



aitex®
textile research institute

CHEMUP II

Reciclado químico de
residuos textiles





Contenido

Reciclado químico de residuos textiles	1
1. Ficha técnica del proyecto	3
2. Antecedentes y motivaciones	4
3. Objetivos del proyecto	7
4. Plan de trabajo.....	8
5. Resultados obtenidos	9
6. Impacto empresarial	12



1. Ficha técnica del proyecto

Nº EXPEDIENTE	IMAMCA/2022/6
TÍTULO COMPLETO	CHEMUP II-RECICLADO QUÍMICO DE RESIDUOS TEXTILES
PROGRAMA	Plan de Actividades de Carácter no Económico 2022
ANUALIDAD	2022
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL www.ivace.es
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G03182870



Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius i Treball, a través de IVACE (Institut Valencià de Competitivitat Empresarial)



2. Antecedentes y motivaciones

Diferentes sectores industriales, tales como el sector textil, embalaje, automoción, construcción u otros, han consumido importantes cantidades de polímeros sintéticos a lo largo de las últimas décadas, donde su sistema de producción, distribución y uso opera de forma casi lineal, siendo un modelo insostenible debido a la generación y acumulación de residuos. Además, la gran mayoría de los polímeros sintéticos están diseñados para brindar rendimiento y durabilidad, no degradabilidad y reciclabilidad, lo que ha provocado un enorme problema de acumulación de residuos en las últimas décadas. Como consecuencia, a finales de 2020, de las 55 millones de toneladas producidas en Europa, únicamente se recuperaron el 53% de los residuos plásticos post-consumo, donde el 42% fueron incinerados, el 35% reciclados y el 24% depositados en vertederos o en el medio natural.¹

Por su parte, en el sector textil, de las 113 millones de toneladas de fibras producidas a nivel mundial en 2021, aproximadamente el 64% fueron fibras sintéticas, el 30% fibras naturales y el 6% fibras artificiales. Entre las fibras sintéticas, destaca el poliéster, con una cuota de mercado de aproximadamente el 90% del total de las fibras sintéticas, lo que representa una producción de 60 millones de toneladas anuales y una participación global del 54% (Figura 1).²

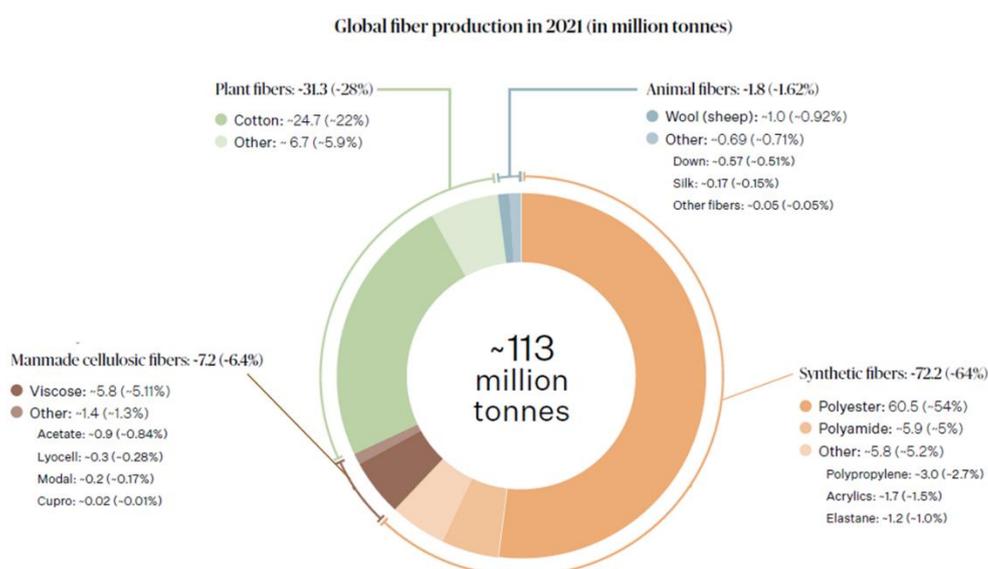


Figura 1. Producción mundial de fibras en 2021.

