

Modelos de negocio de economía circular para la industria textil y de la confección





Escriba aquí lo que piensa:

Cuando hablamos de “**diseñar para la circularidad**” en la industria textil y de la confección, ¿qué significa para usted? ¿Qué tipo de actividades le vienen a la mente?



Vea el video y tome notas.

Elección de materiales sostenibles, diseño para la reciclabilidad y estrategias para la prolongación de la vida útil de las prendas

En este video, hablaremos sobre enfoques de diseño circular para mejorar la reciclabilidad y la durabilidad de sus textiles y prendas de vestir.

Al comprender mejor qué puede hacer para asegurarse de que sus productos duren mucho tiempo y puedan reciclarse de manera eficaz al final de su vida útil, podrá tomar decisiones de diseño más acertadas y elegir materiales más sostenibles.

Los temas que abordaremos incluyen:

1. ¿Cómo elegir materiales sostenibles?
2. ¿Cómo diseñar para la reciclabilidad?
3. Aplicación de estrategias de diseño circular para prolongar la vida útil de las prendas

¡Comencemos!

1. Elección de fibras y materiales sostenibles

Existen numerosas herramientas que puede utilizar para decidir qué fibras y materiales emplear. Algunas son propietarias, mientras que otras están disponibles públicamente de forma gratuita.

Entre las herramientas de libre acceso, la **Matriz de Fibras y Materiales Preferidos (Preferred Fibre & Material Matrix – PFMM) de Textile Exchange** ofrece una evaluación integral respaldada por una metodología sólida y transparente. Puede utilizarse para tomar decisiones sobre materiales y abastecimiento sostenibles, evaluando los compromisos entre distintas certificaciones de sostenibilidad, iniciativas y materiales de marca.

Puede acceder a la herramienta PFMM aquí: <https://textileexchange.org/pfmm/>

Demos un breve vistazo a cómo funciona.



Cómo utilizar la herramienta PFMM

La herramienta PFMM permite realizar evaluaciones en 5 categorías de fibras o materias primas: algodón, fibras sintéticas, fibras celulósicas artificiales (MMCF), lino y lana. Cada una de estas categorías se subdivide en un total de **60 categorías de materias primas preferidas**, algunas asociadas a normas de sostenibilidad y otras no.

Cada una de estas categorías de materias primas se evalúa en **8 áreas de impacto principales**: clima, agua, química, uso del suelo, biodiversidad, uso de recursos y residuos, derechos humanos y solidez

de la iniciativa, utilizando un total de **80 indicadores**. PFMM evalúa 68 categorías en estas 8 áreas de impacto para generar una puntuación global para cada una.

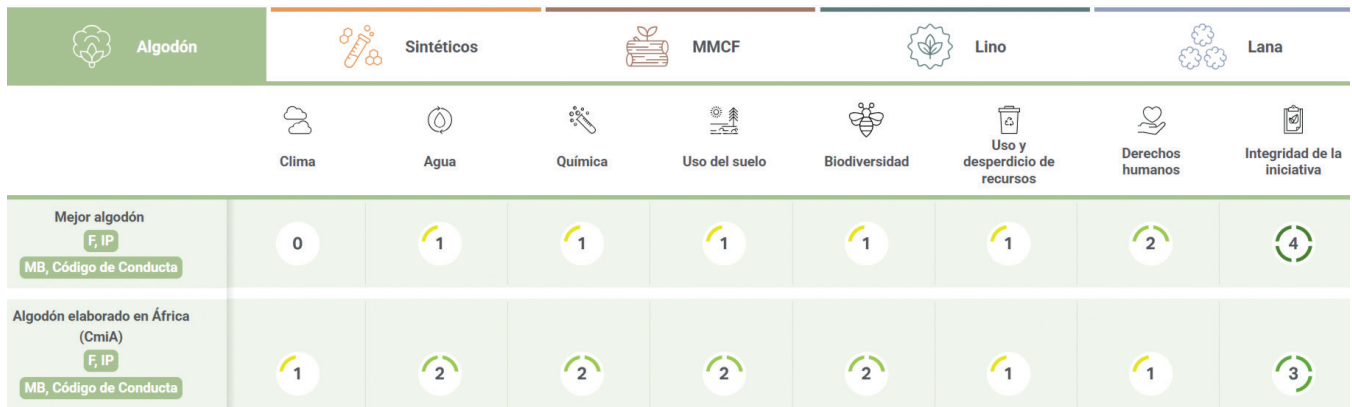


Figura 1.1. Vista de la herramienta PFMM. (Fuente: Textile Exchange)

Las puntuaciones de la herramienta PFMM

La PFMM utiliza una escala de **0 a 4**, donde el nivel 0 suele representar sistemas de producción “convencionales” y el nivel 4 representa un desempeño “transformacional”. Las puntuaciones de las áreas de impacto se determinan mediante una ponderación del **50% para los 6 indicadores cuantitativos y 50% para los 74 indicadores cualitativos**, cuando corresponda.

Para visualizar una puntuación, seleccione un material de su elección, por ejemplo “algodón”. Luego seleccione un área de impacto, como “clima”. Esto mostrará la puntuación de cada una de las categorías de materias primas preferidas en términos porcentuales para cada indicador, una breve descripción de su desempeño y la puntuación general (“roll-up”) del área de impacto.

Cambiar los materiales que está utilizando para avanzar hacia la circularidad

Bien, ya ha utilizado la herramienta PFMM para analizar diferentes categorías de materias primas y ha elegido una en función de sus criterios de circularidad. Aun así, deberá implementar un cambio dentro de su empresa para pasar de los materiales que utiliza actualmente a su nuevo material.

En este punto, resulta útil ver cómo lo están haciendo otros y cómo las principales marcas internacionales gestionan su propia transición hacia materiales más “preferidos” para la circularidad. Para ello, recomendamos utilizar el **Material Change Index (MCI)** de Textile Exchange, disponible aquí: <https://textileexchange.org/material-change-index/>.



Se trata de una herramienta integral y gratuita que ofrece información sobre los avances del sector textil hacia el abastecimiento de materiales más sostenibles, mediante el seguimiento y la evaluación de marcas líderes.



Figura 1.2. Vista de la herramienta Material Change Index (MCI). (Fuente: Textile Exchange)

Cómo utilizar el Material Change Index

El **Material Change Index (MCI)** ofrece “bandas” de puntuación basadas en el desempeño en torno a cuatro elementos:

- **Integración empresarial**, que refleja la estrategia de abastecimiento de materias primas de la marca y cómo esta se integra en su actividad central.
- **Economía circular**, que muestra los avances de la marca hacia la circularidad.
- **Áreas de impacto**, que reflejan la prioridad que la marca otorga al clima en la gestión y el abastecimiento de sus materias primas.
- **Cartera de materiales**, que se refiere a la variedad de materias primas que una marca adquiere y utiliza en sus productos.

El **MCI** crea una tarjeta de progreso para cada marca utilizando un sistema de ponderación, donde a los cuatro aspectos se les asignan los siguientes pesos: **20 %, 10 %, 10 % y 60 %**, respectivamente. Esta tarjeta de progreso evalúa a la marca tanto a nivel agregado como en cada uno de los cuatro aspectos, utilizando una escala del 1 al 4. En el caso del aspecto **Cartera de materiales**, la escala también puede ofrecer puntuaciones para cada una de las **14 materias primas**, si los datos están disponibles. La escala de puntuación se define de la siguiente manera:

- **Escala 1 (Puntuación 1–25): En desarrollo**
Las empresas se encuentran en las primeras etapas de creación de la base para sus programas de sostenibilidad.
- **Escala 2 (Puntuación 26–50): En consolidación**
Las empresas están reforzando su rendición de cuentas y fortaleciendo sus programas.
- **Escala 3 (Puntuación 51–75): En expansión**
Las empresas están integrando los programas de materiales sostenibles en sus operaciones principales.
- **Escala 4 (Puntuación 76–100): Líderes**
Las empresas están impulsando un cambio transformador y estableciendo referentes para el sector.

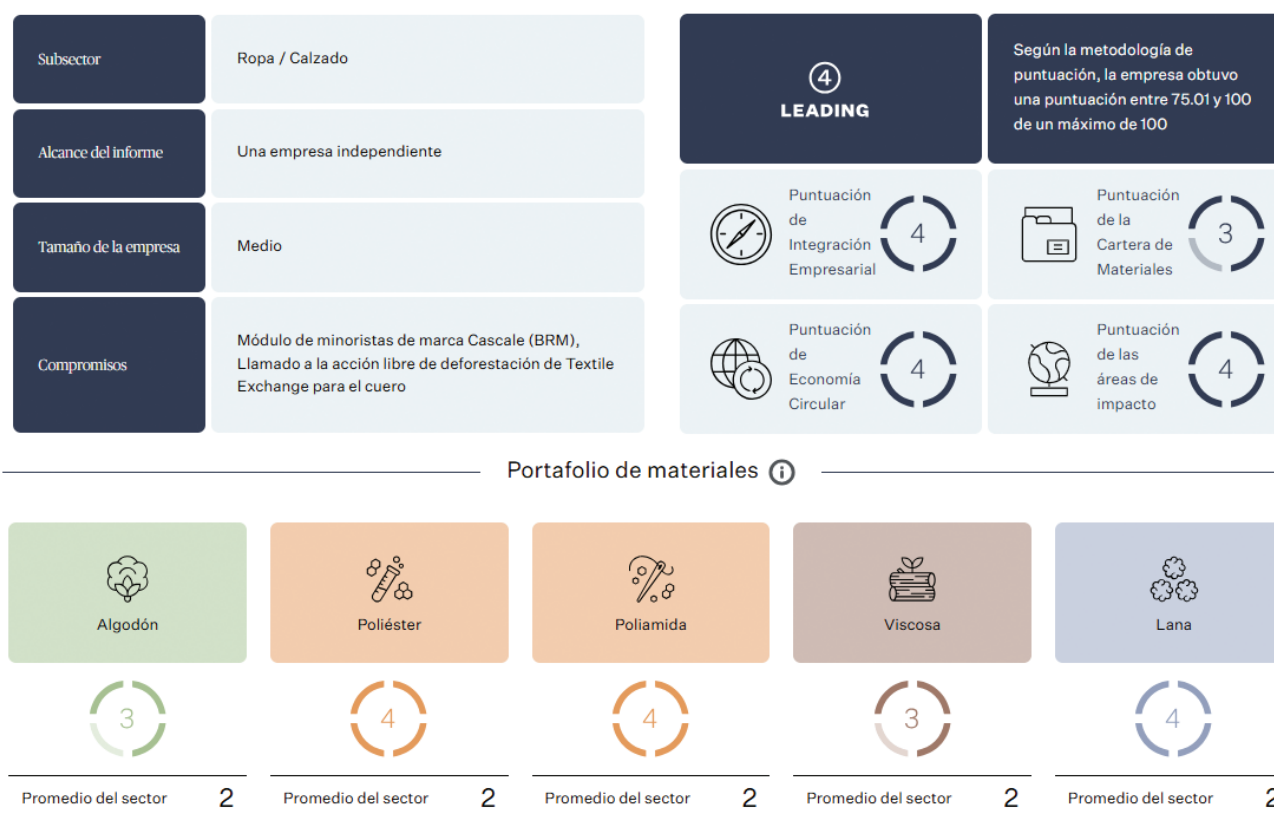


Figura 1.3. "Bandas" de puntuación basadas en desempeño usando la herramienta MCI. (Fuente: Textile Exchange)

2. Condiciones y principios para diseñar para la reciclabilidad

Para que el reciclaje de prendas y textiles sea viable, deben coincidir varios factores. Entre ellos se incluyen:

- Volúmenes brutos suficientes de fracciones clasificadas para su reciclaje;
- Un alto rendimiento del contenido de fibra objetivo para el proceso de reciclaje previsto;
- Bajos costos de clasificación y procesamiento de las fracciones.

Notará que ninguno de estos factores está relacionado directamente con el diseño. Sin embargo, la adopción de principios de diseño condicional puede influir significativamente en ellos. Por ejemplo, el uso de tecnologías de separación y la incorporación de la **mono-materialidad y la modularidad** en sus diseños pueden contribuir en gran medida a optimizar el potencial de reciclaje de sus productos.

Quizás recuerde que ya aprendió estos conceptos en el **Módulo 3 de la parte en línea de este taller**.

Sistema de Clasificación de “Diseño para la Reciclabilidad”

El Sistema de **Clasificación de “Diseño para la Reciclabilidad”** se utiliza para aumentar la eficiencia del procesamiento de materiales durante el reciclaje. Las diferentes clasificaciones posibles dentro de este sistema son:

MEJOR – A1: Mono-materialidad

- Todos los componentes del material, incluidos adornos, hilos de coser y etiquetas, están hechos del mismo material básico (por ejemplo, algodón o poliéster).
- Esta es la situación ideal para la reciclabilidad.

A2: Semimodular con separación automática

- Hay componentes no monomateriales, pero pueden separarse automáticamente durante el proceso de reciclaje (por ejemplo, cremalleras o botones metálicos que se eliminan después del corte pero antes del triturado).

B: Semimodular con separación manual

- Los componentes no monomateriales requieren una separación manual (por ejemplo, etiquetas, bolsillos y botones que deben cortarse o desprenderse).

PEOR – C: Composición no monomaterial

- Materiales que no son fácilmente separables ni reciclables (por ejemplo, mezclas poliéster-celulosa o materiales tratados con productos químicos, tintes o pinturas que son difíciles de separar de forma rentable).

Como puede ver en la pantalla, el Sistema de Clasificación permite crear esquemas de identificación sistemática. A su vez, estos hacen posible:

- desarrollar **listas de materiales (BOM)** para el diseño circular de productos; y
- realizar una **clasificación automática o semiautomática** en la etapa de fin de vida del producto.

Listas de materiales (BOM) orientadas a la reciclabilidad

Veamos rápidamente cómo funciona una lista de materiales analizando el caso de la empresa **Houdini Sportswear**. Quizás recuerde que ya revisamos su **C9 Jacket with Padded Midlayer** durante la parte en línea de este taller.

La chaqueta está construida completamente en poliéster, incorporando una mezcla de materiales **Teijin Eco Circle** (poliéster reciclado) y poliéster virgen. Para mejorar su reciclabilidad, los hilos de coser y los tejidos del forro también están hechos de poliéster, lo que garantiza que todos los componentes sean compatibles para el reciclaje. Además, el tejido aislante cuenta con certificación **Bluesign®**, lo que indica el cumplimiento de altos estándares ambientales y de seguridad en su producción.

Aquí vemos la lista de materiales (BOM) simplificada de esta prenda, que incluye la información de “diseño para el reciclaje”. Como podemos observar, la prenda alcanza la clasificación más alta, “**A1**”, gracias a su mono-materialidad. La mayoría de sus componentes, como la tela, los hilos y el forro, están fabricados en poliéster.



Figura 1.4. Houdini C9 Houdi. (Fuente: Freeride)

Esto es excelente: ¡A1 es la clasificación más alta posible en el sistema! Sin embargo, todavía podría mejorarse. En un escenario ideal, por ejemplo, la chaqueta también podría incluir cremalleras hechas de poliéster para mantener la mono-materialidad completa. Otra consideración importante es que los materiales sintéticos, como el poliéster, pueden liberar microplásticos, que representan un riesgo para la vida marina.

En este caso, la transición de la BOM hacia una mayor reciclabilidad no implicaría ningún coste adicional, lo que la convierte en una opción de diseño práctica y sostenible.

Veamos ahora otro producto: la chaqueta de lana “**Houdini Wooler Hoody**”.

Ítem	Información	Costo		Precio	Clasificación (con las tecnologías de reciclaje actuales)	Clasificación más alta posible
		Material	Mano de obra			
Tejido aislante	Aislamiento Polartec® Alpha, 100% poliéster, certificado Bluesign®. Peso: 100 g/m2	80 SEK /m2	47 min, 94 SEK Costo total de producción aprox. 400 SEK	2000 SEK	A1	A1
Tejido exterior	Teijin C9 ripstop, 100% poliéster reciclado. Diffusion stretch 100% reciclado 65 g/m2	40 SEK /m2				
Hilo de coser	Poliéster	50 SEK/kg				
Tejido de forro	Poliéster	30 SEK/ m2				
Cremallera	Metal co	100 SEK				

Figura 1.5. Lista de materiales (BOM) simplificada para C9 Houdi. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

Esta prenda está hecha de lana y cuenta con forros de bolsillo de poliéster. Presenta propiedades circulares altas.



Figura 1.6. Chaqueta de lana Houdini Wooler Hoody. (Fuente: CarlOfCarl)

Aquí podemos ver una representación simplificada de la BOM de esta prenda. Como puede observar, alcanza una clasificación **A2**. Un aspecto importante a considerar en la elección de materiales es que, aunque el tejido de lana de la chaqueta tiene una **alta biodegradabilidad**, procesos como el **teñido y el acabado** probablemente limiten estos efectos positivos.

Dicho esto, existen maneras de mejorar la clasificación de la prenda. Una de ellas sería utilizar tecnologías innovadoras como **Resortecs®**, lo que podría permitir que la prenda mejore su clasificación hasta **A1**. ¡Por supuesto, esto tiene implicaciones de coste!

Ítem	Información	Costo		Precio	Clasificación (con las tecnologías de reciclaje actuales)	Clasificación más alta posible
		Material	Mano de obra			
Tejido aislante	100% lana merino libre de mulesing, Woller GridMerino 17,5 micrones, biodegradable	200 SEK /kg	27 min, 60 SEK. Total Production cost ca 400 SEK	2000 SEK	B	A2
Tejido de forro	Poliéster	30 SEK/kg				
Hilo de coser	Poliéster	50 SEK/kg				
Cremallera	Poliéster y acero	100 SEK				

Figura 1.7. Lista de materiales (BOM) simplificada para Wooler Hoody. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

Información necesaria para garantizar el “Diseño para la Reciclabilidad” en su propia BOM

Como hemos visto, las BOM pueden utilizarse para evaluar el nivel de “Diseño para la Reciclabilidad” de las prendas. Sin embargo, para hacerlo de manera eficaz, usted necesitará:

- Asegurarse de contar con **composiciones precisas de fibras y componentes**, para ayudar a los recicladores a cumplir con las especificaciones de materia prima.
- Proporcionar **pesos exactos del producto y de sus componentes**, lo que permite calcular

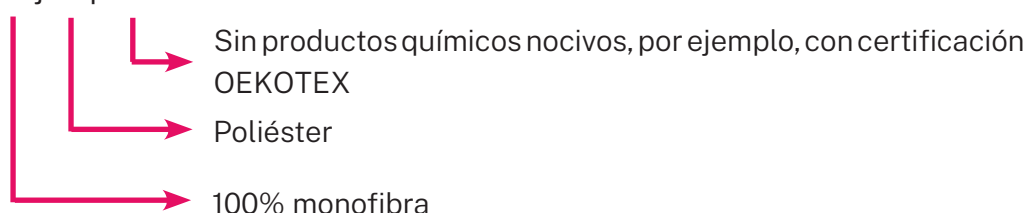
porcentajes de fibra con precisión.

