se llevará a cabo el análisis cuantitativo (químico) de la mezcla de fibras textiles por categoría; para este caso nos centraremos en el poliéster.

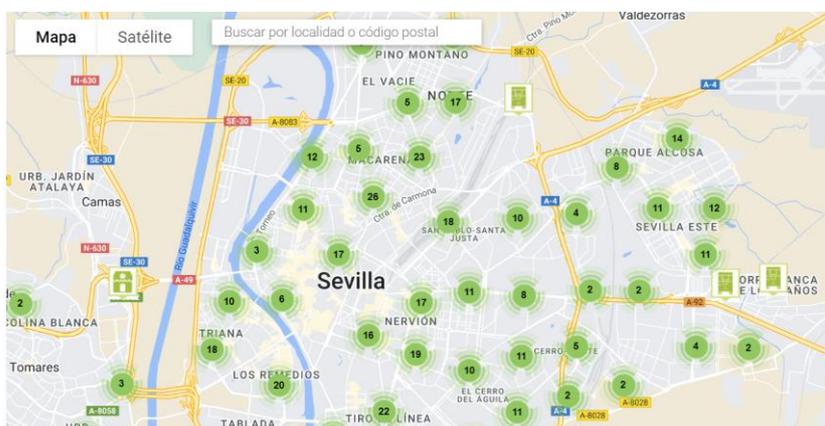


Figura 17.- Mapa de contenedores de ropa, calzado y textil usado en Sevilla (LIPASAM sostenible, 2024)



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que el 30,4 % de la ropa recolectada es fibra de poliéster; si se recolectan 23.116 toneladas de residuos textiles en los contenedores de Lipasam en Sevilla, se obtendrían aproximadamente 7.030 toneladas de poliéster.

En la segunda etapa, tras una separación y clasificación selectiva en origen, anteriormente descrita en el esquema, se propone reciclar dichos residuos a través de procesos químicos según su composición. Para ello tendremos en cuenta las 7.030 toneladas de fibras obtenidas en la etapa anterior. Entre las diferentes tecnologías de reciclado químico de poliéster nos centraremos en estudiar la depolimerización química de poliéster para este caso concreto. Esta tecnología de reciclaje consiste en dividir las cadenas poliméricas en sus unidades fundamentales o monómeros mediante reacciones catalíticas. Una vez terminada la reacción, el monómero se aísla, se purifica y se emplea en un nuevo proceso de polimerización que permite obtener el polímero virgen. La principal ventaja de este proceso es que permite reciclar los residuos un número infinito de veces sin pérdida de propiedades del polímero virgen (*Figura 18*). En este estudio nos centraremos en la glicólisis ya que, como se menciona en el apartado 3.2.1, entre los procesos de depolimerización disponibles es la tecnología más extendida y desarrollada debido a las numerosas ventajas que presenta en cuanto a simplicidad y flexibilidad, bajos costes de inversión y mantenimiento, condiciones de reacción más suaves y su facilidad para aplicarse a las plantas de producción de PET convencionales (Sangalang, Seok, & Kim, 2016).

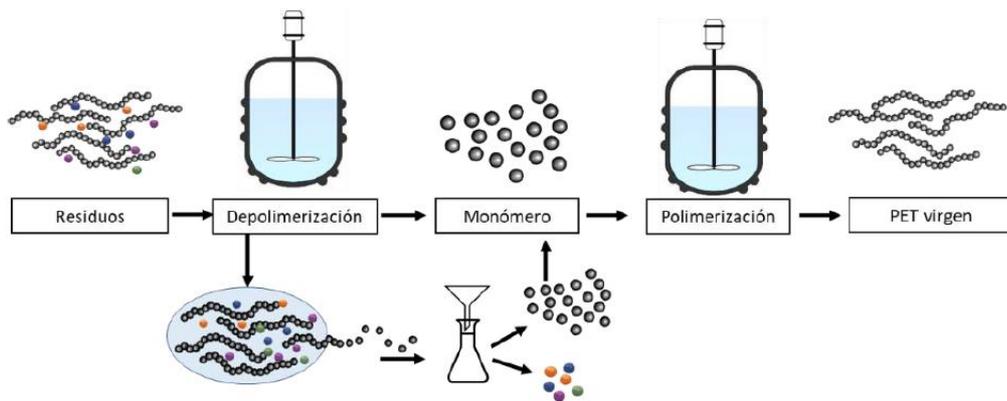


Figura 18.- Representación esquemática del proceso de depolimerización catalítica (CHEMUP II, 2022)

