

Treball de Fi de Màster

Màster Universitari en Logística, Transport i Mobilitat

La Logística Inversa en la Recuperación Internacional de Coleccionables

MEMÒRIA

Autor: Luigi Sabatini Martín

Director: Joan Ignasi Moliné i Boixareu

Convocatòria: Septiembre 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

El estancamiento de las ventas, la saturación de títulos y la piratería han colocado a la industria editorial en una delicada situación económica. El acuerdo de las editoriales con los comerciantes de recoger los productos no comercializados ha generado, de manera espontánea, un flujo inverso de productos. El nivel que han alcanzado estas devoluciones, por un lado, y la estrategia de crecimiento a través de la expansión internacional, por otro, obligan a reflexionar sobre las actividades de logística inversa en la industria editorial.

Esta reflexión ha partido de la aproximación al propio concepto de logística inversa y los métodos que evalúan las actividades inmersas en su desarrollo. La mayor parte de los métodos plantean la reducción de los costes que generan las actividades de una red de suministro. Y, en trabajos más recientes, el aspecto económico se combina con la responsabilidad con el medio ambiente. Sin embargo, las publicaciones fruto de entrevistas y encuestas con responsables de empresas cuestionan si se conocen los verdaderos costes que generan las actividades en el flujo inverso.

Un caso muy particular de flujo inverso es la recuperación internacional de coleccionables. El diseño de una red que haga posible la recuperación de este material desde el punto de vista económico es el principal objetivo de este trabajo. Y encontrar la solución de mínimo impacto ambiental entre las soluciones de mínimo coste es el segundo objetivo. La red diseñada tiene la particularidad de convertir los centros de recuperación en centros de distribución. Ahora bien, el diseño propuesto tiene más de una solución. Y la solución óptima es la que minimice el coste total que generan las actividades que se desarrollan. En este sentido, se propone un análisis de costes basado en actividades que consiste en listar todas las actividades necesarias para el desarrollo de la recuperación internacional y asignarle a cada actividad un coste por unidad (euros/tn, euros/km, euros/m³). Por otro lado, el coste total depende de las cantidades manipuladas. El número de unidades del fascículo más vendido se determina como función del número de hogares en cada mercado y se proponen diferentes aproximaciones para determinar las unidades vendidas del resto de los fascículos. Las cantidades recuperadas por fascículo se determinan en función de la estimación de la demanda según fascículo. A continuación, se evalúa el coste total de cada una de las combinaciones posibles que permiten la recuperación internacional de coleccionables entre Reino Unido, Australia y Sudáfrica y se obtiene la combinación que permite actuar con mínimo coste teniendo en cuenta el diseño de la red, el coste por unidad de producto (euros por tonelada, euros por m³, ...) y las cantidades

de producto nuevo y recuperado manipuladas. Sin embargo, el potencial de la herramienta es su capacidad para realizar simulaciones bajo distintos escenarios para ensayar diferentes volúmenes en los flujos directo e inverso o costes por unidad de alguna de las actividades desarrolladas. Una vez resuelto el objetivo económico, se evalúa el impacto ambiental de cada una de las combinaciones. Y entre las combinaciones que actúan con mínimo coste, se elige la que menor impacto ocasione sobre el medio ambiente.

Sumario

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 3 |
| SUMARIO | 5 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 2. APROXIMACIÓN A LA LOGÍSTICA INVERSA | 13 |
| 3. MODELOS DE LOGÍSTICA INVERSA | 23 |
| 3.1 Distribución inversa | 23 |
| 3.2 Gestión de inventarios con flujos inversos | 28 |
| 3.3 Planificación de la producción con flujos inversos | 29 |
| 4. RECUPERACIÓN INTERNACIONAL DE COLECCIONABLES | 31 |
| 4.1. Comercialización de los coleccionables | 32 |
| 4.2. La editorial RBA y el mercado anglosajón | 36 |
| 4.3. ¿Cuál es la forma de recuperación óptima? | 39 |
| 4.4. Impacto sobre el medio ambiente | 70 |
| 5. ESTUDIO ECONÓMICO | 74 |
| CONCLUSIONES | 77 |
| BIBLIOGRAFÍA | 81 |

FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 2.1 | Cadena de suministro de ediciones | 16 |
| Figura 2.2 | Motivaciones y prácticas de la logística inversa | 19 |
| Figura 4.1 | Flujos del producto nuevo y del producto recuperado | 40 |
| Figura 4.2 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro λ | 48 |
| Figura 4.3 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y distintas localizaciones del nivel máximo | 49 |
| Figura 4.4 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función <i>Poisson</i> de parámetro λ | 50 |
| Figura 4.5 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función Normal de media 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6 | 52 |
| Figura 4.6 | Cantidades manipuladas en el flujo inverso según la función exponencial, <i>Poisson</i> y Normal | 53 |
| Figura 4.7 | Coste de transporte y de manipulación de las combinaciones de recuperación | 63 |
| Figura 4.8 | Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el coste de transporte | 69 |
| Figura 4.9 | Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el coste en el manejo de la mercancía | 69 |
| Figura 4.10 | Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el impacto del medio ambiente según flujo | 74 |

TABLAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabla 2.1 | Barreras a la implementación de la logística inversa | 18 |
| Tabla 2.2 | Logística directa frente a la logística inversa | 20 |
| Tabla 2.3 | Costes de la logística inversa frente a los costes de la logística directa | 21 |
| Tabla 4.1 | Localizaciones posibles de los centros de manipulación según flujo | 44 |
| Tabla 4.2 | Datos poblacionales según países | 46 |
| Tabla 4.3 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro λ y máximo en el primer fascículo | 47 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| Tabla 4.4 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y máximos en los fascículos 1, 3 y 7 | 48 |
| Tabla 4.5 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función <i>Poisson</i> de parámetro λ | 50 |
| Tabla 4.6 | Comportamientos de la demanda de fascículos según la función Normal de media 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6 | 51 |
| Tabla 4.7 | Cantidades manipuladas en el flujo inverso según la función exponencial, <i>Poisson</i> y Normal | 53 |
| Tabla 4.8 | Trayectos, distancias y coste de transporte de mercancías | 53 |
| Tabla 4.9 | Matriz de trayectos de mercancías por semana según producto y su coste en el flujo Barcelona \rightarrow Reino Unido \rightarrow Barcelona \rightarrow Australia \rightarrow Sudáfrica \rightarrow Barcelona | 57 |
| Tabla 4.10 | Coste de transporte del producto nuevo y recuperado | 58 |
| Tabla 4.11 | Actividades y coste del manejo de mercancía | 59 |
| Tabla 4.12 | Almacenamiento de producto nuevo y recuperado | 60 |
| Tabla 4.13 | Coste de desplazamientos, de actividades de manipulación y almacenamiento y coste total | 62 |
| Tabla 4.14 | Parámetros de los que dependen las hipótesis asumidas en la evaluación de costes | 67 |
| Tabla 4.15 | Emisiones de gases de efecto invernadero en tCO ₂ Eq según flujo y actividad | 72 |
| Tabla 4.16 | Parámetros de los que dependen las hipótesis asumidas en la evaluación del impacto sobre el medio ambiente. | 73 |
| Tabla 5.1 | Costes de personal del equipo de investigación según formación | 75 |
| Tabla 5.2 | Horas de trabajo según cualificación y objetivo de la investigación | 76 |
| Tabla 5.3 | Remuneración (euros) según cualificación y objetivo de la investigación | 76 |