- Elaborar **etiquetas de cuidado (“care labels”) precisas**, que aseguren que el contenido de fibra es correcto y que todos los materiales y componentes están listados adecuadamente.

Implicaciones para los esquemas de clasificación automática

La trazabilidad es esencial para garantizar el diseño para la reciclabilidad, ya que permite tener visibilidad de todo el ciclo de vida del producto. Una herramienta clave para lograrlo es el **Pasaporte Digital de Producto (Digital Product Passport, DPP)**, que desempeña un papel fundamental en el seguimiento de los productos desde su creación hasta su disposición final.

Por ejemplo A1a



Con esto en mente, el sistema de **“Diseño para la Reciclabilidad”** que acabamos de ver puede utilizarse como parte de un DPP u otro identificador del producto para mejorar tanto la trazabilidad como la reciclabilidad.

Como puede ver en la pantalla, el mismo DPP o identificador del producto también puede utilizarse para la clasificación.

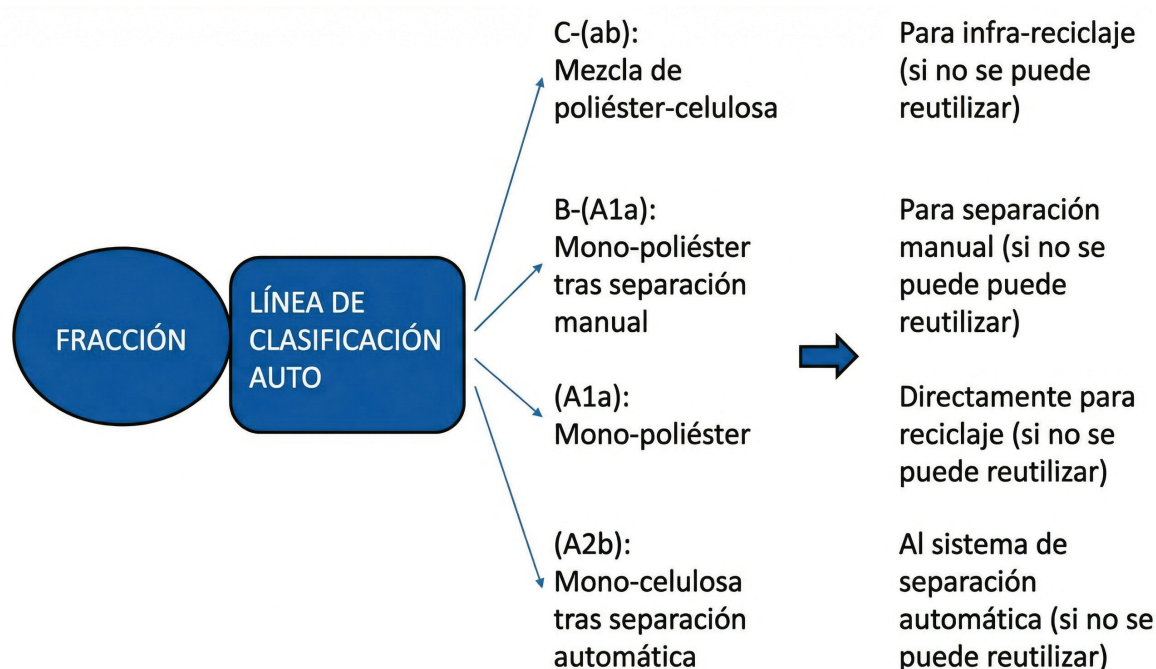


Figura 1.8. Esquema de clasificación automática. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

3 Diseño para la longevidad

Ahora, veamos algunos principios de diseño para la longevidad.

El diseño para la longevidad se centra en crear prendas que mantengan su atractivo estético con el tiempo y que trasciendan las tendencias de temporada. Las estrategias de diseño circular orientadas a la longevidad buscan mejorar la durabilidad física y emocional, promover el cuidado y la reparación, e incorporar características como multifuncionalidad, modularidad, ajustabilidad y atemporalidad. Estas estrategias no son exhaustivas, pero representan enfoques clave para diseñar prendas de larga duración.

Las dos estrategias más destacadas para diseñar con longevidad son:

1. **Diseño modular:** En esta estrategia, las prendas se diseñan para ser desmontables o modulares, lo que facilita que sean biodegradables o desechables. Para quien las viste, esto reduce la necesidad de lavados frecuentes y ofrece a los diseñadores la flexibilidad de transformar las propiedades de la prenda a lo largo de su ciclo de vida.
2. **Diseño incremental:** En este enfoque, las prendas se diseñan para evolucionar con el tiempo, volviéndose más atractivas o funcionales a medida que envejecen. Esta estrategia crea valor al permitir que las prendas cambien y se adapten de forma intencionada durante su uso.

Lista de materiales (BOM) para la longevidad

Para comprender cómo las estrategias de diseño orientadas a la longevidad influyen en la elección de materiales, veamos algunos ejemplos prácticos.

La imagen que ve en su pantalla muestra una colección cápsula de Lindex, diseñada por Anna Lidström, que ejemplifica el diseño modular. Esta colección incluye 18 pañuelos que pueden combinarse para crear cinco tipos diferentes de prendas. Toda la colección está hecha de mono-material (100% poliéster, incluido el pespunte), lo que garantiza su reciclabilidad a nivel de fibra. El enfoque modular también ofrece flexibilidad en el diseño, el ajuste y la construcción, favoreciendo tanto la longevidad como la sostenibilidad.

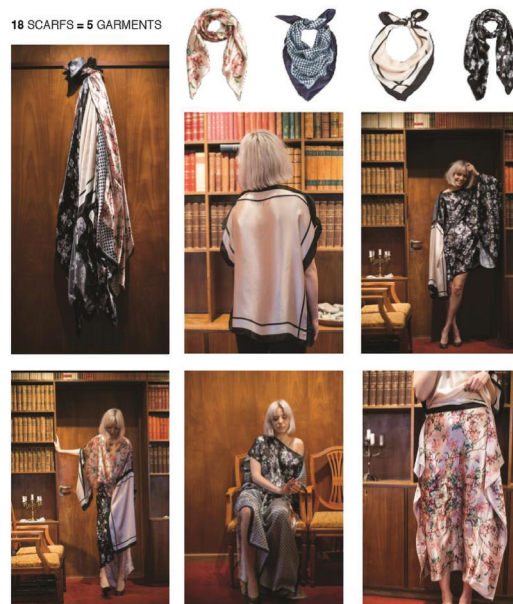


Figura 1.9. Colección cápsula de Lindex: enfoque de diseño modular. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

Los pantalones Klättermusen Mithril son otro ejemplo de un enfoque de diseño modular orientado a mejorar tanto la longevidad como la funcionalidad. Estos pantalones cuentan con bolsillos y presillas para equipo que pueden **acoplarse y desacoplarse**, lo que permite a los usuarios personalizarlos según sus necesidades específicas.

La prenda está confeccionada con una mezcla de **poliéster, poliamida y fibras de aramida**, lo que limita significativamente sus propiedades circulares debido a la dificultad de reciclar productos de materiales mixtos. Sin embargo, la **característica destacada** de este pantalón es su **modularidad**. El diseño permite al usuario adaptar su funcionalidad añadiendo o retirando bolsillos, lo que facilita incorporar o eliminar características según lo necesite.



Figura 1.10. Pantalones Klättermusen Mithril: enfoque de diseño modular. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

En la pantalla podemos ver una **lista de materiales (BOM) simplificada** de esta prenda, que muestra su excelente diseño orientado a la longevidad. Dicho esto, solo alcanza la **clasificación más baja, “C”**, según el Sistema de Clasificación de “Diseño para la Reciclabilidad”. Esto se debe a su composición de materiales mixtos y a sus propiedades circulares limitadas, que dificultan su reciclaje.

A pesar de no obtener una puntuación alta en diseño para la reciclabilidad, la prenda destaca por su diseño orientado a la longevidad, gracias a su construcción modular y funcional. Aunque la reciclabilidad no sea su punto fuerte, su modularidad contribuye a la sostenibilidad al **prolongar la vida útil del producto** y reducir la necesidad de reemplazos frecuentes.

Artículo	Información	Costo		Etiqueta de precio	Clasificación (Con tecnologías de reciclaje actuales)	Clasificación más alta posible
		Material	Mano de obra			
Tejido exterior	Windstretch 180g/m2-70% Poliamida, 20% Poliéster, 10% Elastano Aprobado por Bluesign, Refuerzo 100% Kevlar, Área de limpieza de zapatos, 100% Poliéster	80 kr/m2	90 min costo 180 SEK. Costo total de producción 460 SEK	2300 SEK	C	C, ya que este es un ejemplo de modularidad, la ambición no es tener una clasificación tan alta como sea posible, sino mostrar la modularidad.
Hilo de coser	Poliéster	50 SEK/kg				
Cremallera	Poliéster y Metal	30 SEK/kg				

Figura 1.11. Lista de materiales (BOM) simplificada para los pantalones Mithril de Klättermusen. (Fuente: Feasibility of Conditional Design)

CONCLUSION

En este video, exploramos el diseño circular y la elección de materiales sostenibles durante la fase de diseño y desarrollo textil. Destacamos cómo las empresas pueden abordar los factores que influyen en la selección de fibras y materiales preferidos para promover la circularidad.

Nos centramos en dos principios clave:

1. Diseño para la reciclabilidad
2. Diseño para la longevidad

A través de estudios de caso, mostramos cómo estos principios afectan los criterios de abastecimiento, como la lista de materiales (BOM) y los procesos de clasificación, y presentamos un plan de cambio para apoyar su implementación.



Verificación de conocimientos

Responda las siguientes preguntas en los espacios proporcionados a continuación.

1) ¿Qué tipo de datos deben analizarse al evaluar la sostenibilidad de las fibras y/o materias primas?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) Clasifique las siguientes opciones de 1 (mejor) a 3 (peor) **según su idoneidad para el diseño orientado a la reciclabilidad**:

- **A.** La prenda está hecha de tejido, adornos e hilos 100 % poliéster, pero los botones y accesorios no son de poliéster y deben retirarse manualmente antes del reciclaje.
- **B.** La prenda es una mezcla de poliéster, algodón y elastane.
- **C.** La prenda está compuesta completamente de poliéster, incluidos adornos, hilos de coser y etiquetas, con cremalleras metálicas fijadas mediante hilo soluble.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3) Explique con sus propias palabras los siguientes principios de diseño circular: modularidad, monomaterialidad, multifuncionalidad, ajustabilidad.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4) ¿Cuáles son los beneficios de utilizar índices de cambio de materiales, como el MCI de Textile Exchange, al tomar decisiones de diseño y abastecimiento circular?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5) ¿La siguiente afirmación es verdadera o falsa? ¿Por qué sí o por qué no?

Los principios de diseño para la reciclabilidad y de diseño para la durabilidad pueden entrar en conflicto entre sí.

☐ Verdadero ☐ Falso

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6) La trazabilidad es clave para garantizar el diseño para la reciclabilidad. ¿Cómo?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



¿Cuáles son las principales consideraciones prácticas que debe tener en cuenta para garantizar que el diseño circular sea realmente un beneficio y no un riesgo para su empresa?



Ejercicio – Escenario

Lea el estudio de caso sobre la transformación circular de la marca **Circ Apparel** (incluido en su cuaderno de trabajo).

Circ Apparel

Circ Apparel, una marca de ropa deportiva lanzada en 2019, se centró inicialmente en chaquetas exteriores duraderas para actividades deportivas. Sus productos, elaborados con mezclas de poliéster y poliamida, se hicieron conocidos por su rendimiento duradero. Las chaquetas de invierno incluían un forro interior de lana, con todos los adornos y accesorios cosidos con hilos de poliéster.

En 2021, Circ Apparel dio un giro hacia la circularidad al incorporar poliéster biodegradable (PLA) y poliamida reciclada en su colección de chaquetas de invierno. El PLA biodegradable, mejorado con compuestos orgánicos, mantiene el rendimiento del tejido al tiempo que permite su degradación microbiana en condiciones anaeróbicas. La poliamida reciclada se obtuvo de redes de pesca recuperadas por Econyl®.

La construcción de las prendas también se adaptó a la circularidad. Los hilos de coser de poliéster fueron reemplazados por hilo soluble Resortec® para fijar cremalleras y botones, mientras que el forro de lana y los módulos intercambiables se unieron mediante Velcro. Estas características modulares mejoraron la multifuncionalidad, permitiendo a los usuarios adaptar la chaqueta para diversas actividades deportivas.

Responda las siguientes preguntas:

1) ¿Qué principios de diseño circular aplicó Circ Apparel durante su transformación hacia la circularidad?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) ¿De qué manera concreta implementó Circ Apparel estos principios de diseño circular?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3) ¿Qué otras estrategias de diseño circular podría haber considerado Circ Apparel?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CONCLUSIÓN

Entonces, ¿qué hemos aprendido?

- El diseño circular de prendas comienza con la selección de fibras y materiales más sostenibles y con la toma de decisiones de abastecimiento bien fundamentadas.
- Las empresas deben considerar los distintos impactos ambientales y sociales a lo largo del ciclo de vida al elegir las fibras o materias primas adecuadas y al avanzar hacia la circularidad.
- Los principios clave del diseño para la reciclabilidad incluyen la monomaterialidad y la modularidad, así como la incorporación de esquemas de separación desde la fase de diseño.
- El diseño orientado a la reciclabilidad respalda la creación de listas de materiales circulares (BOM) y facilita la clasificación automática o semiautomática al final de la vida útil del producto.
- Las dos estrategias más eficaces para el diseño orientado a la durabilidad son el diseño modular y el diseño incremental.

¿Tiene alguna pregunta para el facilitador antes de finalizar esta sesión?

.....

.....

Lista de lecturas adicionales (opcional)

- RE:Textile, 2019 *Feasibility of Conditional Design*
- WRAP, 2023 *Circular Design Toolkit for Fashion and Textiles*



Fin de la SESIÓN 1

Muchas gracias por su participación.

SESIÓN



Maximizar la eficiencia de la logística inversa para textiles usados y residuos textiles

INTRODUCCIÓN

¡Bienvenidos! Los objetivos de esta sesión son:

1. Identificar los principales elementos para mapear y analizar los flujos posconsumo y posindustriales de textiles usados y residuos textiles.
2. Describir las estrategias clave y los factores críticos de éxito para una recolección y clasificación eficaces en la logística inversa.
3. Profundizar su comprensión de la clasificación para el reciclaje mediante el análisis de metodologías y herramientas analíticas pertinentes.
4. Evaluar las distintas innovaciones y nuevas tecnologías que impulsan los avances en la logística inversa.



Responda la pregunta

La cadena de valor de la gestión de residuos textiles usados implica la **recolección, clasificación y procesamiento** de textiles posconsumo y posindustriales para permitir su reutilización, reciclaje o eliminación.

Según lo que usted sabe sobre esta cadena de valor, ¿dónde identifica ineficiencias?

¿Qué se podría hacer para **mejorar la eficiencia y la sostenibilidad** de la cadena de valor de la gestión de residuos textiles usados?

Transcripción del video

En este video, analizaremos el proceso de logística inversa para la recolección y clasificación de textiles usados y residuos textiles. Examinaremos el mapeo de los flujos de textiles usados tanto en corrientes posconsumo como posindustriales, antes de pasar a los procesos de recolección y clasificación. Finalmente, exploraremos los requisitos emergentes para la clasificación en el reciclaje.

Mapeo de los flujos de textiles usados

Mapear los flujos de textiles usados es fundamental para comprender su volumen, peso, valor y destino, así como el impacto que generan tanto dentro de un país como en los países receptores. En términos de comercio internacional, el mapeo de los flujos textiles también puede ofrecer información sobre la cadena de suministro global de textiles usados y ayudar a evaluar mejor las huellas socioeconómicas y ambientales de la industria textil en su conjunto.

Los **flujos entrantes** proporcionan datos sobre la composición de los textiles recolectados en el país analizado, así como sobre las variaciones entre las diferentes fuentes de recolección.

Los **flujos salientes** ayudan a clarificar el tipo de uso final y proporcionan datos sobre la composición del material, lo cual facilita el reciclaje.

Los textiles usados suelen clasificarse en dos códigos principales de productos:

- **Código HS (Sistema Armonizado) 6309** –prendas y textiles usados; y
- **Código HS 6310** –trapos usados y restos textiles, clasificados o no clasificados.

El código **HS 6309** se asigna a textiles aptos para su reutilización, mientras que el **HS 6310** corresponde a textiles **no aptos para reutilización**, que pueden o no haber sido ya procesados o reciclados.

No existe un código específico para la exportación de residuos textiles. Como regla general, **la gran mayoría de los residuos textiles se exportan bajo el código 6310**.



Figura 2.1. Base de datos Comtrade de las Naciones Unidas. (Fuente: <https://comtradeplus.un.org/>)

Los datos sobre exportaciones e importaciones de textiles usados están disponibles en la base de datos **Comtrade de las Naciones Unidas**.

Cuando se analizan los flujos dentro de un solo país, generalmente se utilizan bases de datos nacionales.

Mapeo de los residuos textiles

El mapeo de los residuos textiles es similar, aunque no idéntico, al mapeo de los flujos de textiles usados. A diferencia de los textiles usados aptos para la reutilización, no existe una única base de datos que pueda utilizarse para mapear los residuos textiles. Por ello, los datos deben recopilarse mediante encuestas a empresas y mediante modelos de flujo que rastreen la disponibilidad, producción e importación de textiles desde las materias primas hasta las prendas terminadas.

En el caso del mapeo de residuos textiles posindustriales, a menudo se utiliza un coeficiente de desperdicio respecto al material (“waste-to-material ratio”) para calcular el volumen de fibras procesadas y la cantidad de residuos generados en cada etapa de la cadena de suministro. Por lo tanto, todo el proceso de mapeo de residuos es un ejercicio menos preciso y más descentralizado que el mapeo de los textiles usados.

Pasos clave para el mapeo de residuos textiles

Paso 1: Calcular la **balanza comercial** para estimar el volumen físico de importaciones y exportaciones de textiles en el país. Esto ofrece una visión general de los residuos generados en cada etapa de la cadena de valor.

