



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales  
ICADE

**StockLoop: un modelo analítico para la  
gestión optimizada del deadstock textil  
en marcas medianas españolas ante el  
nuevo marco regulatorio europeo**

Autor: Pablo Fernández-Vega Escandón

Director: José Portela González

MADRID | Junio 2026

## **Resumen**

El sector textil-moda afronta en el horizonte 2026-2030 un cambio regulatorio sin precedentes en la Unión Europea. El Reglamento sobre Diseño Ecológico de Productos Sostenibles prohíbe la destrucción de inventarios, impone obligaciones anuales de divulgación con formato estandarizado e introducirá el Pasaporte Digital de Producto para textiles, mientras que la nueva Directiva Marco de Residuos establece esquemas de Responsabilidad Ampliada del Productor con tarifas eco-moduladas. Este marco coloca a la mediana empresa textil española en una posición especialmente delicada, ya que afronta las mismas exigencias que las grandes corporaciones, pero sin departamentos de sostenibilidad propios. El presente trabajo analiza la viabilidad de un proyecto empresarial dirigido a este segmento mediante el desarrollo de una herramienta analítica de apoyo a la decisión sobre el destino óptimo del deadstock. La propuesta se articula en una arquitectura por fases que comienza con consultoría especializada antes de invertir en plataforma. El núcleo analítico es un modelo de programación lineal entera que asigna cada referencia a uno de los seis canales de salida considerados, maximizando una función objetivo que combina criterios económicos, ecológicos y regulatorios bajo restricciones operativas. Aplicado a un caso simulado de marca mediana con 300 referencias y 50.000 unidades, el modelo genera un ahorro del 65,6% sobre la práctica habitual del sector, evita 175 toneladas adicionales de CO<sub>2</sub> y sitúa la totalidad del inventario en canales de alto valor circular. El análisis de sensibilidad demuestra que las recomendaciones son robustas al perfil estratégico declarado por la marca.

El prototipo del servicio descrito en el trabajo está accesible en:

<https://deadstock-app-virid.vercel.app/>

## **Palabras clave**

Deadstock textil, economía circular, programación lineal entera, ESPR, análisis prescriptivo, optimización multicriterio, mediana empresa española, sostenibilidad.

## **Abstract**

The textile and fashion sector faces an unprecedented regulatory transformation in the European Union over the 2026-2030 horizon. The Ecodesign for Sustainable Products Regulation bans the destruction of unsold goods, imposes annual disclosure obligations with a standardised format and will introduce the Digital Product Passport for textiles, while the revised Waste Framework Directive establishes Extended Producer Responsibility schemes with eco-modulated fees. This framework places mid-sized Spanish fashion companies in a particularly delicate position, since they face the same requirements as large corporations but without dedicated sustainability departments. This work analyses the viability of an entrepreneurial project aimed at this segment, based on the development of an analytical decision-support tool for the optimal allocation of textile deadstock. The proposal follows a phased architecture that begins with specialised consultancy before investing in platform development. The analytical core is an integer linear programming model that assigns each reference to one of six available output channels, maximising a scalarised objective function that combines economic, ecological and regulatory criteria subject to operational constraints. Applied to a simulated case of a mid-sized brand with 300 references and 50,000 units, the model produces a 65.6% improvement over the sector's standard practice, avoids 175 additional tonnes of CO<sub>2</sub> and channels the entire inventory through high circular-value destinations. The sensitivity analysis shows that the model's recommendations remain robust across different strategic profiles declared by the brand.

## **Keywords**

Textile deadstock, circular economy, integer linear programming, ESPR, prescriptive analytics, multi-criteria optimisation, Spanish mid-sized companies, sustainability.

# Contenido

1. Introducción .....	8
1.1. Justificación e interés del proyecto .....	8
1.2. Objetivos del TFG.....	9
1.3. Metodología .....	9
2. Marco teórico y regulatorio.....	10
2.1. Economía circular en el sector textil: del modelo lineal al loop .....	10
2.2. Marco regulatorio de la Unión Europea aplicable al proyecto.....	12
2.2.1. La ESPR como pilar central .....	12
2.2.2. Prohibición de destrucción de textiles no vendidos .....	13
2.2.3. Obligaciones de divulgación de invendidos.....	14
2.2.4. El Digital Product Passport para textil .....	15
2.2.5. Responsabilidad Ampliada del Productor .....	15
2.2.6. Síntesis: tres ejes, una ventana de mercado.....	16
2.3. Gestión de deadstock: canales y costes de oportunidad .....	16
2.4. Business Analytics aplicado a decisiones de inventario circular.....	18
3. Propuesta de negocio y contexto de mercado .....	19
3.1. El mercado textil-moda en España.....	19
3.2. Caracterización del cliente objetivo: la mediana empresa española .....	20
3.3. Análisis competitivo.....	21
3.4. Propuesta de valor .....	23
3.5. Modelo de negocio y arquitectura por fases.....	24
3.6. Business Model Canvas .....	26
3.7. Proyección financiera.....	27
4. Modelo de optimización para la asignación de deadstock .....	31
4.1. Planteamiento del problema .....	31
4.2. Variables de entrada .....	32
4.3. Canales de salida y parametrización .....	33
4.4. Función objetivo y restricciones .....	35
4.5. La calculadora de impacto.....	38
4.6. Aplicación a un caso simulado: la Marca M .....	38
4.6.1. Construcción y exploración del inventario.....	38
4.6.2. Resultados del caso base .....	39
4.7. Análisis de sensibilidad .....	42
4.8. Limitaciones del modelo .....	44
5. Conclusiones .....	44
6. Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado.....	47

7. Bibliografía .....	49
8. Anexos.....	52
8.1. Anexo I. Código Fuente del modelo de optimización .....	52

## Figuras

Figura 1. Definición de los canales de salida y sus parámetros. ....	35
Figura 2. Función objetivo del modelo. ....	36
Figura 3. Restricciones del modelo de optimización. ....	37
Figura 4. Composición del inventario de la marca M. ....	39
Figura 5. Asignación óptima del deadstock por canal de salida (perfil equilibrado). ....	41
Figura 6. Comparativa económica y ecológica del modelo frente a práctica habitual. ....	41
Figura 7. Canal de destino según la antigüedad del producto. ....	42
Figura 8. Reparto del deadstock por canal según el perfil de marca. ....	43
Figura 9. Trade-off entre impacto económico y ecológico según el perfil de marca. ....	43

## Tablas

Tabla 1. Estrategias de circularidad en la cadena productiva, ordenadas de mayor a menor circularidad. <i>Fuente: elaboración propia a partir de Potting et al. (2017, p. 5).</i> .....	11
Tabla 2. Ejemplos de marcas de moda que se adaptan al perfil de cliente objetivo del proyecto. <i>Fuente: elaboración propia a partir de información pública corporativa y prensa especializada.</i> .....	20
Tabla 3. Principales competidores en el mercado internacional de gestión del deadstock. <i>Fuente: elaboración propia a partir de información pública corporativa de cada operador (2024-2025).</i> .....	22
Tabla 4. Desglose de costes operativos. <i>Fuente: elaboración propia.</i> .....	28
Tabla 5. Hipotética rentabilidad del negocio. <i>Fuente: elaboración propia.</i> .....	29
Tabla 6. Variables de entrada del modelo de optimización. <i>Fuente: elaboración propia.</i> .....	32
Tabla 7. Parametrización de los canales de salida. <i>Fuente: elaboración propia a partir de estimaciones de mercado y literatura sectorial.</i> .....	33

# 1. Introducción

## 1.1. Justificación e interés del proyecto

El sector textil-moda enfrenta en el horizonte 2026-2030 una transformación regulatoria sin precedentes en la Unión Europea. La aprobación del Reglamento sobre Diseño Ecológico de Productos Sostenibles (ESPR) en 2024 introduce, entre otras medidas, la prohibición de destrucción de prendas no vendidas, la obligación de divulgar información sobre invendidos descartados y la futura entrada en vigor del Pasaporte Digital de Producto. A estas obligaciones se suma la nueva Directiva Marco de Residuos, que obliga a los Estados miembros a establecer esquemas de Responsabilidad Ampliada del Productor para textiles, según los cuáles las marcas pagarán una tarifa (tarifa ecomodulada) por cada prenda que pongan en el mercado para financiar su recogida y reciclaje, y esa tarifa será mayor o menor en función de lo sostenible que sea el producto (más durabilidad o más contenido reciclado, menos paga la marca). Los plazos de aplicación se distribuyen entre 2026 y 2030, con el horizonte temporal especialmente exigente para grandes empresas y, progresivamente, para las medianas.

Este marco regulatorio coincide con un problema económico latente: entre el 4% y el 9% de los textiles puestos en el mercado europeo se destruyen antes de ser usados (European Environment Agency, 2024). En el caso español, esto supone una pérdida anual significativa en forma de inventario invendido.

La intersección entre presión regulatoria, dolor económico y ausencia de soluciones para la mediana empresa española configura una ventana de mercado abierta. Las grandes corporaciones disponen de recursos internos para abordar la transición y las microempresas están en gran medida exentas. La mediana, en cambio, afronta el cumplimiento con un déficit de capacidades significativo. Es este segmento el que sustenta la oportunidad de negocio explorada en el trabajo.

El interés académico del proyecto reside en aplicar herramientas de Business Analytics a un problema real. La decisión sobre el destino óptimo de cada lote de invendidos es un problema de decisión multicriterio con restricciones regulatorias, económicas y reputacionales, cuyo abordaje analítico permite cuantificar el ahorro al cliente y la reducción de impacto ambiental, métricas que el marco regulatorio convierte progresivamente en datos obligatorios.

## 1.2. Objetivos del TFG

El objetivo general del trabajo es analizar la viabilidad de un proyecto empresarial dirigido a la gestión optimizada del deadstock textil de marcas medianas españolas, bajo el nuevo marco regulatorio europeo, mediante el desarrollo de una herramienta analítica de apoyo a la decisión.

Este objetivo general se concreta en cinco objetivos específicos:

1. Comprender el marco regulatorio europeo aplicable a la gestión de invendidos textiles, identificando obligaciones, plazos y excepciones relevantes para el segmento de la mediana empresa.
2. Dimensionar el problema del deadstock en el mercado textil español y caracterizar el cliente objetivo del proyecto en términos de tamaño, geografía y exposición regulatoria.
3. Analizar el panorama competitivo de servicios de gestión de inventario circular para identificar el espacio diferencial sobre el que se puede construir una propuesta.
4. Diseñar el modelo de negocio del proyecto en una arquitectura por fases coherente con un contexto de capital limitado, incluyendo propuesta de valor, Business Model Canvas y proyección financiera simplificada.
5. Desarrollar y validar la herramienta analítica que constituye la base del proyecto y que consiste en un motor de decisión multicriterio sobre el destino del deadstock y una calculadora de impacto económico y ecológico, aplicados a un caso simulado.

## 1.3. Metodología

El trabajo combina dos aproximaciones metodológicas complementarias.

En primer lugar, se lleva a cabo una revisión documental del marco regulatorio europeo, la literatura académica sobre economía circular en sector textil y los datos sectoriales del mercado textil español, combinando fuentes primarias del Diario Oficial de la Unión Europea, análisis legales especializados, literatura académica de referencia como Potting

et al. (2017), informes sectoriales del Observatorio del Textil y la Moda e información pública corporativa.

La segunda aproximación es el desarrollo de un modelo analítico propio basado en programación lineal entera, técnica perteneciente al campo de la analítica prescriptiva. El modelo se construye en cuatro pasos: definición de criterios y pesos, formalización de la función objetivo por canal de salida, aplicación a un caso simulado de cartera de deadstock representativa de una marca mediana y análisis de sensibilidad de los resultados ante cambios en los parámetros. El detalle técnico de esta segunda parte se desarrolla íntegramente en el apartado 4.

La elección de la programación lineal entera frente a otras técnicas de Multi-Criteria Decision Analysis (AHP, TOPSIS, PROMETHEE) se fundamenta en su transparencia, su capacidad para incorporar restricciones globales y su compatibilidad con análisis de sensibilidad directo, aspectos que se justifican en el apartado 2.4.

## **2. Marco teórico y regulatorio**

### **2.1. Economía circular en el sector textil: del modelo lineal al loop**

La industria textil ha operado durante décadas bajo una lógica lineal consistente en extraer materias primas, producir, distribuir, usar y descartar. Este modelo, compatible con una economía de crecimiento extensivo y energía barata, ha mostrado límites crecientes a medida que el sector se ha multiplicado en escala. Entre los años 2000 y 2015 la producción mundial de ropa se duplicó, mientras que el número medio de usos por prenda antes del descarte cayó un 36% a nivel global (Ellen MacArthur Foundation, 2017). El resultado es un sector responsable de aproximadamente entre el 2% y el 8% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> (UNEP, 2023) y la cuarta categoría de consumo con mayor impacto en uso de materias primas y agua en la Unión Europea (European Environment Agency, 2022). En el mundo, en cada segundo se desecha el equivalente a un camión de basura lleno de ropa, lo que supone un valor estimado de 460 mil millones de dólares al año (UNEP, 2023).

Tres rasgos estructurales explican la inercia de este modelo. Por un lado está la sobreproducción sistémica, derivada de economías de escala que abaratan la unidad y generan un excedente de tipos, estilos, colores y tallas que termina sin ser vendido. Por otro lado, la compresión de los ciclos de colección, donde el fast fashion ha acertado los plazos de diseño-producción-venta y multiplicado las colecciones anuales. Por último, un factor importante es la opacidad de la cadena de suministro, dispersa entre múltiples niveles productivos repartidos entre países (mayoritariamente en Asia), que dificulta la trazabilidad más allá del proveedor de primer nivel (European Environment Agency, 2024).

Frente a este modelo, el marco conceptual de la economía circular se consolidó en la última década como alternativa. Sus principios fundamentales, formulados por la Ellen MacArthur Foundation, son: eliminar residuos y contaminación por diseño, mantener productos y materiales en uso al mayor nivel de valor posible, y regenerar sistemas naturales. Como se puede apreciar en la Tabla 1, aplicados al sector textil, estos principios se convierten en una jerarquía de estrategias de retención de valor que la literatura denomina habitualmente las R-strategies (Potting et al., 2017): rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reorientar, reciclar y recuperar.

Tabla 1. Estrategias de circularidad en la cadena productiva, ordenadas de mayor a menor circularidad. Fuente: elaboración propia a partir de Potting et al. (2017, p. 5).

	Categoría	Código	Estrategia	Descripción
Economía circular	Diseño y fabricación más inteligentes del producto	R0	Rechazar	Hacer redundante el producto eliminando su función o cumpliendo la misma función con un producto radicalmente distinto
		R1	Repensar	Hacer un uso más intensivo del producto (compartiéndolo o integrándolo en productos multifuncionales)
		R2	Reducir	Aumentar la eficiencia en la fabricación o el uso del producto consumiendo menos recursos naturales o materiales
	Extensión de la vida útil del producto y sus componentes	R3	Reutilizar	Reutilización por otro consumidor de un producto descartado que todavía está en buen estado y cumple su función original
		R4	Reparar	Reparación y mantenimiento de un producto defectuoso para devolverlo a su función original
		R5	Restaurar	Renovar un producto antiguo y devolverlo a condiciones de uso actualizadas
		R6	Remanufacturar	Usar componentes de un producto descartado en un nuevo producto con la misma función
		R7	Reorientar	Usar un producto descartado o sus componentes en un producto nuevo con una función diferente
	Aprovechamiento útil de los materiales	R8	Reciclar	Procesar materiales para obtener la misma calidad (high-grade) o de menor calidad (low-grade)
R9		Recuperar	Incineración de materiales con recuperación de energía	
Economía lineal				

Esta jerarquía es relevante para el presente trabajo porque define el espacio de alternativas sobre el que operará el motor de decisión propuesto en el apartado 4. Cada destino posible del deadstock se corresponde con una posición distinta en la escala, con valor económico, ambiental y reputacional diferente.

La adopción de prácticas circulares en el sector textil ha sido hasta la fecha más declarativa que efectiva. La revisión sistemática de De Aguiar Hugo et al. (2021) clasifica las barreras en cuatro perspectivas (tecnológica, económico-financiera, regulatoria y socio-cultural). A efectos de este trabajo, se agrupan en barreras económicas (coste del reciclaje fibra-a-fibra frente a fibra virgen, ausencia de escala en canales B2B de segunda mano, temor a canibalizar la línea principal), barreras informacionales (falta de trazabilidad de composiciones y orígenes, que impide reciclaje eficiente y verificación de afirmaciones de sostenibilidad) y barreras regulatorias (ausencia, hasta hace poco, de regulación, lo que generaba asimetría competitiva). La respuesta europea ante este fallo de mercado fue la aprobación del ESPR, descrita en el apartado 2.2.