1. Introducción

El sector editorial constituye un importante motor económico del panorama cultural español, con una aportación del 2,5% al PIB total o del 35,3% a las actividades culturales del PIB en 2014, según los datos arrojados por el estudio Cuenta Satélite de la Cultura en España: avance de resultados 2010-2014, publicado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2016). Según el informe anual de la Asociación Internacional de Editores 2015-2016, España ocupa el sexto puesto a nivel internacional en términos de producción de nuevos títulos anuales por cada millón de habitantes¹. Además, España es uno de los tres países del mundo con mayor volumen de exportación de títulos, junto a Estados Unidos y Reino Unido².

A pesar de las muestras de solidez y capacidad de adaptación del sector editorial durante la etapa de recesión y recuperación económica provocada por la crisis, existen factores preocupantes. El estancamiento de las ventas, la saturación de títulos y la piratería son los mayores puntos de inquietud. La disminución en el precio medio de los libros que acompañó al estancamiento de las ventas potenció el efecto adverso sobre los ingresos. La saturación de títulos conlleva a vender un título en un plazo de tiempo más corto. Algunos analistas concuerdan en que la diversidad de títulos es una riqueza cultural. Sin embargo, la diversidad crea problemas de tensión económica importantes a la industria editorial cuando se combina con el descenso de las tiradas y del precio medio por unidad. Los vendedores no pueden adquirir tantos títulos como los editores esperan. Para aumentar la rotación de stock en los puntos de venta, los editores han tenido que aceptar la devolución de lo no vendido. Inicialmente, editor y vendedor compartían el riesgo asociado al escaso nivel de ventas pero, con el paso del tiempo, los editores han aceptado estos costes como propios, ocasionándoles tasas importantes de pérdidas. Finalmente, la piratería es una práctica muy habitual que deteriora las cuentas de resultados de las compañías del sector.

Este proceso ha creado un sector altamente competitivo y las empresas se han visto obligadas a buscar estrategias para crecer. La reducción de los costes de producción ha ocupado todo el protagonismo en este proceso y esta reducción de costes se vincula directamente a la gestión de las actividades implícitas en las operaciones de logística (Ballou 2004, Jim Wu y Wei-Ping Cheng 2006). En este sentido, Jim Wu y Wei-Ping Cheng (2006) apuntan que la logística se

¹ España contaba con 3.109 editoriales en activo y con casi 91.000 nuevos títulos anuales en 2014.

² El Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014b, 2015), FANDE (2011) e IPA (2014) recogen los datos más relevantes de las principales estadísticas españolas de referencia en el ámbito de la edición a nivel nacional e internacional. Véase Fernández-Moya (2009) para un análisis de la internacionalización de las editoriales españolas.

encuentra entre los veinte primeros factores que promueven el crecimiento económico de las empresas. Sin embargo, es altamente aceptado que las capacidades de suministro avanzadas, como la logística inversa, sólo existen en algunos de los países desarrollados.

A pesar de los beneficios reconocidos en torno a la logística, los estudios empíricos se han centrado en la concepción tradicional de la logística, siendo escasos los trabajos en torno a la logística inversa en la industria editorial. Tradicionalmente, la industria publicitaria no ha reconocido los beneficios de la logística inversa. Sin embargo, en la actual situación en la que se encuentra el sector en España con ratios de devoluciones que fluctúan entre el 40 y 45% por término medio, las actividades de logística inversa son ahora más relevantes que nunca. La principal razón para devolver hasta el centro de publicación un libro o una revista, aun cuando su estado sea defectuoso o no sirva para la venta, es porque el resultado de la operación favorece a la contabilidad de la empresa. (Yen-Chun Jim Wu y Wei-Ping Cheng 2006). Cheng (2004) identificó hasta veinte y siete razones que justifican las actividades de logística inversa en la industria editorial de China, Hong Kong y Taiwan. Por supuesto, el reciclaje en sí mismo y las actividades respetuosas con el medio ambiente también ayudan a justificar la presencia de estas prácticas.

Las actividades implícitas en la logística inversa consumen una parte importante del coste de distribución y transporte (Raimer 1997; Rogers 2001; Daugherty et al 2001) pero, por otro lado, los programas de logística inversa repercuten positivamente en la cuenta de resultados de las empresas (Jim Wu y Wei-Ping Cheng 2006), reducen la presión que las regulaciones estatales ejercen sobre las empresas en temas medioambientales, especialmente en Europa, y mejoran la imagen corporativa. Pero el logro de todos estos beneficios requiere de un servicio de logística inversa integrado (Blumberg 1999). Aunque algunos trabajos apuntan que la principal fuente de gasto es la mano de obra (80%) y el transporte (15%) en el sector editorial, la realidad es que no existe información sobre cuál es el verdadero coste de la recuperación internacional de coleccionables. Koster et al (2001) detectaron la falta de atención prestada en la literatura al análisis de los costes de las prácticas de logística inversa. Meyer (1999) y Richardson (2001) argumentan que la amplia gama de actividades y de personal involucrado en las prácticas es lo que dificulta dicha evaluación.

Teniendo en cuenta la presencia cada vez mayor del sector editorial español en los mercados internacionales y el nivel que han alcanzado las devoluciones en el sector, el diseño de una red que programe con mínimo coste las actividades de la recuperación de coleccionables a

nivel internacional es el objetivo planteado en este trabajo. Una vez diseñada la red, existen diferentes formas de implementarla. Y la óptima es aquella que minimiza los costes de ejecución. El término de coste hace referencia al valor monetario de las actividades que hay que desarrollar en la red. Este valor monetario no tiene por qué coincidir necesariamente con el gasto que realiza la empresa porque puede darse el caso que se pague un precio que difiere de su valor. Por otro lado, el coste de una actividad depende de la cantidad de mercancía manipulada. La cantidad de mercancía manipulada en el flujo directo depende de la estimación de la demanda y en el flujo inverso de la estimación de la cantidad recuperada. Además de los costes, se considera el impacto que el desarrollo de las actividades de la red genera sobre el medio ambiente. Este objetivo tan ambicioso requiere de un entendimiento profundo de los flujos inversos y de los modelos que, con expresiones matemáticas, son fieles reflejos. A pesar de analizar un caso concreto dentro de la industria editorial, el aprendizaje en relación al término y los modelos no se ha restringido. En primer lugar, por el escaso número de aplicaciones y, en segundo lugar, porque la solución óptima podría ser el resultado de combinar soluciones óptimas en otros ámbitos.