Paso 2: Clasificar los residuos textiles por **etapa del proceso, tipo de fibra y color**. Si es necesario, mapear la **distribución geográfica** de los residuos para identificar concentraciones. Esto ayuda a determinar qué regiones producen tipos específicos de residuos, lo cual facilita la planificación y la logística.

Paso 3: Utilizar los datos de mapeo de residuos para desarrollar **escenarios empresariales** para la cadena de valor del reciclaje textil. Analizar tendencias como las capacidades necesarias de **clasificación, triturado y reciclaje**, o los volúmenes de producción de fibras recicladas. Estimar la distribución geográfica de la capacidad productiva, las tasas actuales de clasificación/reciclaje y la capacidad de las líneas de procesamiento.

Paso 4: Realizar un **análisis FODA (SWOT)** y realizar comparaciones con otros países. Efectuar análisis financieros para determinar las inversiones necesarias (**CAPEX**) para la infraestructura de reciclaje y los gastos operativos (**OPEX**) relacionados con transporte, mano de obra, energía y materias primas.

Si desea comenzar, **World of Waste**, accesible aquí, es una plataforma que ofrece datos de residuos de varios países de forma gratuita.

Sistemas y estrategias para recoger y clasificar textiles usados y residuos

Los sistemas y estrategias utilizados para recoger y clasificar los textiles usados posconsumo son bastante diferentes de los utilizados para los materiales textiles posindustriales. Comencemos analizando la recogida y clasificación posconsumo.

Recolección de textiles usados posconsumo

Los textiles usados posconsumo pueden recolectarse de varias maneras, incluidas visitas puerta a puerta, puntos públicos de recolección, unidades móviles, puntos de entrega en edificios públicos, tiendas de ropa y centros de reutilización. Si bien ningún sistema de recolección es necesariamente mejor que otro, todos requieren equilibrar la inversión inicial, el volumen de retorno, los costos operativos, el control y la satisfacción del cliente, teniendo en cuenta las especificidades locales.

Además, la cadena de valor de la recolección incluye una gran cantidad de actores, como organizaciones benéficas, recolectores comerciales, municipios, empresas de gestión de residuos, intermediarios, agregadores, trituradoras, comerciantes y marcas/minoristas de ropa. En el nivel más básico, los recolectores recogen los residuos de las fábricas y los venden a los agregadores, quienes los clasifican aún más para satisfacer las necesidades de las trituradoras y los recicladores.

Factores de éxito para los recolectores individuales

Como recolector individual, el factor más elemental para su éxito es una buena gobernanza, especialmente en regiones con sistemas establecidos de responsabilidad ampliada del productor (EPR) para textiles. Los municipios son fundamentales aquí, ya que normalmente regulan quién puede recolectar textiles usados en espacios públicos y también pueden encargarse directamente de la recolección. Más allá de esto, existen algunas acciones que puede tomar para maximizar sus posibilidades de éxito:

- Aumentar sus tasas de recolección mediante contenedores identificados con marca y entornos de recolección secos y supervisados.
- Colocar los “bring banks” lejos de los contenedores de residuos para evitar la contaminación, y fomentar las donaciones en bolsas selladas.
- Mantener una comunicación clara con la población local para promover prácticas adecuadas de disposición. Para generar confianza, sea transparente sobre el destino de las donaciones y manténgase visible y accesible para responder preguntas o inquietudes.
- Ubicar los puntos de recolección en áreas seguras, convenientes y de fácil acceso.
- Utilizar tecnología moderna, como sensores, para monitorear los niveles de llenado de los contenedores y optimizar la eficiencia de la recolección.

La clasificación de textiles posconsumo

Por lo general, el proceso de clasificación comienza con la descarga automatizada en el centro de clasificación, seguida de la clasificación manual y finaliza con el empaquetado y enfardado automatizados.

La clasificación manual suele dividirse en dos etapas: **preclasificación y clasificación fina**.

En la preclasificación, los artículos se separan en las categorías de “reutilizable”, “no reutilizable” e “incineración”. Los indicadores clave de rendimiento incluyen:

- Capacidad media por mesa de operación (kilos/día)
- Número de mesas de clasificación necesarias
- Número de clasificadores necesarios

En la **clasificación fina semiautomática**, los artículos se clasifican por categorías de género, tipo de material, tipo de producto y estacionalidad. Cada artículo se inspecciona individualmente para evaluar su calidad y las demandas específicas de negocio a negocio (B2B).

En los centros manuales de clasificación de mayor tamaño, se añade más nivel de detalle dividiendo el proceso en **tres etapas**.

En la **primera clasificación**, se retiran los zapatos y los artículos que no son prendas, y los artículos húmedos se envían a secado interno. Los artículos se transportan mediante cintas hacia tolvas para la segunda clasificación. Los zapatos se emparejan manualmente en una sección aparte.

En la **segunda clasificación**, los textiles se evalúan y los artículos dañados se reconvierten en paños industriales, clasificados por color.

En la **tercera y última clasificación**, los artículos pasan por una clasificación manual detallada, tal como se describió antes. Las tecnologías emergentes podrían mejorar la eficiencia y la velocidad de esta etapa, lo cual se abordará más adelante en este video.

Después de la clasificación

Después de la clasificación, los artículos se empaquetan, etiquetan, se les coloca un código de barras y se registran antes de ser exportados o enviados a tiendas de segunda mano. El empaquetado se realiza en bolsas de plástico o en fardos comprimidos; los fardos para el mercado de la UE suelen pesar 10 kilos, mientras que los destinados a mercados extracomunitarios pesan 25 o 55 kilos. Una vez llenos, los fardos se etiquetan con un código de barras, se escanean en el sistema de inventario y se marcan con el código del artículo, el peso y, en algunos casos, el nombre del cliente. El transporte suele realizarse en contenedores de 40 pies.

Actualmente, el valor de mercado y el potencial de valorización de los artículos no reutilizables y de los reutilizables de bajo valor siguen siendo bajos. Aunque los trapos y paños industriales tienen un mercado amplio y establecido, su valor es mínimo.

Para el contexto de la UE, el estudio *Sorting for Europe* (2022) estima los siguientes precios por kilo:

Tipo de fracción clasificada	Precio de mercado por kilo
Mercado de segunda mano de la UE	3.5-13 Euros (promedio: 4-5 Euros)
Mercados internacionales de segunda mano	0.2-3.5 Euros (promedio: 1-1.2 Euros)
Reutilización de bajo valor (6%)	0.77 Euros
Limpiaparabrisas (10%)	0.13-0.45 Euros
Reciclaje descendente (14%)	0.08 Euros
Reciclaje de fibra a fibra (2%)	0.02-0.14 Euros

Figura 2.2. Precios estimados por kilo de diferentes fracciones clasificadas de textiles usados. (Fuente: *Sorting for Europe*, 2022)

Importación de textiles usados posconsumo

Los textiles usados posconsumo importados al Sur Global suelen ser gestionados por agentes o importadores que negocian acuerdos con los proveedores para definir precios, cantidades y condiciones de envío. Estos también suelen encargarse del transporte, el despacho aduanero, la documentación y todos los demás procedimientos de importación.

A su llegada, los fardos se clasifican en los almacenes por categoría, público objetivo, temporada y estilo. Comprender las necesidades del mercado y los requisitos de inventario es fundamental para establecer precios adecuados y maximizar el valor en esta etapa.

El proceso de recolección y clasificación de textiles usados posindustriales

La recolección y clasificación de los textiles usados posindustriales es muy diferente de la de los textiles usados posconsumo. Involucra varios sistemas, cada uno con procesos y costos distintos. Veámoslos uno por uno.

- **Recolección y segregación de residuos múltiples:** En este sistema, los residuos se recolectan a granel o en sacos desde las fábricas textiles, se transportan a almacenes y se venden como residuos segregados, mezclados o triturados, con precios variables.
- **Devolución de residuos al proveedor:** Este sistema se utiliza en la producción cut-make-trim (CMT), en los casos en que un proveedor solicita que sus residuos textiles le sean devueltos. Aquí, el recolector únicamente separa y enfarda los residuos antes de devolverlos junto con una hoja de trazabilidad.
- **Gestión de residuos en zonas industriales:** Aunque las zonas industriales gestionan sus residuos, generalmente no separan los textiles. Por tanto, el recolector asume la responsabilidad adicional de separar y clasificar los residuos textiles.

Recolección dirigida vs. recolección a granel

En los sistemas a **granel** que no clasifican sus residuos, como las zonas industriales, la recolección y clasificación de textiles usados requiere una inversión inicial significativa en equipos de clasificación. Sin embargo, los costos operativos suelen ser menores, ya que las empresas normalmente pagan por los servicios de retiro de residuos.

Los sistemas más **dirigidos**, como la recolección de residuos múltiples, requieren **grandes almacenes y tecnología avanzada de clasificación** para separar los materiales por tipo y color.

La recolección **totalmente dirigida**, que se centra en fracciones específicas como los residuos de algodón, implica **costos iniciales más bajos**, dado que la clasificación se realiza en los puntos de recolección con contenedores dedicados y personal específico. No obstante, los **costos operativos son más altos** debido a las limitadas economías de escala.

Innovaciones en la recogida y clasificación para la reutilización y el reciclaje

En los últimos años, se han incorporado nuevas tecnologías para optimizar la recolección y clasificación de textiles, tanto para la reutilización como para el reciclaje. Veamos brevemente algunas de ellas.

- **Contenedores inteligentes:** Los contenedores inteligentes con sensores pueden monitorear los niveles de llenado. También pueden conectarse a códigos QR y aplicaciones móviles para reportes en tiempo real, lo que permite optimizar las actividades de recolección.
- **Sistema de recolección de dos flujos:** Pionero en Dinamarca, este sistema consiste en separar los textiles usados en las corrientes de “reutilización” y “reciclaje” directamente en los puntos de recolección, lo que permite una clasificación in situ.
- **Cintas transportadoras:** Estos sistemas agilizan la clasificación dirigiendo los textiles hacia los contenedores apropiados. Ayudan a rastrear la eficiencia de los operarios, los volúmenes clasificados y la producción de fardos, a la vez que reducen costos y el espacio necesario.
- **Sistemas de clasificación por voz:** Esta herramienta innovadora apoya la clasificación manual equipando a los clasificadores con micrófonos para categorizar verbalmente los artículos. Los artículos se colocan en una cinta transportadora cercana y el sistema utiliza la entrada de voz para transportarlos por una cinta más grande, expulsándolos en el contenedor correcto. Estos sistemas pueden manejar un número ilimitado de categorías, limitadas únicamente por la capacidad de reconocimiento del clasificador. El software de voz también puede personalizarse para distintos idiomas y dialectos, lo que lo hace altamente adaptable.

La clasificación para reciclaje

La clasificación de los textiles no reutilizables es crucial, ya que se espera que su proporción dentro de la recolección textil total aumente significativamente en los próximos años. Sin embargo, clasificar esta fracción presenta actualmente un **caso de negocio negativo** en muchas regiones desarrolladas del mundo, incluida Europa.

Una forma de aumentar la viabilidad económica de la clasificación para reciclaje es realizar un **análisis de clasificación**. Esto implica identificar la distribución de los textiles por categoría de producto, tipo de fibra y composición de mezclas para mejorar la eficiencia de la clasificación y, en consecuencia, fortalecer su caso de negocio.

Pasos clave del análisis de clasificación

Paso 1. El primer paso en cualquier análisis de clasificación es seleccionar la fracción que se va a examinar. Por ejemplo, la tabla aquí muestra el alcance diferente de dos estudios recientes: Sorting for Europe (2022) y Re_Fashion 2023.

	Refashion	SFC Europe
Textiles reutilizados de valor medio a alto	X	X
Textiles reutilizados de bajo valor	X	✓
Textiles reciclados	✓	✓
Textiles con recuperación energética	✓	X
Textiles de desecho final	✓	X

Figure 2.3. Sorting analysis comparison. (Source: Re_Fashion 2023)

Paso 2. Luego se realiza un análisis de selección (pick analysis) para confirmar la composición de la fracción seleccionada. Aquí se utilizan escáneres portátiles con tecnología NIR (infrarrojo cercano). Si el escáner no puede determinar la composición de la fibra, la información se introduce manualmente basándose en la etiqueta del artículo.

Paso 3. Se lleva a cabo un análisis adicional para determinar la composición exacta del material y el volumen. También identifica características clave, como artículos de una o varias capas, color, categorías de productos comunes, presencia de elementos disruptores y clasificación por grupo de edad. Estos factores son fundamentales para evaluar la idoneidad de los textiles como materia prima (feedstock) para los procesos de reciclaje.

Paso 4. Los datos se extrapolan para estimar los volúmenes de cada tipo de fibra, utilizando los volúmenes de recolección de las bases de datos existentes. Esto permite proyectar el potencial comercial futuro, incluida la proporción de materia prima reciclable por tipo de fibra y color. También identifica la infraestructura necesaria y los modelos de negocio requeridos para que los clasificadores puedan comercializar estas fracciones como materia prima para el reciclaje fibra a fibra.

Innovaciones y tecnologías que permiten la clasificación para reciclaje

La implementación de mecanismos de clasificación automática es fundamental para lograr el **alto volumen y la alta pureza** de materia prima necesarios para el reciclaje **fibra a fibra**. Una de las tecnologías más eficaces que pueden utilizarse aquí es la **espectrometría de infrarrojo cercano (NIR)**.

La tecnología NIR funciona emitiendo ondas electromagnéticas que son absorbidas por las fibras textiles, creando un **espectro único para cada tipo de fibra**. Este espectro se compara después con una base de datos predefinida para determinar la composición del material textil, automatizando así el reconocimiento de los textiles en el proceso de clasificación.

Dado que su análisis se centra únicamente en la superficie del material, NIR es especialmente eficaz para clasificar **grandes volúmenes de textiles posconsumo mezclados**.

Los espectrómetros utilizados en la clasificación NIR son relativamente asequibles, con un coste de entre **15.000 y 25.000 euros**, en comparación con otras máquinas de clasificación óptica, que son **entre 10 y 12 veces más caras**.

Ventajas del NIR	Desventajas del NIR
• Mayor precisión y eficiencia que la clasificación manual, ya que puede clasificar según innumerables criterios predefinidos • Tecnología relativamente económica y madura, en comparación con otras tecnologías espectroscópicas • Puede determinar la composición química de los textiles • Rápido, no destructivo y óptimo para el control de calidad continuo	• Colores más oscuros y algunos acabados (tintes o detergentes) pueden dificultar la identificación de fibras • Incapaz de reconocer bajo contenido de fibra en mezclas, especialmente elastano • Solo puede penetrar la capa más externa de la prenda

Figura 2.4. NIR: ventajas y desventajas

Lo que es más, varias empresas como TOMRA, Valvan, y Spectral Engines combinan escáneres ópticos con NIR para permitir la clasificación automática no solo por composición de fibra, sino también por color. Los sensores y cámaras de alta gama también pueden combinarse para permitir un reconocimiento más categórico, por ejemplo en términos de **estructura, desgaste, talla, peso, moho, presencia de sustancias peligrosas, composición de materiales multicapa, marca**, y más.

La empresa danesa NewRetex ha ido un paso más allá al construir un sistema totalmente automatizado que combina NIR con sensores avanzados para clasificar textiles en **31 fracciones**, que luego son recogidas y manipuladas por robots según la composición del material y el color.

También se están pilotando otras tecnologías emergentes. Estas incluyen métodos de análisis químico como **disolución, microscopía, calorimetría diferencial de barrido, cromatografía de gases y sistemas basados en láser**, todos los cuales ofrecen mayor precisión en la identificación y separación de materiales.

Finalmente, las **plataformas digitales en línea** también están desempeñando un papel importante en el avance de la clasificación para reciclaje. Estas plataformas facilitan el intercambio de información sobre volúmenes de residuos y ofrecen soluciones de mercado transaccional de extremo a extremo. Las veremos en mayor detalle en la **Sesión 4**.

Conclusion

En este video, exploramos la logística inversa para la gestión y valorización de textiles usados y residuos, con un enfoque en el mapeo de flujos, la recolección y los procesos de clasificación. Destacamos el papel de las tecnologías innovadoras en la clasificación para reciclaje y compartimos recomendaciones para optimizar los sistemas de recolección y mejorar la eficiencia de clasificación. Esperamos que haya encontrado este video tanto interesante como útil.



Verificación de conocimientos

Responda las siguientes preguntas en los espacios proporcionados a continuación.

1) En sus propias palabras, describa el mapeo de residuos textiles. ¿En qué consiste el mapeo de residuos textiles, cuál es su objetivo y por qué es importante?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) ¿Cuál es la importancia del análisis de clasificación en el contexto del reciclaje textil?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3) Relacione las siguientes tecnologías o innovaciones con el punto de aplicación correspondiente dentro de la cadena de suministro de textiles usados:

A. Tecnología NIR (infrarrojo cercano)

1. Recolección

B. Sistema de reconocimiento de voz o habla

2. Clasificación para reciclaje

C. Sensores de detección de nivel de llenado

3. Manipulación de materiales

D. Alimentación robótica

4. Clasificación fina

4) ¿Cuáles son algunas estrategias y factores de éxito importantes para diseñar sistemas de recolección y clasificación eficientes en la logística inversa? ¿Cómo pueden abordar desafíos como la contaminación y la recuperación de recursos?



¿Cómo podrían estas políticas y regulaciones impactar la industria del reciclaje textil, tanto a nivel local como global?