En España, la moda aportó el 2,9% al PIB en 2024 e igualó el máximo histórico de 2016, y el Observatorio del Textil y la Moda (2025) subraya el papel estratégico de la circularidad como motor de rentabilidad. Mientras las grandes empresas llevan años preparándose para el nuevo marco, la mediana, con facturación considerable y sin departamento de sostenibilidad dedicado, afrontará las obligaciones con un desfase de capacidades. Es este hueco el que da sentido al servicio propuesto.

## 2.2. Marco regulatorio de la Unión Europea aplicable al proyecto

El marco normativo que soporta la oportunidad de negocio analizada en este trabajo se articula en torno al Reglamento sobre Diseño Ecológico de Productos Sostenibles, la creación del Pasaporte Digital de Producto y los esquemas de Responsabilidad Ampliada del Productor para textiles. Las tres comparten origen, el Plan de Acción para la Economía Circular y la Estrategia de la UE para Textiles Sostenibles y Circulares, y convergen en el horizonte 2026-2030.

### 2.2.1. La ESPR como pilar central

El Reglamento (UE) 2024/1781 sobre Diseño Ecológico de Productos Sostenibles (Ecodesign for Sustainable Products Regulation, en adelante ESPR) constituye la pieza

central del marco. Entró en vigor el 18 de julio de 2024 como componente del Pacto Verde Europeo, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de los productos estableciendo requisitos de sostenibilidad que cubren todo su ciclo de vida. Sustituye a la antigua Directiva de Ecodiseño 2009/125/CE y amplía sustancialmente su alcance, pasando de productos relacionados con la energía a prácticamente cualquier bien físico comercializado en el mercado interior.

La ESPR habilita a la Comisión Europea a fijar requisitos específicos por categoría de producto mediante actos delegados. En 2025, la Comisión identificó como prioritarios para los próximos cinco años productos como acero y aluminio, así como textiles con foco en apparel, muebles, neumáticos y colchones (Segal, 2026). Para el objeto de este trabajo son especialmente interesantes dos mecanismos introducidos por la ESPR: la prohibición de destrucción de invendidos (artículo 25) y las obligaciones de divulgación asociadas (artículo 24).

### 2.2.2. Prohibición de destrucción de textiles no vendidos

El artículo 25 de la ESPR establece la prohibición de destruir determinados productos de consumo invendidos. Desde el 19 de julio de 2026 la prohibición aplica a grandes empresas de apparel, accesorios de vestir y calzado invendido. A efectos de la norma, son grandes empresas aquellas con más de 250 empleados y facturación superior a 50 millones de euros, y medianas las situadas entre 50 y 249 empleados con facturación de hasta 50 millones. Las empresas medianas quedarán sujetas a la norma desde el 19 de julio de 2030. En principio, microempresas y pequeñas empresas están exentas (Generation Impact Global, 2026).

El fundamento de la prohibición es económico y ambiental. La Comisión estima que entre el 4% y el 9% de los textiles no vendidos se destruyen antes de ser usados, generando aproximadamente 5,6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año (Segal, 2026). Se trata por tanto de una práctica a la vez ineficiente en asignación de recursos y significativamente contaminante.

El 9 de febrero de 2026 la Comisión adoptó dos instrumentos secundarios que concretan la aplicación: el Reglamento Delegado C (2026) 659, que define las excepciones, y el Reglamento de Ejecución 2026/2, que establece el formato estandarizado de divulgación. El Reglamento Delegado permite la destrucción bajo diez circunstancias específicas,

entre ellas productos peligrosos, no conformidad legal, infracción de propiedad intelectual, inadecuación para reutilización, daño, defectos de fabricación o donación rechazada (Generation Impact Global, 2026). Las excepciones son restrictivas y exigen documentación justificativa que debe conservarse durante cinco años y aportarse a la autoridad competente en un plazo de treinta días desde su requerimiento.

Existe un elemento de diseño de la norma que conviene señalar. La exención de microempresas y pequeñas empresas genera temor de que las multinacionales canalicen stock invendido a través de entidades de menor tamaño para esquivar la prohibición, y la propia ESPR reconoce este riesgo y permite a la Comisión extender las obligaciones a micro y pequeñas empresas si se detecta evidencia de circunvención (COSH!, 2026). Esta cláusula implica que el régimen de exención no debe considerarse estable a largo plazo.

### 2.2.3. Obligaciones de divulgación de invendidos

De forma complementaria a la prohibición, el artículo 24 de la ESPR impone a los operadores económicos la obligación de divulgar anualmente información sobre los productos de consumo invendidos que descartan. Estas obligaciones aplican a las grandes empresas desde el primer ejercicio fiscal completo posterior a la entrada en vigor de la ESPR, y se extenderán a las empresas medianas a partir de 2030, mientras que microempresas y pequeñas empresas quedan exentas (Comisión Europea, 2024). El formato estandarizado de divulgación se aplica desde aproximadamente febrero de 2027, debiendo publicarse la información dentro de los 12 meses posteriores al cierre del ejercicio (Generation Impact Global, 2026). La divulgación se publica en el sitio web corporativo, si bien las empresas sujetas a la Directiva de Informes de Sostenibilidad Corporativa pueden integrarla en su informe de sostenibilidad mediante referencia cruzada.

Este mecanismo crea un flujo de información estructurado y auditable sobre volúmenes, razones de descarte y destinos que antes no existía. Además, genera un incentivo a anticipar la preparación incluso en empresas medianas, porque aunque la prohibición no les aplique hasta 2030, el formato estandarizado de 2027 actúa como referencia de mercado y las grandes empresas tractor pueden empezar a exigirlo contractualmente a sus proveedores. Esta dinámica de cascada regulatoria forma parte de la ventana de mercado del proyecto.

## 2.2.4. El Digital Product Passport para textil

El Pasaporte Digital de Producto (DPP) es una ficha digital asociada a cada unidad de producto que almacena información verificada sobre composición, origen, impacto ambiental, durabilidad e instrucciones de fin de vida, accesible mediante identificador único, típicamente código QR o NFC. Introducido por la ESPR, su aplicación al textil se materializará mediante un acto delegado específico.

En abril de 2025 la Comisión Europea adoptó el Plan de Trabajo 2025-2030 de la ESPR, que identifica los textiles, con foco en apparel, como uno de los grupos de productos prioritarios para los próximos cinco años (Comisión Europea, 2025). El acto delegado para textiles está previsto en el Plan de Trabajo con fecha indicativa de adopción en 2027, situándose junto a los neumáticos en la primera ola, por delante del mobiliario (2028) y los colchones (2029) (Hunink de Paiva, 2026).

La relevancia del DPP para este proyecto es estratégica más que inmediata. En el horizonte 2028 toda marca que venda en el mercado europeo deberá disponer de la infraestructura de datos necesaria para generar el pasaporte. Para un servicio de gestión de deadstock, este horizonte representa tanto una palanca de diferenciación como un mecanismo de retención futuro, ya que la empresa cliente encontrará ya resuelto el cumplimiento del DPP cuando llegue la obligación, si ha adoptado previamente el servicio por la necesidad más inmediata de gestionar deadstock.

## 2.2.5. Responsabilidad Ampliada del Productor

El tercer pilar regulatorio es la obligación de establecer esquemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (EPR) para textiles y calzado. La Directiva (UE) 2025/1892, que modifica la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE y entró en vigor el 16 de octubre de 2025, introduce esquemas obligatorios de EPR para productos textiles y de calzado en todos los Estados miembros (Parlamento Europeo y Consejo, 2025). Bajo estos esquemas, los productores pagarán una tarifa por cada producto puesto en el mercado, destinada a financiar los sistemas de recogida, clasificación, reutilización y reciclaje. Los Estados miembros disponen de 20 meses para transponer la directiva al derecho nacional y de 30 meses para establecer los esquemas operativos, lo que sitúa la operatividad efectiva en abril de 2028.

La pieza clave del nuevo régimen es la eco-modulación. Las tarifas EPR se ajustan en función de criterios de sostenibilidad como durabilidad y reciclabilidad (Comisión Europea, 2025b). La OECD (2024) documenta que el caso francés, con eco-modulación operativa desde hace más de una década a través de Refashion, ha alcanzado tasas de reutilización y recuperación del 60% sobre el material clasificado, frente a una media europea del 8%. La directiva de 2025 también permite modular las tarifas según vida útil, uso más allá del primer usuario y contribución al cierre del bucle, abordando explícitamente el fast y ultra-fast fashion (Parlamento Europeo y Consejo, 2025).

La eco-modulación tiene impacto económico directo en la decisión sobre deadstock debido a que las empresas con productos más sostenibles pagarán una menor tarifa EPR. Esto introduce un incentivo económico explícito y medible que se integrará como variable en el análisis del apartado 4.

### 2.2.6. Síntesis: tres ejes, una ventana de mercado

La combinación de los tres ejes (ESPR en sus dos vertientes, DPP y EPR eco-modulado) configura un marco idóneo para el desarrollo del proyecto presentado en este trabajo. Para empezar, crea demanda, porque toda empresa mediana que venda textil en la UE deberá decidir qué hacer con sus productos invendidos, cómo reportarlo y cómo mantener la ficha digital de cada producto. También define el alcance de la decisión, acotando los destinos legales a reventa, donación, remanufactura, preparación para reutilización y reciclaje. Y por último genera el dato, ya que los disclosure obligatorios producen por primera vez un flujo estandarizado y auditable de información sobre invendidos.

### 2.3. Gestión de deadstock: canales y costes de oportunidad

En la literatura de supply chain management se denomina deadstock al inventario que no se ha vendido tras su ciclo comercial previsto y cuya probabilidad de venta a precio objetivo se considera marginal. En el sector textil conviene distinguir tres categorías con implicaciones económicas y regulatorias diferenciadas. Por un lado, los invendidos de temporada son prendas que no se vendieron durante la campaña prevista y constituyen el grueso del problema. Son prendas que conservan valor de marca, pero requieren canales de salida rápidos antes de la siguiente colección. Por otro lado, las devoluciones son especialmente relevantes en comercio electrónico, donde la European Environment

Agency (2024) estima un retorno medio del 20% en ropa y del 30% en calzado en la UE, frente a tasas notablemente menores en tienda física. Aproximadamente un tercio de estas devoluciones acaba siendo destruido por el operador. Por último, los saldos estructurales y discontinuados agrupan referencias descatalogadas, errores de producción y stock muerto de catálogos anteriores.

Las opciones disponibles para deshacerse de deadstock se ordenan aproximadamente por jerarquía de residuos. La reventa en canal secundario propio (outlet físico o digital) mantiene margen de marca, pero puede erosionar el precio de la línea principal. La reventa en el mercado B2B de saldos transfiere el producto a mayoristas a precios típicos del 10-30% del PVP, opción rápida y anónima. La exportación a países no-UE protege márgenes, pero exige logística internacional. La donación a entidades sin ánimo de lucro genera beneficio fiscal, en España lleva asociada una deducción del 40% sobre la cuota del Impuesto sobre Sociedades para entidades acogidas a la Ley 49/2002 (Jefatura del Estado, 2002). La preparación para reutilización y la remanufactura permiten reintroducir el producto en canales de segunda mano o generar piezas nuevas. Existen además dos opciones de reciclaje: el fibra-a-fibra, que evita el residuo, pero captura poco valor por límites tecnológicos y de escala; y el downcycling hacia trapos, relleno o aislante, opción útil, pero con retorno mínimo. La destrucción queda como destino residual, restringido desde 2026-2030 salvo excepciones documentadas.

Un error frecuente es contabilizar únicamente el coste directo del destino elegido e ignorar los costes de oportunidad. Entre ellos se encuentran el almacenamiento (cada mes de retención cuesta dinero), la depreciación de la ropa (aguda en fast fashion), la canibalización de producto (la venta en outlet resta ventas a precio completo), el riesgo regulatorio (el artículo 68 de la ESPR exige a los Estados miembros normas de penalización efectivas, proporcionadas y disuasorias, incluyendo multas y exclusión temporal de contratación pública; White & Case, 2024) y el coste reputacional (si una prenda acaba en el lugar equivocado puede generar un impacto negativo en la imagen de marca enorme), amplificado por el disclosure de trazabilidad. Estos costes ocultos justifican una herramienta analítica de apoyo a la decisión, ya que lo habitual es aplicar heurísticas fijas (siempre outlet, siempre destruir, siempre donar), en lugar de optimizar cada caso.

## 2.4. Business Analytics aplicado a decisiones de inventario circular

La literatura sobre Business Analytics distingue habitualmente cuatro niveles jerárquicos en función de la pregunta que responde cada uno (Lepenioti et al., 2020). La analítica descriptiva responde a qué ha pasado mediante reporting y agregados históricos. La analítica diagnóstica responde a por qué ha pasado, explorando causas y segmentaciones. La analítica predictiva anticipa qué va a pasar con modelos estadísticos. La analítica prescriptiva responde a qué deberíamos hacer mediante técnicas de optimización y sistemas de apoyo a la decisión. Cada nivel aporta más valor por decisión, pero exige también más madurez de dato y de proceso.

El presente trabajo se sitúa principalmente en el nivel prescriptivo. El bloque 4 constituye el núcleo de Business Analytics del proyecto. Incluye el diseño y la validación de un modelo de decisión sobre el destino óptimo de cada lote de deadstock, aplicado a un caso simulado.

El problema se aborda como un modelo de programación lineal entera, dentro del marco más amplio de la analítica prescriptiva basada en optimización. La técnica permite formular matemáticamente la decisión sobre cuántas unidades de cada referencia asignar a cada canal de salida, fijar una función objetivo que combine criterios económicos, ecológicos y regulatorios, y resolver simultáneamente todas las asignaciones respetando restricciones operativas como la capacidad de cada canal. Frente a alternativas más sencillas como el scoring multicriterio ponderado, que evalúa cada opción de forma aislada y se utiliza ampliamente en decisiones empresariales con criterios cuantitativos y cualitativos simultáneos, la programación lineal entera ofrece tres ventajas decisivas para este problema: incorpora restricciones globales que el scoring no puede capturar, garantiza la asignación óptima del conjunto y no de cada elemento por separado, y mantiene la transparencia interpretativa al apoyarse en una función objetivo explícita. Existen variantes más sofisticadas dentro del campo del Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), como el Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1980), TOPSIS o PROMETHEE, pero exigen un volumen y precisión de datos que no encajan con este contexto. La elección de la programación lineal entera responde por tanto a su mayor adecuación al problema, su transparencia metodológica (cualquier lector puede reconstruir el modelo)

y su capacidad para admitir un análisis de sensibilidad directo modificando los pesos relativos de los criterios.

### **3. Propuesta de negocio y contexto de mercado**

#### **3.1. El mercado textil-moda en España**

El sector textil-moda español constituye uno de los pilares estructurales de la economía nacional. En 2024 la moda mantuvo un peso del 2,9% en el Producto Interior Bruto, igualando el máximo histórico alcanzado en 2016 y consolidando el crecimiento registrado el año anterior. El sector también representó un 3,6% de la fuerza laboral española, aunque la industria manufacturera de textil, confección, cuero y calzado experimentó una contracción del 4,5% en empleo y un descenso del 3% en el número de compañías, en una ligera ralentización tras varios años de recuperación (Observatorio del Textil y la Moda, 2025).

Algunos rasgos son especialmente relevantes para este proyecto. Entre ellos se encuentra el peso creciente del canal online. Solo en 2024 las ventas online de moda alcanzaron los 6.028 millones de euros, un 17% más que el año anterior, y suponen ya el 25,2% de la facturación total, por encima de Francia o Italia (Observatorio del Textil y la Moda, 2025). Se trata de un dato central porque el canal online es el principal generador de devoluciones, situándose en torno al 20% en ropa frente a tasas mucho menores en tienda física (European Environment Agency, 2024). También es influyente la concentración geográfica de los polos manufactureros, que se localizan en Comunidad Valenciana, Cataluña, Galicia, Andalucía, Madrid y Castilla-La Mancha, lo que permite a un servicio B2B con recursos limitados focalizar la actividad en pocos clusters. Además, existe una dualidad empresarial entre microempresas y pymes, que representan la mayoría del tejido textil, y las grandes corporaciones, que concentran el valor añadido. Esta asimetría cuenta con implicaciones directas para definir al cliente objetivo en el siguiente apartado.