Como resultado, la industria mundial de textiles consumió aproximadamente 93 mil millones de m³ de agua, lo que representa más del 20% de la contaminación global de agua. Además, fue responsable de la generación de 92 millones de toneladas de residuos, lo que supone entre el 3 y el 10% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.³

Como consecuencia, el impacto ambiental asociado al sector textil se ha convertido en uno de los temas más preocupantes de la actualidad. El creciente consumo de bienes textiles por parte de la población, unido al modelo de consumo actual, conlleva la generación de grandes cantidades de residuos, donde solo en España se estima que el residuo anual de ropa asciende a 1.000.000 toneladas.⁴ Por ello, si no se aplican cambios

¹ Plastics Europe. Plastics - the Facts 2021. An analysis of European plastics production, demand, and waste data.

² https://textileexchange.org/app/uploads/2022/10/Textile-Exchange_PFMR_2022.pdf

³ Mc Kinsey & Company. 2022. Scaling textile recycling in Europe—turning waste into value.

⁴ Cáritas-ModaRe. 2019. Análisis de recogida de la ropa usada en España.

en el modelo industrial actual, las estimaciones indican que estas cifras aumentarán al menos en un 50% para 2030.

Actualmente, **con las tecnologías disponibles** en Europa, menos de la mitad de la ropa usada se recolecta para su reutilización o reciclaje cuando ya no se necesita, y **solo el 1% se recicla en ropa nueva**. En los últimos años, con el objetivo de dar respuesta al problema de la mala reciclabilidad de los polímeros de origen fósil, están emergiendo diferentes **tecnologías basadas en el reciclaje químico**, ya que los métodos tradicionales, como el primario (reuso-reutilización), el secundario (mecánico/termo-mecánico) y el cuaternario (recuperación de energía) no han proporcionado resultados satisfactorios.

A) Reciclado químico de residuos textiles de poliéster:

La fibra que lidera el mercado del textil es el tereftalato de polietileno (PET), alcanzando un 52% de la producción global. En las últimas décadas, el poliéster se ha convertido en la fibra más empleada gracias a su ligereza, bajo coste y altas prestaciones mecánicas. En la actualidad, la tecnología de reciclado de poliéster más extendida es el reciclaje termo-mecánico, dada su sencillez y bajo coste. El reciclado termo-mecánico consiste en un proceso físico en que los residuos textiles se clasifican, se lavan y se reprocessan mediante un proceso de extrusión (fusión). Las desventajas de este método residen, principalmente, en la heterogeneidad de los residuos sólidos y el deterioro de las propiedades del producto en cada ciclo de extrusión. Es por ello que, la mayoría de las prendas que se reciclan mecánicamente pierden el 75% de su valor, por lo que no suelen emplearse para fabricar nuevos productos textiles, sino que se transforman en materiales con menores requisitos técnicos, tales como piezas de inyección o materiales de relleno.⁵ De hecho, la producción de fibra reciclada de poliéster, procedente principalmente de residuos de botella, se sitúa actualmente en los 8.4 millones de toneladas, lo que supone una cuota de mercado del 14.8% respecto a la producción global.² Por lo que, dadas las limitaciones que presentan las tecnologías convencionales de reciclado de poliéster, el reciclado químico se presenta como tecnología emergente y competitiva (Figura 2a).

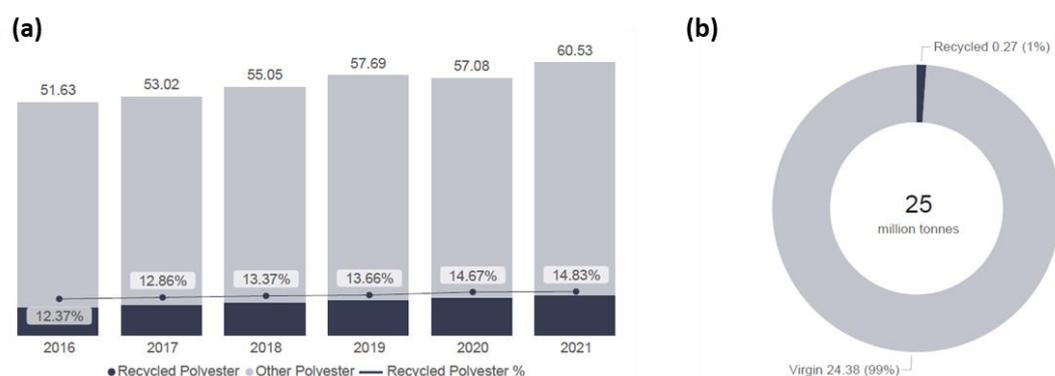


Figura 2. Producción (Mt) y cuota (%) de fibra reciclada frente a la producción global: (a) poliéster y (b) algodón.