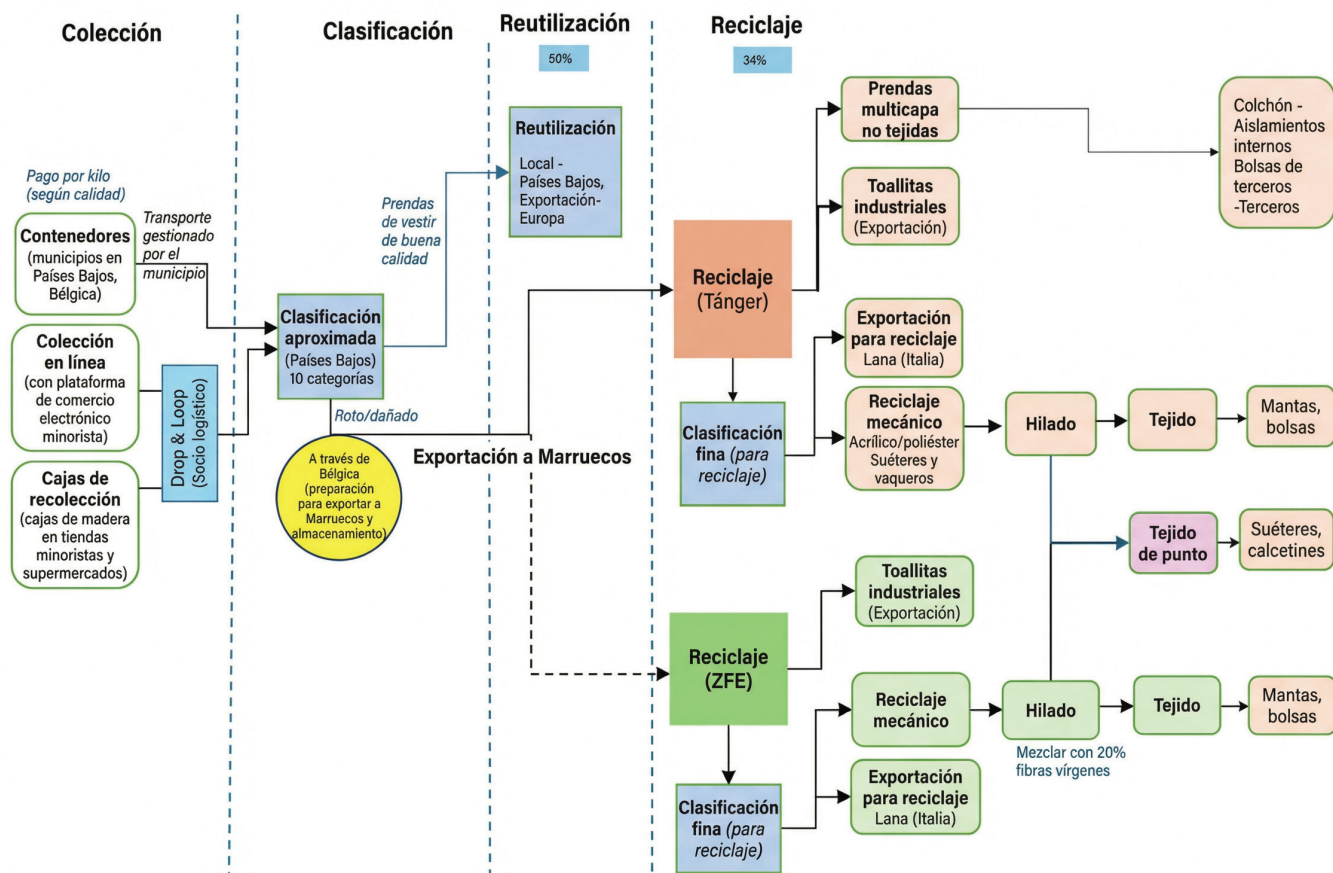
Ejercicio – Estudio de caso 1

Tómese unos minutos para leer el estudio de caso sobre la cadena de suministro de textiles usados del procesador textil neerlandés Wolkat.



Wolkat

Wolkat es un procesador de textiles usados totalmente integrado, con sede en los Países Bajos, que trabaja en la recogida, clasificación y reciclaje, incluida la producción textil. Su estructura de red de suministro se muestra aquí:



Wolkat recoge textiles usados posconsumo mediante tres métodos principales:

- **Recogida en contenedores:** En colaboración con los municipios de los Países Bajos y Bélgica, Wolkat coloca contenedores donde los donantes pueden dejar los textiles. Los donantes reciben cupones de descuento basados en la cantidad entregada, calculada por kilogramo.
- **Cajas de recogida en comercios:** Las cajas de recogida se encuentran en tiendas y

supermercados, donde los consumidores que entregan textiles reciben descuentos en compras futuras.

- **Recogida en línea:** Wolkat colabora con plataformas de comercio electrónico de minoristas para facilitar soluciones de recomercio. Los consumidores envían los textiles descartados de vuelta al minorista, a menudo utilizando bolsas proporcionadas previamente.

Mientras que los municipios gestionan el transporte de la recogida en contenedores, los flujos minoristas y en línea forman parte del programa **Drop and Loop** de Wolkat, gestionado por un socio logístico.

Proceso de clasificación:

La clasificación inicial se lleva a cabo en una instalación centralizada en los Países Bajos, donde los artículos se clasifican en 10 categorías:

- Prendas reutilizables
- Zapatos emparejados
- Zapatos desemparejados
- Bayetas blancas
- Bayetas de color
- Vaqueros no reutilizables
- Prendas de punto no reutilizables
- Otros artículos no reutilizables
- Mantas
- Residuos

Aproximadamente el 50% de los artículos clasificados son prendas reutilizables de buena calidad. Las prendas de gama alta se venden en Europa, mientras que las de grado A y B se venden en mercados globales, con destinos principales como Camerún, Senegal, Costa de Marfil y Pakistán. Cerca del 34% de los textiles no reutilizables aptos para reciclaje se envían a las instalaciones de Wolkat en Marruecos, a través de un almacén en Bélgica.

Proceso de reciclaje: En las instalaciones de Marruecos, los textiles pasan por una clasificación fina por calidad, color y composición antes del reciclaje. La planta de reciclaje mecánico de Wolkat procesa poliéster y acrílico — por ejemplo, suéteres y vaqueros — que luego se hilan, tejen y convierten en nuevos productos. La lana se exporta a Italia para su posterior procesamiento, mientras que las instalaciones de hilado y tejido se gestionan internamente.

Las prendas de múltiples capas se procesan para la fabricación de no-tejidos mediante tecnologías de airlay y termofijación. Los textiles con alto contenido de algodón se convierten en bayetas industriales, gestionadas dentro de las filiales de Wolkat.

Colaboración e investigación: Wolkat trabaja con grandes marcas como Nike e IKEA para producir colecciones cápsula a partir de materiales reciclados. La empresa también colabora con universidades textiles locales para mejorar las propiedades de las fibras recicladas, impulsando la innovación en la producción textil sostenible. Wolkat también participa en actividades de investigación con universidades textiles locales para mejorar las propiedades de las fibras recicladas.



Ejercicio – Estudio de caso 2

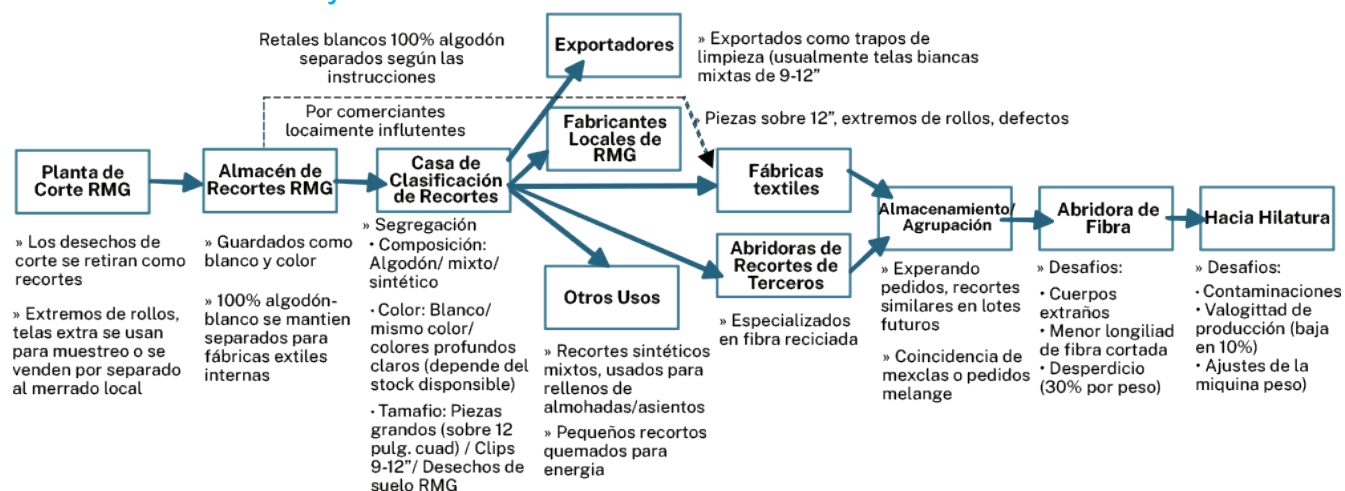
Tómese unos minutos para leer el estudio de caso sobre los residuos de la industria de confección (RMG) de Bangladesh. Puede encontrarlo en su cuaderno de trabajo.

La industria de prendas confeccionadas (RMG) de Bangladesh aporta más del 11% del PIB del país y el 83% de sus exportaciones. Sin embargo, se estima que entre el 20% y el 25% de las materias primas se desperdician en diversas formas, incluidas hilazas, extremos de rollos de tela, recortes y prendas rechazadas. La mayor parte del desperdicio se genera en la etapa de corte y termina en los mercados de clasificación de jhoot, mientras que los excedentes o tejidos y prendas defectuosas se venden en los mercados de stock-lot.

Las instalaciones de clasificación de jhoot manejan residuos pequeños o no reutilizables, como hilazas rotas, restos de tela y paneles cortados, mientras que los mercados de stock-lot se ocupan de materiales reutilizables como hilazas excedentes, tejidos, prendas con defectos menores y rollos de tela con variaciones de color. El comercio de residuos textiles en Bangladesh opera de forma informal, con múltiples intermediarios, una segregación ineficiente y altos niveles de contaminación. Las regulaciones locales prohíben vender estos materiales en el mercado interno, ya que se procesan bajo un régimen de almacén aduanero con exención de aranceles destinado a la exportación. Como resultado, gran parte del desperdicio se exporta a la India, donde se recicla en productos de menor valor. En 2019, más de 250.000 toneladas de residuos de algodón se vendieron al mercado de reciclaje por 100 millones de dólares.

A pesar de su carácter informal, la cadena de suministro de jhoot es económica y socialmente significativa, con la participación de entre 20.000 y 22.000 comerciantes, la contratación de entre 500.000 y 600.000 trabajadores (en su mayoría mujeres) y el sustento indirecto de alrededor de 1 millón de personas.

Cadena de valor del jhoot



El jhoot procedente de las áreas de corte se almacena inicialmente en las fábricas antes de venderse a granel a las casas de clasificación. En esta etapa, los residuos suelen clasificarse únicamente por color (blanco o no blanco). Algunas fábricas reservan residuos de alta calidad (por ejemplo, ricos en algodón o de colores claros) para sus propios telares. Otras participan en plataformas globales como Reverse Resources, que permiten transferencias directas de residuos desde las áreas de corte a los

recicladores, como los fabricantes de hilados.

El negocio del *jhoot* sigue tres pasos principales: los recolectores locales influyentes recogen los residuos de las fábricas, los venden a los centros de clasificación, donde se separan manualmente por color y composición, y luego se revenden para su reutilización o reciclaje.

Potencial de mercado de los residuos de *jhoot*

Debido al manejo informal y a la falta de trazabilidad, el seguimiento de la eliminación de residuos preconsumo es un desafío. En 2022, la BGMEA informó que solo el 5% de estos residuos se reciclaba localmente, mientras que el 60% se exportaba, principalmente a India. Sin embargo, existen inconsistencias en los informes. A pesar de los datos limitados, se estima que la capacidad de reciclaje mecánico de fibra de algodón en Bangladesh es de 220.000 a 240.000 toneladas por año. Si se procesara adecuadamente e integrara de nuevo en la producción de prendas, podría reducirse la importación de materias primas en un 15%, lo que supondría un ahorro de aproximadamente 500 millones de dólares.

Reconociendo este potencial, iniciativas como la Plataforma de Sostenibilidad Textil y el programa SWITCH2CE de la ONUDI trabajan para apoyar a los productores bangladesíes mediante la mejora de capacidades, la recopilación de datos, el desarrollo del ecosistema y el acceso a financiación para modelos circulares.

Responda las siguientes preguntas:

1) ¿Cuáles son los desafíos más importantes que enfrenta la industria de residuos de prendas confeccionadas (RMG) en Bangladés?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3) ¿Cómo podría valorizarse mejor el comercio regional de residuos posindustriales, como el comercio de *jhoot* entre Bangladés e India?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CONCLUSIÓN

Entonces, ¿qué hemos aprendido?

- **Logística inversa eficaz:** La logística inversa es fundamental para la valorización circular de los textiles usados y los residuos, garantizando procesos eficientes de recolección y clasificación.
- **Mapeo de los flujos de textiles usados y residuos:**
 - » Realizar un análisis de flujo de materiales posconsumo para comprender el volumen, el valor y las rutas de disposición de los textiles usados.
 - » Mapear los flujos de exportación e importación para evaluar el impacto de los textiles usados en los países receptores.
 - » Llevar a cabo un mapeo de residuos para estimar volúmenes y características, apoyando mejores estrategias de reciclaje, trazabilidad y proyecciones futuras.
- **Procesos de recolección estratégicos:** Optimizar los sistemas de recolección requiere atención a las especificidades locales y la participación activa de las partes interesadas. Es importante establecer puntos de entrega convenientes y accesibles para los consumidores e implementar programas de incentivos que fomenten las donaciones y la clasificación en origen. Una gobernanza eficaz y una coordinación sólida entre los actores son esenciales.
- **Clasificación para la reutilización y el reciclaje:** Un enfoque coordinado que combine la experiencia humana con la innovación tecnológica es clave. Herramientas como sensores, espectrometría NIR y plataformas digitales pueden mejorar significativamente la eficiencia y la eficacia de la clasificación para el reciclaje.

- 

Fin de la SESIÓN 2

Muchas gracias por su participación.



Fin de la jornada 1

Café y té

SESIÓN

3

La cadena de valor del reciclaje textil: tecnologías, procesos y potencial de mercado

INTRODUCCIÓN

¡Bienvenidos! Los objetivos de esta sesión son:

1. **Identificar** las principales rutas de reciclaje textil (métodos), centrándose en las etapas de sus procesos y en las tecnologías utilizadas, y **explorar formas de mejorar su eficiencia**.
2. **Explicar** cómo los parámetros críticos de proceso y de calidad influyen en el resultado y la utilidad de las fibras recicladas.
3. **Evaluar** estrategias para **maximizar el valor del reciclaje textil**, analizando los costos de los procesos y el potencial de mercado de las fibras recicladas en diversas aplicaciones.
4. **Analizar** el nivel de preparación tecnológica de los diferentes métodos de reciclaje para su **escalado a la producción industrial**.



Responda la pregunta

En su opinión, ¿cuáles son los elementos clave necesarios para que el reciclaje textil sea exitoso? Intente pensar en los elementos a lo largo de toda la cadena de valor.



Video

Presentación en video sobre la cadena de valor del reciclaje textil. Vea el video y tome notas.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

La cadena de valor del reciclaje textil: tecnologías, procesos y potencial de mercado

En este video analizaremos en detalle la cadena de valor del reciclaje textil, desde los procesos de reciclaje hasta la creación de diversos productos reciclados. Abordaremos temas clave como la eficiencia del proceso, las mejores tecnologías disponibles, los costos y los impactos ambientales, junto con importantes consideraciones de mercado.

Los pasos y tecnologías del proceso de reciclaje textil

Comenzaremos analizando las etapas clave implicadas en los distintos métodos de reciclaje textil, los principales parámetros del proceso y el nivel actual de preparación del mercado de las principales tecnologías utilizadas en el reciclaje textil.

Los métodos principales utilizados para producir fibras recicladas son el reciclaje mecánico y el reciclaje químico. El reciclaje mecánico es actualmente el más importante de los dos. Hoy en día, la mayoría de las fibras recicladas disponibles en el mercado provienen de algodón reciclado mecánicamente a partir de residuos textiles post-industriales, aunque el reciclaje de textiles post-consumo también está creciendo rápidamente. Por su parte, el reciclaje químico aún se encuentra en una etapa temprana, aunque se espera que escale en los próximos 5 a 10 años.

Existen otros métodos de reciclaje textil, como los enfoques termo-mecánicos, termo-químicos y enzimáticos, entre otros. Sin embargo, todavía se encuentran en fase piloto o aún no se utilizan para producir fibras como salida. La excepción es el reciclaje térmico, que ya se usa comercialmente para producir rPET (para fibras de PES) y pellets de PA, los cuales se venden a hiladores de fibras. La mayoría de estos, sin embargo, no proviene de textiles, sino de botellas plásticas recicladas térmicamente.

Dada su importancia central en los procesos actuales de reciclaje textil, en este video nos centraremos en el reciclaje mecánico y el reciclaje químico.

Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico utiliza fuerzas físicas para reciclar tejidos o fibras, ya sea como un proceso independiente o como una etapa previa al reciclaje termo-mecánico, químico o bioquímico.

Puede dividirse en dos etapas principales:

- **Pretratamiento:** Aquí, los textiles se clasifican por color y/o material. Pueden limpiarse si es necesario y se eliminan todas sus “partes duras”, como etiquetas, recubrimientos, estampados, etc., ya sea manualmente o mediante métodos como la separación magnética o gravimétrica.

- **Acción mecánica:** En esta etapa, los textiles se cortan en piezas de tamaño específico y se pre-abren si tienen una alta densidad de tejido. Después de esto, se desgarran o se abren para liberar fibras individuales, que luego se prensan en fardos para su transporte. Si es necesario, se puede realizar una “apertura fina” adicional para liberar las últimas fibras que no se hayan abierto.

Nota: El tratamiento químico forma parte del proceso de pretratamiento, dependiendo del nivel de contaminación de los textiles usados (por ejemplo, ropa sin lavar, alfombras sucias o ropa de trabajo contaminada). Si la contaminación es significativa, la etapa de pretratamiento también puede incluir la desinfección mediante limpieza o lavado industrial. Estos procesos son similares a los utilizados en el mantenimiento textil, como en la ropa de trabajo, y pueden implicar detergentes, ozono o CO2 líquido para eliminar contaminantes como sudor y arena. Es posible que se requieran recursos adicionales, incluidos agua, productos químicos y calor.



Figura 3.1. Pasos genéricos para el reciclaje mecánico. (Fuente: Duhoux et al., 2021)

Parámetros clave de calidad

En el reciclaje mecánico, varios parámetros a nivel de proceso son fundamentales para lograr resultados de alta calidad. Para comenzar, los insumos deben clasificarse de la manera más granular posible. Esto permite seleccionar la maquinaria más adecuada según el tipo y la estructura de la fibra, por ejemplo, tejidos de punto sueltos frente a tejidos densamente entrelazados.

También es necesario encontrar un equilibrio entre el tamaño de las fibras y la facilidad de apertura del tejido. El preapertura de tejidos planos requiere tiempo, pero permite obtener un mayor porcentaje de fibras largas. De manera similar, cortar el tejido de entrada en piezas más grandes también genera fibras más largas, pero hace que cada pieza sea más difícil de abrir.

Por último, están comenzando a aparecer nuevos tratamientos químicos diseñados para eliminar la contaminación de las fibras. Este ámbito merece seguimiento, ya que está evolucionando rápidamente.