El dimensionamiento del problema del deadstock en España es difícil de establecer con precisión por la ausencia de datos públicos desagregados, pero puede orientarse a partir del rango estimado por la Agencia Europea de Medio Ambiente para el conjunto de la UE, según el cual entre el 4% y el 9% de los textiles puestos en el mercado se destruyen antes de su uso (European Environment Agency, 2024). Trasladado al volumen del sector

español, este rango sitúa el valor del deadstock destruido anualmente en un orden de magnitud económicamente muy significativo, suficiente para sostener un mercado direccionable de servicios especializados como el que aborda este proyecto.

### 3.2. Caracterización del cliente objetivo: la mediana empresa española

El cliente objetivo es la mediana empresa textil española, definida por la Unión Europea (s.f.) como compañía con 50-249 empleados y facturación hasta 50 millones de euros (o balance inferior a 43 millones). En la práctica del sector conviene ampliar el concepto para incluir también marcas con facturación entre 50 y 250 millones que, aunque jurídicamente sean grandes en algún aspecto, comparten el mismo perfil estratégico. Se trata de empresas que, por lo general, no cuentan con departamento de sostenibilidad propio, tienen capacidad limitada para absorber proyectos regulatorios y dependen de proveedores externos.

La primera razón de elección de este segmento es regulatoria. A diferencia de las grandes corporaciones (Inditex con 38.632 millones de facturación en 2024, Puig con 4.790 millones en 2024 o Mango en tercera posición con 3.339 millones en 2024, según Modaes 2025), que llevan tiempo preparando el cambio y que tienen recursos para preparar internamente la entrada en vigor de la ESPR, las empresas medianas afrontan el horizonte 2027-2030 con un desfase de capacidades significativo. La segunda es económica. Estas empresas tienen presupuesto suficiente para contratar un servicio especializado, a diferencia de las microempresas y pymes pequeñas que predominan en el sector. Por último, un motivo que empuja a escoger las empresas medianas como cliente prioritario, es que se trata de empresas con catálogo amplio, rotación rápida y presencia online consolidada, por lo que generan volúmenes de deadstock suficiente para justificar un servicio profesionalizado.

A continuación, se identifica un conjunto de marcas españolas reales que ejemplifican el perfil del cliente objetivo, distribuidas en tres niveles según volumen de facturación.

Tabla 2. Ejemplos de marcas de moda que se adaptan al perfil de cliente objetivo del proyecto. *Fuente: elaboración propia a partir de información pública corporativa y prensa especializada.*

<b>Empresa</b>	<b>Facturación</b>	<b>Sede</b>	<b>Nivel de facturación</b>
Mayoral	352 M€ (2025)	Málaga	Mediana grande
Desigual	332 M€ (2025)	Barcelona	Mediana grande
Bimba y Lola	250 M€ (2025)	Vigo	Mediana grande
Scalpers	220 M€ (2024)	Sevilla	Mediana grande
Adolfo Domínguez	139 M€ (2025/26)	Ourense	Mediana
El Ganso	77 M€ (2025)	Madrid	Mediana
Blue Banana	24 M€ (2024)	Madrid	Mediana pequeña
Nude Project	26 M€ (2023)	Barcelona	Mediana pequeña
Yuxus	18 M€ (2025)	Madrid	Mediana pequeña

La diversidad de la muestra es deliberada. Hay marcas tradicionales consolidadas (Mayoral, Adolfo Domínguez), marcas con identidad fuerte (Bimba y Lola, Scalpers, Desigual, El Ganso) y DTC de nueva generación con crecimiento acelerado (Blue Banana, Nude Project, Yuxus). Las tres tipologías comparten cuatro rasgos relevantes para la oferta: presencia online significativa que genera devoluciones, ausencia de departamento de sostenibilidad propio, rotación de catálogo que convierte al deadstock en problema recurrente y conciencia creciente del valor reputacional de la circularidad.

### 3.3. Análisis competitivo

El mercado de servicios de gestión de inventario circular para marcas de moda ha emergido como categoría diferenciada en los últimos cinco años, impulsado por la convergencia entre presión regulatoria y demanda de los consumidores. La mayor parte de los actores se concentra en el modelo conocido como Resale-as-a-Service (RaaS), consistente en habilitar a las marcas para que ofrezcan canales propios de reventa de prendas previamente compradas por sus clientes. La siguiente tabla resume los principales operadores identificados.

Tabla 3. Principales competidores en el mercado internacional de gestión del deadstock.  
 Fuente: elaboración propia a partir de información pública corporativa de cada operador (2024-2025).

<b>Competidor</b>	<b>Sede</b>	<b>Modelo</b>	<b>Foco</b>	<b>Cientes representativos</b>	<b>Cobertura ESPR/DPP</b>
Recovo	Barcelona	SaaS + recommerce	Reuse de telas + resale	Loewe, Salsa Jeans	Parcial
Reflaunt	Singapur / Londres	Resale-as-a-Service	Resale post-consumo	Balenciaga, COS, H&M, Net-a-Porter	No
Trove	EE.UU.	Resale managed	Resale post-consumo	Levi's, Patagonia, Lululemon	No
Faume	Francia	Resale managed	Resale post-consumo	Petit Bateau, Sandro	No
Archive	EE.UU.	Peer-to-peer resale	Brand-owned resale	DTC brands	No
Recurate	EE.UU.	Peer-to-peer	Resale	DTC brands	No
The Archivist	EE.UU.	Data + resale tracking	Heritage management	Luxury brands	No

Se pueden observar características claras que dejan un hueco abierto en el mercado. Para empezar, casi todos los competidores operan sobre el resale post-consumo (prendas que ya pertenecen a un consumidor final), mientras que el deadstock pre-consumo (excedentes de temporada, devoluciones no aptas, saldos estructurales) queda desatendido como categoría diferenciada. Y es precisamente este deadstock pre-consumo el objeto de la prohibición del artículo 25 y de la divulgación del artículo 24 de la ESPR, lo que sitúa al proyecto en coincidencia con la urgencia regulatoria que los competidores actuales no abordan. Además, el modelo dominante se centra en un único canal de salida, la reventa digital. La gestión integrada de los múltiples canales disponibles (outlet propio, B2B de saldos, exportación no-UE, donación con beneficio fiscal, preparación para

reutilización, reciclaje fibra-a-fibra y downcycling) no aparece en la propuesta de ninguno, y es la que permite optimizar caso por caso según criterios económicos, regulatorios y reputacionales (apartado 4). Por último, los competidores establecidos operan desde Estados Unidos, Singapur, Reino Unido o Francia y atienden a marcas de lujo internacionales o grandes operadores. El mediano español no es el target principal de ninguno. La excepción parcial es Recovo, con sede en Barcelona, que merece comentario específico. La compañía nació en 2021 como marketplace de stock textil sobrante y consolidó en cuatro años una base de unos 1.100 clientes entre vendedores y compradores (Mango, Salsa Jeans, Pronovias, Laagam, entre otros). En octubre de 2025 abandonó el marketplace y lanzó Recovo Recommerce, un software que permite a las marcas integrar la compraventa de segunda mano en su web, con foco premium internacional. La cofundadora reconoce que la decisión busca "iniciar el camino hacia la rentabilidad" y observa que "en España cuesta más" cerrar este tipo de acuerdos (Modaes, 2025). El movimiento sugiere que el modelo marketplace puro de excedentes textiles tiene dificultades de rentabilidad incluso tras cuatro años de operación y rondas con inversores como Mango StartUp Studio o Draper B1. También confirma que el cliente español es difícil de convertir, con implicaciones directas para la estrategia comercial, reforzando el orden de fases adoptado en este proyecto (apartado 3.5).

### 3.4. Propuesta de valor

Las marcas medianas de moda en España enfrentan en el horizonte 2026-2030 un problema con tres caras simultáneas. La cara regulatoria, porque la ESPR convierte el deadstock en una categoría con obligaciones formales (divulgación estandarizada, restricción de destrucción y, en 2027-2028, pasaporte digital de producto). La económica, porque los costes de oportunidad asociados al deadstock (almacenamiento, depreciación, canibalización, riesgo regulatorio) raramente se contabilizan de forma integrada, lo que conduce a heurísticas subóptimas (destrucción, outlet indiscriminado, donación no planificada). Y la reputacional, porque el disclosure de trazabilidad expone públicamente por primera vez las decisiones de destino del deadstock.

La propuesta de valor se articula en tres componentes complementarios. El primero es un motor de decisión y calculadora de impacto que, para cada lote de invendidos, evalúa los canales legalmente disponibles (reventa propia, B2B, exportación, donación, preparación para reutilización, reciclaje fibra-a-fibra y downcycling) y cuantifica su impacto

económico (diferencia entre el valor recuperado y el de la práctica habitual del cliente) y su impacto ecológico (CO2 evitado y residuo no destruido). El motor devuelve una recomendación priorizada según criterios económicos, regulatorios y reputacionales ponderados. El diseño técnico se desarrolla en el apartado 4.

El segundo componente es una red de canales de salida operativos. La recomendación del motor solo es útil si las opciones a las que apunta están realmente disponibles. El proyecto contempla la construcción progresiva de una red de partners verificados en cada categoría (mayoristas B2B de saldos, importadores en mercados no-UE, entidades sin ánimo de lucro acogidas a la Ley 49/2002, recicladores certificados), de modo que el cliente acceda a la ejecución directa de la decisión tomada.

El tercer componente es un módulo de preparación regulatoria que captura desde el primer día de la relación los datos exigidos por las obligaciones de divulgación del artículo 24 de la ESPR y los estructura en el formato estandarizado que estará vigente desde 2027 (Comisión Europea, 2024). El mismo módulo prepara al cliente para la entrada en vigor del Digital Product Passport, prevista en 2028, capturando la información que el acto delegado para textiles requerirá. Además, esta dimensión del servicio actúa como mecanismo de retención porque el cliente que adopta la plataforma por la urgencia económica del deadstock encuentra ya resuelto un compromiso regulatorio que en otro caso debería abordar por separado.

Los tres componentes están conectados por la calculadora de impacto, que actúa como núcleo operativo del servicio, ya que alimenta las recomendaciones del motor de decisión, justifica la ejecución a través de la red de canales y produce las métricas que el módulo regulatorio incorpora a los informes de disclosure.

### 3.5. Modelo de negocio y arquitectura por fases

La traducción de la propuesta de valor a un modelo de negocio viable con capital limitado requiere una arquitectura por fases. La razón principal es que la validación del producto-mercado en un sector sin experiencia previa del equipo exige iterar con clientes reales antes de invertir en plataforma. Además, la red de canales de salida solo se construye ejecutando proyectos y la captación de capital institucional exige tracción demostrada vía facturación previa. El proyecto se estructura en tres fases secuenciales con criterios explícitos de transición.

Fase A: consultoría especializada (meses 0-18). La actividad inicial consiste en la prestación de servicios profesionales de consultoría a marcas medianas españolas. Cada proyecto incluye auditoría del inventario de deadstock del cliente, aplicación del motor de decisión y la calculadora de impacto, ejecución de operaciones a través de la red de partners y entrega del informe de disclosure de impacto medioambiental.

El modelo de ingresos combina un fee fijo de proyecto de 3.000-6.000 euros (que cubre el trabajo de auditoría y aporta ingresos predecibles al equipo) y un performance fee del 15-25% del ahorro económico que la calculadora de impacto acredita al cliente, entendido como diferencia entre el valor recuperado con el servicio y el de su práctica habitual. La estructura alinea incentivos, ya que el componente variable se cobra solo si hay valor medible, y la calculadora actúa simultáneamente como herramienta de decisión y de cuantificación contractual. El equipo opera con costes mínimos y herramientas comerciales (hojas de cálculo, presentaciones, prototipo manual del motor) en lugar de plataforma. La función crítica de esta fase es validar la disposición a pagar del segmento, calibrar la metodología contra resultados reales y construir el conocimiento operativo para la fase siguiente.

Fase B: plataforma ligera con servicio asistido (meses 12-36). A partir de la base de conocimiento generada en la fase A se desarrolla una plataforma propia que automatiza las tareas repetitivas del proceso. Estas tareas incluyen la carga estructurada del inventario, aplicación del modelo de optimización, la generación del informe de disclosure y la trazabilidad de las transacciones. El modelo de ingresos evoluciona a una combinación de cuota anual de suscripción (de 6.000 a 24.000 euros según tamaño del cliente) y comisión por transacción. La función crítica de esta fase es alcanzar economías de escala, ampliar la base de clientes y consolidar la red de partners hasta una densidad suficiente para sostener un volumen creciente de operaciones.

Fase C: SaaS completo con módulo DPP (meses 24 en adelante). Con la entrada en vigor del Digital Product Passport en 2028, la plataforma incorpora el módulo regulatorio extendido y se posiciona como solución integral de circularidad y cumplimiento para marcas medianas. Esta fase requiere capital adicional, previsiblemente ronda semilla institucional, y depende del cumplimiento de hitos de la fase B.

El paso entre fases no es automático, sino que cada transición está condicionada al cumplimiento de criterios cuantitativos. De A a B requiere haber cerrado entre cinco y

ocho proyectos a precio completo, contar con red operativa mínima en cada categoría de canal y alcanzar margen bruto positivo sostenido. De B a C requiere una base recurrente mínima de quince clientes y la maduración del acto delegado del DPP. La no consecución implica prolongar la fase actual o replanificar, no abandonar. Este orden es coherente con la evolución observada en operadores comparables, como el caso de Recovo (apartado 3.3), que ilustra la dificultad del marketplace puro de excedentes y la conveniencia de evolucionar hacia un servicio especializado. El proyecto invierte el orden cronológico para empezar directamente por el servicio.

### 3.6. Business Model Canvas

La síntesis de la propuesta de negocio se recoge en el Business Model Canvas que se presenta a continuación, articulado para la Fase A del proyecto. Cada bloque admite evolución en las fases B y C, pero el Canvas inicial permite visualizar la coherencia del modelo de partida.

Segmentos de clientes: marcas medianas españolas de moda con facturación entre 10 y 250 millones de euros, con presencia online significativa, catálogo amplio y rotación rápida. La concentración geográfica inicial corresponde a los principales polos manufactureros identificados en el apartado 3.1.

Propuestas de valor: cumplimiento anticipado del marco ESPR (arts. 24 y 25); recuperación medible del valor del deadstock cuantificada por la calculadora frente a la práctica habitual; ejecución directa de las decisiones vía red de partners; impacto ecológico (CO2 evitado, residuo no destruido) integrable en los informes ESG; mitigación del riesgo reputacional del disclosure.

Canales: venta directa B2B centrada en los clusters geográficos prioritarios, presencia en ferias y eventos sectoriales (Modaes Talks, encuentros del Observatorio del Textil y la Moda...), contenido especializado de marca personal en LinkedIn y referencias activas de los primeros clientes.

Relación con clientes: ciclo de proyecto de tres a seis meses, revisiones periódicas con cierre de la calculadora de impacto como instrumento contractual y comunicativo, informes trimestrales de ahorro económico y emisiones evitadas, y reportes de cierre anual integrables en el informe de sostenibilidad del cliente.

Fuentes de ingresos: en Fase A, fee fijo por proyecto (3.000 - 6.000 euros) complementado con performance fee (15-25% del ahorro acreditado por la calculadora de impacto). En fases posteriores, evolución hacia suscripción anual a la plataforma combinada con performance fee residual sobre las decisiones automáticas de alto impacto.

Recursos clave: dos fundadores full-time, conocimiento regulatorio y operativo construido en la fase A, red de partners por categoría y, desde Fase B, plataforma tecnológica propia.

Actividades clave: auditoría de inventarios de deadstock, aplicación del modelo de optimización, ejecución de operaciones a través de la red de partners, generación de informes de disclosure, gestión de la relación comercial con clientes y partners y recopilación de información.

Socios clave: mayoristas B2B de saldos textiles, importadores y distribuidores en mercados no-UE, entidades sin ánimo de lucro acogidas a la Ley 49/2002, recicladores certificados y operadores de preparación para reutilización.

Estructura de costes: en Fase A, predominio de coste personal, costes comerciales y de viajes, software operativo limitado (CRM, ofimática, hosting). En Fase B se añade desarrollo y mantenimiento de plataforma. En Fase C, costes de escalado comercial e internacionalización.

### 3.7. Proyección financiera

La proyección tiene carácter ilustrativo y persigue verificar la coherencia interna del modelo bajo hipótesis razonadas, no fijar una previsión vinculante. Se construye a partir de una estimación de clientes captados por año, un fee fijo medio, el ahorro medio generado al cliente y el porcentaje de ese ahorro capturado como performance fee.