Para ello, los residuos previamente clasificados en origen según su composición y color, han sido triturados, homogeneizados y caracterizados para determinar sus propiedades físico-químicas; tras su análisis y caracterización, serán sometidos a un proceso de glicólisis (etilenglicol como disolvente) donde se obtendrá un poliéster con una viscosidad adecuada para la producción de fibras y un rendimiento superior al 90% (*Figura 19*). Este poliéster reciclado se podrá utilizar para crear nuevas prendas de vestir, tejidos para uso industrial, alfombras y una gran variedad de otros productos.



Figura 19.- Reciclado químico de residuos de poliéster (CHEMUP II, 2022)

Por tanto, si se llevara a cabo el plan de gestión propuesto, de las 7.030 toneladas de poliéster recogida en los contenedores de Lipasam y, atendiendo a los resultados obtenidos en la ejecución del proyecto CHEMUP II en los que me he basado para obtener los rendimientos (CHEMUP II, 2022), se podrían recuperar más de 6.300 toneladas del total de residuos textiles recogidos anualmente de este tipo.

5 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Después de la investigación y el estudio llevado a cabo sobre la gestión de los residuos textiles, la conclusión a la que he llegado es que hay muchas formas en las que se pueden mejorar los métodos tradicionales utilizados hoy en día integrando enfoques más innovadores para optimizar los procesos. Considero que el objetivo debería residir en trabajar en mejorar el tratamiento de los residuos en línea con la jerarquía de residuos: mejoras en las líneas de clasificación, los tratamientos de preparación para la reutilización y de reciclado que ya vienen desarrollándose y avanzando en nuevos procesos de reciclado de alta calidad que permitan recuperar las fibras para poder volver a fabricar nuevos productos textiles.

En primer lugar, mejoras en la recolección y clasificación implementando sistemas más eficientes para la recogida de textiles usados y su clasificación según su tipo, calidad y estado. Esto puede incluir la instalación de contenedores de reciclaje específicos en áreas públicas y la educación pública mediante campañas educativas sobre el reciclaje textil y sus beneficios ambientales. También se podría distribuir material educativo en escuelas, lugares de trabajo y centros comunitarios, así como promocionar prácticas de consumo sostenible y reducción del desperdicio textil.

Un buen punto de partida podría ser implementar un plan de gestión específico según el tipo de residuo textil, como se ha planteado en este proyecto. Comenzar por el poliéster (PET) podría ser una buena opción ya que, como hemos comprobado, presenta buenos rendimientos y las tecnologías que se utilizan están más desarrolladas. Además, Textile Exchange y Fashion Industry Charter for Climate Action ha lanzado un reto el “2025 Recycled Polyester Challenge” (Reto del Poliéster Reciclado 2025), una iniciativa conjunta para la industria del textil/moda donde se invita a las empresas del sector textil y de la moda a sumarse al desafío y tomar medidas en pro del medio ambiente. Este reto pide a las marcas que se comprometan al máximo en la adopción del poliéster reciclado como materia prima; compromisos que serán esenciales para alcanzar el objetivo de volumen reciclado del 45% en 2025 y poder llegar al 90% en 2030 (Pinker moda, 2021).

Por otro lado, considero indispensable el desarrollo de procesos de reciclaje más eficientes; para lo va a ser necesario investigar y ahondar en los procesos actuales. Esto implica el uso de equipos más avanzados y la optimización de los parámetros de procesamiento, con el fin de maximizar el rendimiento y minimizar los residuos. Como se ha comentado, algunas tecnología muy prometedoras como la NIR, ya está en funcionamiento a escala industrial para la clasificación eficiente de los residuos textiles post-consumo por tipos de fibra y color. Sin embargo, todavía debe ajustarse para la correcta clasificación de las mezclas y la presencia de fibras en pequeña proporción. Por ello considero que un punto fundamental sería adaptar esta tecnología a las necesidades del mercado, es decir, clasificar los tejidos en función de los requisitos de los recicladores.