En el epígrafe siguiente se introduce el concepto de logística inversa. A partir de la definición se analiza en qué fase del proceso productivo se origina el flujo inverso y, en función del origen, las actividades que las empresas deben desarrollar. A continuación se exponen las razones que llevan a las empresas a implementar un sistema inverso. Aunque no existe una única razón, la ventaja competitiva que proporciona las actividades de la logística inversa se impone sobre el resto de las motivaciones. El epígrafe termina con la exposición de diferencias y similitudes con otras formas de logística. En concreto con la logística directa, verde e industrial. Una vez hecha la aproximación al concepto de logística inversa en un sentido amplio, en el epígrafe tercero se introducen herramientas indispensables en el proceso de toma de decisiones como el diseño de diferentes redes inversas propuestas en diferentes ámbitos y los modelos que permiten su aproximación.

El estudio de la logística inversa en la recuperación internacional de coleccionables obliga a descubrir las amenazas a las que se enfrenta el sector editorial en general y el español en particular. El Grupo RBA es la empresa elegida para estudiar la recuperación internacional de coleccionables. Es el primer operador en el mercado español de coleccionables y está presente en 49 países y 12 lenguas. En el cuarto epígrafe se describe el problema, se analizan las causas que obligan a la recuperación internacional de coleccionables y los objetivos a alcanzar. El epígrafe concluye con una propuesta para determinar la red óptima en términos

de mínimos costes. La determinación de la red óptima requiere trabajar en tres frentes. En primer lugar, calcular el número de combinaciones que hacen posible la implementación de la recuperación internacional; en segundo lugar, determinar las cantidades manipuladas en los flujos directo e inverso en cada semana en la que se lanza un número del coleccionable y, en tercer lugar, evaluar el coste de implementar cada una de las formas en las que se puede actuar. A la hora de calcular las combinaciones posibles se propone un diseño de red que considera la recuperación de mercancía no comercializada pero que, en lugar de seguir el flujo inverso hacia el centro productor, transforma el lugar de recuperación en centro de distribución del producto hacia el siguiente mercado internacional. Al no tener información de los volúmenes manipulados por la empresa o cualquier otra empresa en una actividad similar a la recuperación internacional, se asume que la cantidad vendida del fascículo más vendido es función del número de hogares en cada mercado y las unidades del resto de los fascículos se obtienen asumiendo distintos comportamientos de la demanda. El mismo problema se plantea en las cantidades manipuladas en el flujo inverso que se obtienen como proporción de las cantidades manipuladas en el flujo directo según la semana. Respecto al aspecto de los costes, y debido a la falta de información sobre las actividades implícitas en la logística inversa y su verdadero coste, se propone una estimación de costes basado en actividades (*Activity based costing* o método ABC) que exige listar todas las actividades que hacen posible la recuperación internacional y evaluar su coste. Además de los costes, se considera cómo medir el impacto que el desarrollo de las actividades de la red genera sobre el medio ambiente y cómo combinar el objetivo vía costes con el objetivo medioambiental. La propuesta de red para la organización de las tareas en la recuperación internacional concluye con una planificación temporal de tareas y un presupuesto con objeto de limar cada uno de los supuestos asumidos en la propuesta que se hace en este trabajo y la adaptación de la propuesta en sí a la realidad de RBA o cualquier otra empresa. Finalmente, se exponen las principales conclusiones.

2. Aproximación a la logística inversa

El concepto de logística estuvo relacionado a la gestión de la cadena de suministro de una empresa en sus orígenes. Sin embargo, este concepto ha evolucionado y, actualmente, considera las infraestructuras de transporte tanto a nivel local, nacional como internacional en el ámbito público y todas las actividades relacionadas con la gestión de la empresa, desde la relación con clientes y proveedores hasta los procesos de producción, en el ámbito empresarial. Esta transformación del término se debe a la aparición de la logística inversa.

La logística inversa, retrologística o la logística de la recuperación y el reciclaje surge por primera vez en la literatura científica durante los años setenta en relación con el reciclaje (Guiltinan y Nwokoye 1974)³. Aunque la primera definición del término, acuñada por Stock en 1992, se centra también en la gestión de residuos, el término como movimiento inverso de flujo con respecto al movimiento tradicional de las cadenas de suministro surge durante los años ochenta (Murphy y Poist 1989). Rogers y Tibben-Lembke (1998, 2001) definen el término como el proceso de planificación, implantación y control eficiente y coste mínimo del flujo de materias primas, materiales en curso de producción y productos acabados, así como los procesos de información relacionados desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el objeto de recuperar el valor de los materiales y reducir residuos o asegurar su correcta eliminación. Algunos autores incluyen la etapa de desensamblado y procesamiento de productos usados para la reutilización o eliminación de forma respetuosa con el medioambiente (Carter y Ellram 1998; Dowlatshahi 2000; Guide et al 2000; Angulo 2003; Hawks 2006; Rojas 2006; Bereciartúa y Echazarra 2007). De Brito y Dekker (2004) sustituyen el término punto de consumo por el de punto de producción, distribución o consumo y el punto de origen por el de punto de recuperación o eliminación apropiada. Esta nueva perspectiva permite incorporar en el proceso de devolución las mercancías no consumidas por el elevado componente estacional de su demanda o, simplemente, por ser piezas de recambio no utilizadas. También sustituyen la expresión punto de origen por la de punto de recuperación de forma que los materiales puedan ser dirigidos a otros puntos de recuperación que no sean necesariamente el punto de origen. Finalmente, el uso de la expresión *backward flows* excluye cualquier recuperación que pudiera tener lugar durante el movimiento tradicional de las cadenas de suministro.

³ Algunos autores fijan los inicios de la logística inversa a principios de 1930, momento en el que se empieza a estudiar las estructuras de los canales de distribución del reciclaje.