Hipótesis de adquisición de clientes (Fase A, años 1-3):

- Año 1: 4 clientes nuevos, con un cliente nuevo por trimestre tras los primeros 4-6 meses de prospección.
- Año 2: 10 clientes nuevos, con tasa de renovación del 70% sobre los del año 1.

- Año 3: 18 clientes nuevos, con tasa de renovación del 75% sobre la base acumulada.

Hipótesis de ingresos por cliente y año:

- Fee fijo de proyecto: 4.500 euros (punto medio del rango 3.000-6.000).
- Ahorro económico medio acreditado al cliente: 50.000 euros anuales. Esta cifra se construye como referencia conservadora porque para una marca mediana con inventario invendido anual valorado en torno a 300.000 euros (valor de producción), una mejora marginal del 15-20% en el valor recuperado por canal frente a la heurística habitual genera ahorros en este rango.
- Performance fee: 20% del ahorro acreditado, equivalente a 10.000 euros por cliente y año.
- Ingreso total medio por cliente y año: 14.500 euros.

Hipótesis de costes operativos: El desglose por partidas, recogido en la Tabla 4, refleja la estructura típica de una consultora especializada, de pequeño tamaño en su fase inicial, con escalado progresivo en función del crecimiento de la base de clientes.

Tabla 4. Desglose de costes operativos. *Fuente: elaboración propia.*

	Año 1	Año 2	Año 3
<b>Costes de personal</b>			
Cofundador 1 (CEO/comercial)	18.000 €	30.000 €	45.000 €
Cofundador 2 (operaciones/producto)	18.000 €	30.000 €	45.000 €
Analista junior (desde año 2)	-	24.000 €	28.000 €
Seguridad Social y cotizaciones (30%)	10.800 €	25.200 €	35.400 €
<b>Subtotal personal</b>	<b>46.800 €</b>	<b>109.200 €</b>	<b>153.400 €</b>
<b>Costes comerciales</b>			
Web corporativa, branding inicial	1.500 €	500 €	500 €
LinkedIn Sales Navigator y CRM	1.200 €	1.500 €	1.800 €
Asistencia a ferias y eventos sectoriales	2.000 €	4.500 €	7.000 €
Desplazamientos comerciales	2.500 €	5.000 €	8.000 €

Contenido y marketing de marca personal	800 €	1.500 €	2.500 €
<b>Subtotal comerciales</b>	<b>8.000 €</b>	<b>13.000 €</b>	<b>19.800 €</b>
<b>Costes operativos y tecnológicos</b>			
Software (Microsoft 365 / Google)	600 €	900 €	1.200 €
Suscripciones de datos	600 €	1.200 €	1.500 €
Hosting, dominio, herramientas...	400 €	800 €	1.500 €
Software contable y facturación	360 €	500 €	800 €
Gestoría externa	1.800 €	2.400 €	3.000 €
<b>Subtotal operativos y tecnológicos</b>	<b>3.760 €</b>	<b>5.800 €</b>	<b>8.000 €</b>
<b>Costes legales y seguros</b>			
Constitución y escrituras (one-off año 1)	600 €	-	-
Asesoría legal puntual (contratos, RGPD)	1.500 €	2.000 €	3.000 €
Seguro de responsabilidad civil profesional	800 €	1.200 €	1.500 €
<b>Subtotal legales y seguros</b>	<b>2.900 €</b>	<b>3.200 €</b>	<b>4.500 €</b>
<b>TOTAL COSTES OPERATIVOS</b>	<b>61.460 €</b>	<b>131.200 €</b>	<b>185.700 €</b>

La integración de las hipótesis de ingresos y costes en una cuenta de resultados resumida se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Hipotética rentabilidad del negocio. *Fuente: elaboración propia.*

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3
Clientes activos a fin de año	4	13	28
Fee fijo por cliente y año (€)	4.500 €	4.500 €	4.500 €
Performance fee por cliente y año (€)	10.000 €	10.000 €	10.000 €

<b>Ingresos</b>			
Ingresos por fee fijo	18.000 €	58.500 €	126.000 €
Ingresos por performance fee	40.000 €	130.000 €	280.000 €
<b>Ingresos totales</b>	<b>58.000 €</b>	<b>188.500 €</b>	<b>406.000 €</b>

<b>Costes</b>			
Subtotal personal	46.800 €	109.200 €	153.400 €
Subtotal comerciales	8.000 €	13.000 €	19.800 €
Subtotal operativos y tecnológicos	3.760 €	5.800 €	8.000 €
Subtotal legales y seguros	2.900 €	3.200 €	4.500 €
<b>Total costes operativos</b>	<b>61.460 €</b>	<b>131.200 €</b>	<b>185.700 €</b>

<b>EBITDA</b>	<b>(3.460 €)</b>	<b>57.300 €</b>	<b>220.300 €</b>
<b>Margen EBITDA (%)</b>	<b>(6.0%)</b>	<b>30.4%</b>	<b>54.3%</b>

Dentro de la estructura de ingresos, el performance fee aporta aproximadamente entre el 65% y el 70% de los ingresos totales en cada ejercicio. Esta proporción es consecuencia directa del diseño de la propuesta de valor, donde el componente variable es coherente con el ahorro económico verificable que la calculadora de impacto cuantifica para el cliente. El equipo asume parte del riesgo del proyecto a cambio de capturar una porción significativa del valor generado.

La proyección refleja un primer año ajustado, con EBITDA ligeramente negativo (-3.460 euros), asumible con el capital de partida disponible y compatible con la decisión deliberada de iniciar la actividad con dos cofundadores en renta de subsistencia. El segundo año alcanza un EBITDA positivo significativo (57.300 euros, margen del 30%) gracias al efecto combinado de la cartera de clientes acumulada y la renovación parcial de los primeros contratos. El tercero proyecta una rentabilidad consolidada, con un EBITDA de 220.300 euros y un margen sobre ingresos del 54%, coherente con un modelo de servicio profesional especializado en fase de madurez inicial.

El punto de equilibrio se sitúa entre cuatro y cinco clientes activos en las condiciones del año 1. La transición a Fase B implicará un coste tecnológico adicional no recogido aquí (estimado en 25.000 - 40.000 euros en el primer año de desarrollo), financiable con la caja del año 2 o, en su caso, una primera ronda semilla. El modelo en Fase A es viable con menos de 10.000 euros de partida si los fundadores aceptan renta de subsistencia el primer año y se absorbe el EBITDA ligeramente negativo del primer ejercicio. Las hipótesis han sido formuladas con un enfoque conservador, lo que ofrece margen para ajustes adversos. Un análisis de sensibilidad detallado se desarrolla en el apartado 4.

## **4. Modelo de optimización para la asignación de deadstock**

### **4.1. Planteamiento del problema**

Los apartados anteriores han caracterizado el problema del deadstock textil desde una perspectiva regulatoria y de mercado. Este apartado lo aborda desde la perspectiva analítica, que constituye el núcleo del trabajo y la base del servicio descrito en la propuesta de negocio. La pregunta que se pretende responder puede formularse de manera sencilla. Dada una marca con un inventario de producto invendido al cierre de temporada, ¿cuántas unidades de cada referencia conviene destinar a cada canal de salida para recuperar el máximo valor posible, teniendo en cuenta al mismo tiempo la recuperación económica, el impacto ambiental y el cumplimiento del nuevo marco regulatorio?

Aunque la pregunta es sencilla, la decisión subyacente no lo es. Una marca mediana acumula cada temporada cientos de referencias invendidas con características muy distintas entre sí, y dispone de varios canales de salida cuyas condiciones económicas, ambientales y regulatorias también difieren. La práctica habitual del sector consiste en aplicar heurísticas fijas, como destinar un porcentaje fijo al outlet y destruir o almacenar el resto, lo que ignora que el destino óptimo de una camiseta nueva de la última temporada no tiene por qué coincidir con el de un abrigo de hace tres años con ligeros defectos. Cuando el inventario alcanza decenas de miles de unidades, evaluar manualmente todas las combinaciones posibles resulta inviable.

Formalmente, el problema se corresponde con un modelo de programación lineal entera. Se trata de decidir el valor de un conjunto de variables enteras, las unidades de cada referencia asignadas a cada canal, de forma que se maximice una función objetivo sujeta a un conjunto de restricciones. La elección de esta técnica frente al scoring multicriterio simple presentado en el apartado 2.4 responde a una diferencia sustancial. Un scoring puntúa cada alternativa de forma aislada, mientras que la optimización resuelve todas las decisiones de manera simultánea y coordinada, respetando restricciones globales como la capacidad limitada de cada canal. Para un inventario de 300 referencias y seis canales, el modelo determina conjuntamente 1.800 variables de decisión, algo que ningún procedimiento manual puede replicar.

El modelo se ha implementado en Python utilizando la librería PuLP, que permite formular problemas de optimización lineal en sintaxis legible y resolverlos mediante el solver de código abierto CBC. La implementación completa se recoge en el Anexo I y a lo largo del apartado se reproducen los fragmentos más relevantes.

## 4.2. Variables de entrada

El modelo trabaja sobre un inventario en el que cada referencia o SKU queda descrita por seis variables. La primera es la categoría de producto, que puede tomar seis valores (camiseta, vaquero, vestido, abrigo, calzado y accesorio) y condiciona tanto el precio como la huella de carbono de la prenda. La segunda es el número de unidades disponibles de la referencia. La tercera y la cuarta son el precio de venta al público y el coste de producción, expresados en euros, que constituyen la base del cálculo económico. La quinta es la antigüedad, medida en temporadas transcurridas desde el lanzamiento, con valores de cero a cuatro. La sexta es el estado físico del producto, que distingue entre prenda nueva, devolución reembalada y prenda con ligero deterioro. En la Tabla 6 se pueden observar las distintas variables.

Tabla 6. Variables de entrada del modelo de optimización. *Fuente: elaboración propia.*

Variable	Valores posibles	Papel en el modelo
<b>Categoría de producto</b>	Camiseta, vaquero, vestido, abrigo, calzado, accesorio	Determina el precio típico y la huella de carbono de la prenda
<b>Unidades</b>	Número entero $\geq 1$	Volumen de la referencia que el modelo debe asignar
<b>PVP</b>	Euros	Base del cálculo del valor económico recuperable
<b>Coste de producción</b>	Euros ( $\approx 22$ - $32\%$ del PVP según categoría)	Base del cálculo del beneficio fiscal de la donación
<b>Antigüedad</b>	0, 1, 2, 3 o 4 temporadas desde el lanzamiento	Reduce la tasa de recuperación de forma diferenciada por canal
<b>Estado</b>	Nuevo, devolución, ligero deterioro	Condiciona la elegibilidad de los canales (el deterioro excluye el outlet)

La selección de estas seis variables responde al principio de parsimonia. Un sistema en producción incorporaría atributos adicionales, como la composición de fibras o el tiempo de permanencia en almacén, pero cada variable añadida exige datos calibrados de los que no se dispone en esta fase y complica la interpretación del modelo sin alterar sustancialmente sus recomendaciones. Las seis variables elegidas capturan los tres efectos que la literatura y el análisis del mercado identifican como determinantes del valor recuperable, que son el valor económico intrínseco del producto, su depreciación temporal y su elegibilidad comercial.

### 4.3. Canales de salida y parametrización

El modelo contempla los seis canales de salida descritos en la propuesta de valor. Cada canal queda caracterizado por cinco parámetros cuya estimación se justifica a continuación y que se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Parametrización de los canales de salida. *Fuente: elaboración propia a partir de estimaciones de mercado y literatura sectorial.*

Canal	Tasa de recuperación (% PVP)	Coste logístico (€/ud)	CO <sub>2</sub> evitado (% huella)	Capacidad (% inventario)	Calidad regulatoria
<b>Outlet propio</b>	50	0,50	70	30	0,90
<b>B2B saldos</b>	25	0,30	65	30	0,85
<b>Exportación no UE</b>	30	1,00	60	30	0,85
<b>Donación</b>	10	0,40	75	30	0,80
<b>Reutilización</b>	35	1,50	80	30	1,00
<b>Reciclaje</b>	3	0,50	20	100	0,40

La tasa de recuperación del outlet propio se sitúa en el 50% del PVP porque la marca controla el canal sin intermediarios, pero aplica descuentos profundos para mover el producto. Es el canal con mejor margen, aunque su capacidad se limita al 30% del inventario para reflejar el riesgo de canibalización, ya que un outlet sobredimensionado educa al consumidor a esperar rebajas y erosiona las ventas a precio completo. El mercado

B2B de saldos recupera en torno al 25% porque los mayoristas compran con descuentos que les permitan revender con margen en sus propios circuitos, a cambio de ofrecer a la marca liquidación rápida y sin riesgo residual. La exportación a mercados no pertenecientes a la Unión Europea recupera aproximadamente el 30%, un valor intermedio que refleja que el importador asume aduana y distribución local, pero exige su propio margen y opera con precios de venta finales inferiores a los europeos. La donación se valora en el 10% del PVP, cifra que no corresponde a un ingreso sino al beneficio fiscal derivado de la deducción del 40% sobre el valor donado que establece la Ley 49/2002 tras su modificación por el Real Decreto-ley 6/2023 (Jefatura del Estado, 2002), estimando el coste de producción en torno a la cuarta parte del PVP. La reutilización, entendida como segunda mano cualificada con lavado, reparación menor y reetiquetado, recupera el 35% neto tras descontar los costes de procesamiento, que explican también su mayor coste logístico unitario. El reciclaje cierra la lista con un 3%, coherente con los precios por kilo que pagan los recicladores certificados, y actúa como válvula de escape del sistema al ser el único canal sin límite de capacidad.

La dimensión ambiental se modela mediante la huella de carbono de cada categoría de producto, con valores aproximados procedentes de la literatura sectorial (European Environment Agency, 2024) que van desde los 5 kilogramos de CO<sub>2</sub> de un accesorio hasta los 40 kg de un abrigo. Cada canal evita un porcentaje distinto de esa huella en función de cuánto prolonga la vida útil del producto. La reutilización evita el 80% porque la prenda sustituye la compra de una nueva, mientras que el reciclaje solo evita el 20% porque únicamente recupera el material. Este planteamiento mejora la alternativa más simple de asignar un valor fijo de CO<sub>2</sub> por canal, dado que el beneficio ambiental de salvar un abrigo no es comparable al de salvar un accesorio.

La antigüedad del producto se incorpora mediante un factor multiplicador que reduce la tasa de recuperación de manera diferenciada por canal. Una prenda de tres temporadas conserva únicamente el 30% de su tasa en el outlet propio, donde el cliente busca moda actual, pero el 80% en exportación, donde los mercados de destino son mucho menos sensibles a la temporada. La donación y el reciclaje no se ven afectados por la antigüedad. Esta parametrización permite al modelo aprender un comportamiento que coincide con el criterio de un gestor experto, dirigiendo el producto reciente hacia los canales de mayor valor y el producto antiguo hacia los destinos que mejor lo toleran.

La figura 1 muestra cómo se traduce la Tabla 7 al código del modelo. Cada canal se representa como un diccionario que recoge sus cinco parámetros relevantes, lo que permite consultarlos durante la construcción de la función objetivo y las restricciones. Esta estructura facilita además la modificación de cualquier parámetro sin necesidad de tocar el resto del modelo, una propiedad útil para el análisis de sensibilidad y para futuras calibraciones con datos reales.

Figura 1. Definición de los canales de salida y sus parámetros.

```
CANALES = {
  'Outlet':      {'tasa_recup': 0.50, 'coste_log': 0.50,
                 'pct_co2_evit': 0.70, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.90},
  'B2B':        {'tasa_recup': 0.25, 'coste_log': 0.30,
                 'pct_co2_evit': 0.65, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.85},
  'Exportacion': {'tasa_recup': 0.30, 'coste_log': 1.00,
                 'pct_co2_evit': 0.60, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.85},
  'Donacion':   {'tasa_recup': 0.10, 'coste_log': 0.40,
                 'pct_co2_evit': 0.75, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.80},
  'Reutilizacion': {'tasa_recup': 0.35, 'coste_log': 1.50,
                   'pct_co2_evit': 0.80, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 1.00},
  'Reciclaje':  {'tasa_recup': 0.03, 'coste_log': 0.50,
                 'pct_co2_evit': 0.20, 'capacidad': 1.00, 'r_reg': 0.40},
}
```

El archivo de parámetros documenta además un perfil de riesgo por canal que distingue entre riesgo de canibalización, máximo en el outlet propio, y riesgo de imagen de marca, máximo en la exportación por la pérdida de control sobre el destino final del producto. El modelo base no aplica estos descuentos para preservar la transparencia del resultado, pero el demostrador web desarrollado como prototipo del servicio sí los incorpora, permitiendo al cliente declarar su tolerancia al riesgo y ajustar las recomendaciones en consecuencia. Esta extensión se retoma en el apartado 4.8.