En el caso de la tecnología RFID, ya está lo suficientemente desarrollada y, a día de hoy, permite clasificar las prendas usadas de manera eficaz, simple y económica. Pero para ello deben integrarse las etiquetas RFID en las prendas de vestir, ropa del hogar y el calzado puesto en el mercado. Esto facilitará su recogida y reciclado ya que permitirá saber el tipo y número de prendas recogidas con lectores en los contenedores de ropa usada y posteriormente agilizará su clasificación por tipo de fibra y color. No obstante, esta sólo sería una posible solución a medio-largo plazo, ya que las prendas que se recojan en los próximos años, en su mayoría, ya se han comercializado sin etiquetas adecuadas para llevar a cabo esta clasificación.

Otra opción que se está empezando a valorar y que tiene un futuro prometedor es la comentada promoción de la moda sostenible. Eco-diseñar nuevas prendas y tejidos que supongan un menor impacto ambiental mediante un menor uso de sustancias químicas o la incorporación de fibras naturales y biodegradables, menor consumo de agua y recursos en los procesos de fabricación, que generen menor impacto durante su uso, por ejemplo, reduciendo la pérdida de micro plásticos o alargando vida útil (bien por aumento de la calidad o bien por estar diseñadas para ser más atemporales), pasando de la “*fast fashion*” a la “*smart fashion*”.

Además, resultaría interesante promover modelos de negocio basados en el consumo de servicios en lugar del consumo de productos (tiendas de alquiler de ropa, ropa vintage, etc.) y modelos basados en la reparación o restauración/adaptación de las prendas textiles existentes. Para ello sería indispensable la colaboración entre los diferentes eslabones de la cadena textil; incluidos fabricantes, minoristas, organizaciones de reciclaje y consumidores, para cerrar el ciclo de vida de los productos textiles y promover una economía circular.

En definitiva, el sector debe progresar hacia la sostenibilidad en toda la cadena de valor textil para llevarlo hacia un modelo de economía de circular y a una mejora de la competitividad. Es imprescindible avanzar en la sostenibilidad y en digitalización de los procesos productivos, administrativos y comerciales de las empresas, especialmente de las PYME, para asegurar la competitividad en costes, la trazabilidad de la cadena de valor y las capacidades comerciales en un contexto competitivo global, cada vez más tecnológico, para abordar así la recuperación de productos, materiales y tejidos para introducirlos nuevamente en los ciclos productivos.

REFERENCIAS

- Adrien Beton, M. C. (2014). *Institute for Prospective Technological Studies*. Retrieved from Environmental improvement potential of textiles (IMPRO Textiles): <https://data.europa.eu/doi/10.2791/52624>
- Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (29 de Julio de 2011). Obtenido de Documento BOE-A-2011-13046: <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22>
- Aitex. (2022). Obtenido de Reciclado químico de residuos textiles: <https://www.aitex.es/portfolio/chemup-ii-reciclado-quimico-de-residuos-textiles/>
- BBC News. (2018, Septiembre 6). Retrieved from Burberry stops burning unsold goods and using real fur: <https://www.bbc.com/news/business-45430683>
- Casas, E. C. (2019, Junio 7). *Intexter*. Retrieved from Industria textil y sostenibilidad : <https://www.upc.edu/intexter/ca/jornada-industria-textil-sostenibilidad/documentos-1/1Retosyopportunidadesdelreciclajetextil.pdf>
- CHEMUP II. (2022). Retrieved from Reciclado químico de residuos textiles: chrome-extension://efaidnbmnmbpcjpcglclefindmkaj/https://www.aitex.es/wp-content/uploads/2023/02/CHEMUP-II_informe_resultados_GVA_publico.pdf
- Comisión Europea. (2020, Marzo 11). Retrieved from Modificar nuestras pautas de producción y consumo: El nuevo Plan de acción para la economía circular muestra el camino hacia una economía competitiva y climáticamente neutra de consumidores empoderados.: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420
- Delgado, P. E. (2006). *Institute for Prospective Technological Studies (EU)*. Retrieved from Environmental impact of products (EIPRO) analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3b4b06b7-4bc0-4350-a20b-accdc70d1d94/language-en>
- Díez, B. R. (2020, Noviembre 26). *Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona Tech)*. Retrieved from Aprovechamiento de residuos textiles para otras aplicaciones en el diseño: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/342148>
- El Bien Social. (2023, Octubre 6). Retrieved from ¿Qué es la moda sostenible? Más que una tendencia, un compromiso con el planeta: <https://elbiensocial.org/que-es-la-moda-sostenible-mas-que-una-tendencia-un-compromiso-con-el-planeta/>
- El Corte Inglés. (5 de Marzo de 2018). Obtenido de El Corte Inglés impulsa la moda sostenible con el reciclado de ropa vaquera: <https://www.elcorteingles.es/informacioncorporativa/es/comunicacion/notas-de-prensa/el-corte-ingles-impulsa-la-moda-sostenible-con-el-reciclado-de-ropa-vaquera.html>
- ESG News. (2023, Marzo 31). Retrieved from H&M publica el Informe Anual de Sostenibilidad 2022: <https://esgnews.com/es/hm-releases-2022-annual-sustainability-report/>
- Formació i Treball. (2023, Marzo 16). Retrieved from <https://www.formacioitreball.org/es/la-fundacion-formacio-i-treball-ha-gestionado-23-286-toneladas-de-textil-durante-el-2022/#:~:text=El%20proyecto%20textil%20de%20la,restante%20son%20residuos%20e%20impropios.>
- Fundación Economía Circular. (2020). Retrieved from Diagnóstico y escenarios de cumplimiento de los objetivos de residuos municipales 2025-2030-2035: <https://economiecircular.org/wp-content/uploads/2021/04/201106-Resumen-Multiparticipante-Objetivos-2035.pdf>
- Herranz, F. (2024, Marzo 16). *IndustryTALKS*. Retrieved from Oportunidades y beneficios para la industria textil del PERTE en Economía Circular: <https://industrytalks.es/oportunidades-y-beneficios-para-la-industria-textil-del-perte-en-economia-circular/>
- Humana. (n.d.). Retrieved from Donar ropa: <https://www.humana-spain.org/que-puedes-hacer-tu/donar-ropa/>