El origen del flujo inverso puede localizarse tanto en la fase de producción como en la fase de distribución del producto. El exceso de materias primas o productos en proceso de producción, productos que no superan los controles de calidad o exceso de productos fabricados originan movimientos inversos en la fase de producción. De forma general, los problemas de seguridad del producto originan flujos en la fase de distribución. Sin embargo, en la fase de distribución es factible distinguir los movimientos desde el comprador al productor y desde el consumidor final al comprador. Los contratos de compra permiten devolver los productos defectuosos debido a los fallos de fabricación, dañados durante el proceso de distribución o entregados por error. Otro componente importante en los flujos inversos son los ajustes de stock en almacenes y en tiendas que ofrecen productos de temporada. Otros productos van y vienen en la cadena de suministro debido a su propia naturaleza. Este es el caso de los palés o plataformas para almacenar y transportar las mercancías. Una vez que el producto ha llegado al consumidor final, los movimientos son distintos en función de que el producto se encuentre o no en el periodo de garantía. Si el producto está en el periodo de garantía, los consumidores pueden devolverlo si no cumplen los requisitos de calidad prometidos. Como resultado, los clientes pueden recibir el producto reparado, un producto nuevo o la devolución del dinero de compra. Una vez que el periodo de garantía ha expirado, los consumidores pueden beneficiarse de servicios de mantenimiento o reparación pero no tienen el derecho al cambio por un producto nuevo. Hay productos que pueden ser devueltos en momentos concretos de su vida útil como es el caso de los productos alquilados o los contenedores recuperables como los cascos de las botellas. Por último, las devoluciones de fin de vida tienen lugar cuando el producto ha alcanzado el final de su vida económica o física y los costes asociados a la devolución corren a cargo de la propia empresa que lo fabrica o a cargo de otras empresas que reciben una prestación económica a cambio del servicio prestado.

La logística inversa comprende multitud de tareas que pueden o no desarrollarse en función de las condiciones de calidad del producto, de la viabilidad técnica, de la existencia o no de infraestructuras, de la viabilidad económica, de las repercusiones sobre el medioambiente, ... (Rogers y Tibben Lemcke 1998; Soto-Zuluaga 2005; Rubio 2003). La recolección se refiere al movimiento de los productos desde el consumidor hasta el punto de recuperación. En este punto, los productos son inspeccionados, se evalúa su calidad y se decide el tipo de recuperación que se lleva a cabo. Los productos son clasificados según esta decisión y se lleva a cabo la recuperación adecuada. Si la calidad de los productos es tan alta como la de un

producto nuevo, pueden ser reintroducidos en el mercado casi inmediatamente a través de una recuperación directa. Si no es el caso, tendrán lugar otros tipos de recuperación. La recuperación directa implica tres opciones ligeramente diferentes. La reventa, que tiene lugar en los mismos lugares donde el producto se vende nuevo, la reutilización, en la que el producto se usa de nuevo sin tener lugar la reventa del producto, y la redistribución que tiene lugar en productos como los palés que son distribuidos una y otra vez. En el proceso de recuperación se incluyen diferentes operaciones como la limpieza, el desmontaje y el reensamblaje y puede darse en diferentes grados. Un producto puede ser recuperado en su totalidad o reparado a nivel de producto o mejorado o reformado a nivel de módulo. En el caso de recuperación de componentes, los productos son desmontados y las nuevas partes pueden ser usadas en la fabricación de los mismos o diferentes productos. También, puede tener lugar una recuperación de partes del producto. En el caso de reciclaje de material, los materiales recuperados se trituran y se clasifican según criterios de calidad y utilizados como materia prima en la industria. Finalmente, la incineración de los productos permite aprovechar la energía liberada. Si ninguna de estos procesos de recuperación tiene lugar, los productos se destinan a los vertederos. Todas las formas de recuperación pueden tener lugar en cualquier etapa de la cadena de suministro. Si existe un mercado secundario para todas las opciones, se suelen desarrollar las opciones más globales como el reciclaje y la renovación, que respetan en mayor medida el medioambiente y proporcionan un mayor valor al producto recuperado, siempre y cuando se garantice la calidad del producto final

En la Figura 2.1 se representa el caso del sector de las ediciones. En el fondo de la imagen, en color gris, se señalan los cinco grandes entes que intervienen. Dígase la editorial, la imprenta, el distribuidor nacional, el distribuidor local, los puntos de ventas, distinguiendo la venta al por menor de la venta en las grandes superficies, y el cliente final. En la misma figura se hace referencia a las actividades mediante pictogramas, leyendas y colores. Los colores de las tareas son distintos según quién sea el responsable de llevarlas a cabo. El color negro se ha asignado a la imprenta, el color azul a la editorial y distribuidor nacional, el color verde al distribuidor local, el color rosa al punto de venta al por menor y el rojo representa las tareas en las grandes superficies. Finalmente, el sentido en el que se mueve el producto se indican con flechas de trazo largo de color diferente en función de que el flujo sea directo (azul claro) o inverso (rojo). El esquema contempla la posibilidad de la destrucción del producto. Este esquema puede complicarse introduciendo diferentes medios y sistemas de transporte.

El diseño, desarrollo y control de los procesos de logística inversa tienen implicaciones a nivel estratégico, táctico y operativo que afectan a todos los sistemas funcionales de la empresa: la recuperación y reprocesado de las materias primas debe ser factible, el diseño de los productos exige que el procesamiento, ensamble y desensamble sea fácil, los procesos de planeamiento y procesamiento deben permitir la combinación de materia prima virgen como material reciclado, la programación de la producción debe incorporar un alto grado de variabilidad de productos y sus diferentes factores como cantidad, disponibilidad, oportunidad de suministro, ... Además, la gestión de inventarios debe incorporar el mismo grado de variabilidad fruto del alto grado de deterioro u obsolescencia que genera el mero transcurso del tiempo y las condiciones de almacenaje. Por otro lado, la logística inversa es un motor de ventas porque crea nuevos nichos de mercado en los que vender los productos no vendidos a un mejor precio.

La eficiencia de las estrategias de logística inversa tiene un impacto directo sobre los beneficios de la empresa tanto desde la vía del ingreso como del coste. Por el lado de los ingresos gracias al valor de los productos recuperados y por el lado de los costes al reducir los costes de las operaciones involucradas en el proceso productivo, al mejorar la gestión de stocks y los servicios de atención al cliente y al cumplir con objetivos de sostenibilidad (Porter y Van der Linde 1995; Rogers y Tibben-Lembke 1998, 2001; Kokkinaki 2001; De Brito y Dekker 2002; Ballou 2004; Bernon y Cullen 2007; Elmas y Erdogmus 2011). Un aspecto importante para garantizar la rentabilidad del proceso de logística inversa es determinar qué materiales o productos deben ser objeto de devolución. Para obtener una conclusión en este sentido se deben tener en cuenta aspectos como la composición de los productos, la presencia o no de materiales peligrosos y la homogeneidad y tamaño de los productos. El número de componentes, tipo de materiales y forma en la que los materiales y los componentes se colocan juntos condicionan las tareas de desmontaje y procesado; los materiales peligrosos exigen un tratamiento especial y la homogeneidad y tamaño influye directamente en los costes de transporte. En función del grado de deterioro del producto se determina si reciclar el producto en su conjunto o, por el contrario, algunas de sus partes. El patrón de uso del producto, definido en términos de localización, intensidad y duración de uso, puede exigir o no diferentes lugares de recolección.