#### 4.4. Función objetivo y restricciones

El modelo maximiza una función objetivo que combina tres componentes. El componente económico suma, para todas las unidades asignadas, el ingreso recuperado menos el coste logístico, donde el ingreso unitario es el producto del PVP por la tasa de recuperación del canal y por el factor de antigüedad. El componente ecológico suma el CO<sub>2</sub> evitado, calculado como la huella de la categoría multiplicada por el porcentaje que evita el canal. El componente regulatorio suma la puntuación de calidad regulatoria de los destinos elegidos, construida a partir de la posición de cada canal en la jerarquía de residuos

europea, de modo que la reutilización puntúa el máximo y el reciclaje queda penalizado por situarse en el penúltimo escalón de dicha jerarquía.

Los tres componentes se expresan en unidades incompatibles entre sí, euros, kilogramos y puntos, por lo que no pueden sumarse directamente. Para hacerlos comparables, cada uno se normaliza dividiéndolo entre su máximo teórico, que es el valor que alcanzaría si todo el inventario se destinara al mejor canal posible para ese criterio. Tras la normalización, los tres componentes quedan en una escala común de cero a uno y se combinan mediante una suma ponderada. Los pesos los fija la marca según su perfil estratégico y deben sumar la unidad. En el caso base se adopta un perfil equilibrado que asigna el 50% al criterio económico y el 25% a cada uno de los otros dos.

La formulación matemática de la función objetivo se recoge en la Figura 2. Sea  $x_{ij}$  el número de unidades del SKU  $i$  asignadas al canal  $j$ , con  $i = 1, \dots, N$  y  $j \in \{\text{Outlet, B2B, Exportación, Donación, Reutilización, Reciclaje}\}$ . La función objetivo combina los tres componentes normalizados según los pesos del perfil de marca.

Figura 2. Función objetivo del modelo.

Maximizar:

$$Z = w_{econ} \frac{Z_{econ}}{Z_{econ}^{max}} + w_{eco} \frac{Z_{eco}}{Z_{eco}^{max}} + w_{reg} \frac{Z_{reg}}{Z_{reg}^{max}}$$

donde:

$$Z_{econ} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^6 x_{ij} (PVP_i \cdot \tau_j \cdot \alpha_{ij} - c_j)$$

$$Z_{eco} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^6 x_{ij} \cdot h_i \cdot \varepsilon_j$$

$$Z_{reg} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^6 x_{ij} \cdot r_j$$

$$\text{con } w_{econ} + w_{eco} + w_{reg} = 1$$

Nomenclatura

$x_{ij}$	unidades del SKU $i$ asignadas al canal $j$	$c_j$	coste logístico unitario
$N$	número de referencias del inventario	$h_i$	huella de CO <sub>2</sub> de la categoría
$PVP_i$	precio de venta del SKU $i$	$\varepsilon_j$	% de CO <sub>2</sub> evitado por el canal
$\tau_j$	tasa de recuperación del canal $j$	$r_j$	calidad regulatoria del canal
$\alpha_{ij}$	factor de antigüedad	$w_*$	pesos del perfil de marca

El modelo opera sujeto a tres restricciones. La primera exige la asignación íntegra de cada referencia, de modo que la suma de las unidades enviadas a todos los canales coincida exactamente con las unidades disponibles. Conviene precisar que esta restricción no obliga a que toda la referencia viaje al mismo destino, sino que permite repartir sus unidades entre varios canales, lo que refleja la práctica real del sector. La segunda restricción impone la capacidad máxima de cada canal como porcentaje del inventario total, con el 30% en todos los canales salvo el reciclaje, e incorpora al modelo tanto los límites operativos de las redes de salida como la protección frente a la canibalización en el caso del outlet. La tercera establece que las prendas con deterioro no pueden asignarse al outlet propio, dado que venderlas como nuevas en el canal de la marca dañaría su imagen.

Las restricciones del modelo se formalizan en la Figura 3. La primera garantiza la asignación íntegra de cada referencia, la segunda impone la capacidad máxima de cada canal y la tercera excluye del outlet las prendas con deterioro.

Figura 3. Restricciones del modelo de optimización.

**R1.** Asignación íntegra de cada referencia

$$\sum_{j=1}^6 x_{ij} = U_i \quad \forall i = 1, \dots, N$$

**R2.** Capacidad máxima de cada canal

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \leq \kappa_j \cdot U_{total} \quad \forall j = 1, \dots, 6$$

**R3.** Elegibilidad por estado del producto

$$x_{i, Outlet} = 0 \quad \forall i \text{ tal que estado}_i = \text{Deterioro}$$

**R4.** Integralidad y no negatividad

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i, j$$

---

*Nomenclatura*

$x_{ij}$	unidades del SKU $i$ asignadas al canal $j$
$U_i$	unidades disponibles del SKU $i$
$U_{total}$	suma total de unidades del inventario
$\kappa_j$	capacidad máxima del canal $j$ (30% comerciales, 100% reciclaje)

## 4.5. La calculadora de impacto

La asignación óptima carece de valor comercial si no puede traducirse en métricas que el cliente entienda y que sirvan de base contractual. Esa es la función de la calculadora de impacto, el segundo componente del sistema, que compara el resultado del modelo con la práctica habitual de la marca y cuantifica la diferencia en tres dimensiones.

La dimensión económica calcula el valor recuperado por ambas vías y obtiene por diferencia el ahorro acreditado, que constituye la base del performance fee descrito en el apartado 3.5. La dimensión ecológica calcula el CO<sub>2</sub> adicional evitado respecto a la práctica habitual y las unidades que vuelven al circuito de uso en lugar de ser destruidas, métricas directamente integrables en los informes de sostenibilidad del cliente. La dimensión regulatoria mide el porcentaje del inventario gestionado en canales de alto valor circular, entendido por aquellos en los que la prenda conserva su función original, lo que anticipa la información que las obligaciones de divulgación del artículo 24 de la ESPR exigirán reportar de forma estandarizada.

Como práctica habitual de referencia se adopta una heurística representativa del segmento, consistente en destinar el 60% del inventario al outlet propio y destruir el 40% restante. Se trata de la pauta más extendida entre marcas medianas sin estrategia definida de circularidad, y su componente de destrucción es precisamente la conducta que el nuevo marco regulatorio restringe.

## 4.6. Aplicación a un caso simulado: la Marca M

### 4.6.1. Construcción y exploración del inventario

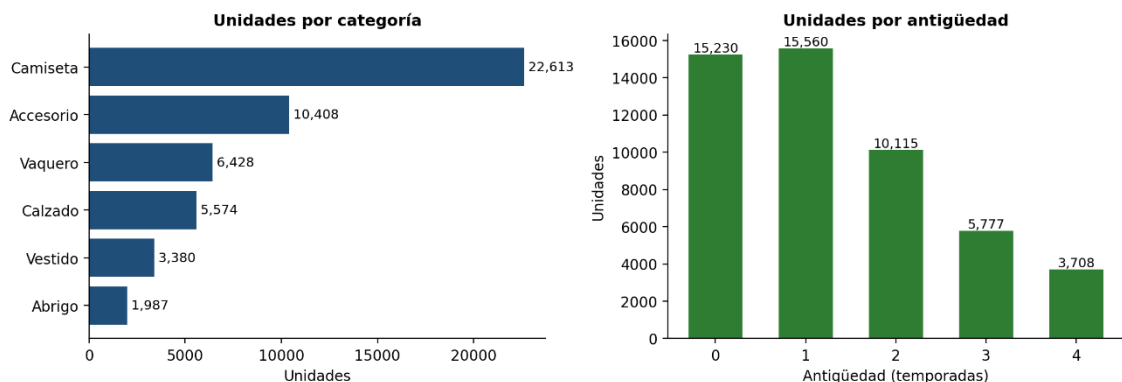
Para validar el modelo se construye el caso de la Marca M, una marca textil mediana española ficticia cuyo inventario de deadstock se genera intentando resultar verosímil. El generador, implementado con semilla aleatoria fija para garantizar la reproducibilidad de todos los resultados, produce 300 referencias distribuidas entre las seis categorías según pesos que reflejan un catálogo tipo del segmento, con precios, costes y volúmenes dentro de los rangos habituales de cada categoría.

Antes de aplicar el modelo conviene caracterizar el dataset resultante. El inventario asciende a 50.390 unidades con un valor a PVP de 2.469.879 euros y un coste de producción agregado de 684.361 euros, lo que arroja un precio medio de 49 euros por

unidad. Las camisetas concentran el 44,9% de las unidades, pero solo el 25,2% del valor, mientras que los abrigos representan apenas el 3,9% de las unidades y sin embargo el 13,5% del valor, una asimetría relevante porque anticipa que el destino de las categorías de alto precio condicionará el resultado económico mucho más que su peso en volumen. En cuanto a la antigüedad, el 61,1% del inventario corresponde a producto de las dos últimas temporadas, pero existe una cola del 18,8% con tres o más temporadas cuya colocación resulta especialmente difícil en los canales convencionales. Por estado, el 70,8% del producto está nuevo, el 22,2% procede de devoluciones y el 7% presenta ligero deterioro. Este último quedará excluido del outlet por la tercera restricción del modelo.

Cabe señalar que la Marca M representa un cliente del tramo alto del segmento objetivo definido en el apartado 3.2. El ahorro medio por cliente empleado en la proyección financiera del apartado 3.7 corresponde a un cliente mediano de menor tamaño, por lo que las cifras de este caso no deben extrapolarse directamente a aquella proyección, sino interpretarse como el potencial del servicio en la parte superior de su mercado.

Figura 4. Composición del inventario de la marca M.



#### 4.6.2. Resultados del caso base

Con el perfil de pesos equilibrado, el solver alcanza la solución óptima en pocos segundos. La asignación resultante destina el 30% del inventario a reutilización y otro 30% al outlet propio, agotando la capacidad de ambos canales, junto con un 26,8% a exportación y un 13,2% al mercado B2B de saldos. La donación y el reciclaje no reciben unidades en este escenario.

La lectura económica de este reparto es coherente con la lógica del problema. El modelo llena primero los dos canales con mejor combinación de tasa de recuperación y valor

ambiental y regulatorio, y reparte el resto entre los dos canales comerciales intermedios en función de la antigüedad del producto, enviando las referencias recientes donde la depreciación pesa menos y las antiguas hacia la exportación, que es el canal que mejor las tolera. La donación, con una recuperación efectiva del 10% frente a alternativas comerciales que duplican o triplican ese valor, tiene un coste de oportunidad que resulta demasiado elevado, mientras los demás canales conserven capacidad disponible. Lejos de constituir un defecto del modelo, este resultado reproduce el comportamiento observado en el sector, donde las marcas medianas donan poco precisamente porque el beneficio fiscal no compensa el valor sacrificado, y anticipa que la donación solo ganará protagonismo cuando la presión regulatoria o reputacional altere ese equilibrio.

La calculadora de impacto traduce la asignación en resultados. Frente a la práctica habitual (60% outlet y 40% destrucción), que recuperaría 522.554 euros, el modelo recupera 865.321 euros, lo que supone un ahorro de 342.767 euros, es decir, una mejora del 65,6%. Sobre ese ahorro, el performance fee del 20% definido en el modelo de negocio ascendería a 68.553 euros, dejando al cliente un beneficio neto superior a los 274.000 euros. En la dimensión ambiental, el modelo evita 421 toneladas de CO<sub>2</sub> frente a las 246 de la práctica habitual, es decir, 175,6 toneladas adicionales, derivadas fundamentalmente de eliminar la destrucción del 40% del inventario. En la dimensión regulatoria, el 100% del producto se gestiona en canales de alto valor circular frente al 60% de la práctica de referencia, situando a la marca en posición de cumplimiento pleno ante las obligaciones de divulgación.

La magnitud del ahorro debe interpretarse con la cautela que se desprende de la elección del punto de comparación. La mejora del 65,6% es elevada porque la práctica habitual de referencia es muy ineficiente, al destruir cuatro de cada diez prendas sin recuperar valor alguno. Esa ineficiencia no es una exageración del modelo sino el diagnóstico del problema que da sentido al proyecto, y cuanto más sofisticada sea la gestión previa de un cliente concreto, menor será el ahorro acreditable y el fee resultante.

Figura 5. Asignación óptima del deadstock por canal de salida (perfil equilibrado).

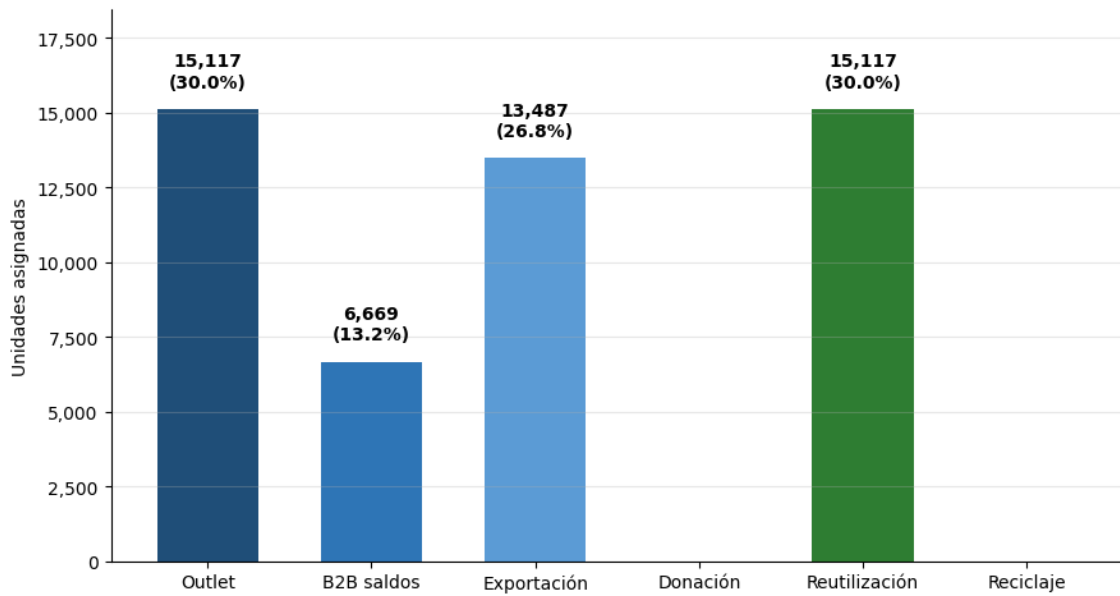
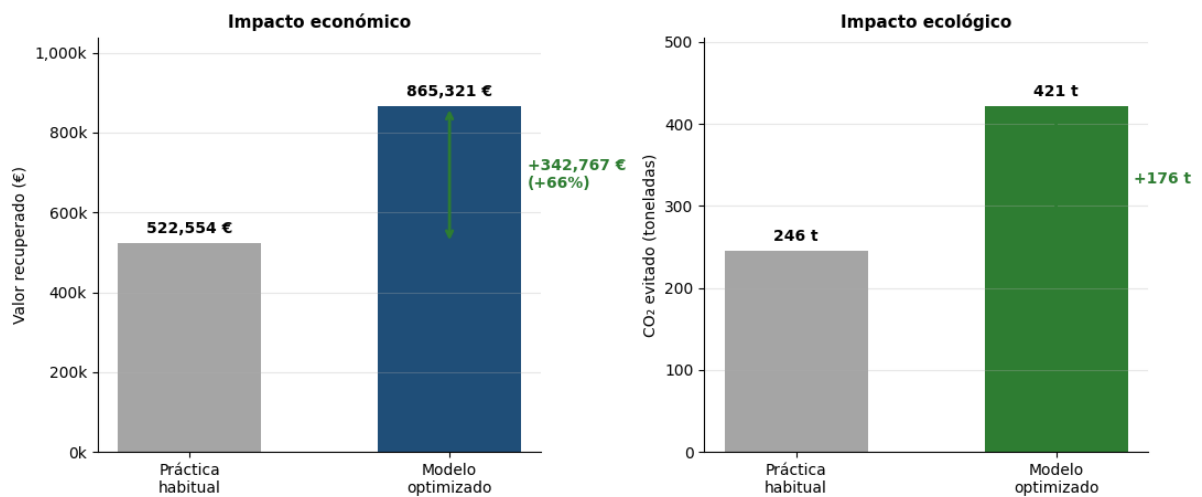
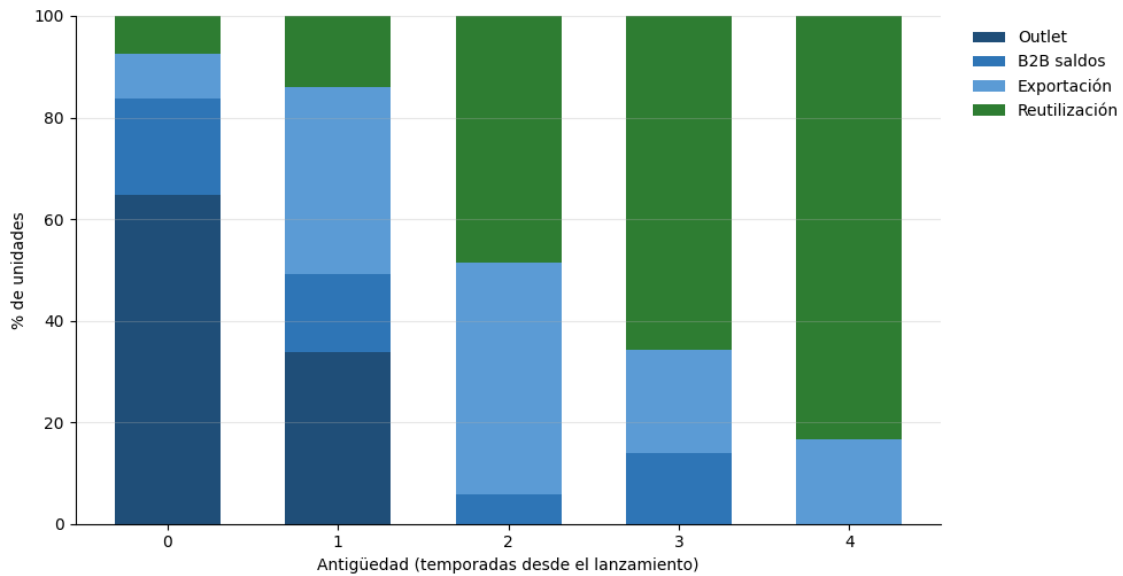


Figura 6. Comparativa económica y ecológica del modelo frente a práctica habitual.