- INDITEX*. (2017). Retrieved from Closing the loop: https://static.inditex.com/annual_report_2017/circularidad/closing-the-loop
- Jesse Daystar, L. C. (2019). *Wilson College of Textiles*. Retrieved from Quantifying apparel consumer use behavior in six countries: Addressing a data need in life cycle assessment modeling: <https://jtatm.textiles.ncsu.edu/index.php/JTATM/article/viewFile/14770/6870>
- Juárez, C. (2022, Mayo 16). *ModaES*. Retrieved from De Verde Universal a Texlimca: la avanzadilla del reciclaje textil en España: <https://www.modaes.com/equipamiento/de-verde-universal-a-textlimca-la-avanzadilla-del-reciclaje-textil-en-espana>
- Kirsi Niinimäki, G. P. (2020, April 7). *Nature Reviews Earth & Environment*. Retrieved June 2024, from <https://www.nature.com/articles/s43017-020-0039-9>
- Lipasa*. (2022, Diciembre 31). Retrieved from Informe de gestión. Reporte de información no financiera: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.lipasam.es/fileadmin/transparencia/22-estado-de-informacion-no-financiera/einf-2022.pdf>
- LIPASAM sostenible*. (2024). Retrieved from Cada residuo a su contenedor: <https://www.lipasam.es/lipasam-sostenible/cada-residuo-a-su-contenedor>
- MacArthur, F. E. (2017). *Fundación Ellen MacArthur*. Retrieved June 2024, from Una nueva economía textil: rediseñando el futuro de la moda: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/una-nueva-economia-textil>
- Maia Research*. (2023, Enero 13). Retrieved from Global Polyester Fibres Industry Research Report 2022, Competitive Landscape, Market Size, Regional Status and Prospect: <https://www.maiaresearch.com/market-report/1509191-Polyester-Fibres-1509191.html>
- MANGO*. (2023). Obtenido de Memoria de sostenibilidad 2023: <https://www.mangofashiongroup.com/nuestro-camino-sostenible>
- Margasa*. (n.d.). Retrieved from Margasa, reciclaje textil: <https://www.margasa.com/es/lineas-de-producto/reciclaje-textil/>
- Moda re-*. (2021, Mayo). Retrieved from Análisis de la recogida de la ropa usada en España: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.caritas.es/main-files/uploads/2021/06/RESUMEN-An%C3%A1lisis-de-la-recogida-de-la-ropa-usada-en-Espa%C3%B1a.pdf>
- Mowbray, J. (2016, Abril 21). *Ecotextile News*. Retrieved from One third of all clothing "never sold": <https://www.ecotextile.com/2016042122078/fashion-retail-news/one-third-of-all-clothing-never-sold.html>
- Nathalie Remy, E. S. (2016, Octubre 20). *McKinsey Sustainability*. Retrieved June 2024, from Style that's sustainable: A new fast-fashion formula: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula#/>
- Nikolina, S. (2019, Enero 17). *Think Tank*. Retrieved from Environmental impact of the textile and clothing industry: What consumers need to know: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2019\)633143](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2019)633143)
- Nynne Nørup, K. P. (2019, Febrero 2). *National Library of Medicine*. Retrieved from Quantity and quality of clothing and household textiles in the Danish household waste: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31109546/>
- OCU*. (18 de Noviembre de 2022). Obtenido de Impacto ambiental de los textiles: <https://www.ocu.org/consumo-familia/consumo-colaborativo/noticias/impacto-ambiental-textiles>
- Parlamento Europeo*. (29 de Diciembre de 2020). Obtenido de El impacto de la producción textil y de los residuos en el medio ambiente: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>