Sin embargo, la calidad no depende únicamente de las medidas aplicadas durante el proceso. Los materiales de entrada también desempeñan un papel significativo. Fibras uniformes, sin tratar y libres de contaminantes mejoran la calidad. Un buen tejido postconsumo produce al menos un 20% de fibras re-hilables, considerándose excelente un rendimiento del 25–55%. En todos los casos, el contenido de elastano debe permanecer por debajo del 10%. También es útil que las prendas utilizadas como insumo hayan sido diseñadas para la circularidad, ya que esto facilita su separación en los diferentes componentes.

Costos del proceso y el mercado de la fibra reciclada

En el caso del algodón, los costos del proceso de reciclaje mecánico varían entre 500 y 3.000 € por tonelada de producto final. El costo depende en gran medida del porcentaje de fibra rehilable, que suele oscilar entre 5% y 20%. El llamado “fluff”, utilizado principalmente en la producción de no tejidos, constituye entre el 75% y el 90% de la salida. El resto se compone de fibras cortas y polvo, utilizados para materiales de relleno y aislamiento en las industrias de la construcción y automoción. Aproximadamente 5% de la salida suele estar “contaminada” y no es utilizable. Hoy en día, se están explorando mercados para aplicaciones de mayor valor añadido con los subproductos del reciclaje mecánico del algodón. Por ejemplo, el polvo de algodón puede compostarse para la agricultura orgánica como sustituto de fertilizantes químicos, o emplearse como compuesto reforzado en materiales de construcción.

En cuanto al poliéster, el policotón o la poliamida, los costos del proceso en Europa van de 150 a 600 € por tonelada de producto, nuevamente dependiendo del porcentaje de fibra rehilable (normalmente entre 25% y 55%). La distribución del producto final también incluye entre 40% y 70% de fluff, fibras cortas y polvo para relleno y aislamiento, y 5% de contaminación. Con precios globales de mercado de 700–1.500 € para el poliéster y 2.000–4.500 € para la poliamida, el proceso es económicamente viable en la actualidad.

Reciclaje químico

El reciclaje químico consiste en descomponer los materiales textiles mediante disolución química o reacciones para recuperar polímeros y monómeros. En el reciclaje a nivel de monómero, los polímeros se descomponen en sus monómeros base, que luego se utilizan para crear nuevas fibras poliméricas. En el reciclaje a nivel de polímero, en cambio, las fibras se procesan para extraer los polímeros, que posteriormente se vuelven a hilar para producir nuevas fibras.

Existen diversas tecnologías de reciclaje químico, que varían según el tipo de fibra, los disolventes, los productos químicos y los catalizadores utilizados. Puedes obtener una breve descripción general de cada una en esta tabla, que también está incluida en tu cuaderno de trabajo.

Dicho esto, las tres principales tecnologías de reciclaje químico que se utilizan actualmente son:

- Reciclaje de polímeros de algodón mediante pulpeo.
- Reciclaje a nivel de monómero de PA6 o PET mediante degradación (parcial) en oligómeros o monómeros.

Tipo de fibra genérica	Polímero (P)	Monómeros (M)
PET/Poliéster	Tereftalato de poli(etileno)	Etilenglicol + ácido tereftálico
Algodón/Viscosa	Celulosa	β -1,4-D(+)-glucopiranososa
Lino	Celulosa	Celobiosa
Acrílica	Poliacrilonitrilo	Acrilonitrilo
Nylon	Poliamida	Caprolactam
Lana	Queratina alfa (α -queratina)	α -queratina es una cadena polipeptídica, generalmente rica en alanina, leucina, arginina y cisteína, que forma una hélice α dextrógira.
Seda	Fibroina	Principalmente alanina y glicina formadas por aminoácidos.

- Recuperación tanto de la celulosa como del PET presentes en mezclas de policotón.

Analicemos cada una de ellas por separado.

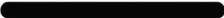
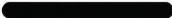
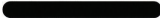
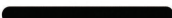
			Fibras					
Tecnologías de reciclaje químico		Descripción	Algodón	FMMC ¹	Poli-algodón	Poliéster	Poliamida	Otras fibras
Químico-polímero	Despulpado	Utiliza sulfato, sulfito y libre de azufre para producir pulpa celulósica						
	Basado en disolventes	Utiliza disolución y filtración a base de disolventes para extraer polímeros						
	Hidrotérmico	Utiliza agua que contiene uno o más ácidos verdes para extraer polímeros (bajo presión y altas temperaturas)						
Químico-monómero	Metanólisis	Utiliza metanol para despolimerizar (bajo presión y a 200°C)						
	Glicólisis	Utiliza etilenglicol para despolimerizar (bajo presión y a 200°C)						
	Hidrólisis	Hidroliza mediante tratamiento con agua y tratamiento con ácido o sosa cáustica						
	Enzimático	Utiliza enzimas para despolimerizar						

Figura 3.2. Diversas tecnologías de reciclaje químico. (Fuente: McKinsey & Company, 2022)

Reciclaje de polímeros de algodón mediante pulpeo

El reciclaje de polímeros de algodón mediante pulpeo comprende tres etapas principales: pretratamiento, disolución y hilatura en solución.

- **Pretratamiento:** El proceso comienza clasificando los materiales de algodón según su color y/o composición. Las partes duras, etiquetas y contaminantes se eliminan mediante separación magnética o gravimétrica, seguido de triturado o molienda para preparar el material para el procesamiento químico.
- **Disolución:** El material triturado se suspende en una solución química para formar una pulpa disolvente. Pueden aplicarse pasos opcionales, como la decoloración o el blanqueo, para eliminar tintes o aditivos. Contaminantes como el poliéster o el elastano también pueden separarse durante esta fase, garantizando una pulpa más limpia.
- **Hilatura en solución:** La pulpa disolvente se transforma en una solución viscosa y se extruye a través de hileras para formar fibras continuas. Estas fibras se solidifican mediante coagulación, produciendo celulosa regenerada adecuada para la fabricación de nuevos textiles.

Este proceso ha alcanzado un alto nivel de preparación tecnológica, especialmente cuando se utilizan como insumo materiales puros o ricos en algodón.

Reciclaje a nivel de monómero de PA6 o PET

El reciclaje a nivel de monómero de PA6 o PET comprende tres etapas principales: **pretratamiento, despolimerización química y posratamiento y polimerización.**

- **Pretratamiento:** El proceso comienza con la limpieza y clasificación manual o mecánica de los materiales según su color y composición. Los componentes no reciclables o que no son PET/PA6, como partes duras o etiquetas, se eliminan mediante técnicas como la separación magnética o gravimétrica. Después de esto, el material se tritura o muele para reducir su tamaño y puede someterse a pasos adicionales como lavado, granulación o peletizado para prepararlo para la siguiente etapa.
- **Despolimerización química:** En esta etapa, el material se disuelve utilizando diversas tecnologías y condiciones específicas de reacción. Este proceso rompe las cadenas poliméricas en sus unidades monoméricas o en moléculas más pequeñas, que son esenciales para el posterior proceso de repolimerización.
- **Postratamiento y polimerización:** El material disuelto se somete a purificación, lo que puede incluir la eliminación de sustancias insolubles mediante microfiltración o la eliminación de colorantes mediante carbón activado. Se realizan pasos adicionales de separación, como la destilación de caprolactama o la eliminación de solventes por evaporación. Pueden producirse cristalizaciones de intermedios como BHET o PTA, y el material se seca para prepararlo para su reutilización en procesos de fabricación.

Este enfoque integral de reciclaje transforma de manera efectiva los polímeros en monómeros de alta calidad que pueden reutilizarse en nuevos productos.

Reciclaje de mezclas de policotón

Se utilizan tres enfoques principales para reciclar mezclas de policotón:

- **Disolución basada en disolventes:** Este método separa los diferentes materiales disolviendo ciertos componentes en disolventes específicos. Implica eliminar contaminantes como tintes, seguido de la purificación y la restauración de los polímeros.
- **Reciclaje hidrotermal:** Este proceso degrada parcialmente el algodón, el PET o ambos utilizando agua subcrítica (100 °C–374 °C) y ácidos verdes. El algodón se descompone y las fibras de poliéster se separan mediante filtración, fusión o extrusión y peletizado. Alternativamente, el PET puede despolimerizarse en TPA y luego secarse para su reutilización.
- **Reciclaje enzimático o bioquímico:** Este enfoque utiliza hongos y enzimas para degradar el algodón presente en la mezcla. Los hongos crecen sobre los residuos textiles y secretan enzimas que posteriormente se recuperan. Los residuos textiles se hidrolizan en un biorreactor, separándose el PET mediante filtración. El hidrolizado de algodón se purifica con carbón activado para producir un jarabe rico en glucosa.

Tras el pretratamiento estándar, similar al de otras rutas de reciclaje, se llevan a cabo procesos de separación y recuperación.

Parámetros clave de calidad

De manera similar al reciclaje mecánico, uno de **los parámetros clave** a nivel de proceso para garantizar la calidad en el reciclaje químico es la clasificación granular de los insumos en flujos monomaterial y la eliminación de cualquier parte no textil antes de que los materiales se trituren o muelan hasta obtener una forma fibrosa. A medida que la solución se disuelve, es necesario ajustar regularmente su viscosidad y reactividad, incluso aumentando su peso molecular para lograr polímeros de calidad virgen. Este proceso suele implicar la adición de extensores de cadena o estabilizadores, especialmente en el caso de los pellets de PET y PA6. Las condiciones de reacción favorables — como altas temperaturas, altas presiones, tiempos de proceso más cortos y el uso de catalizadores — deben optimizarse para mejorar la eficiencia y reducir el consumo de energía.

La calidad del **material de entrada** es igualmente importante en el reciclaje químico. Idealmente, el insumo debe consistir en uno o varios tipos de polímeros compatibles, y la materia prima debe superar el 99% de pureza en poliéster o poliamida. La alta pureza y las proporciones precisas en las mezclas son esenciales para mantener la calidad, junto con la mezcla de materiales reciclados con materiales vírgenes para optimizar los procesos y escalar la producción. Al igual que en el reciclaje mecánico, las tecnologías de separación basadas en la composición del material — en la etapa de diseño o al final de la vida útil — son fundamentales para obtener resultados de alta calidad.

Costos del proceso para diferentes corrientes de reciclaje químico

El costo del proceso de reciclaje químico para diferentes corrientes de materia prima en Europa se muestra aquí.

¿Qué podemos concluir a partir de esto? En primer lugar, el reciclaje químico del algodón solo es viable cuando las pérdidas durante el pulpeo son bajas (<10%) y la eficiencia y productividad del proceso son altas. Para lograrlo, la pulpa de celulosa reciclada húmeda o semiseca suele mezclarse con más del 40-50% de pulpa de madera en peso antes de volver a hilarla.

En segundo lugar, el reciclaje de policotón sigue siendo un proceso relativamente nuevo, con datos insuficientes para evaluar plenamente su viabilidad comercial a gran escala.

En tercer lugar, el reciclaje enzimático es el método más caro, especialmente en comparación con el precio de mercado de las escamas de PET virgen. Sin embargo, el precio de importación de la glucosa, un componente clave en el reciclaje enzimático, ayuda a que el proceso alcance el punto de equilibrio y mejore sus perspectivas económicas.

Por último, aunque los datos de Costos del Ciclo de Vida (LCC) para el PET reciclado (rPET) y el PA6 reciclado (rPA6) son limitados, estos procesos están bien establecidos y son económicamente viables. Los rendimientos del proceso suelen ser altos, superando el 90% para corrientes de poliéster y el 70% para corrientes de poliamida, lo que refuerza su viabilidad.

Flujo del algodón	Flujo de policotón	Flujo del poliéster	Flujo de poliamida
Mediante proceso de obtención de pulpa de celulosa: • ~900 EUR por tonelada de celulosa reciclada • Línea de referencia: Valor de mercado de la pulpa de madera = 750-1200 EUR por tonelada	Mediante proceso de disolución: • Sustituye el uso de pulpa de madera virgen y la producción virgen de monómeros de PET (No hay datos LCC disponibles) • Línea de referencia: Valor de mercado del TA (purificado) = 450-700 EUR por tonelada; (mono)EG = 500-800 EUR por Mediante proceso enzimático: • Costo estimado del proceso = 1950 EUR por tonelada de fibras de PET reciclado • Valor de mercado de las escamas de PET (900-1100 EUR por tonelada (datos 2019/20)) • Línea de referencia: Sustituye la importación de jarabe de glucosa (Valor de mercado del jarabe de glucosa = 320-1700 EUR por tonelada (promedio 1000 EUR)) (Resultado en punto de equilibrio)	Mediante proceso de solvólisis: • Sustituye el uso de pulpa de madera virgen y la producción virgen de monómeros de PET (No hay datos LCC disponibles) • Costo de producción de rPET (No hay datos LCC disponibles) • Línea de referencia: Valor de mercado del TA (purificado) = 450-700 EUR por tonelada; (mono)EG = 500-800 EUR por tonelada; DMT = 800-1050 EUR por tonelada (en 2018/19) (Precio mostrando tendencia a la baja)	Mediante proceso de solvólisis: • Sustituye el uso de PA6 virgen (No hay datos LCC disponibles) • Costo de producción de rPA6 (No hay datos LCC disponibles) • Línea de referencia: Valor de mercado de los polímeros PA6 = 950-1100 EUR por tonelada (2024)

Figura 3.3. Costos del proceso para diferentes flujos de reciclaje químico según datos de LCC. (Fuente: Duhoux et al., 2021)

Otra forma de analizar los costos del proceso es dividiéndolos en gastos operativos (OPEX) y gastos de capital (CAPEX). La tabla mostrada resume los costos estimados de los distintos métodos de reciclaje en la Unión Europea. Aunque esto proporciona una buena base para comparar costos, es importante señalar que los costos del reciclaje mecánico son significativamente más bajos en regiones como Asia y África. No obstante, estas geografías enfrentan desafíos como la disponibilidad limitada de materia prima postconsumo. Además, otras tecnologías de reciclaje en estas regiones están menos desarrolladas, lo que dificulta las comparaciones directas de costos.

Diferentes niveles de preparación tecnológica de los recicladores textiles

La demanda de reciclaje textil está creciendo rápidamente, y tanto actores consolidados como nuevos participantes están configurando cada vez más el panorama. En términos generales, podemos agrupar a los recicladores textiles en tres niveles de preparación tecnológica:

Vías de reciclaje	Opex (excl. costo de materia prima)	Capex (carga de capex del 15%)	Costo total (con cargo de capex del 15%)	Precio potencial por tonelada de salida
Reciclaje mecánico (Ciclo abierto/infrarreciclaje)	250-500	200-400 (30-60)	280-560	Bajo
Ciclo cerrado tradicional	450-800	300-600 (45-90)	500-900	Medio Muy alto
"Suave" ciclo cerrado	2700-3500	2200-2400 (330-360)	3000-3900	Muy alto
Químico-polímero (pulpeo)	1000-1900	3800-4700 (570-700)	1570-2600	Alto
Químico-polímero (Basado en solventes)	750-1300	1350-1500 (200-230)	950-1500	Alto
Químico-monómero (Metanólisis)	825-1750	2450-3700 (370-560)	1200-2300	Muy alto
Químico-monómero (Glicólisis)	825-1700	2150-3400 (320-510)	1150-2200	Alto
Termomecánico	400-850	650-800 (100-120)	500-950	Alto

Figura 3.4. Costos del proceso para diferentes flujos de reciclaje químico utilizando el método OPEX y CAPEX. (Fuente: McKinsey & Company, 2022)

- **Fase piloto:** Las soluciones de reciclaje se prueban a escala de laboratorio y pueden producir y evaluar resultados en una escala muy reducida.
- **Fase operativa:** Los procesos de reciclaje pueden manejar cantidades mayores de residuos textiles, pero están limitados a una escala comercial pequeña, normalmente atendiendo a clientes seleccionados.
- **Fase comercial:** Los sistemas plenamente funcionales procesan grandes volúmenes de residuos, produciendo materias primas, fibras, hilos, tejidos o productos terminados para una distribución a gran escala.

Producción y aplicaciones de las fibras recicladas

Los productos textiles reciclados pueden fabricarse de dos maneras: utilizando hilos hilados o mediante procesos de no tejidos.

Hilos hilados reciclados

Para obtener hilos hilados de alta calidad, es necesario disponer de fibras recicladas de alta calidad y realizar las modificaciones y ajustes adecuados en la maquinaria en prácticamente todas las etapas del proceso de hilatura. La empresa suiza de maquinaria textil Rieter ha desarrollado un sistema de clasificación para evaluar las fibras recicladas mecánicamente, analizando su contenido de fibras cortas, la longitud media de las fibras y la longitud promedio del 5% de las fibras más largas. Este sistema ayuda a estimar la procesabilidad de las fibras y la calidad del hilo resultante.

Para fibras largas (hasta el 70-75% de la longitud de la fibra de algodón virgen), clasificadas como de calidad "media" o superior, la hilatura por anillos es el método preferido. Los hilos reciclados hilados en anillos ofrecen la mayor tenacidad debido a una mejor integración de las fibras. La hilatura compacta mejora aún más la resistencia del hilo, lo que los hace adecuados para aplicaciones en tejidos con títulos más finos y texturas más suaves. El proceso de cardado puede mejorar el potencial de hilatura por anillos, y la adición de peinado permite utilizar hasta un 50% de fibra reciclada manteniendo la viabilidad de la hilatura en anillo.

Clasificación	Contenido de Fibra Corta	Longitud Media de la Fibra	Longitud del 5% de la Fibra
Muy bueno	45%	17 mm	31 mm
Bueno	55%	14 mm	29 mm
Medio	60%	13 mm	28 mm
Pobre	78%	10 mm	22 mm
Algodón como referencia	24%	21 mm	34 mm

Figura 3.5. Sistema de clasificación de Rieter para calificar las fibras recicladas mecánicamente. (Fuente: Rieter, 2020)

Un sistema típico de hilatura por anillos puede incluir un mezclador, carda, peinadora, manual, mechera con dispositivos de limpieza y un banco de anillos con dispositivos de compactación, seguido del bobinado. Procesos similares, con ciertas modificaciones, pueden emplearse para evaluar la



Figura 3.6. Sistema de hilatura anular Rieter para fibras recicladas. (Fuente: Rieter, 2020)

hilabilidad de las fibras recicladas químicamente.

Hilatura por rotor

Para las fibras cortas, la hilatura por rotor es el proceso más común, especialmente para aplicaciones de tejido de punto con títulos de hasta Ne 40. La hilatura por rotor se beneficia de procesos más cortos y de módulos especializados en las máquinas de cardado, lo que mejora significativamente la calidad del hilo. Con la configuración adecuada, la hilatura por rotor alcanza la menor irregularidad en comparación con otros métodos, garantizando un mejor rendimiento y una mayor consistencia. Existen diversas configuraciones de sistemas de hilatura por rotor que pueden optimizar aún más el proceso y la calidad del producto final.