B) Reciclado químico de residuos textiles de algodón:

Tal como se ha comentado en la sección anterior, las fibras de poliéster representan el mayor volumen de producción de la industria textil. Por su parte, el algodón, una fibra celulósica natural, le sigue con 25 millones de toneladas producidas por año, lo que supone una cuota de mercado del 22% y un uso del 2.4% de la tierra cultivable del mundo. El impacto ambiental asociado a la producción de algodón está relacionado con el uso generalizado de agroquímicos. Los fertilizantes, insecticidas, herbicidas, reguladores del crecimiento y defoliantes se han convertido en una parte integral de las prácticas de producción de algodón, consumiendo el 11% de los agroquímicos del mundo. Además, la producción de algodón supone aproximadamente el 24% del consumo mundial de plaguicidas, lo cual lleva asociado un importante impacto medioambiental. Por otra parte, el consumo de agua es otro tema de gran preocupación. En términos generales, para el cultivo y procesamiento de un kilo de algodón, se requieren casi 10,000 litros de agua, además de ciertas cantidades

⁵ S. Park, et al., Poly (Ethylene Terephthalate) Recycling for High Value Added Textiles. *Fash. Text.*, 2014, 1.



adicionales para el proceso de tintura, las cuales varían entre 30 y 200 litros de agua por kilogramo de algodón.⁶

Por su parte, el reciclado mecánico de algodón se trata de la tecnología más empleada para las fibras naturales. Este proceso comienza con el lavado, trinchado y cardado de los residuos textiles. Como resultado, la longitud de las fibras se ve reducida, lo que disminuye su calidad debido a una reducción en su resistencia y suavidad. Por este motivo, únicamente se reciclan residuos pre-consumo, ya que en los residuos post-consumo, las fibras se encuentran muy deterioradas, lo que impide obtener nuevas fibras de alta calidad. Por tanto, para mantener cierta resistencia a la tracción del hilo, es necesario mezclar las fibras recicladas con fibras sintéticas o algodón virgen. De hecho, si se quiere mantener la calidad final de los tejidos, el proceso solo permite incluir, como máximo, un 20-30% de fibras recicladas. Como resultado, la cuota de algodón reciclado es inferior al 0.5% respecto a la producción global (Figura 2b).

Como alternativa a las fibras de algodón, existen fibras sintéticas de origen natural (MMCF, Man-Made Cellulosic Fibres) obtenidas a partir de la celulosa de la pulpa de papel, como son la viscosa y el lyocell, quienes ocupan una cuota de mercado de aproximadamente el 7%. Los procesos de obtención de la viscosa y el lyocell son las dos únicas tecnologías que han sido industrialmente desarrolladas para la producción de MMCF, pero sus procesos presentan importantes inconvenientes medioambientales que han limitado su crecimiento dentro del sector en la última década. Por tanto, existe la necesidad de crear nuevas tecnologías sostenibles y respetuosas con el medioambiente que permitan la obtención y reciclado de fibras de origen natural.

⁶ Stockholm Environment Institute report. Ecological Footprint and Water Analysis of Cotton, Hemp, and Polyester. Stockholm, Sweden, 2005.



3. Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto CHEMUP II es la validación e implementación del reciclado químico de residuos textiles a escala piloto. Concretamente, el Proyecto se centra en los siguientes objetivos específicos técnicos:

- Estudio y optimización del reciclado químico de residuos textiles de poliéster.
- Estudio y optimización del reciclado químico de residuos textiles de algodón.
- Obtención de fibras a partir de poliéster reciclado químicamente.
- Obtención de fibras a partir de algodón reciclado químicamente.

Además, presenta los siguientes objetivos de transferencia de conocimiento:

- Identificación del mercado a nivel mundial, europeo, nacional y regional.
- Identificación de las empresas involucradas en la cadena de valor.
- Elaboración de propuestas europeas y nacionales relacionadas con esta línea estratégica.



4. Plan de trabajo

CHEMUP II	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PT-0: GESTIÓN Y SEGUIMIENTO												
PT-1: PLANTEAMIENTO Y PLANIFICACIÓN												
A-1.1 Preparación de la propuesta técnico-económica												
A-1.2 Definición de los recursos necesarios												
A-1.3 Definición del plan de comunicación												
A-1.4 Definición de los prototipos a realizar												
A-1.5 Definición de los niveles de partida y objetivos												
PT-2: EJECUCIÓN TÉCNICA												
A-2.1 Estado del arte												
A-2.2 Experimental												
T-2.1.1 Triturado												
T-2.1.2 Compounding												
T-2.1.3 Depolimerización												
T-2.1.4 Polimerización												
T-2.1.5 Hilatura												
T-2.1.6 Texturizado												
T-2.1.7 Tejeduría												
A-2.3 Caracterización												
A-2.4 Análisis y reingeniería												
A-2.5 Coordinación técnica y validación												
PT-3: VIABILIDAD INDUSTRIAL Y ECONÓMICA, TRANSFERENCIA E IMPACTO (VIETI)												
A-3.1 Mercado (empresas)												
A-3.2 VIETI												
PT-4: COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS												
A-4.1 Implementación del plan de comunicación												
A-4.2 Informe ejecutivo												
PT-5: SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO												