La figura 7 permite observar cómo el modelo discrimina por antigüedad. El producto reciente se concentra en outlet, mientras que el producto antiguo se desplaza progresivamente hacia exportación y reutilización, hasta desaparecer del outlet en las temporadas más alejadas.

Figura 7. Canal de destino según la antigüedad del producto.



#### 4.7. Análisis de sensibilidad

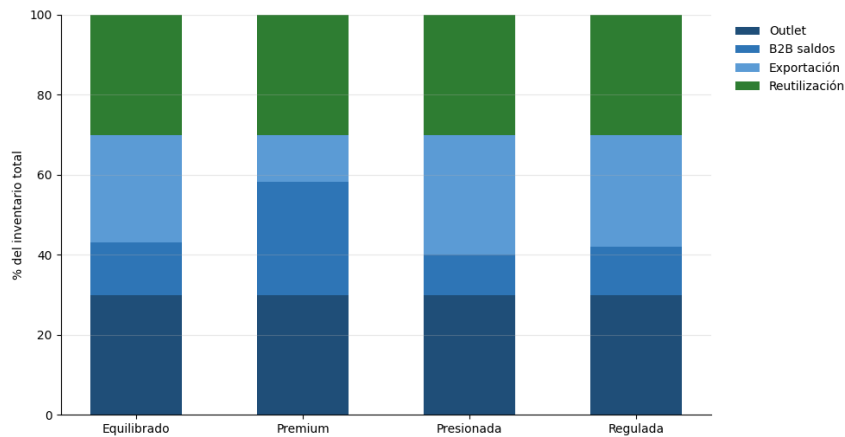
Un modelo cuyas recomendaciones dependen de pesos fijados por el cliente exige comprobar cómo varían los resultados cuando esos pesos cambian. Para ello se resuelve el modelo bajo cuatro perfiles de marca. El perfil equilibrado, ya descrito, sirve de referencia. El perfil premium, con pesos del 25% económico, 35% ecológico y 40% regulatorio, representa una marca que prioriza reputación y cumplimiento. El perfil presionado invierte la lógica con un 80% de peso económico. El perfil regulado, con un 60% en el componente regulatorio, anticipa el comportamiento de una marca ante la entrada en vigor del marco normativo.

Los resultados muestran un patrón doble. Por una parte, el outlet propio y la reutilización permanecen en su máximo del 30% en los cuatro escenarios, lo que indica que la asignación principal es robusta a las prioridades del cliente. Esta robustez tiene valor operativo, puesto que implica que el grueso de la recomendación no depende de una calibración fina de los pesos y reduce el riesgo de decisiones erróneas por una mala parametrización. Por otra parte, el reparto del inventario restante entre el mercado B2B y la exportación sí discrimina entre perfiles. La marca premium eleva el B2B hasta el 28,3% y reduce la exportación al 11,7%, dado que el B2B presenta mejor puntuación en los componentes no económicos, mientras que la marca presionada satura la exportación en el 30% por su mayor recuperación monetaria. Las métricas agregadas reflejan el mismo equilibrio, con el ingreso oscilando apenas un 0,6% entre escenarios, pero el CO<sub>2</sub> evitado

alcanzando su máximo de 424,3 toneladas precisamente en el perfil premium, el de menor resultado económico. Existe por tanto un intercambio medible entre el objetivo económico y el ambiental, y el modelo permite a cada marca situarse en el punto de ese intercambio coherente con su estrategia.

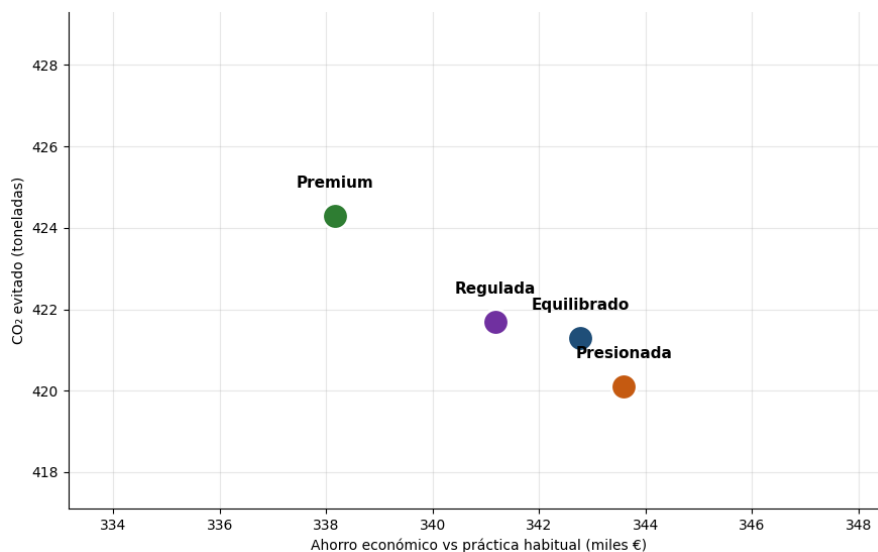
La figura 8 compara la asignación del modelo en los cuatro escenarios de pesos. Lo relevante no es el reparto absoluto, sino los cambios en los canales intermedios entre perfiles, que reflejan cómo las prioridades estratégicas modifican la decisión.

Figura 8. Reparto del deadstock por canal según el perfil de marca.



Cada punto de la Figura 9 representa el resultado del modelo bajo un perfil distinto. La disposición de los puntos visualiza el intercambio entre objetivos: el escenario que prioriza la regulación alcanza el máximo de CO<sub>2</sub> evitado, pero a costa del menor ahorro, mientras que el perfil presionado ocurre lo contrario.

Figura 9. Trade-off entre impacto económico y ecológico según el perfil de marca.



## 4.8. Limitaciones del modelo

El modelo presenta limitaciones que conviene aclarar. La primera afecta a los parámetros de los canales, cuyas tasas de recuperación, costes logísticos y factores de emisión son estimaciones construidas a partir de literatura sectorial y supuestos razonados, no datos auditados. La fase de consultoría descrita en el apartado 3.5 está concebida precisamente para calibrar estos parámetros contra resultados reales de clientes. La segunda es la ausencia de dinámica temporal, ya que el modelo resuelve una fotografía estática del inventario y no contempla la evolución de la depreciación ni la posibilidad de retener stock a la espera de mejores condiciones. La tercera es la omisión de variables como la composición de fibras, determinante para la elegibilidad del reciclaje fibra a fibra, o el coste financiero del capital inmovilizado, excluidas por el principio de parsimonia. La cuarta se refiere al perfil de riesgo de canibalización e imagen, que el modelo base documenta, pero no aplica para preservar la transparencia del resultado, si bien el demostrador web desarrollado como prototipo de la plataforma sí lo incorpora mediante un selector de tolerancia que ajusta las tasas efectivas de los canales afectados. Por último, el caso de validación es simulado, y aunque el dataset se ha calibrado con rangos verosímiles, la validación definitiva del modelo exige su aplicación a inventarios reales, lo que constituye el primer objetivo de la fase inicial del proyecto. Ninguna de estas limitaciones es estructural y todas marcan el camino natural de mejora del sistema a medida que el negocio acumule datos de clientes.

## 5. Conclusiones

Este trabajo se propuso analizar la viabilidad de un proyecto empresarial dirigido a la gestión optimizada del deadstock textil de marcas medianas españolas mediante el desarrollo de una herramienta analítica de apoyo a la decisión. Las conclusiones pueden ordenarse en torno a los objetivos planteados en la introducción.

En el plano regulatorio, el análisis del nuevo marco europeo confirma que la ventana de oportunidad es real y tiene fecha. La prohibición de destrucción de productos invendidos, las obligaciones de divulgación con formato estandarizado desde 2027 y el pasaporte digital de producto configuran un calendario que obliga a las marcas a resolver en pocos años un problema que hasta ahora podían ignorar. La asimetría de capacidades entre las grandes corporaciones, que disponen de recursos internos, y la mediana empresa, que

afronta las mismas exigencias sin departamento especializado, delimita el segmento de cliente sobre el que se construye la propuesta.

En el plano de mercado, el dimensionamiento del sector y el análisis competitivo sustentan la existencia de un espacio no ocupado. Los operadores actuales se concentran en la reventa de producto posconsumo para marcas internacionales, mientras que la gestión multicanal del invendido preconsumo en el segmento mediano español carece de oferta especializada. La evolución reciente de Recovo, que abandonó el modelo de marketplace para pivotar hacia el software tras años de actividad, aporta además una lección que el proyecto incorpora en su diseño por fases, comenzando por el servicio de consultoría antes de invertir en plataforma.

En el plano analítico, el modelo de optimización desarrollado demuestra que la decisión sobre el destino del deadstock puede formularse y resolverse como un problema de programación lineal entera con resultados interpretables y defendibles. Aplicado al caso simulado de una marca del tramo alto del segmento, el modelo genera un ahorro del 65,6% sobre la práctica habitual y 175 toneladas adicionales de CO<sub>2</sub> evitado, al tiempo que sitúa la totalidad del inventario en canales de alto valor circular. El análisis de sensibilidad revela que la asignación principal es robusta al perfil estratégico de la marca y que las prioridades del cliente operan sobre el margen del inventario, donde existe un intercambio medible entre resultado económico e impacto ambiental. La ausencia de donación en todos los escenarios, lejos de ser una anomalía, cuantifica una realidad del sector y sugiere que este canal solo ganará peso cuando la presión regulatoria o de imagen de marca modifique su coste de oportunidad.

En el plano del negocio, la proyección financiera indica que el proyecto es viable con un capital de partida inferior a diez mil euros si el equipo fundador asume una renta de subsistencia durante el primer ejercicio. El modelo de ingresos basado en performance fee, cuya base contractual es precisamente el ahorro que la calculadora de impacto acredita, alinea la remuneración del servicio con el valor generado al cliente y convierte la herramienta analítica en el corazón comercial del proyecto y no en un complemento técnico.

El trabajo presenta limitaciones que delimitan sus conclusiones. Los parámetros del modelo son estimaciones pendientes de calibración con datos reales, el caso de validación es simulado y la proyección financiera descansa sobre hipótesis declaradas, pero no

contrastadas con clientes. Estas limitaciones definen a su vez las líneas de continuación naturales, que pasan por la validación del modelo con inventarios reales durante la fase de consultoría, la calibración progresiva de los parámetros de canal y la incorporación gradual de las variables hoy omitidas.

Como reflexión final, el trabajo ilustra que la analítica prescriptiva aporta su mayor valor cuando se ancla en un problema de negocio concreto y en una obligación regulatoria con calendario, condiciones ambas que el deadstock textil europeo reúne en este momento de forma poco habitual.

## 6. Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

**ADVERTENCIA:** Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, Pablo Fernández-Vega, estudiante de E2 Business Analytics de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi StockLoop: un modelo analítico para la gestión optimizada del deadstock textil en marcas medianas españolas ante el nuevo marco regulatorio europeo, declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

**Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.

**Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.

**Metodólogo:** Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.

**Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.

**Constructor de plantillas:** Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.

**Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.

**Generador de datos sintéticos de prueba:** Para la creación de conjuntos de datos ficticios.

**Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 16/06/2026

Firma: Pablo Fernández-Vega Escandón

## 7. Bibliografía

Comisión Europea. (28 de junio de 2024). *Reglamento (UE) 2024/1781 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establece un marco para fijar requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos sostenibles*. Diario Oficial de la Unión Europea.

<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>

Comisión Europea. (11 de julio de 2025). *Plan to boost circular and efficient products on the European market*. Green Forum.

[https://green-forum.ec.europa.eu/news/2025-2030-working-plan-2025-07-11\\_en](https://green-forum.ec.europa.eu/news/2025-2030-working-plan-2025-07-11_en)

Comisión Europea. (16 de octubre de 2025). *Revised Waste Framework Directive enters into force to boost circularity of textile sector and slash food waste*. Green Forum.

[https://environment.ec.europa.eu/news/revised-waste-framework-directive-enters-force-2025-10-16\\_en](https://environment.ec.europa.eu/news/revised-waste-framework-directive-enters-force-2025-10-16_en)

COSH!. (18 de febrero de 2026). From ESPR framework to real impact: what the latest EU updates mean for fashion and textile businesses.

<https://cosh.eco/en/articles/eu-legislation-espr-unsold-goods-ban>

De Aguiar Hugo, A., de Nadae, J., & da Silva Lima, R. (2021). Can Fashion Be Circular? A Literature Review on Circular Economy Barriers, Drivers, and Practices in the Fashion Industry's Productive Chain. *Sustainability*, 13(21), 12246.

<https://doi.org/10.3390/su132112246>

Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios (versión refundida). (2024). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L, 2024/1275, de 8 de mayo de 2024.

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2024-80992>

European Environment Agency. (2022). *Textiles and the environment: The role of design in Europe's circular economy*.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/textiles-and-the-environment-the-role-of-design-in-europes-circular-economy-1>

European Environment Agency. (2024). *The destruction of returned and unsold textiles in Europe's circular economy* (EEA Briefing). Publications Office of the European Union.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/the-destruction-of-returned-and-unsold-textiles-in-europes-circular-economy>

Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*.

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>

Generation Impact Global. (3 de abril de 2026). *ESPR unsold consumer products: Destruction ban and disclosure explained*.

<https://generationimpact.global/blog/espr-unsold-consumer-products-destruction-ban-disclosure/>

Hunink de Paiva, Y. (12 de febrero de 2026). *The Expected ESPR Delegated Act on Textiles: What We Know So Far*. Regen Studio.

<https://www.regenstudio.world/blog/espr-textile-delegated-act/>

Jefatura del Estado. (24 de diciembre de 2002). *Ley 49/2002, de 23 de diciembre, de régimen fiscal de las entidades sin fines lucrativos y de los incentivos fiscales al mecenazgo*. Boletín Oficial del Estado, (307).

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-25039>

Lepenioti, K., Bousdekis, A., Apostolou, D., y Mentzas, G. (2020). Prescriptive analytics: Literature review and research challenges. *International Journal of Information Management*, 50, 57-70.

<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.04.003>

Observatorio del Textil y de la Moda. (2025). *Informe económico de la moda en España 2025*.

<https://observatoriotextilymoda.es/wp-content/uploads/2025/10/Informe-Economico-2025-DIGITAL.pdf>

OECD (2024). *Extended Producer Responsibility in the Garments Sector*. OECD Environment Working Papers, No. 253. París: OECD Publishing.