Rieter investigó la viabilidad económica de hilar fibras recicladas mecánicamente y descubrió que hasta un 75% de contenido reciclado en hilatura por rotor, y hasta un 60% en hilatura por anillos, son comercialmente valiosos.

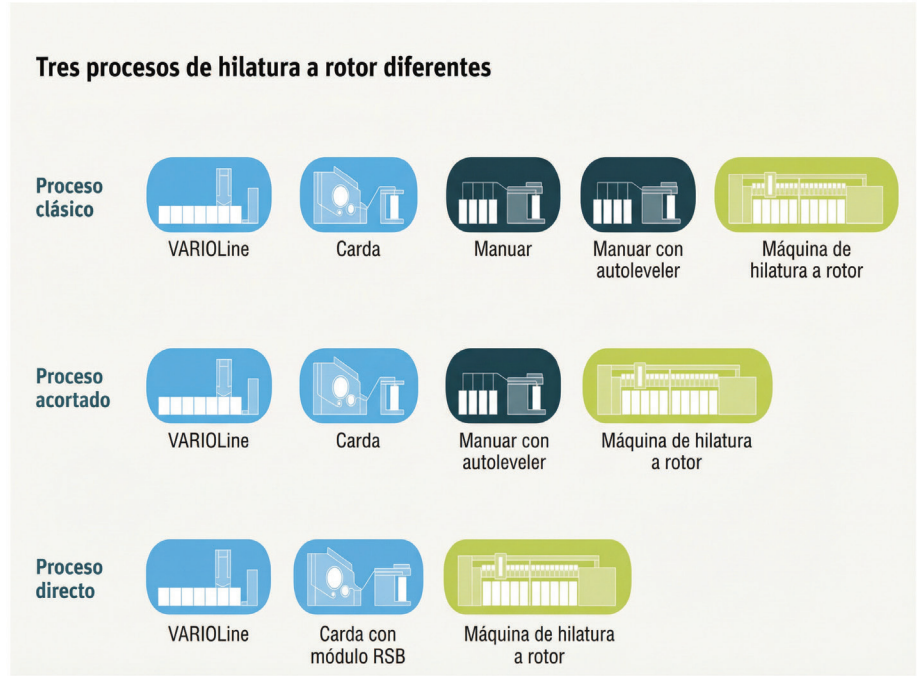


Figura 3.7. Diferentes sistemas de hilatura por rotor de Rieter para fibras recicladas. (Fuente: Rieter, 2020)

Tecnología de no tejidos para fibras recicladas

Transformar fibras textiles recicladas en fieltros técnicos no tejidos es fundamental para crear nuevos productos. Las líneas avanzadas de producción de no tejidos, como **airlay thermobonding**, **needlepunch**, **spunlace** y **Wetlace CP**, están diseñadas específicamente para procesar fibras recicladas de manera eficiente.

Las diferentes tecnologías de no tejidos ofrecen ventajas únicas para reciclar fibras y convertirlas en productos de valor. Estos materiales se utilizan ampliamente como aislamiento térmico y acústico en edificios, muebles y aplicaciones automotrices. También se reutilizan como bases de alfombras, rellenos de muebles, guatas para automoción y tableros rígidos para diversas industrias.

Tecnología	Configuración	Fibra reciclada utilizada	Aplicación
AIRLAY	Líneas completas de producción con punzonado de agujas, termofusión y/o otros procesos de unión	Se pueden usar hasta 100% fibras recicladas	Construcción, edificación, automoción, colchones y más
NEEDLEPUNCH	Líneas completas de producción con unión por punzonado de agujas	Se pueden usar hasta 100% fibras recicladas	Construcción, edificación, automoción, alfombras y más
SPUNLACE	Líneas completas de producción con unión por hidroenmarañado	Se pueden usar hasta 65% fibras recicladas	Toallitas domésticas
WETLACE CP (CARDADO-PULPA)	Líneas completas de producción con formación en seco y húmedo y unión por hidroenmarañado. Las fibras recicladas pueden utilizarse en la capa cardada/seca.	Se pueden usar hasta 25% fibras recicladas	Toallitas técnicas

Figura 3.8. Tecnología de no tejidos para fibras recicladas. (Fuente: Andritz)

Conclusión

En este video destacamos la cadena de valor del reciclaje extile, centrándonos en los procesos de reciclaje mecánico y químico, incluidas sus etapas, aspectos de mercado y nivel de preparación tecnológica. También revisamos algunos parámetros clave de proceso y calidad para mejorar la eficiencia del reciclaje extile. Aplicando la toma de exfiles multicriterio, las empresas pueden mejorar la viabilidad económica del reciclaje extile optimizando los costos de procesamiento, aprovechando el potencial del mercado e integrando fibras recicladas en las cadenas de valor de los productos.



1) ¿Qué factores influyen en el costo de procesamiento en el reciclaje mecánico y cómo se comparan estos costos entre el reciclaje de algodón y el de poliéster?

2) ¿Qué papel desempeña la calidad de la fibra (longitud de la fibra) en el éxito del reciclaje mecánico y químico, y qué características del material de entrada son ideales?

3) ¿Qué factores contribuyen a las diferencias de costos entre el reciclaje mecánico y el reciclaje químico?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4) En el contexto del reciclaje químico de textiles, explique la diferencia entre el reciclaje de monómeros y el reciclaje de polímeros.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

¿La siguiente afirmación es verdadera o falsa?

5) El hilado por rotor produce el hilo más uniforme cuando está correctamente configurado, mientras que el hilado por anillos crea el hilo con mayor resistencia (tenacidad).

☐ Verdadero ☐ Falso

.....

.....

.....

.....

.....

6) El reciclaje mecánico de circuito abierto (open-loop) es actualmente la opción de reciclaje textil más costosa.

☐ Verdadero ☐ Falso

.....

.....

.....

.....

.....

7) Las tecnologías de reciclaje químico están asociadas con productos de fibra de mayor valor.

☐ Verdadero ☐ Falso

.....

.....

.....

.....

.....

8) Las tecnologías de reciclaje químico están asociadas con altas eficiencias de escala.

☐ Verdadero ☐ Falso

.....

.....

.....

.....

.....



Pausa para el Café
30 min



Ejercicio – Estudio de caso 1

Tómese unos minutos para leer este **estudio de caso sobre Recover™**, una empresa española dedicada al **reciclaje mecánico**.



Recover™ ha estado reciclando residuos textiles para convertirlos en hilados de algodón desde 1947. En 2020, estableció una unidad de reciclaje especializada en Valencia dedicada a producir fibras de algodón recicladas mecánicamente y mezclas de fibras de algodón.

Materia prima y proceso de producción

Recover™ obtiene su materia prima de residuos de algodón posindustriales, preconsumo y posconsumo, así como de mezclas con alto contenido de algodón. El proceso de reciclaje incluye:

- Cortar los residuos textiles clasificados en piezas más pequeñas.
- Tratar el material con un espray antiestático (utilizando menos agua).
- Desfibrar y mezclar las fibras para crear:
 - » **RCotton:** 100% algodón reciclado.
 - » **RColorBlend:** Mezcla de algodón con 30–70% de poliéster reciclado.
 - » **REarth:** Mezcla 50/50 de algodón reciclado y algodón orgánico.

Estas fibras se venden a hilanderías en diversas composiciones, entre ellas RPure (100% algodón reciclado Recover™), RMix (>90%) y RDenim (>80%).

Expansión global y objetivos de sostenibilidad

Recover™ produce tejidos para las industrias de la moda y el diseño de interiores, con instalaciones de reciclaje en Pakistán y Bangladés. La empresa planea abrir plantas en India, Vietnam, Turquía, Brasil y México para procesar residuos textiles más cerca tanto de la oferta como de la demanda, reduciendo así su huella de carbono.

La compañía se ha asociado con la planta de clasificación automatizada Siptex de Sysav para garantizar un suministro constante de residuos posconsumo. Otros colaboradores incluyen Textile Exchange,

ReHubs, Sustainable Apparel Coalition, Circular Fashion Partnerships y Denim Deal. Para 2025, Recover™ aspira a que el 40% de su materia prima provenga de fuentes posconsumo y a procesar 350.000 toneladas métricas anuales para 2026.

Liderazgo ambiental

Alineado con los *Science-Based Targets*, Recover™ calcula la huella ambiental de sus fibras recicladas. Sus datos son verificados por el índice Higg MSI (*Materials Sustainability Index*), lo que permite a los actores del sector medir el impacto ambiental. El cumplimiento de certificaciones como GRS y los estándares del Higg Index garantiza credibilidad y sostenibilidad.

Basándose en lo que ha leído, ¿cuáles son algunas estrategias clave utilizadas por Recover™ para tener éxito en la industria del reciclaje textil?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Ejercicio – Estudio de caso 2

Lea el caso de **Infinited Fiber Company**, una empresa finlandesa especializada en **reciclaje químico**.



Fundada en 2016, **Infinited Fiber Company** se especializa en el reciclaje textil-a-textil utilizando materia prima con más del 88% de contenido celulósico, como el algodón procedente de residuos posconsumo. Además, el cartón descompuesto y los residuos agrícolas pueden servir como fuentes de celulosa.

Proceso de reciclaje

El proceso comienza con:

1. **Desfibrado y pretratamiento:** Eliminación de componentes duros, colorantes, poliéster y elastano.
2. **Carbamación:** En esta etapa, la celulosa reacciona con urea para producir un polvo de carbamato de celulosa soluble.
3. **Disolución y hilatura en húmedo:** La disolución prepara la celulosa líquida y permite eliminar más impurezas. A medida que la celulosa se cristaliza, se transforma en la fibra textil regenerada Infinna™.

Las fibras se cortan luego en filamentos, se lavan y se secan, quedando listas para entrar en la siguiente etapa de la cadena de suministro textil.

Vea aquí los pasos del proceso:



Aplicaciones finales y tipos de fibra

Las fibras Infinna™ son versátiles y se utilizan en tejidos de punto circulares, denim, tejidos planos y no tejidos. Pueden producir hilados con títulos que van de Ne7 a Ne40 en composiciones 100% Infinna, y hasta Ne50 en mezclas. Varios métodos de hilatura — como hilatura anular, anular compacta, rotor (open-end) y por chorro de aire (air-jet) — son compatibles con estas fibras.

Gracias a su tacto similar al algodón, las fibras Infinna™ son especialmente adecuadas para aplicaciones en prendas de vestir. Grandes marcas, como Bestseller, Ganni, Patagonia y Tommy Hilfiger, han asegurado su suministro mediante acuerdos de compra, garantizando el acceso a estas fibras durante los próximos años.

Producción y planes de expansión

Actualmente, Infinited Fiber Company opera dos instalaciones piloto en Finlandia. La empresa pretende escalar su producción abriendo una fábrica comercial en 2026 con una capacidad anual de 30.000 toneladas métricas. Además, planea implementar un modelo de negocio basado en la concesión de licencias tecnológicas para ampliar su alcance e impacto a nivel global.

Responda la preguntas:

1) ¿Cómo se compara Infinited Fiber con el algodón tradicional?

2) ¿Cómo está abordando Infinited Fiber los desafíos de escalabilidad y costos?

varían considerablemente, siendo las fibras hilables el producto más valioso. El reciclaje químico, aunque más costoso, produce fibras de mayor calidad.

» Nivel de madurez tecnológica: El reciclaje mecánico está bien establecido, mientras que se espera que el reciclaje químico se expanda significativamente en los próximos 5 a 10 años.

- **Parámetros críticos:** El reciclaje mecánico depende de la precisión en la clasificación, la optimización de la maquinaria y la calidad de las fibras. El reciclaje químico requiere una clasificación detallada y la eliminación de componentes no textiles para lograr una alta pureza del material.
- **Potencial de mercado:** La viabilidad económica aumenta con las aplicaciones de alto valor de las fibras recicladas. Las fibras de calidad y los ajustes adecuados de las máquinas son esenciales para el hilado, mientras que las tecnologías de no tejidos permiten producir fieltros técnicos y materiales aislantes a partir de fibras recicladas.

¿Tiene alguna pregunta para el facilitador antes de finalizar esta sesión?

.....

.....

Lista de lecturas adicionales (opcional)

- European Commission, 2021, Duhoux et al., *Study on the technical, regulatory, economic and environmental effectiveness of textile fibres recycling*
- Mckinsey & Company, 2022, *Scaling textile recycling in Europe—turning waste into value*
- Rieter, 2020, *The Increasing Importance of Recycling in the Staple-Fiber Spinning Process*
- Rieter, 2020, *The Ideal Rotor Spinning Process for a High Short-Fiber Content*



Fin de la SESIÓN 3

Muchas gracias por su participación.

SESIÓN

4

Valorización de los modelos de negocio de reciclaje textil

INTRODUCCIÓN

¡Bienvenidos! Los objetivos de esta sesión son:

1. Explorar los diversos modelos de negocio que operan dentro de la cadena de valor del reciclaje textil.
2. Identificar los recursos estratégicos clave y las capacidades de la cadena de suministro necesarias para escalar eficazmente la cadena de valor del reciclaje textil.
3. Profundizar en el desarrollo de hojas de ruta empresariales para el reciclaje y de marcos nacionales de monitoreo. Además, comprender el papel fundamental de la trazabilidad de los datos y del análisis de viabilidad en estos procesos.



Responda la pregunta

La cadena de valor del reciclaje textil integra diversos actores con diferentes tipos de modelos de negocio.

Según lo que usted sabe sobre esta cadena de valor: ¿Qué factores cree que **dificultan su escalabilidad**? ¿Qué podría hacerse para **mejorar la escalabilidad** de la cadena de valor del reciclaje textil?



Video

Presentación en video sobre diferentes modelos de negocio de reciclaje textil. Vea el video y tome notas.

Valorización de los modelos de negocio de reciclaje textil

En este video exploraremos diversos modelos de negocio y cadenas de valor del reciclaje textil.

Vamos a:

- Analizar formas de escalar estos modelos;
- Identificar los recursos estratégicos y las capacidades que requieren; y
- Examinar cómo planificar e implementar de manera eficaz hojas de ruta para construir un sistema circular sólido.

Modelos de negocio de reciclaje textil

A lo largo de la cadena de valor del reciclaje textil operan diferentes tipos de empresas, incluidos recicladores textiles, intermediarios y proveedores de servicios como mercados y plataformas digitales. Todos ellos utilizan distintos modelos de negocio.

Recicladores textiles

Los recicladores textiles son principalmente entidades con fines de lucro que adquieren textiles no reutilizables y los reciclan mediante diversas tecnologías y procesos, como el reciclaje mecánico o químico. Estos recicladores se diferencian según:

- La tecnología de reciclaje que utilizan
- El tipo de materia prima que manejan, clasificada por material (como algodón, poliéster, etc.) o por origen (como residuos postindustriales o postconsumo)
- El tipo de producto resultante que generan, como tipos específicos de fibras recicladas.

Sus modelos de negocio varían según la fuente de materia prima que utilicen.

- Los residuos postconsumo suelen ser gestionados por “**recicladores nativos**”, que son organizaciones dedicadas exclusivamente al reciclaje.
- Los residuos postindustriales son procesados tanto por recicladores tradicionales como por fabricantes textiles, y muchos grandes fabricantes reciclan sus propios residuos de producción.
- Las organizaciones especializadas en recolectar, clasificar y revender textiles también están procesando cada vez más los residuos no reutilizables mediante operaciones de reciclaje.
- Finalmente, los desarrolladores de tecnologías innovadoras, especializados en reciclaje químico o enzimático, suelen utilizar modelos basados en licencias. En estos modelos, licencian sus tecnologías a otros actores, como los productores textiles. Este enfoque facilita la ampliación de la tecnología y permite ubicar las plantas de reciclaje más cerca de las fuentes de materia prima.

Intermediarios de textiles usados y de desecho

Los intermediarios conectan las fuentes de materia prima con los recicladores, actuando como intermediarios en la cadena de valor del reciclaje textil. Ejemplos de ello son los comerciantes de residuos, corredores y clasificadores que agregan y preparan la materia prima para el reciclaje.

Los agregadores y clasificadores recolectan textiles no reutilizables de los puntos de recogida y los clasifican por color, tamaño y según las necesidades de los recicladores. Los preprocesadores a veces eliminan componentes no textiles y realizan el garneting, un proceso en el que recortes de producción y ropa usada se trituran mediante cilindros con púas de alta velocidad.

Proveedores de servicios

Los proveedores de servicios desempeñan un papel esencial en viabilizar el reciclaje textil, aunque no procesan directamente las corrientes de residuos. Ofrecen soluciones como mercados y plataformas digitales que facilitan y agilizan las actividades de reciclaje, especialmente en el comercio y la gestión de residuos textiles.

Plataformas digitales basadas en información

Estas plataformas mejoran la visibilidad y la conectividad dentro de la cadena de valor del reciclaje textil al mapear el volumen y la ubicación de los residuos textiles, y al conectar la oferta y la demanda de estas corrientes de desecho.

Por ejemplo, la plataforma Recycle de Refashion se especializa en el mapeo digital de residuos y en la intermediación, centrándose en los residuos textiles domésticos postconsumo. Proporciona información sobre la disponibilidad de materia prima, las soluciones de reciclaje y los perfiles de los actores clave en toda Europa.