A pesar del amplio consenso sobre la importancia de las operaciones de logística inversa en la cadena de suministro dentro del ámbito de la gestión empresarial (Dawe 1995; Wu y Dunn 1995), son pocas las empresas capaces de implementar un sistema de logística inversa

eficiente (Elmas y Erdogmus 2011; Govindan et al 2012). La ineficiencia de los sistemas de logística inversa tiene su origen en el retraso de las devoluciones, la variabilidad de la cantidad de producto defectuoso, la calidad desconocida del producto, la resistencia al cambio desde la propia empresa, las restricciones financieras y una serie de carencias propias del sistema empresarial. Rogers y Tibben-Lembke (1998) examinaron 300 empresas de diferentes sectores y encontraron que el principal obstáculo a la implementación de la logística inversa tiene que ver con la importancia que se le da a la logística inversa desde dentro de la propia empresa en comparación con otras prácticas de la empresa (Tabla 2.1). La falta de conocimientos sobre los beneficios que reporta la logística inversa es una fuente de resistencia al cambio para lograr procesos eficientes (Ravi y Shankar 2005). La segunda barrera en orden de importancia son las políticas restrictivas de la empresa que generan procesos de suministros inversos ineficientes. El siguiente obstáculo es la falta de tecnología y de un sistema de información en la que apoyar las operaciones de rastreo y previsión de las devoluciones. Ravi y Shankar (2005) señalan que la falta de fondos financieros obstaculiza la implementación de un sistema de logística inversa eficiente. El desconocimiento de las virtudes de la logística inversa sobre la competitividad de la empresa, la falta de interés por parte de la dirección de la empresa, la falta de personal formado y, finalmente, las cuestiones legales son otras de las barreras declaradas.

En esta misma línea, un estudio realizado por *Reverse Logistics Executive Council* a 311 gerentes del departamento de logística concluye que el 14% de los gerentes consideran las prácticas de logística inversa insignificantes. Son los propios gerentes de las empresas los que rechazan el vínculo de las prácticas de logística inversa con la reducción de costes, incremento de los beneficios y mejora de las relaciones con otros miembros de la cadena de distribución (Daugherty et al 2001). Véase también las conclusiones expuestas en Fernández (2005) sobre las deficiencias reconocidas por empresarios e investigadores en relación a la propia práctica de la logística inversa.

Tabla 2.1. Barreras a la implementación de la logística inversa

| Barreras | % |
|---|----------|
| Importancia de la logística inversa en relación a otras áreas | 39.2 |
| Políticas restrictivas de la empresa | 35.0 |
| Tecnología y sistemas de información | 34.3 |
| Falta de procedimientos competitivos | 33.7 |
| Desinterés de la dirección – Falta de responsabilidad social | 26.8 |
| Recursos financieros | 19.0 |
| Recursos personales | 19.0 |
| Legislación | 14.1 |

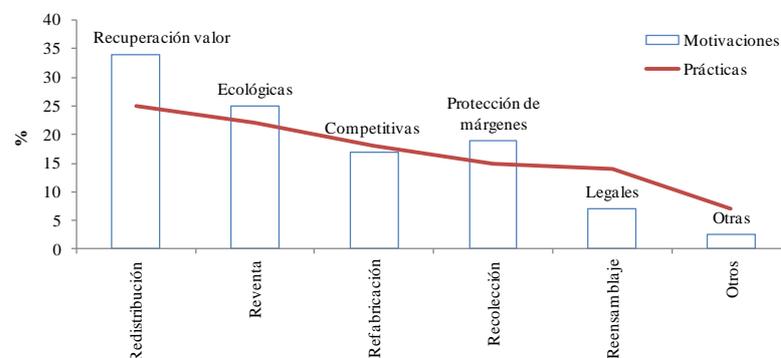
Fuente: Rogers y Tibben-Lembke (1998)



Además de la búsqueda de un beneficio económico, las empresas incorporan los procedimientos de la logística inversa en sus sistemas de producción por imperativo legal. El agotamiento de los vertederos y de la capacidad de incineración de las economías industrializadas ha originado una legislación que obliga a los productores a hacerse cargo de la gestión de residuos y productos al final de su vida útil (DC 94/62/CE, *Boks et al* 1998; Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos, DC 2004/12/CE, Plan Nacional Integral de Residuos, PNIR 2008-2012). En este sentido, la legislación no es en sí misma una barrera a la implementación de los procesos de logística inversa dado que las regulaciones gubernamentales incentivan a las empresas y a las organizaciones a ser responsables de sus residuos y las devoluciones de sus productos mediante la reducción de impuestos, subvenciones por prácticas pro-medioambiente o proporcionándoles mercados mediante contratos estatales donde comercializar los productos recuperados.

En la Figura 2.2 se representa los pesos de cada uno de las actividades de logística inversa y las motivaciones para la implantación de un sistema inverso de logística. Como se ha señalado las motivaciones económicas y legales son las más importantes. Entre los motivos económicos se considera el interés de las empresas por obtener un valor añadido derivado de la gestión adecuada de sus residuos o productos, ya sea mediante beneficios económicos o ventajas competitivas que ofrecen las estrategias de marketing y el posicionamiento de empresa responsable desde el punto de vista medioambiental. Nótese que las ventajas en términos económicos representan más del 65% (Rogers y Tibben-Lembke 1998) y la presunta correlación entre motivaciones y prácticas (redistribución, reventa, re-fabricación, recolección y re-ensamblaje⁴).

Figura 2.2. Motivaciones y prácticas de la logística inversa



Fuente: Mihi-Ramírez et al (2012).

⁴ Véase Elmas y Erdogmus (2011) para una breve definición de cada una de las formas de la cadena de suministro inverso.

Finalmente, la logística inversa presenta diferencias y similitudes con otras formas de logística. La logística directa y la logística inversa no son procesos necesariamente simétricos (véase Tabla 2.2) y la frontera entre ambas no está estrictamente definida. El problema es determinar lo que se entiende por materia prima en el proceso inverso. La cadena de suministro circular cerrada (*Closed-Loop Supply Chains*) proporciona una visión integradora entre la logística directa y la inversa. El término fusiona las prácticas de la logística inversa en la cadena de suministro otorgando un aspecto circular al proceso (Guide y Van Wassenhove 2003). Esta nueva percepción resalta la importancia de la coordinación entre logística directa y flujo inverso y plantea la necesidad de tomar decisiones para resolver los problemas que surgen con el flujo desde el consumidor al fabricante. En este sentido, Pohlen y Farris (1992) señalan que los productos nuevos y devueltos no pueden ser transportados de la misma manera, lo que origina una falta de equipamiento en el flujo inverso. Por otro lado, el coste de distribución puede llegar a ser hasta nueve veces el coste de distribución del flujo directo (Tabla 2.3). Finalmente, la tecnología disponible para el seguimiento de las devoluciones es inapropiada y explica la escasa disponibilidad de información en relación a la cantidad y tipo de producto devuelto. Nótese que existe una estrecha relación entre la información disponible y la fiabilidad de la estimación de la demanda, clave para el éxito en el proceso de toma de decisiones empresarial. En este sentido, Rubio-Lacoba (2003) y Soto-Zuluaga (2005) resaltan la presencia de incertidumbre en el proceso de recolección. Estas necesidades implican tanto nuevas oportunidades como obligaciones para la empresa y convierten las prácticas de la logística inversa en un arma estratégica en un entorno empresarial altamente competitivo.