[https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/12/extended-producer-responsibility-in-the-garments-sector\\_3a2dec33/8ee5adb2-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/12/extended-producer-responsibility-in-the-garments-sector_3a2dec33/8ee5adb2-en.pdf)

Parlamento Europeo y Consejo (2025). *Directiva (UE) 2025/1892 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos*. Diario Oficial de la Unión Europea, 26 de septiembre de 2025.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32025L1892>

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain* (Informe No. 2544). PBL Publishers.

<http://hdl.handle.net/1874/358310>

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.

Segal, M. (11 de febrero de 2026). *EU bans destruction of unsold clothing, footwear*. ESG Today.

<https://www.esgtoday.com/eu-bans-destruction-of-unsold-clothing-footwear/>

Unión Europea. (s.f.). *Pequeñas y medianas empresas*. Eur-Lex.

<https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/glossary/small-and-medium-sized-enterprises.html>

United Nations Environment Programme. (2023). *Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain: A Global Roadmap*.

<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/42580>

White & Case LLP (2024). *Eight key aspects to know about the EU Ecodesign for Sustainable Products Regulation*.

<https://www.whitecase.com/insight-alert/eight-key-aspects-know-about-eu-ecodesign-sustainable-products-regulation>

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo I. Código Fuente del modelo de optimización

Contenido del Anexo I:

- Anexo I.1. `Parámetros.py`: parámetros del modelo (canales, huella de CO2, factor de antigüedad y perfil de riesgo).
- Anexo I.2. `Dataset.py`: generador del inventario sintético de la marca M con semilla reproducible.
- Anexo I.3. `Eda.py`: exploración descriptiva del dataset previa a la aplicación del modelo.
- Anexo I.4. `Modelo.py`: modelo de optimización (variables, función objetivo y restricciones (PuLP)).
- Anexo I.5. `Calculadora.py`: calculadora de impacto económico, ecológico y regulatorio frente a la práctica habitual.
- Anexo I.6. `Sensibilidad.py`: análisis de sensibilidad bajo los cuatro perfiles de marca.
- Anexo I.7. `Main.py`: script principal que orquesta todo el flujo del modelo.

## Anexo I.1. parametros.py

Parámetros del modelo: canales, huella de CO<sub>2</sub>, factor de antigüedad y perfil de riesgo.

```
"""
parametros.py – Definición de los parámetros del modelo StockLoop.

Centraliza:
- Canales de salida y sus atributos
- Huella de CO2 por categoría de producto
- Modificador de antigüedad por canal
- Perfil de riesgo por canal y niveles de descuento por tolerancia
"""

# -----
# CANALES DE SALIDA
# -----
# tasa_recup      : fracción del PVP que la marca recupera en el canal
# coste_log       : coste logístico por unidad (€)
# pct_co2_evit    : fracción de la huella de la prenda que se evita
#                  al destinarla a este canal en lugar de destruirla
# capacidad       : fracción máxima del inventario total que el canal
#                  puede absorber (restricción operativa)
# r_reg           : puntuación de calidad regulatoria (jerarquía de
#                  residuos UE), de 0 (peor) a 1 (mejor)
CANALES = {
    'Outlet':      {'tasa_recup': 0.50, 'coste_log': 0.50,
                    'pct_co2_evit': 0.70, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.90},
    'B2B':         {'tasa_recup': 0.25, 'coste_log': 0.30,
                    'pct_co2_evit': 0.65, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.85},
    'Exportacion': {'tasa_recup': 0.30, 'coste_log': 1.00,
                    'pct_co2_evit': 0.60, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.85},
    'Donacion':    {'tasa_recup': 0.10, 'coste_log': 0.40,
                    'pct_co2_evit': 0.75, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 0.80},
    'Reutilizacion': {'tasa_recup': 0.35, 'coste_log': 1.50,
                     'pct_co2_evit': 0.80, 'capacidad': 0.30, 'r_reg': 1.00},
    'Reciclaje':   {'tasa_recup': 0.03, 'coste_log': 0.50,
                    'pct_co2_evit': 0.20, 'capacidad': 1.00, 'r_reg': 0.40},
}

# Categorías de producto y estados posibles
CATEGORIAS = ['Camiseta', 'Vaquero', 'Vestido', 'Abrigo', 'Calzado', 'Accesorio']
ESTADOS     = ['Nuevo', 'Devolucion', 'Deterioro']

# -----
# HUELLA DE CO2 POR CATEGORÍA (kg CO2 por unidad)
# -----
# Valores aproximados a partir de literatura sectorial
# (Ellen MacArthur Foundation, European Environment Agency, ADEME)
HUELLA_CO2 = {
    'Camiseta': 7,
    'Vaquero': 25,
    'Vestido': 15,
    'Abrigo': 40,
    'Calzado': 15,
    'Accesorio': 5,
}
```

```

# -----
# MODIFICADOR DE ANTIGÜEDAD POR CANAL
# -----
# Multiplica la tasa de recuperación según las temporadas de antigüedad.
# Refleja que el producto antiguo pierde valor sobre todo en outlet
# propio (cliente local quiere moda actual) y muy poco en exportación
# o donación (mercados poco sensibles a la antigüedad).
FACTOR_ANTIGUEDAD = {
    'Outlet':      {0: 1.00, 1: 0.85, 2: 0.55, 3: 0.30, 4: 0.15},
    'B2B':         {0: 1.00, 1: 0.95, 2: 0.85, 3: 0.70, 4: 0.55},
    'Exportacion': {0: 1.00, 1: 0.95, 2: 0.90, 3: 0.80, 4: 0.70},
    'Donacion':    {0: 1.00, 1: 1.00, 2: 1.00, 3: 1.00, 4: 1.00},
    'Reutilizacion': {0: 1.00, 1: 0.95, 2: 0.90, 3: 0.85, 4: 0.80},
    'Reciclaje':   {0: 1.00, 1: 1.00, 2: 1.00, 3: 1.00, 4: 1.00},
}

# -----
# PERFIL DE RIESGO POR CANAL (extensión opcional del modelo)
# -----
# Cada canal lleva asociados dos riesgos para la marca:
#   canibalizacion : riesgo de que las ventas en este canal resten
#                   ventas a precio completo (alto en Outlet/B2B)
#   imagen          : riesgo reputacional de que el producto acabe
#                   en lugares no deseados (alto en Exportación)
# Valores entre 0 (sin riesgo) y 1 (riesgo máximo).
#
# NOTA: El modelo base (modelo.py) no aplica estos descuentos para
# preservar la transparencia del scoring multicriterio. Quedan
# definidos aquí como extensión opcional que el demostrador web
# (StockLoop) sí utiliza, permitiendo al cliente declarar su
# tolerancia al riesgo y ajustar las recomendaciones.
PERFIL_RIESGO_CANAL = {
    'Outlet':      {'canibalizacion': 0.9, 'imagen': 0.1},
    'B2B':         {'canibalizacion': 0.6, 'imagen': 0.4},
    'Exportacion': {'canibalizacion': 0.1, 'imagen': 0.7},
    'Donacion':    {'canibalizacion': 0.0, 'imagen': 0.3},
    'Reutilizacion': {'canibalizacion': 0.2, 'imagen': 0.0},
    'Reciclaje':   {'canibalizacion': 0.0, 'imagen': 0.1},
}

# Mapeo: nivel de tolerancia al riesgo declarado → factor máximo
# de descuento que se puede aplicar al canal
NIVEL_DESCUENTO = {
    'alta': 0.05,
    'media': 0.15,
    'baja': 0.30,
}

def factor_riesgo(canal, tolerancias):
    """
    Calcula el factor multiplicador (0,5 - 1,0) que se aplica a la
    tasa de recuperación de un canal según la tolerancia al riesgo
    declarada. Un factor de 1,00 = sin descuento; un factor de 0,70
    = descuento del 30% sobre los ingresos del canal.

    Suelo del 0,50 para que ningún canal quede totalmente excluido.
    """
    perfil = PERFIL_RIESGO_CANAL[canal]
    d_can = NIVEL_DESCUENTO[tolerancias['canibalizacion']] * perfil['canibalizacion']

```

```
d_img = NIVEL_DESCUENTO[tolerancias['imagen']] * perfil['imagen']  
return max(0.5, 1 - d_can - d_img)
```

## Anexo I.2. dataset.py

Generador del inventario sintético de la Marca M con semilla reproducible.

---

```
"""
dataset.py – Generador del inventario de deadstock de la Marca M.

Marca M: marca textil mediana española ficticia, usada como caso de
estudio. Genera de forma reproducible un inventario realista de fin
de temporada con 300 referencias (SKUs).

Cada SKU tiene seis variables:
    sku, producto, unidades, pvp, coste_produccion, antiguedad, estado
"""

import numpy as np
import pandas as pd

from parametros import ESTADOS

SEED = 42
N_SKUS = 300

# Perfil de cada categoría de producto:
# peso      : probabilidad de que un SKU pertenezca a esa categoría
# pvp       : rango de precio de venta al público (€)
# margen    : coste de producción como fracción del PVP
# ud        : rango de unidades por referencia
PERFIL_CATEGORIAS = {
    'Camiseta': {'peso': 0.28, 'pvp': (15, 40), 'margen': 0.25, 'ud': (80, 400)},
    'Vaquero':  {'peso': 0.18, 'pvp': (40, 90), 'margen': 0.28, 'ud': (50, 200)},
    'Vestido':  {'peso': 0.16, 'pvp': (45, 120), 'margen': 0.30, 'ud': (40, 150)},
    'Abrigo':   {'peso': 0.12, 'pvp': (90, 250), 'margen': 0.32, 'ud': (20, 100)},
    'Calzado':  {'peso': 0.14, 'pvp': (50, 130), 'margen': 0.30, 'ud': (40, 180)},
    'Accesorio': {'peso': 0.12, 'pvp': (10, 45), 'margen': 0.22, 'ud': (100, 500)},
}

# Distribuciones: la mayoría del deadstock es reciente y nuevo, pero hay
# colas largas de producto antiguo y de devoluciones
ANTIGUEDAD_PROBS = [0.30, 0.32, 0.20, 0.12, 0.06]
ESTADO_PROBS      = [0.70, 0.22, 0.08]

def generar_inventario(n_skus=N_SKUS, seed=SEED):
    """Genera un DataFrame con n_skus referencias del inventario."""
    rng = np.random.default_rng(seed)

    cats = list(PERFIL_CATEGORIAS.keys())
    pesos = [PERFIL_CATEGORIAS[c]['peso'] for c in cats]

    filas = []
    for n in range(n_skus):
        cat = rng.choice(cats, p=pesos)
        perfil = PERFIL_CATEGORIAS[cat]

        pvp = round(rng.uniform(*perfil['pvp']), 2)
        margen = perfil['margen'] * rng.uniform(0.9, 1.1)
        coste = round(pvp * margen, 2)
```

```

unidades = int(rng.uniform(*perfil['ud']))
antig = int(rng.choice([0, 1, 2, 3, 4], p=ANTIGUEDAD_PROBS))
estado = str(rng.choice(ESTADOS, p=ESTADO_PROBS))

filas.append({
    'sku': f'M{n+1:03d}',
    'producto': cat,
    'unidades': unidades,
    'pvp': pvp,
    'coste_produccion': coste,
    'antiguedad': antig,
    'estado': estado,
})
return pd.DataFrame(filas)

if __name__ == '__main__':
    df = generar_inventario()
    print(f"Inventario generado: {len(df)} SKUs, {df['unidades'].sum():,} uds.")
    df.to_csv('inventario_marca_m.csv', index=False)

```

## Anexo I.3. eda.py

Exploración descriptiva del dataset previa a la aplicación del modelo.

---

```
"""
eda.py – Exploración descriptiva del inventario de la Marca M.

Caracteriza el dataset antes de aplicar el modelo:
- Tamaño total (SKUs, unidades, valor)
- Reparto por categoría, antigüedad y estado
- Concentración del valor económico
- Identificación de stock crítico (alta antigüedad o deterioro)
- Figura: composición del inventario en una vista
"""

import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

def descriptivos(inventario):
    """Imprime los estadísticos descriptivos básicos del inventario."""
    total_uds = inventario['unidades'].sum()
    valor_pvp = (inventario['pvp'] * inventario['unidades']).sum()
    valor_coste = (inventario['coste_produccion'] * inventario['unidades']).sum()

    print("\n" + "-" * 60)
    print(" Resumen general del inventario")
    print("-" * 60)
    print(f" Nº de referencias (SKUs)      : {len(inventario):>10,}")
    print(f" Nº total de unidades          : {total_uds:>10,}")
    print(f" Valor a PVP                   : {valor_pvp:>10,.0f} €")
    print(f" Valor a coste de producción  : {valor_coste:>10,.0f} €")
    print(f" PVP medio por unidad          : {valor_pvp/total_uds:>10.2f} €")
    print(f" Unidades medias por SKU       : {total_uds/len(inventario):>10.0f}")

def reparto_categorias(inventario):
    """Reparto por categoría: SKUs, unidades y % del valor PVP total."""
    valor_total = (inventario['pvp'] * inventario['unidades']).sum()

    cat = inventario.groupby('producto').agg(
        skus=('sku', 'count'),
        unidades=('unidades', 'sum'),
        pvp_medio=('pvp', 'mean'),
    )
    cat['valor_pvp'] = (
        inventario.assign(v=inventario['pvp'] * inventario['unidades'])
        .groupby('producto')['v'].sum()
    )
    cat['pct_unidades'] = (cat['unidades'] / cat['unidades'].sum() * 100).round(1)
    cat['pct_valor'] = (cat['valor_pvp'] / valor_total * 100).round(1)
    cat = cat.round({'pvp_medio': 1, 'valor_pvp': 0})

    print("\n Reparto por categoría")
    print("-" * 60)
    print(cat[['skus', 'unidades', 'pct_unidades', 'pvp_medio',
              'valor_pvp', 'pct_valor']].to_string())
    return cat
```

```

def reparto_antigüedad_estado(inventario):
    """Reparto del inventario por antigüedad y por estado."""
    total = inventario['unidades'].sum()

    ant = inventario.groupby('antigüedad')['unidades'].sum()
    ant_pct = (ant / total * 100).round(1)
    print("\n Reparto por antigüedad (temporadas)")
    print("-" * 60)
    for a in ant.index:
        print(f"    {a} temporada(s) : {ant[a]:>7,} uds.  ({ant_pct[a]:5.1f}%)")

    est = inventario.groupby('estado')['unidades'].sum()
    est_pct = (est / total * 100).round(1)
    print("\n Reparto por estado")
    print("-" * 60)
    for e in est.index:
        print(f"    {e:14s}: {est[e]:>7,} uds.  ({est_pct[e]:5.1f}%)")

    return ant, est

def stock_critico(inventario):
    """
    Identifica subconjuntos de inventario relevantes para la decisión:
    - Stock antiguo (≥ 3 temporadas)
    - Stock con deterioro (no apto para Outlet)
    """
    total = inventario['unidades'].sum()
    antiguo = inventario[inventario['antigüedad'] >= 3]['unidades'].sum()
    deteriorado = inventario[inventario['estado'] == 'Deterioro']['unidades'].sum()

    print("\n Stock crítico para la decisión")
    print("-" * 60)
    print(f"    Stock antiguo (≥ 3 temporadas): {antiguo:>7,} uds.  ({antiguo/total*100:5.1f}%)")
    print(f"    Stock con deterioro                : {deteriorado:>7,} uds.  ({deteriorado/total*100:5.1f}%)")
    print(f"    → Las prendas con deterioro no podrán asignarse al canal Outlet (R3).")

def figura_composicion(inventario, ruta='fig_edc_composicion.png'):
    """Genera una figura con dos paneles: categoría y antigüedad."""
    fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(11, 4.2))

    azul = '#1F4E78'
    verde = '#2E7D32'

    # Panel 1: unidades por categoría
    cat = inventario.groupby('producto')
    ['unidades'].sum().sort_values(ascending=True)
    ax1.barh(cat.index, cat.values, color=azul)
    ax1.set_xlabel('Unidades')
    ax1.set_title('Unidades por categoría', fontsize=11, fontweight='bold')
    for i, v in enumerate(cat.values):
        ax1.text(v, i, f' {v:,}', va='center', fontsize=9)
    ax1.spines['top'].set_visible(False)
    ax1.spines['right'].set_visible(False)

```

```

# Panel 2: unidades por antigüedad
ant = inventario.groupby('antigüedad')['unidades'].sum()
bars = ax2.bar(ant.index, ant.values, color=verde, width=0.6)
ax2.set_xlabel('Antigüedad (temporadas)')
ax2.set_ylabel('Unidades')
ax2.set_title('Unidades por antigüedad', fontsize=11, fontweight='bold')
ax2.set_xticks(ant.index)
for b, v in zip(bars, ant.values):
    ax2.text(b.get_x()+b.get_width()/2, v, f'{v:,}',
            ha='center', va='bottom', fontsize=9)
ax2.spines['top'].set_visible(False)
ax2.spines['right'].set_visible(False)

fig.suptitle('Figura 4.x. Composición del inventario de la Marca M',
            fontsize=12, fontweight='bold', y=1.02)
plt.tight_layout()
plt.savefig(ruta, dpi=200, bbox_inches='tight')
plt.close()
print(f"\n[Figura guardada: {ruta}]")

def explorar(inventario, generar_figura=True):
    """Ejecuta el EDA completo y opcionalmente genera la figura."""
    print("\n" + "=" * 60)
    print(" EXPLORACIÓN DEL DATASET ".center(60, "="))
    print("=" * 60)
    descriptivos(inventario)
    reparto_categorias(inventario)
    reparto_antigüedad_estado(inventario)
    stock_critico(inventario)
    if generar_figura:
        figura_composicion(inventario)

if __name__ == '__main__':
    from dataset import generar_inventario
    explorar(generar_inventario())

```

## Anexo I.4. modelo.py

Modelo de optimización: variables, función objetivo escalarizada y restricciones (PuLP).