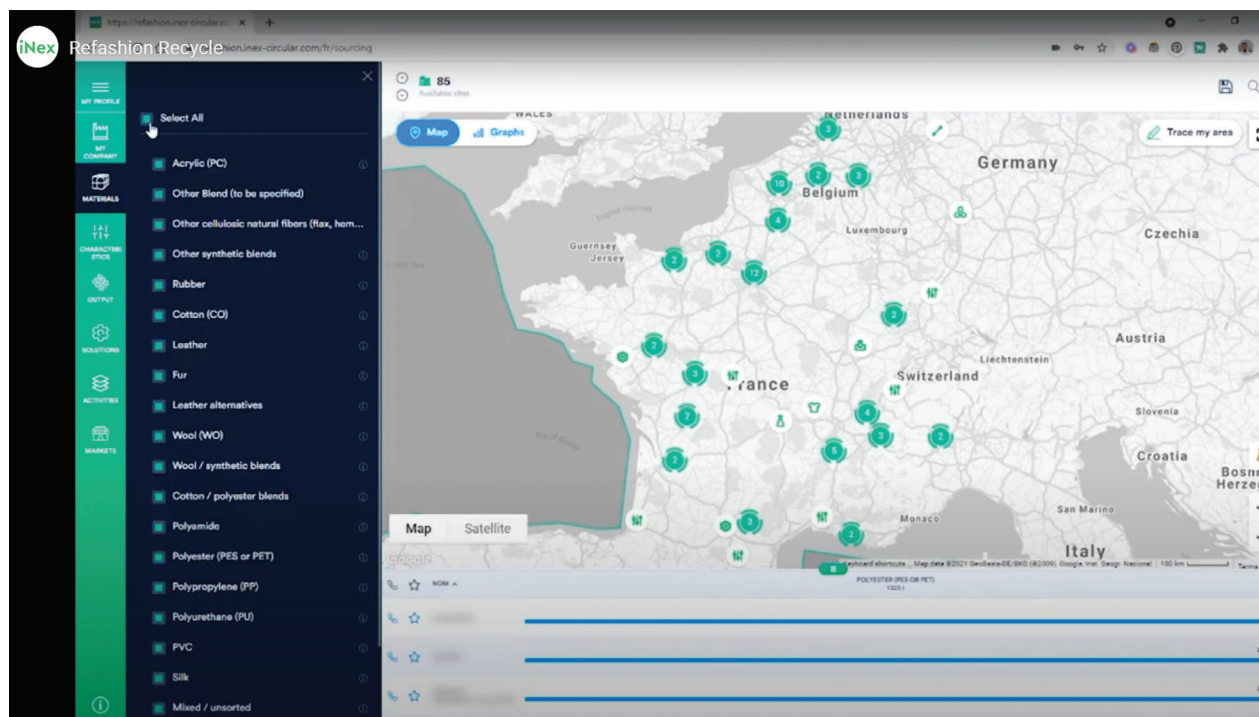


Figura 4.1. Ejemplo de plataforma digital basada en información para el reciclaje textil. (Fuente: Refashion)

Plataformas digitales basadas en transacciones

Estas plataformas funcionan como mercados integrales que conectan a socios de clasificación con recicladores, permitiendo transacciones business-to-business (B2B) mediante herramientas y datos esenciales.

Un buen ejemplo es Reverse Resources, una plataforma SaaS que ofrece:

- Intermediación abierta entre recolectores, clasificadores, fabricantes y proveedores de servicios.
- Herramientas para que los actores ofrezcan conjuntamente textiles clasificados por tipo y composición.
- Sistemas de verificación para rastrear dónde y cómo se reciclan los residuos.
- Datos en tiempo real e información de mercado para escalar la circulación de fibras.

La financiación derivada de la **Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP/EPR)** puede apoyar estas plataformas, mejorando la asequibilidad y accesibilidad de la materia prima para los recicladores. Canalizar recursos de RAP a través de estas plataformas fomenta prácticas de reciclaje más eficientes y generalizadas.



Figura 4.2. Ejemplo de plataforma digital basada en transacciones para el reciclaje textil. (Fuente: Reverse Resources)

Recursos y capacidades estratégicas para escalar la cadena de valor del reciclaje textil

Como puedes ver en la pantalla, existen 11 recursos y capacidades estratégicas que son esenciales para escalar la cadena de valor del reciclaje textil.

Recogida colaborativa

Esto implica aumentar la eficiencia y el volumen de la recogida de residuos textiles mediante la creación de alianzas en distintas regiones. Esto genera economías de escala, haciendo que el proceso de recogida sea más rentable. También incluye la participación en proyectos piloto liderados por la

industria que ponen a prueba modelos de gobernanza para la gestión colectiva de residuos. Además, los esfuerzos colaborativos se centran en mejorar la separación de las corrientes de residuos textiles mediante campañas de concienciación para consumidores y actividades de fortalecimiento de capacidades para los sistemas de recogida.

Gestión del transporte

La gestión del transporte garantiza que los residuos textiles se trasladen de forma rentable. Esto implica minimizar la distancia entre los puntos de recogida y los almacenes o las instalaciones de clasificación, colaborando con socios regionales y planificando rutas logísticas optimizadas. Al aprovechar redes de transporte eficientes —incluyendo camiones completamente cargados y un empacado adecuado— el proceso reduce pérdidas y disminuye los costos de transporte.

Diseño de infraestructura logística

El diseño de la infraestructura logística consiste en crear sistemas eficientes para almacenar y clasificar residuos textiles. Esto incluye localizar estas operaciones para reducir los costos de transporte y decidir entre operaciones centralizadas o descentralizadas para optimizar el abastecimiento de materia prima. Construir infraestructura con los modelos de propiedad adecuados y trabajar con socios internacionales para ampliar la capacidad ayuda a mejorar las economías de escala.

Creación de transparencia

La creación de transparencia implica implementar sistemas que proporcionen visibilidad y trazabilidad a lo largo de toda la cadena de valor del reciclaje textil. Esto incluye realizar auditorías periódicas, recopilar datos de forma sistemática y llevar a cabo análisis de recogida y clasificación. La transparencia también abarca medir los impactos ambientales y sociales de las operaciones y hacer seguimiento del progreso hacia los objetivos de reducción de recursos y descarbonización.

Garantizar el suministro de material para clasificación

Asegurar un suministro fiable de materia prima para la clasificación implica asociarse con diversos recolectores para mantener un flujo constante de materiales. También incluye garantizar cadenas de suministro regionales estables, lo que ayuda a asegurar volúmenes previsibles y una calidad constante para la clasificación y el reciclaje.

Mejorar las operaciones de clasificación

Mejorar las operaciones de clasificación se centra en hacer que la clasificación sea más eficiente y eficaz. Esto incluye capacitar al personal mediante programas de upskilling y reskilling para desarrollar experiencia en clasificación orientada al reciclaje. Además, la integración de tecnologías automáticas de clasificación junto con procesos manuales optimiza los costos. Promover buenas prácticas de clasificación durante la recogida garantiza una mejor separación de residuos desde el inicio del proceso.

Organizar actividades de preclasificación

Las actividades de preclasificación consisten en preparar los residuos textiles para los sistemas de clasificación automatizada. Esto abarca gestionar los costos asociados a la preclasificación y colaborar en proyectos que mejoren estos métodos. Organizar estas actividades también puede generar oportunidades de negocio, como ofrecer servicios de clasificación para apoyar procesos automatizados.

Habilitar el suministro de materia prima para el reciclaje

Este proceso alinea la oferta de textiles clasificados con la demanda de fibras recicladas. Incluye prácticas de clasificación dinámicas para satisfacer las necesidades del mercado y colaborar con los recicladores para garantizar volúmenes suficientes y diversidad de materiales. Esta alineación respalda el funcionamiento continuo de las instalaciones de reciclaje.

Organización de las actividades de preparación

Las actividades de preparación incluyen tareas como recortar o adecuar los textiles para que sean aptos para el reciclaje. Estos procesos se realizan junto con las operaciones de reciclaje y requieren una gestión cuidadosa para controlar eficazmente los costos asociados.

Localización geográfica

La localización geográfica se centra en situar las instalaciones de reciclaje cerca de los lugares donde se generan los residuos, con el fin de reducir los costos de la cadena de suministro y la logística. Esto implica optimizar la logística de entrada y salida, así como licenciar estratégicamente la tecnología a usuarios ubicados en estas regiones para garantizar una eficiencia operativa a largo plazo.

Intermediación entre el reciclaje y la producción lineal

Esto consiste en conectar los procesos de reciclaje con la producción textil tradicional para cerrar el ciclo dentro de la cadena de valor. La colaboración estratégica con productores de fibra y marcas, a través de acuerdos de compra anticipada (offtake agreements), garantiza una demanda constante de materiales reciclados. Además, proporcionar transparencia sobre la producción de material reciclado y ofrecer orientación sobre diseño compatible con el reciclaje ayuda a que las marcas y los proveedores integren prácticas más sostenibles.

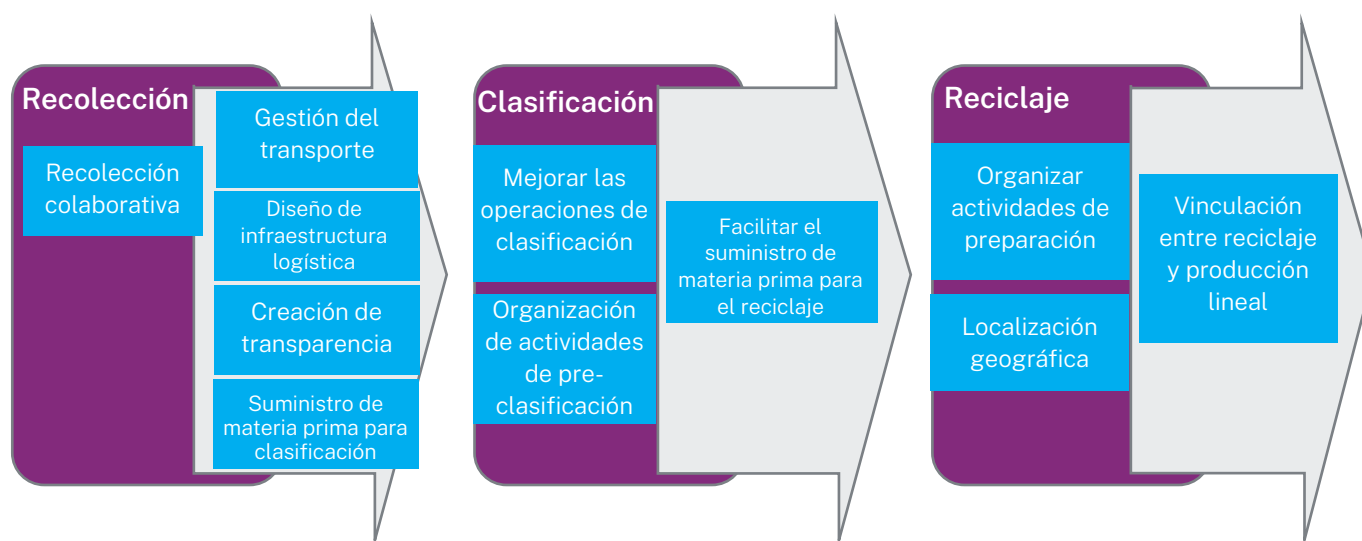


Figura 4.3. Recursos y capacidades estratégicos para escalar la cadena de valor del reciclaje textil.

(Fuente: Sandberg y Pal, 2024)

Hojas de ruta para negocios de reciclaje y evaluaciones de escalabilidad

A nivel de cada organización, construir una hoja de ruta para el reciclaje textil implica crear tanto un plan de proyecto a nivel de actores involucrados como un marco nacional de seguimiento.

Comencemos por analizar los pasos necesarios para configurar un plan de proyecto a nivel de los actores:

Paso 1: Configuración del plan

Identificar claramente la oportunidad o el problema que se desea resolver, y los objetivos que se quieren alcanzar. Los objetivos típicos de un plan de proyecto pueden redactarse como los que ves en pantalla:

- Esfuerzos incrementados en la recolección, el procesamiento y el reciclaje de textiles usados para crear nuevos productos.
- Colaboración en la recopilación y el reporte de datos para identificar dónde se necesitan infraestructura e inversión para acelerar el reciclaje textil.
- Desarrollo de nuevos modelos de negocio y asociaciones que conecten a los actores existentes y emergentes.
- Mayor colaboración entre los actores del reciclaje textil-a-textil, incluidos recolectores, recicladores y pre-procesadores, para mejorar la eficiencia y los resultados.

Estos objetivos, ya se implementen de manera colectiva o individual, darán forma al plan de proyecto, guiarán la estructura de gobernanza y determinarán a los actores clave que deben involucrarse.

Paso 2: Crear una estructura de gobernanza

Identificar la estructura de gobernanza más eficaz, ya sea para una nueva entidad o como parte de

una organización existente, y establecer un comité directivo que supervise las siguientes actividades:

- Determinar cómo se toman las decisiones y quién hace qué
- Elaborar el plan de negocio
- Ejecutar modelos de financiación y mecanismos de recaudación de fondos
- Reclutar nuevos participantes y apoyar los intereses de los miembros

Establecer grupos de trabajo para aportar experiencia y orientación operativa en temas alineados con los objetivos del proyecto. Estos grupos pueden abordar áreas como dotación de personal, requisitos de los socios, especificaciones de clasificación y desarrollo del caso de negocio.

Paso 3: Involucrar a los actores

Crear un mapa de actores para identificar las preguntas clave necesarias para buscar y seleccionar a los actores adecuados. Definir sus funciones, responsabilidades, desafíos y los correspondientes planes de acción.

Paso 4: Elaborar un presupuesto y establecer la financiación

Desarrollar una estrategia financiera para el reciclaje textil implica dos pasos fundamentales: identificar los componentes de costo y asegurar la financiación.

Al determinar los componentes de costo, considerar los siguientes gastos:

- Gastos operativos (personal, TI, aspectos legales, oficinas, equipamiento, aplicaciones, etc.)
- Gastos de capital (desarrollo de tecnología, sistemas de trazabilidad, etc.)
- Marketing y desarrollo de negocio
- Investigación y pruebas piloto
- Gastos de programas piloto (materias primas, transporte, pruebas, etc.)
- Gastos misceláneos (viajes, suministros, etc.)

Se pueden considerar diversos mecanismos de financiación, incluidos **inversiones privadas** de ángeles inversionistas, capital de riesgo o préstamos verdes para empresas. Las **subvenciones** de entidades privadas, corporaciones o gobiernos suelen ser adecuadas para tecnologías con niveles de preparación más bajos. Otra opción son las **inversiones de accionistas** provenientes de marcas y minoristas, con enfoques de financiación que varían según la región. Las **subvenciones del sistema de Responsabilidad Ampliada del Productor (EPR)** también pueden ofrecer una financiación de transición eficaz.

Paso 5: Pilotar la cadena de valor y el modelo de negocio

Este paso se centra en identificar a los socios de la cadena de suministro y sus operaciones, incluidos parámetros del proceso como la disponibilidad de materia prima, los volúmenes, las capacidades y los requisitos de competencias. Es fundamental tener en cuenta los posibles cuellos de botella, como capacidad limitada, costos elevados o falta de personal cualificado. Además, deben evaluarse las demandas del mercado por parte de marcas y minoristas para alinear el producto con sus ofertas.

Puedes ver en pantalla las variables clave que deben mapearse. Más adelante, tómate un tiempo para leerlas en detalle en tu cuaderno de trabajo.

	NIVEL DE PRODUCTO	NIVEL DE PROCESO	NIVEL DE CADENA DE SUMINISTRO
Recogida colaborativa	• Porcentaje de fracción reutilizable	• Costos de recolección • Volumen de recolección y tasa de recolección	• Modalidades de recogida y modelo de gobernanza • Número de recolectores y puntos de recogida
Suministro de materia prima para la clasificación	• Precios según las condiciones del mercado • Porcentaje del textil recolectado que se clasifica	• Capacidad total de almacenamiento • Costos de manipulación de materiales	
Organizar actividades de preclasificación	Número de fracciones de clasificación y volúmenes	• Rendimiento de clasificación y tasa/eficiencia de conversión	- Número de pre-clasificadores y clasificadores • Modo de clasificación y su respectivo modelo de gobernanza
Mejorar las operaciones de clasificación	• Productividad habilitada por tecnología		
Facilitar el suministro de materia prima para el reciclaje	• Color, material y composición • Densidad del tejido y otras características	• Volumen clasificado y calidad del material clasificado • Capacidad total de almacenamiento/bodegaje	
Organizar actividades de preparación	• Contenido químico y de tintes, otras purezas • Precios	• Etapas de preparación y costos asociados • Variedad y variabilidad de la materia prima	
Alinear reciclaje y requisitos del mercado	• Demanda de productos reciclados	• Rendimiento de reciclaje y tasa de conversión • Calidad del producto adecuada a los requisitos. • Flujo del proceso de reciclaje optimizado	• Volumen de demanda y cantidad mínima de pedido (MoQ) • Modo de reciclaje y correspondiente modelo de gobernanza
Delimitación geográfica	• Ubicación de todos los actores y distancias entre cada nodo • Impuestos a la exportación/importación de residuos textiles		
Crear un sistema de trazabilidad y gestión de la información	• Todos los datos en una cadena de custodia • Estándares, por ejemplo, GRS		
Diseñar la cadena de valor y la infraestructura logística	• Infraestructura disponible y flujo de materiales • Capacidad total de almacenamiento		• Eficiencia de los costos logísticos
Gestión del transporte	• Carga del camión, volumen y frecuencia (eficiencia espacial)	• Carga de camión, volumen y frecuencia (eficiencia de espacio). • Costos de transporte y huella (ambiental/de carbono)	• Distancias entre cada nodo • Impuestos por exportación/importación de residuos textiles

Figura 4.4. Mapeo de los requisitos de datos en la cadena de valor del reciclaje textil.

Paso 6: Pruebas para la expansión

Para transformar un programa piloto en una fabricación a escala completa, es esencial planificar adecuadamente la **cantidad mínima de pedido (MOQ)**. Los requisitos clave incluyen:

- Alinear los tamaños de los lotes del proceso con los volúmenes de producción esperados.
- Equilibrar la oferta y la demanda para satisfacer las necesidades del mercado final.
- Mejorar la calidad de la materia prima y del proceso mediante la estandarización y la optimización.
- Desarrollar métricas de reporte de sostenibilidad para medir el rendimiento y evaluar la escalabilidad.
- Implementar un sistema formal de seguimiento utilizando un modelo adecuado de Cadena de Custodia (CoC) para mantener la integridad de la cadena de suministro.

Establecimiento de un marco nacional de seguimiento

Establecer un marco nacional de seguimiento es fundamental para evaluar el progreso hacia metas y objetivos específicos. Este marco integra los proyectos liderados por los distintos actores, garantizando la alineación entre los enfoques nacionales y los de los actores involucrados para evaluar de manera eficaz la transición en su conjunto.

Además de definir prioridades a largo plazo, el marco sirve como una herramienta esencial para el desarrollo de estrategias y la planificación entre los actores económicos. Ofrece una orientación prospectiva para orientar acciones futuras, al tiempo que proporciona retroalimentación retrospectiva

para evaluar el desempeño y ajustar las estrategias.

Pasos para establecer un marco nacional de seguimiento

Paso 1: Definir objetivos y prioridades

Deben establecerse objetivos clave en las áreas prioritarias, incluidas la reforma de políticas, los sistemas de información, el desarrollo de capacidades, los incentivos de mercado para la inversión y las campañas de formación y sensibilización. Algunos ejemplos de objetivos clave podrían incluir:

- Ampliar la capacidad de reciclaje y modernizar el equipamiento de reciclaje para aumentar la calidad y la rentabilidad
- Incrementar la segregación de residuos y las tasas de recogida
- Aumentar el uso de fibras recicladas en las cadenas de valor

Paso 2: Elaborar un plan de acción

Para cada objetivo prioritario, desarrollar un plan de acción detallado que incluya:

- Mapeo del estado actual (status quo) para evaluar la situación existente.
- Identificación de las brechas que deben abordarse.
- Definición de indicadores clave de desempeño (KPIs) para medir el progreso.
- Participación de los actores clave responsables de la implementación.