Tabla 2.2. Logística directa frente a logística inversa

| | Logística directa | Logística inversa |
|------------------------|---------------------------|--|
| Demanda ⁽¹⁾ | Estimación directa | Estimación compleja |
| Producto y envase | De calidad Uniforme | De baja calidad Dañado No uniforme |
| Transporte | Coste por unidad bajo | Coste por unidad alto |
| Distribución | De uno a muchos | De muchos a uno |
| Velocidad de entrega | Importancia reconocida | No es importante |
| Precio | Uniforme | No uniforme |
| Coste total | Visibles Plan contable | Difícil de visibilizar |
| Gestión de inventarios | Sencilla | Compleja |
| Ciclo de vida | Calculable | Difícil de calcular |
| Métodos de marketing | Conocidos | Difícil de aplicar |

Nota (1): Planificación y predicción de la demanda.

Fuente. Elaboración propia a partir de Rogers y Tibben-Lembke (2002) y Rajagopal et al (2015).

Tabla 2.3. Costes de la logística inversa frente a los costes de la logística directa

| Capítulo de coste | Inversa frente a directa |
|------------------------------------|---|
| Transporte | Inversa > Directa |
| Inventario | Inversa < Directa |
| Merma | Inversa < Directa |
| Obsolescencia | Inversa > Directa |
| Recogida | Inversa > Directa |
| Clasificación y control de calidad | Inversa > Directa |
| Tratamiento | Inversa > Directa |
| Reparación y reempaquetado | Significativo en la inversa y no existe en la directa |
| Cambio del valor contable | Significativo en la inversa y no existe en la directa |

Fuente. Elaboración propia a partir de Rogers y Tibben-Lembke (2002) y Premkumar Rajagopal et al (2015).

El concepto de logística inversa vinculado a la gestión de residuos ha ganado atención en las últimas décadas debido a la mayor concienciación social por la protección del medio ambiente (Carter y Ellram 1998; Rubio-Lacoba 2003; El Saadany y Jaber 2011) por causa de los problemas derivados de la recogida de residuos y de productos o componentes usados y su reciclaje. Aunque relacionados, los conceptos son diferentes (Reyes de León et al 2008; Rogers 2001). La logística verde se refiere a las prácticas dentro de la cadena de producción que tienen por objeto la reducción de residuos y el consumo de recursos (Srivastava 2007). Y estas prácticas no son específicas de la logística inversa. Sin embargo, las prácticas propias de la logística inversa proporcionan la información necesaria para diseñar los procesos productivos en términos de las prácticas de la logística verde. Rogers y Tibben-Lembke (2001) comparan estas dos formas de logística en términos de las prácticas propias de cada uno de ellas.

Otro término relacionado con la logística inversa es la ecología industrial. La ecología industrial estudia las interacciones entre los sistemas industriales y el medio social y natural con intención de cerrar el ciclo de la materia (Cervantes 2007). Cambiar el modelo de producción por un sistema cíclico que contemple la recuperación de productos y materiales se encuentra entre sus objetivos. En esta aproximación de los sistemas industriales hacia el desarrollo sostenible es donde la logística inversa interviene, garantizando el uso y reciclaje real y eficiente de todo producto que contenga valor.

3. Modelos de logística inversa

Los servicios de logística se desarrollan bajo un escenario de considerable presión. Una eficiente red debe ser capaz de desarrollar el entramado de actividades que la definen con máxima calidad, mínimo coste, siendo respetuosos con el medio ambiente y asegurando que sea rentable para la empresa. La gestión de este tipo de servicios requiere disponer de información real de los verdaderos costes de los servicios prestados y actuar en presencia de distorsiones allí donde corresponda (Bokor y Markovits-Somogyi 2015). El sistema de costes basado en actividades (*Activity based costing* o ABC) parte del principio de considerar que son las actividades y no los productos los que generan costes. Constituye una herramienta de mejora en la aproximación al coste de las operaciones de logística (Goldsby y Closs 2000) y, desde el punto de vista de la gestión, permite conocer las causas que originan las incurrencias en los costes, racionalizar las actividades y conducir a la empresa hacia la eficiencia.

Por otro lado, el estudio de diseños de redes inversas en diferentes ámbitos y los modelos que la aproximan es otra herramienta que facilita el proceso de toma de decisiones. Los modelos propuestos para cuantificar las actividades de logística inversa pueden clasificarse en modelos de planificación de la distribución, modelos de gestión de inventarios y modelos de planificación de la producción (Fleischmann et al 1997).

3.1. Distribución inversa

La distribución inversa es la recolección y transporte de productos y envases desde los consumidores o puntos de venta. La distribución puede tener lugar utilizando los mismos canales que la distribución directa, a través de un canal inverso independiente o una combinación entre ambos canales de distribución (Fleischmann et al 2001) dependiendo de quienes participen en la distribución (Guiltinan y Nwokoye 1974) y de las funciones que se desempeñen (Pohlen y Farris 1992) y de la habilidad para desempeñarlas (Jahre 1995). La planificación de la distribución se refiere, por un lado, a la localización de puntos de recolección y plantas de tratamiento teniendo en cuenta las capacidades de procesamiento de las plantas y de almacenamiento de los puntos de recolección, el costo de apertura, los costos fijos y variables asociados con el proceso, la ubicación de los nuevos centros de distribución, su disponibilidad y demanda y, por otro, a la cantidad y tamaño de los medios de transporte y personal involucrado.

A continuación se relacionan diferentes trabajos que han recibido especial mención en la literatura en relación al diseño de una red de distribución inversa. Los casos que se mencionan

son el resultado de una doble búsqueda. En primer lugar se relacionan los ejemplos de iniciación para comprender el funcionamiento de su diseño, las variables a tener en cuenta y las simplificaciones realizadas. La familiarización con el diseño y la formulación facilita la comprensión de propuestas más avanzadas.

En Barros et al (1998) se estudia el diseño de una red para reciclar arena desde el sector de la construcción. Teniendo en cuenta que los controles de calidad a los que se somete la arena conducen a que la arena esté limpia y pueda ser reutilizada sin restricción alguna, que la calidad de la arena exige limitar sus aplicaciones futuras o que la arena debe someterse a un tratamiento de limpieza en unas instalaciones preparadas a tal efecto, los autores proponen una red de reciclaje de cuatro niveles: los proveedores de arena desde el sector de la construcción, centros regionales en los que se determina el nivel de limpieza de la arena y donde se almacena la arena limpia o con aplicaciones restringidas, instalaciones donde se almacena y limpia la arena clasificada en peor estado y posibles destinos de la arena reciclada. Las localizaciones de los proveedores de arena son conocidas y el volumen de oferta se estima en base al análisis de datos históricos. Por otro lado, la falta de información en relación al comportamiento de la demanda sugiere recurrir al ensayo de diferentes escenarios en función del volumen y localización de la demanda. Para determinar el número, capacidad y localización de los centros de almacenamiento y tratamiento de limpieza, los autores proponen un modelo de localización de instalaciones con capacidad máxima y múltiples niveles formulado mediante un modelo de programación lineal entera mixta (MILP).