5. Resultados obtenidos

Gracias a la ejecución del Proyecto, se han obtenido importantes avances técnicos en las líneas de investigación propuestas, facilitando progresivamente la transición hacia una economía circular y alcanzando soluciones tecnológicas que permitan reducir los problemas medioambientales derivados de la acumulación de residuos textiles.

Para ello, se ha estudiado el reciclado químico de residuos textiles post-consumo procedentes de la recogida selectiva mediante contenedores localizados en la vía pública. Tras una separación y clasificación selectiva en origen por el gestor autorizado mediante tecnología Fibersort (espectroscopía NIR), estos residuos han sido reciclados a través de procesos químicos según su composición:

A) Reciclado químico de residuos textiles de poliéster:

Entre las diferentes tecnologías de reciclado químico de poliéster, cabe destacar la purificación con disolventes, la depolimerización térmica y la depolimerización catalítica. Debido a las múltiples ventajas que presenta la depolimerización catalítica frente al resto de tecnologías, esta estrategia está siendo estudiada en mayor profundidad por la comunidad científica, encontrándose las primeras plantas industriales en países como Japón, Estados Unidos o India.⁷

Más concretamente, la depolimerización química de poliéster 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 3). 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 depolimerización disponibles, la glicólisis es la tecnología más estudiada y desarrollada debido a las numerosas ventajas que presenta: (i) simplicidad y flexibilidad, (ii) bajos costes de inversión y mantenimiento, (iii) condiciones de reacción más suaves, (iv) baja volatilidad del solvente, (v) el principal producto es el tereftalato de bis(2-hidroxietileno), BHET, un producto intermedio en la polimerización y (vi) el proceso de glicólisis puede aplicarse fácilmente a las plantas de producción de PET convencionales.⁸

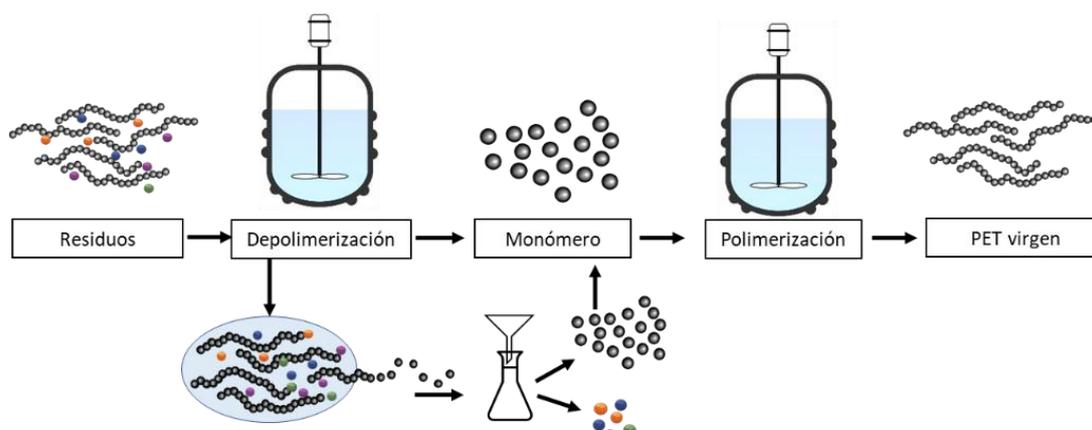


Figura 3. Representación esquemática del proceso de depolimerización catalítica.

⁷ Simon, J.M., and Martin, S. (2019) El Dorado of Chemical Recycling - State of play and policy challenges.

⁸ A. Sangalang et al., Practical design of green catalysts for recycling and energy conversion, Material Recycling - Trends and Perspectives. Advanced Catalytic Materials. 2016.