Por ejemplo, al establecer un sistema nacional de información y plataformas digitales para la valorización, transparencia y trazabilidad de los residuos textiles, considerar lo siguiente:

- **Estado actual:** ¿Cuál es la situación actual respecto a la cuantificación y caracterización de los residuos textiles?
- **Iniciativas existentes:** ¿Qué esquemas de incentivos y programas de formación ya existen?
- **Marcos legales:** ¿Qué regulaciones están vigentes o se prevén?
- **KPIs:** ¿Cuáles son los objetivos medibles, como el número de empresas participantes, toneladas de residuos registradas y trazadas, etc.?
- **Actores clave:** ¿Quiénes son los principales actores, como ministerios, empresas y organizaciones de apoyo empresarial?

Paso 3: Crear un panel de información

Debe establecerse un conjunto cuidadosamente seleccionado de KPIs para monitorear el progreso. Estos pueden incluir métricas cualitativas, como el desempeño operativo, así como indicadores experimentales, como la generación de ingresos, que podrían requerir ajustes adicionales a medida que el programa evolucione.

Paso 4: Implementar el plan de ejecución

El calendario de la hoja de ruta se divide en fases según la prioridad de cada intervención dentro del marco. Los plazos deben definirse claramente para cada plan de acción, estableciendo expectativas para los resultados a corto, medio y largo plazo.

Los dos habilitadores clave para implementar con éxito un plan de acción basado en una hoja de ruta son:

- **Datos sólidos, mecanismos de trazabilidad y sistemas de reporte** para garantizar la transparencia, monitorear el progreso y proporcionar información procesable.
- **Planes de inversión de capital y modelos de evaluación de viabilidad** para asegurar la financiación y evaluar la practicidad y sostenibilidad de las acciones propuestas.

Mecanismos de datos, trazabilidad y reporte

Diferentes modelos de Cadena de Custodia (CoC) pueden garantizar un seguimiento formal en la cadena de valor de los residuos textiles siguiendo una metodología genérica. Así es como funciona el proceso:

En el nivel más simple, la CoC se divide en **tres etapas clave: segregación, rastreo y recolección y manejo de residuos**.

1. Segregación

El primer paso consiste en identificar y clasificar los residuos textiles según sus propiedades:

- Identificar el residuo textil según atributos como el tipo de fibra (por ejemplo, algodón, poliéster) y el color.
- Segregar los residuos en grupos distintos de acuerdo con estos atributos para facilitar su manejo y procesamiento.
- Etiquetar los materiales segregados con detalles específicos sobre el tipo de fibra y el color para garantizar una identificación precisa a lo largo de toda la cadena.

2. Rastreo

Una vez que los residuos están segregados y etiquetados, se realiza un seguimiento formal registrando sus datos:

- Registrar la información de fibra y color en un sistema o base de datos de seguimiento. Esto garantiza que el recorrido del material a lo largo de la cadena de valor pueda monitorearse, proporcionando transparencia y responsabilidad.

3. Recolección y manejo de residuos

La etapa final se centra en gestionar y transportar los residuos textiles registrados:

- Los materiales registrados se transportan a instalaciones designadas de recogida, clasificación o reciclaje, manteniendo la trazabilidad a lo largo de toda la cadena de suministro.

Nota: La trazabilidad se ve comprometida cuando los intermediarios agregan los residuos. Implementar prácticas de segregación directamente en la fábrica aumenta la calidad y el valor del residuo, al mismo tiempo que reduce los costos para el reciclador.



Figura 4.5. Requisitos de la cadena de custodia (CoC) en la cadena de valor del reciclaje textil. (Fuente: BluMine)

Planes de inversión de capital y modelo de evaluación de viabilidad

Un modelo financiero de reciclaje textil puede evaluarse utilizando un modelo básico de tolerancia (*leeway model*), que determina los costos de proceso admisibles después de la recogida y la clasificación inicial. Este modelo considera las fracciones y rendimientos en diversas etapas y los compara con los precios actuales de mercado de la pulpa disolvente virgen y de los chips de poliéster.

Los gastos de capital y de operación en la cadena de valor del reciclaje textil dependen de varios factores:

- El diseño para el reciclaje, que facilita el desmontaje y la separación.
- El volumen, el rendimiento y los costos asociados a la recogida y clasificación inicial.
- Las fracciones generadas durante la segunda etapa de clasificación.
- El rendimiento en el corte y la separación de componentes.
- Los costos del proceso y el rendimiento, junto con el valor de los materiales residuales durante el reciclaje.
- Los costos globales del proceso en toda la cadena de valor.

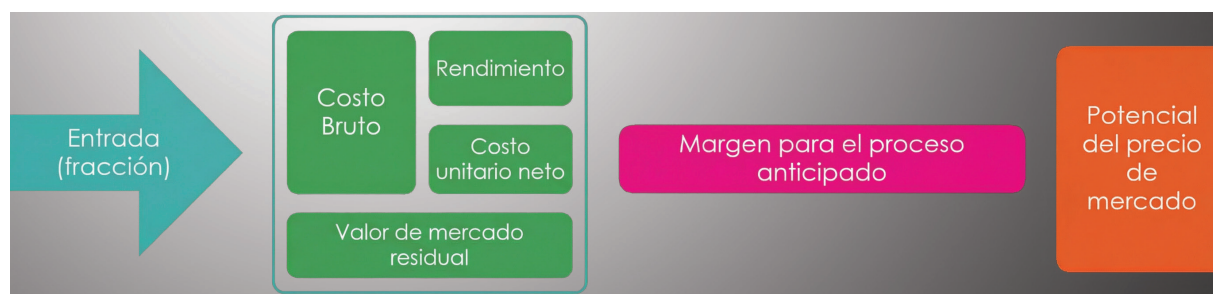


Figura 4.6. Modelo básico de flexibilidad (*leeway model*) para evaluar la viabilidad financiera del reciclaje textil. (Fuente: Feasibility of Conditional Design))

Conclusión

En este video analizamos varios modelos de negocio de reciclaje textil, incluidos los de recicladores, intermediarios y plataformas digitales. Describimos las capacidades estratégicas clave que son fundamentales para la cadena de valor, como la recogida colaborativa, la logística eficiente y la trazabilidad. Además, exploramos el desarrollo de hojas de ruta empresariales y marcos nacionales de seguimiento, haciendo hincapié en la planificación, la participación de los actores y la escalabilidad. Finalmente, abordamos cómo evaluar la viabilidad financiera de los planes de acción. Esperamos que este video haya sido informativo y valioso.



Verificación de conocimientos

Responda las siguientes preguntas en los espacios proporcionados a continuación.

1) Como vimos en el video, elaborar un plan de proyecto a nivel de partes interesadas y una hoja de ruta empresarial consta de varios pasos. En sus propias palabras, explique cada uno de estos pasos y en qué consisten.

1. Preparación del plan
2. Crear una estructura de gobernanza
3. Involucrar a las partes interesadas
4. Elaborar un presupuesto y establecer la financiación
5. Poner a prueba la cadena de valor y el modelo de negocio
6. Ensayos para la ampliación

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) ¿Por qué es importante establecer un marco nacional de monitoreo para escalar las operaciones de reciclaje textil en un país?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3) ¿Qué papel desempeña la trazabilidad en el fortalecimiento de la competitividad de la cadena de valor del reciclaje textil?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

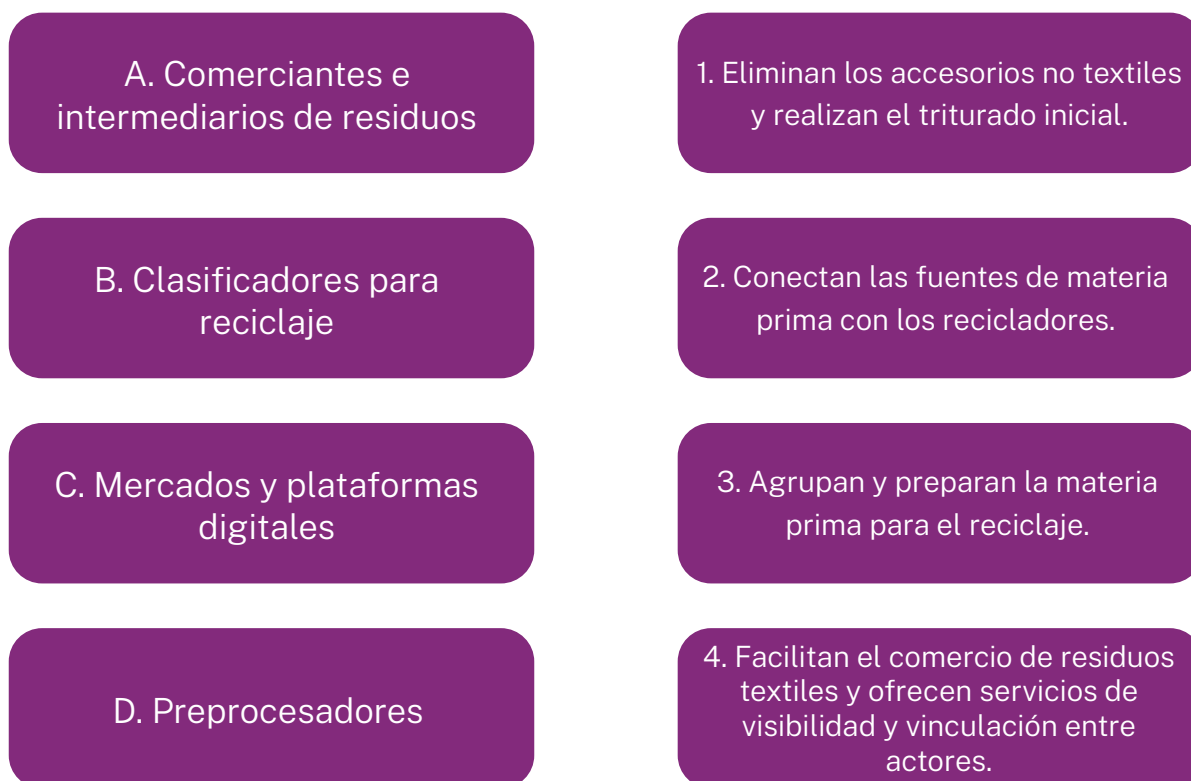
.....

.....

.....

.....

4) Relacione las siguientes empresas con sus actividades:



5) En sus propias palabras, explique qué factores influyen en la viabilidad de un modelo de negocio de reciclaje textil.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Pregunta de discusión

Como se mencionó en el video, la colaboración y las alianzas con diversas partes interesadas son fundamentales para garantizar el éxito de la cadena de valor del reciclaje textil. ¿De qué maneras se pueden fomentar la colaboración y las alianzas? ¿Entre quiénes?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Ejercicio – Estudio de caso

Tómese unos minutos para leer el **estudio de caso sobre el ecosistema de reciclaje textil de la India** y sus planes para definir las **áreas de intervención estratégica** con miras a la **planificación futura**.

La India es un importante receptor de textiles posconsumo a nivel mundial, gestionando aproximadamente **7.793 kilotoneladas** (8,5% de los residuos textiles globales), con un valor de más de **100 millones de euros**. Los centros clave incluyen **Kandla SEZ**, en Guyarat, con grandes instalaciones de clasificación y gradación que emplean a unas 3.000 personas, y **Panipat**, en Haryana, uno de los mayores clústeres mundiales de reciclaje mecánico, que alberga entre 900 y 2.500 unidades y un estimado de **4 millones de trabajadores informales**. La adopción de la economía circular es

fundamental para la India: las estimaciones gubernamentales proyectan **624.000 millones de dólares en beneficios** y una **reducción del 44% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050**. En 2019, el principal centro de reciclaje textil de Panipat exportó más de **33.000 envíos de productos reciclados**, por un valor de **1.400 millones de dólares**, a compradores como H&M, Primark y Walmart.

Cadena de valor de Panipat y productos reciclados

Panipat procesa residuos textiles posconsumo y posindustriales para reciclaje mecánico. La cadena de reciclaje de textiles posconsumo en India consta de: (i) clasificación, (ii) hilatura y (iii) fabricación de productos mediante tejido y otras técnicas. La mayor parte del residuo textil posconsumo procede de **Kandla SEZ**, donde las empresas importan, clasifican y almacenan textiles usados. Aunque gran parte se reexporta, una fracción se **mutila** (para cumplir requisitos aduaneros) y se transporta a Panipat para su reciclaje. Allí, los materiales se reclasifican por fibra y color, se eliminan las partes duras y los textiles se desfibran para el reciclaje mecánico antes de reingresar en el proceso de fabricación de hilados.

Panipat también gestiona residuos textiles posindustriales, principalmente recortes de fábrica del área de Delhi/NCR y, cada vez más, flujos transfronterizos desde Bangladés. Los comerciantes de chatarra recogen y clasifican estos recortes por tamaño, color y tipo de tejido, y luego los venden a contratistas de Panipat o directamente a las unidades de reciclaje.

Las fábricas de clasificación e hilatura de Panipat producen principalmente **hilado reciclado**, con más de **50 hilanderías**, además de unidades de tejido y de fabricación de no tejidos. Los productos finales más comunes incluyen **mantas, alfombras y textiles para el hogar**, mientras que los hilados más gruesos se utilizan para **lanzas (throws), alfombras, felpudos y chales**. Estos productos se exportan a Europa, Estados Unidos, Canadá, Australia y Japón, además de venderse en el mercado local. El hilado reciclado también se envía a todo el mundo —incluidos Kenia y Colombia— para procesos de tejido. Asimismo, las prendas sobrantes se procesan en **bayetas industriales** para distintas industrias, y los textiles de alta calidad se empacan para exportarse a centros textiles como **Prato, Italia**.

Infraestructura y cadena de suministro textil de la India

La infraestructura a gran escala de la India para la clasificación, el procesamiento y el reciclaje de textiles ha recibido atención mundial. Las inversiones de Fashion for Good, Reverse Resources y grandes actores del sector textil (como Arvind, Welspun y Birla Cellulose) están impulsando el progreso, junto con socios internacionales como PVH, Adidas y Levi's. Con el aumento de los residuos textiles domésticos y el creciente poder adquisitivo, la India está bien posicionada para convertirse en un líder global en reciclaje textil, fomentando nuevas cadenas de valor y modelos de negocio para la colaboración intercontinental.

Para ampliar el ecosistema de reciclaje textil de la India, es fundamental abordar los factores clave de éxito y los desafíos existentes. El reciclaje sigue siendo un segmento de nicho que enfrenta problemas de volumen, costo, calidad y consistencia en la cadena de suministro. Cuatro factores críticos para el desarrollo del ecosistema incluyen la disponibilidad de materia prima, la infraestructura de recogida y clasificación, la tecnología de reciclaje y la demanda del mercado. Aunque la India cuenta con una base sólida para ser competitiva, las colaboraciones estratégicas son esenciales para:

- Establecer cadenas de valor inclusivas y transfronterizas, y soluciones sistémicas.

- Alinear la oferta y la demanda para valorizar las cadenas globales de reciclaje.
- Impulsar la innovación mediante asociaciones público-privadas y apoyo regulatorio.

Las cuatro dimensiones para escalar el ecosistema de reciclaje textil son:

- **Optimización de la cadena de valor:** Avanzar en tecnologías, construir plataformas multitecnológicas e implementar certificaciones y estándares para mejorar la credibilidad de las marcas y el diseño de la cadena de suministro.
- **Alineación estratégica:** Fortalecer la inteligencia de mercado, mejorar la orientación de la cadena de suministro y equilibrar la estandarización con la innovación creativa.
- **Pensamiento de ciclo de vida:** Fomentar perspectivas sistémicas y la sostenibilidad del triple resultado (triple bottom line) para abordar las brechas del reciclaje, garantizando resultados de emisiones netas cero.
- **Alianzas multiactor:** Promover la financiación circular y los incentivos para formalizar el ecosistema, permitiendo el aprendizaje compartido y soluciones basadas en el conocimiento.

El ecosistema de la India tiene un enorme potencial, pero su expansión requiere esfuerzos coordinados para garantizar sostenibilidad, innovación y crecimiento económico.

Lea el documento técnico completo: *Pal et al. (2024), Positioning Indian textile recycling ecosystem globally: Setting the strategic intervention areas for future road mapping.*



Responda las preguntas:

1) Según su comprensión del estudio de caso sobre este ecosistema, ¿cuáles considera que son los puntos clave que el ecosistema de reciclaje textil de la India debe tener en cuenta para una planificación estratégica exitosa en el futuro?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) ¿Cómo podrían las alianzas mejorar la sostenibilidad en el ecosistema de reciclaje textil de la India?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

CONCLUSIÓN

Entonces, ¿qué hemos aprendido?

- **Modelos de negocio diversos:** La cadena de valor del reciclaje textil abarca diferentes modelos de negocio, incluidos recicladores, intermediarios y proveedores de servicios, cada uno con funciones y conocimientos especializados.
- **Recursos y capacidades estratégicas:** Los sistemas eficaces de recolección, transporte, clasificación y transparencia son fundamentales para escalar las operaciones dentro de la cadena de valor del reciclaje textil.
- **Planificación colaborativa:** Un enfoque impulsado por las partes interesadas, con objetivos claros, estructuras de gobernanza sólidas y mecanismos de retroalimentación continua, es esencial para crear hojas de ruta empresariales efectivas.
- **Marco nacional de monitoreo:** Desarrollar un marco nacional es clave para rastrear el progreso, garantizar el cumplimiento normativo y mejorar las estrategias mediante una retroalimentación constante.
- **Trazabilidad y plataformas digitales:** La adopción de sistemas de trazabilidad y el uso de plataformas digitales mejoran la transparencia, amplían el acceso al mercado y fortalecen la integridad de la cadena de suministro.

¿Tiene alguna pregunta para el facilitador antes de finalizar esta sesión?

.....

.....

.....

Lista de lecturas adicionales (opcional)

- Sandberg and Pal, 2024, *Exploring supply chain capabilities in textile-to-textile recycling–A European interview study*
- *Accelerating Circularity Reports*
- Switchmed, 2024, *National Roadmap for minimizing and valorizing pre-consumption textile waste in Egypt*
- Switchmed, 2024, *National Roadmap for minimizing and valorizing pre-consumption textile waste in Tunisia*
- *Positioning Indian textile recycling ecosystem globally: Setting the strategic intervention areas for future road mapping*
- Arisa, *Textile recycling unravelled*



Fin de la SESIÓN 4

Muchas gracias por su participación.



Fin de la jornada 2

Café y té