Louwers et al (1999) estudian el diseño de una red para la recolección de alfombras desde establecimientos al por menor, oficinas, industria automovilística, ... que permita la recuperación de ciertos recursos con valor como la fibra de nylon. La variedad de centros de recogida de alfombras exige un proceso de identificación y clasificación y las labores de transporte y tratamiento exige la trituración y paletización del material recolectado. Estas tareas se llevan a cabo en un centro de recuperación regional y el material homogeneizado se envía a la industria farmacéutica para su procesamiento. Para determinar la localización y capacidad del centro de recuperación regional teniendo en cuenta la inversión y costes de procesamiento y transporte, los autores proponen un modelo de localización continuo, donde los costes dependen linealmente del volumen procesado. En este mismo ámbito, Ammons et al (1997, 1999) determinan el número y localización óptimo de los centros de recolección y procesamiento de alfombras asumiendo desconocidos los centros de entrega del material recuperado y el volumen de alfombras recolectadas en cada establecimiento e imponiendo

restricciones a la capacidad de las instalaciones. Los autores resuelven el problema planteado mediante un modelo de programación lineal entera y mixta de nivel múltiple y considerando instalaciones con capacidad máxima.

Spengler et al (1997) estudian la recuperación y procesamiento de los residuos generados en la industria del acero. El procesamiento de los residuos tiene lugar en plantas que se diferencian en cuanto a la tecnología instalada y la capacidad máxima de procesamiento, de manera que cada planta cuenta con su correspondiente combinación de coste fijo y coste variable. El objetivo es determinar la localización de las diferentes plantas de procesamiento asumiendo una función lineal para los costes de transporte. Los autores proponen un modelo MILP de localización de niveles múltiples con una función lineal definida a trozos para la función de coste total.

Berger y Debaillie (1997) estudian la ampliación de una red de distribución y producción existente para introducir el desmontaje de productos usados y recuperados. Todos los gastos de ampliación de la red corren a cargo del productor. La red existente se compone de plantas de producción, centros de distribución y consumidores. Los productos usados son recuperados, desmontados e inspeccionados y clasificados en tres niveles de calidad. Cada planta de producción y centro de distribución tiene una capacidad limitada. El objetivo es determinar el número, localización y capacidad de los centros de desmontaje asumiendo conocida la localización de todas las instalaciones de la red original. Una variante del modelo considera que las tareas de inspección y reparación se realizan en centros diferentes. Los autores proponen un modelo MILP con capacidad máxima de las instalaciones de nivel múltiple.

Jayaraman et al (1999, 2003) analizan la recolección de productos electrónicos y su posterior re-fabricación y distribución al mercado. La complejidad del problema estriba en que las entregas de productos defectuosos por parte de los consumidores no coinciden con la demanda de productos re-fabricados y que el tamaño de la oferta es limitada. El objetivo es determinar el número y localización de los centros de re-fabricación y el número de centros de recogida teniendo en cuenta la inversión y los costes de transporte, procesamiento y almacenamiento. Los autores proponen un modelo MILP de localización con capacidad máxima de las instalaciones para múltiples productos.

Krikke et al (1999^a) estudian la instalación de un centro de re-fabricación de un cierto tipo de máquinas. Las máquinas usadas se desmontan hasta llegar a un cierto nivel. Las piezas

dañadas se retiran y la máquina se vuelve a montar con piezas nuevas o reparadas. El objetivo es elegir entre dos localizaciones posibles de los centros de inspección y re-fabricación teniendo en cuenta las restricciones de gestión. Los autores proponen un modelo MILP de nivel múltiple.

La revisión realizada hasta el momento permite obtener dos grandes conclusiones. En primer lugar, el diseño de una red inversa requiere estudiar el grado de centralización de la red, el número de niveles, el grado de integración de la nueva red con otras existentes, si se trata de una estructura cerrada o abierta y el número de empresas implicadas en la red (Fleischman et al 2000). En segundo lugar, los modelos de programación lineal entera mixta (MILP) suelen ser la técnica más empleada en la solución de problemas de localización⁵. Normalmente, los modelos asumen una capacidad máxima de las instalaciones y se formulan bajo diferentes escenarios para ensayar factores como diferentes volúmenes de los productos retornados o la aplicación de tecnologías diferentes en los procesos de recuperación. La esencia de la función objetivo es minimizar los costes totales definidos en términos de los costes variables de enviar las cantidades de productos o materiales desde los puntos de recolección hasta las plantas de tratamiento y los costos fijos de apertura de las posibles plantas.

$$\text{Min} \left[\sum_i^M \sum_j^N c_{ij} x_{ij} + \sum_j^N f_j y_j \right]$$

Sin embargo, publicaciones recientes han introducido otro tipo de planteamientos como los modelos de programación entera mixta estocásticos, modelos de programación entera mixta multi-objetivo y modelos no lineales.

Como ya se ha mencionado en el epígrafe anterior, una de las características de la logística inversa es el alto grado de incertidumbre que impregnan las operaciones relacionadas con la recuperación de productos. En concreto la disponibilidad de productos usados en el mercado de residuos o en el mercado de productos al final de su vida útil y la demanda de productos recuperados son aspectos cargados de incertidumbre. Sin embargo, los modelos de localización tradicionales no incluyen explícitamente la incertidumbre sino que la analizan a partir de un estudio de sensibilidad de los parámetros o mediante el ensayo de diferentes escenarios. Los modelos de programación entera mixta estocásticos constituyen un paso hacia delante en la modelización cuantitativa de la incertidumbre en el diseño de redes de

⁵ Véanse también Min y Ko (2008), Zhou y Wang (2008), Ponce-Cueto y Molenat-Muelas (2015) y Zhou y Zhou (2015).

recuperación de productos. En este sentido, Realff et al (2000, 2004) extienden a naturaleza estocástica el modelo formulado por Ammons et al (1999) y Listes y Dekker (2005) el modelo presentado en Barros et al (1998). Véanse también Listes (2007) y Cardoso et al (2013).