Por tanto, en la ejecución del proyecto CHEMUP II, se ha llevado a cabo el reciclado químico de residuos textiles de poliéster a escala piloto mediante un proceso de depolimerización catalítica. Para ello, los residuos previamente clasificados en origen por el gestor autorizado mediante tecnología Fibersort, según su composición y color, han sido triturados, granceados y caracterizados para determinar sus propiedades físico-químicas. Una vez analizados y caracterizados, los residuos han sido depolimerizados mediante un proceso de glicólisis, es decir, empleando etilenglicol como disolvente. En esta primera etapa, la depolimerización del poliéster se ha realizado en un reactor *batch* de 20 L, lo que ha permitido la obtención, aislamiento y purificación del monómero (BHET) con rendimientos cercanos al 90% y una pureza superior al 99.5%. Posteriormente, en una segunda etapa, se ha llevado a cabo el proceso de polimerización de BHET, obteniendo como producto un poliéster de viscosidad adecuada para la producción de fibras (IV = 0.62-0.65 g/dl) con un rendimiento superior al 98% (Figura 4).



Figura 4. Reciclado químico de residuos textiles de poliéster a escala piloto.

B) Reciclado químico de residuos textiles de algodón:

El reciclaje químico del algodón es una tecnología que todavía se encuentra en sus inicios, necesitando más I+D para que pueda ser implementado a escala comercial. Concretamente, el reciclado químico de algodón puede considerarse como un proceso de disolución de las fibras y posterior regeneración, por ejemplo, mediante su hilatura en fibras vírgenes. En esta línea, los líquidos iónicos (IL) han demostrado ser disolventes eficientes para los materiales de base celulósica, pudiéndose utilizar para el reprocesamiento químico de algodón. Estudios recientes sobre la aplicación de IL como solventes de las fibras celulósicas, mostraron importantes beneficios durante el proceso, tales como su baja presión de vapor, las altas propiedades mecánicas de las fibras obtenidas y su posible ejecución en un solo paso. Este proceso es conocido como Ioncell-F. Esta nueva estrategia ha permitido el reciclado de fibras de algodón empleando un proceso de hilatura húmedo (dry jet wet spinning) y un baño de coagulación de agua fría. Así, los resultados confirmaron la obtención de fibras naturales recicladas químicamente con propiedades mecánicas muy superiores a las fibras comerciales de viscosa y lyocell.^{9,10,11}

⁹ S. Asaadi, M. Hummel, S. Hellsten, T. Härkäsalmi, Y. Ma, A. Michud, H. Sixta, ChemSusChem. 2016. 9, 3250.

¹⁰ A. Michud, M. Tantt, S. Asaadi, Y. Ma, E. Netti, P. Kääriäinen, A. Persson, A. Berntsson, M. Hummel, H. Sixta, Text. Res. J. 2016, 86, 543.

¹¹ Harlin, A. (2019). Cellulose carbamate: production and applications. VTT Technical Research Centre of Finland.

Por este motivo, durante la ejecución del Proyecto, se ha estudiado el reciclado químico de residuos textiles de algodón a escala laboratorio mediante el proceso Ioncell-F. Para ello, los residuos clasificados por composición y color mediante tecnología Fibersort, han sido triturados y disueltos en líquidos iónicos para su posterior hilatura mediante dry jet wet spinning (Figura 5). Así, se ha validado dicha tecnología a escala laboratorio, obteniendo fibras de algodón recicladas químicamente con propiedades mecánicas cercanas a las publicadas en la bibliografía.¹¹



Figura 5. Reciclado químico de residuos textiles de algodón a escala laboratorio (Ioncell-F).



6. Impacto empresarial

La ejecución del Proyecto ha permitido la implementación de actividades y tareas asociadas a la transferencia de conocimiento, así como el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos. Más concretamente, gracias al conocimiento generado durante la ejecución del Proyecto, se ha llevado a cabo con éxito la elaboración de propuestas europeas y nacionales, tales como:

1. REDOL - “Aragon's REgional Hub for circularity: Demonstration Of Local industrial-urban symbiosis initiatives”

Programme: Horizon Europe

Call: CLIMATE NEUTRAL, CIRCULAR AND DIGITISED PRODUCTION 2022 (HORIZON-CL4-2022-TWIN-TRANSITION-01)

Proposal number: 101091668

Periodo de ejecución: 2023-2026

2. NEORECYCLING - Investigación y desarrollo de productos y tecnologías de bajo impacto medioambiental con aplicación en el proceso de fabricación de bienes de consumo.

Programa: Programa estratégico de consorcios de investigación empresarial nacional (CIEN)

Expediente: 00145381 / CIEN-20220001

Periodo de ejecución: 2022-2025