---

```
"""
modelo.py – Modelo de optimización PuLP para asignación de deadstock.

Resuelve un problema de programación lineal entera que asigna, para
cada SKU del inventario, cuántas unidades enviar a cada uno de los
seis canales de salida, maximizando una función objetivo escalarizada
ponderada (económico + ecológico + regulatorio).

Variables de decisión:
    x[i, j] = unidades enteras  $\geq 0$  del SKU i asignadas al canal j

Función objetivo:
    max Z = w_econ · (Z_econ / Z_econ_max)
           + w_eco  · (Z_eco  / Z_eco_max)
           + w_reg  · (Z_reg  / Z_reg_max)

Restricciones:
    R1) Asignación íntegra de cada SKU
    R2) Capacidad máxima de cada canal
    R3) Elegibilidad por estado: deterioro no va a Outlet
    R4) Variables enteras  $\geq 0$  (en la definición)
"""

import pulp
import pandas as pd

from parametros import CANALES, HUELLA_CO2, FACTOR_ANTIGUEDAD

# Pesos por defecto (perfil equilibrado)
PESOS_DEFAULT = {'economico': 0.50, 'ecologico': 0.25, 'regulatorio': 0.25}

def resolver(inventario, pesos=None, verbose=True):
    """
    Construye y resuelve el modelo de optimización.

    Devuelve un DataFrame con la asignación (sku, canal, unidades).
    """
    pesos = pesos or PESOS_DEFAULT

    skus = inventario['sku'].tolist()
    canales = list(CANALES.keys())
    inv = inventario.set_index('sku').to_dict('index')
    total_uds = inventario['unidades'].sum()

    m = pulp.LpProblem('StockLoop', pulp.LpMaximize)

    # Variables x[i, j] = unidades del SKU i en el canal j
    x = pulp.LpVariable.dicts(
        'x', [(i, j) for i in skus for j in canales],
        lowBound=0, cat='Integer'
    )

    # Componentes de la función objetivo
```

```

z_econ = pulp.lpSum(
    x[(i, j)] * (
        inv[i]['pvp'] * CANALES[j]['tasa_recup']
        * FACTOR_ANTIGUEDAD[j][inv[i]['antiguedad']]
        - CANALES[j]['coste_log']
    )
    for i in skus for j in canales
)
z_eco = pulp.lpSum(
    x[(i, j)] * HUELLA_CO2[inv[i]['producto']] * CANALES[j]['pct_co2_evit']
    for i in skus for j in canales
)
z_reg = pulp.lpSum(
    x[(i, j)] * CANALES[j]['r_reg']
    for i in skus for j in canales
)

# Máximos teóricos para normalizar a escala 0-1
max_tasa = max(c['tasa_recup'] for c in CANALES.values())
max_pct_co2 = max(c['pct_co2_evit'] for c in CANALES.values())
max_huella = max(HUELLA_CO2.values())
max_reg = max(c['r_reg'] for c in CANALES.values())

z_econ_max = sum(inv[i]['pvp'] * inv[i]['unidades'] for i in skus) * max_tasa
z_eco_max = total_uds * max_huella * max_pct_co2
z_reg_max = total_uds * max_reg

# Función objetivo escalarizada
m += (
    pesos['economico'] * z_econ / z_econ_max
    + pesos['ecologico'] * z_eco / z_eco_max
    + pesos['regulatorio'] * z_reg / z_reg_max
)

# R1: asignación íntegra de cada SKU
for i in skus:
    m += (
        pulp.lpSum(x[(i, j)] for j in canales) == inv[i]['unidades'],
        f'R1_asignacion_{i}'
    )

# R2: capacidad máxima de cada canal
for j in canales:
    m += (
        pulp.lpSum(x[(i, j)] for i in skus) <= CANALES[j]['capacidad'] *
total_uds,
        f'R2_capacidad_{j}'
    )

# R3: prendas con deterioro no pueden ir a Outlet
for i in skus:
    if inv[i]['estado'] == 'Deterioro':
        m += (x[(i, 'Outlet')] == 0, f'R3_deterioro_{i}')

# Resolver con CBC
m.solve(pulp.PULP_CBC_CMD(msg=0))

if verbose:
    print(f" Estado del solver: {pulp.LpStatus[m.status]}")
    print(f" Valor de la función objetivo (0-1): {pulp.value(m.objective):.
4f}")

```

```

# Extraer asignación
filas = []
for i in skus:
    for j in canales:
        v = pulp.value(x[(i, j)])
        if v and v > 0.5:
            filas.append({'sku': i, 'canal': j, 'unidades': int(round(v))})
return pd.DataFrame(filas)

if __name__ == '__main__':
    from dataset import generar_inventario
    inv = generar_inventario()
    asig = resolver(inv)
    print("\nReparto por canal:")
    print(asig.groupby('canal')['unidades'].sum().to_string())

```

## Anexo I.5. calculadora.py

Calculadora de impacto económico, ecológico y regulatorio frente a la práctica habitual.

```
"""
calculadora.py – Calculadora de impacto del modelo.

Cuantifica tres dimensiones de impacto comparando la asignación
óptima del modelo con la práctica habitual del cliente:

    1. ECONÓMICO → valor neto recuperado, ahorro vs práctica habitual,
                performance fee del servicio
    2. ECOLÓGICO → CO2 evitado
    3. REGULATORIO → % del inventario gestionado en canales de alto
                    valor circular dentro de la jerarquía de residuos UE
"""

from parametros import CANALES, HUELLA_CO2, FACTOR_ANTIGUEDAD

# Porcentaje del ahorro económico que el servicio captura
PERFORMANCE_FEE_PCT = 0.20

# Canales considerados de alto valor circular (la prenda sigue siendo
# prenda y se usa para su fin original o un fin equivalente)
CANALES_ALTO_VALOR = ['Reutilizacion', 'Outlet', 'Exportacion', 'B2B']

# Práctica habitual por defecto (60% outlet + 40% destrucción)
BASELINE_DEFAULT = {'Outlet': 0.60, 'Destruccion': 0.40}

def impacto_economico(asignacion, inventario):
    """Suma del ingreso neto generado por la asignación."""
    inv = inventario.set_index('sku').to_dict('index')
    total = 0.0
    for _, row in asignacion.iterrows():
        i, j, u = row['sku'], row['canal'], row['unidades']
        fa = FACTOR_ANTIGUEDAD[j][inv[i]['antiguedad']]
        total += u * (inv[i]['pvp'] * CANALES[j]['tasa_recup'] * fa
                    - CANALES[j]['coste_log'])
    return total

def impacto_ecologico(asignacion, inventario):
    """CO2 evitado: huella categoría × % evitado canal × unidades."""
    inv = inventario.set_index('sku').to_dict('index')
    co2 = 0.0
    for _, row in asignacion.iterrows():
        i, j, u = row['sku'], row['canal'], row['unidades']
        co2 += u * HUELLA_CO2[inv[i]['producto']] * CANALES[j]['pct_co2_evit']
    return co2

def impacto_regulatorio(asignacion, total_uds):
    """% del inventario gestionado en canales de alto valor circular."""
    u_alto = asignacion[asignacion['canal'].isin(CANALES_ALTO_VALOR)]
    ['unidades'].sum()
    return u_alto / total_uds * 100
```

```

def calcular_baseline(inventario, baseline=None):
    """Calcula el impacto económico y ecológico de la práctica habitual."""
    baseline = baseline or BASELINE_DEFAULT
    inv = inventario.set_index('sku').to_dict('index')
    ingreso = 0.0
    co2 = 0.0
    for i in inv:
        for canal, frac in baseline.items():
            u = inv[i]['unidades'] * frac
            if canal == 'Destruccion' or canal not in CANALES:
                continue
            fa = FACTOR_ANTIGUEDAD[canal][inv[i]['antiguedad']]
            ingreso += u * (inv[i]['pvp'] * CANALES[canal]['tasa_recup'] * fa
                - CANALES[canal]['coste_log'])
            co2 += u * HUELLA_CO2[inv[i]['producto']] * CANALES[canal]
['pct_co2_evit']
    pct_reg = sum(frac for canal, frac in baseline.items()
        if canal in CANALES_ALTO_VALOR) * 100
    return ingreso, co2, pct_reg

def resumen_impacto(inventario, asignacion, baseline=None, mostrar=True):
    """Devuelve un dict con todas las métricas y lo imprime."""
    total_uds = inventario['unidades'].sum()
    ingreso_m = impacto_economico(asignacion, inventario)
    co2_m = impacto_ecologico(asignacion, inventario)
    reg_m = impacto_regulatorio(asignacion, total_uds)
    ingreso_b, co2_b, reg_b = calcular_baseline(inventario, baseline)

    ahorro = ingreso_m - ingreso_b
    co2_extra = co2_m - co2_b
    fee = ahorro * PERFORMANCE_FEE_PCT

    metricas = {
        'ingreso_modelo': ingreso_m,
        'ingreso_baseline': ingreso_b,
        'ahorro': ahorro,
        'mejora_pct': (ahorro / ingreso_b * 100) if ingreso_b > 0 else 0,
        'co2_modelo': co2_m,
        'co2_baseline': co2_b,
        'co2_extra': co2_extra,
        'pct_alto_valor_modelo': reg_m,
        'pct_alto_valor_baseline': reg_b,
        'performance_fee': fee,
    }

    if mostrar:
        print(f"\n{'='*60}")
        print(f"{'CALCULADORA DE IMPACTO':^60}")
        print(f"\n{'='*60}")
        print(f"\n 1. IMPACTO ECONÓMICO")
        print(f"    Valor recuperado – práctica habitual : {ingreso_b:>12,.0f} €")
        print(f"    Valor recuperado – modelo : {ingreso_m:>12,.0f} €")
        print(f"    AHORRO ACREDITADO : {ahorro:>12,.0f} €")
        print(f"    Mejora relativa :")
    {metricas['mejora_pct']:>11.1f} %)
        print(f"    Performance fee del servicio ({PERFORMANCE_FEE_PCT*100:.0f}%) :")
    {fee:>12,.0f} €")
        print(f"\n 2. IMPACTO ECOLÓGICO")
        print(f"    CO2 evitado – práctica habitual : {co2_b:>12,.0f} kg")

```

```

        print(f"    C02 evitado – modelo                : {co2_m:>12,.0f} kg")
        print(f"    C02 adicional evitado                : {co2_extra:>12,.0f} kg
({co2_extra/1000:.1f} t)")
        print(f"\n 3. IMPACTO REGULATORIO")
        print(f"    % alto valor circular – habitual          : {reg_b:>11.1f} %")
        print(f"    % alto valor circular – modelo          : {reg_m:>11.1f} %")

    return metricas

if __name__ == '__main__':
    from dataset import generar_inventario
    from modelo import resolver
    inv = generar_inventario()
    asig = resolver(inv, verbose=False)
    resumen_impacto(inv, asig)

```

## Anexo I.6. sensibilidad.py

Análisis de sensibilidad bajo los cuatro perfiles de marca.

---

```
"""
sensibilidad.py – Análisis de sensibilidad del modelo.

Ejecuta el modelo bajo cuatro perfiles de marca distintos, modificando
únicamente los pesos de la función objetivo. Demuestra que las
recomendaciones cambian de forma coherente con la estrategia declarada
y permite identificar trade-offs entre los tres componentes.
"""

import pandas as pd

from parametros import CANALES
from modelo import resolver
from calculadora import resumen_impacto

ESCENARIOS = {
    'Equilibrado': {'economico': 0.50, 'ecologico': 0.25, 'regulatorio': 0.25},
    'Premium':    {'economico': 0.25, 'ecologico': 0.35, 'regulatorio': 0.40},
    'Presionada': {'economico': 0.80, 'ecologico': 0.10, 'regulatorio': 0.10},
    'Regulada':  {'economico': 0.20, 'ecologico': 0.20, 'regulatorio': 0.60},
}

def correr_sensibilidad(inventario, escenarios=None, baseline=None):
    """
    Resuelve el modelo en cada escenario y devuelve dos DataFrames:
    - reparto: % del inventario por canal y escenario
    - metricas: indicadores de impacto por escenario
    """
    escenarios = escenarios or ESCENARIOS
    canales = list(CANALES.keys())
    total_uds = inventario['unidades'].sum()

    reparto = {}
    metricas = {}

    for nombre, pesos in escenarios.items():
        asig = resolver(inventario, pesos=pesos, verbose=False)
        r = asig.groupby('canal')['unidades'].sum().reindex(canales).fillna(0)
        reparto[nombre] = (r / total_uds * 100).round(1)

        m = resumen_impacto(inventario, asig, baseline=baseline, mostrar=False)
        metricas[nombre] = {
            'Ingreso (€)': round(m['ingreso_modelo']),
            'Ahorro (€)': round(m['ahorro']),
            'CO2 evitado (t)': round(m['co2_modelo'] / 1000, 1),
            '% alto valor': round(m['pct_alto_valor_modelo'], 1),
        }

    return pd.DataFrame(reparto), pd.DataFrame(metricas)

def imprimir_sensibilidad(reparto, metricas):
```

```

print(f"\n{'='*68}")
print(f"{'ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD':^68}")
print(f"{'='*68}")
print("\n Reparto por canal (% del inventario)")
print('-' * 68)
print(reparto.to_string())
print("\n Métricas de impacto por escenario")
print('-' * 68)
print(metricas.to_string())

if __name__ == '__main__':
    from dataset import generar_inventario
    inv = generar_inventario()
    r, m = correr_sensibilidad(inv)
    imprimir_sensibilidad(r, m)

```

## Anexo I.7. main.py

Script principal que orquesta todo el flujo del modelo.

---

```
"""
main.py – Script principal del modelo StockLoop.

Ejecuta el flujo completo:
1. Genera el inventario de la Marca M
2. Explora descriptivamente el dataset (EDA)
3. Resuelve el modelo de optimización con perfil equilibrado
4. Calcula el impacto del modelo frente a la práctica habitual
5. Corre el análisis de sensibilidad con cuatro perfiles
"""

from dataset import generar_inventario
from eda import explorar
from modelo import resolver
from calculadora import resumen_impacto
from sensibilidad import correr_sensibilidad, imprimir_sensibilidad

def main():
    # 1. Generar inventario
    inv = generar_inventario()

    # 2. Exploración descriptiva
    explorar(inv)

    # 3. Resolver el modelo (perfil equilibrado)
    print('\n' + '=' * 60)
    print(' MODELO DE OPTIMIZACIÓN – PERFIL EQUILIBRADO '.center(60, '='))
    print('=' * 60 + '\n')
    asig = resolver(inv)

    total = inv['unidades'].sum()
    print('\n Reparto óptimo por canal:')
    rep = asig.groupby('canal')['unidades'].sum().sort_values(ascending=False)
    for canal, u in rep.items():
        print(f"   {canal:14s} {u:>7,} uds.   ({u/total*100:5.1f}%)")

    # 4. Calculadora de impacto
    resumen_impacto(inv, asig)

    # 5. Análisis de sensibilidad
    r, m = correr_sensibilidad(inv)
    imprimir_sensibilidad(r, m)

if __name__ == '__main__':
    main()
```