- PERTE en Economía Circular.* (2022). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnhhttps://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/perteenec_tcm30-537854.pdf
- Pinker moda.* (2021, Abril 28). Retrieved from 2025 Recycled Polyester Challenge, un reto para la industria de la moda: <https://pinkermoda.com/2025-recycled-polyester-challenge/>
- (2016-2022). *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR)* . Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaraprobado6noviembrecondae_tcm30-170428.pdf
- Quantis.* (2018). Retrieved June 2024, from Measuring Fashion: Insights from the Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries: <https://quantis.com/report/measuring-fashion-report/>
- Sandin, G., & M.Peters, G. (2018, Marzo 7). *ScienceDirect*. Retrieved from Environmental impact of textile reuse and recycling – A review: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618305985>
- Sangalang, A., Seok, S., & Kim, D. H. (2016, Febrero 3). *Practical Design of Green Catalysts for PET Recycling and Energy Conversion*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/49758>
- Schumacher, K., & L.Forster, A. (2021). *NIST (National Institute of Standards and Technology)*. Retrieved from Facilitating a Circular Economy for Textiles Workshop Report: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1500-207.pdf
- Shiqi Wang, N. L. (2015, Noviembre 24). *WILEY*. Retrieved from Towards Washable Electrotexile UHF RFID Tags: Reliability Study of Epoxy-Coated Copper Fabric Antennas: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2015/424150>
- STADLER.* (2023, Abril 11). Retrieved from Reciclaje de productos textiles: el reto de la clasificación: <https://stadlarselecciona.com/empresa/news/detail/reciclaje-de-productos-textiles-el-reto-de-la-clasificacionhttps://stadlarselecciona.com/empresa/news/detail/reciclaje-de-productos-textiles-el-reto-de-la-clasificacion>
- Textile Exchange.* (2022, Octubre). Retrieved from Preferred Fiber & Materials Market Report: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange_PFMR_2022.pdf
- The New York Times.* (2018). Retrieved from H&M, a fashion giant, has a problem: \$4.3 billion in unsold clothes: [https://www.nytimes.com/2018/03/27/business/hm-clothes-stock-sales.html%20\(2018\)](https://www.nytimes.com/2018/03/27/business/hm-clothes-stock-sales.html%20(2018)).
- V.Pinuaga, P. (2024, Marzo 19). *Fashion United*. Retrieved from Descubriendo Moda re- (Cáritas): 160 tiendas de segunda mano en España y alianzas con Inditex: <https://fashionunited.es/noticias/moda/descubriendo-moda-re-caritas-160-tiendas-de-segunda-mano-en-espana-y-alianzas-con-inditex/2024031942815>

GLOSARIO

UE: Unión Europea

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente

PEMAR: Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos

RAP: Responsabilidad Ampliada del Productor

PIB: Producto Interno bruto

BOE: Boletín Oficial del Estado

PERTE: Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica

OCU: Organización de Consumidores y Usuarios

CCAA: Comunidad Autónoma

NIR: Near InfraRed spectroscopy (infrarrojo cercano)

RFID: Radio Frequency Identification (identificación por radiofrecuencia)

PET: tereftalato de polietileno (poliéster)

rPET: poliéster reciclado