Casi todos los problemas importantes del mundo real llevan aparejados más de un objetivo. En este sentido, el coste total es uno de los factores considerados en el diseño de la red de logística inversa. El coste total incluye los costes de equipamiento de las instalaciones, costes de trabajadores cualificados, coste de almacenamiento y costes de transportes. Sin embargo, la satisfacción del consumidor en un servicio post venta, medido a través del tiempo de entrega, lugar de recogida del producto, precio del servicio prestado, ..., podría constituir otro objetivo de la función a optimizar (Du y Evans 2008). Una red dedicada a la recuperación de productos que han llegado al final de su vida útil y que trate de maximizar tanto los beneficios económicos como sociales y minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente requiere de un diseño representado mediante un modelo MILP con triple objetivo (Dehghanian y Mansour 2009). Un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos conlleva un diseño complejo por la conexión entre los diferentes problemas que suscita y el conflicto entre los objetivos planteados. La determinación del número y localización de las plantas de eliminación de residuos especificando la tecnología adoptada, el volumen de residuos procesado y la capacidad de cada planta de manera tal que los costes económicos, las pérdidas de recursos y el impacto sobre el medio ambiente sean mínimos se formula mediante una función multi-objetivo (Caruso et al 1993). La gestión de una red de distribución de envases de plástico desde Europa a China que minimizan los costes económicos y el impacto ambiental medido a través de las emisiones de gases efecto invernadero de los medios de transportes (Bing et al 2015) o la huella de carbono (Choudhary et al 2015) son otros ejemplos en esta línea. Véase también Chaabane et al 2012.

Una red de reciclaje de coste mínimo y cierto nivel de rendimiento es un problema típico de localización. Sin embargo, el diseño de esta red requiere ofrecer alguna fórmula que estimule el reciclaje y permita cumplir con el rendimiento fijado. En muchas ciudades del mundo la legislación obliga a reciclar una determinada cantidad por unidad de tiempo en función del volumen de producción o de ventas. Sin embargo, la decisión depende de varios factores como la concienciación ambiental o la disposición individual a reciclar, difíciles de cuantificar y medir. La introducción de la función de densidad *logit* binomial para describir el proceso de decisión en la función objetivo (Figueiredo y Mayerle 2008) transforma el modelo

MILP en no lineal. En este mismo escenario, Dehghanian et al (2012) introducen una estructura no lineal diferente en la función objetivo para incentivar el reciclaje y dos niveles al contar con el Gobierno como supervisor de la red. De forma general, formulaciones no lineales surgen cuando se consideran bien aspectos dinámicos, como el tiempo de entrega y el nivel de stock, o el alto grado de incertidumbre inherente a la logística inversa (Min et al 2006; Lieckens y Vandaele 2007).

Más recientemente, y debido a las dificultades cada vez mayores de atender los pedidos de los clientes y gestionar los productos devueltos, los modelos de localización avanzan hacia el diseño de las redes logísticas integradas (Ko y Evans 2007).

3.2. Gestión de inventarios con flujos inversos

Los productos que retornan al productor constituyen otra fuente de recursos como si la empresa contara con dos proveedores. La dificultad estriba en que la empresa sólo controla a uno de esos proveedores. Por otro lado, el nivel de inventario de productos terminados entre dos órdenes sucesivas de producción no es necesariamente decreciente como en el caso tradicional. La empresa cuenta con dos almacenes, uno para los productos recién elaborados y otro donde se almacena los productos devueltos desde el mercado una vez hayan sido limpiados y/o reparados. La empresa tiene dos modos posibles de actuar. Un sistema continuo que consiste en enviar un lote al almacén final cada vez que en el almacén de reparables se alcance un determinado nivel y recibir periódicamente insumos desde el proveedor externo para evitar rupturas de stocks. Este sistema supone capacidad infinita del proveedor externo y del proceso de recuperación. Por otro lado, el sistema de sustitución sólo contempla pedidos a proveedores cuando se agota el nivel de stock de reparables. El objetivo de la gestión de inventarios es coordinar los pedidos de insumos a proveedores externos y la recuperación de productos en desuso con el fin de garantizar un nivel de producción óptimo que minimice los costes totales. Para dar solución a este tipo de problemas no bastan los modelos tradicionales de inventario sino que se requieren modelos de gestión que consideren flujos de retorno. Los modelos se diferencian principalmente en los supuestos sobre los procesos de demanda y flujos de retornos y sobre el tipo de recuperación.

El primer tratamiento matemático de los sistemas de inventario es el modelo *Economic Order Quantity* (EOQ), desarrollado por Harris en 1920. Después de casi una centuria, muchas de las aportaciones en el ámbito de la gestión de inventarios son extensiones a este modelo. Schrady (1967) considera de manera explícita la existencia de un flujo de retorno en la gestión de un

inventario, asumiendo que la demanda de productos y los flujos de inputs son conocidos de antemano en cualquier instante del tiempo. Esta propuesta determinística deriva una combinación óptima de inputs nuevos/reparados en la fabricación de un lote de producto, de forma similar al modelo *Economic Order Quantity* (EOQ) pero utilizando la demanda neta (demanda menos retornos) para identificar el tamaño óptimo del lote. Algunas extensiones al modelo básico de Schrady (1967) son las propuestas de Mabini et al (1992), Van der Laan et al (1996), Richter (1996^a; 1996^b), Teunter (2001; 2004) y Teunter y Vlachos (2002).

Los modelos estocásticos de gestión de inventarios tratan la demanda y los retornos como procesos estocásticos. En este contexto se ha analizado la validez de asumir ciertos comportamientos como, por ejemplo, procesos de Poisson (Fleischmann et al 2002) o distribución exponencial negativa (De Brito y Dekker 2003) y la existencia o no de correlación entre ellos (Zerhouni et al 2010; Mitra 2012).

Los modelos de gestión de inventarios han evolucionado hacia los modelos *Sustainability Order Quantity* (SOQ), formulaciones multi-objetivos que no sólo tienen en cuenta el principio de los costes sino también el de las prácticas responsables con el medio ambiente (Bonney y Jaber 2011; Bouchery et al 2012).

3.3. Planificación de la producción con flujos inversos

La clase de problemas que afectan a los métodos tradicionales de planificación de la producción depende de la forma concreta de retorno y de su volumen. Por ejemplo, los procesos de producción no se alteran cuando el producto retornado se destina al mercado después de someterse a un proceso de limpieza y/o pequeñas reparaciones. Si este fuese el caso, la atención de la logística inversa se centra en la red de distribución inversa y en la gestión de inventarios.

El reciclaje, por el contrario, exige modificaciones del proceso de producción debido a los requerimientos de la técnica empleada en el proceso de conversión. Desde el punto de vista de la gestión, los métodos de planificación de la producción convencionales son suficientes para planificar y controlar las tareas de reciclado. Sin embargo, cuando es necesario desmontar por completo el producto retornado antes de iniciar el reciclado, cada pieza del producto o la misma pieza de unidades diferentes de producto podría requerir un tratamiento diferente en función de su estado de deterioro, información que estará disponible desde el mismo momento en que se desmonte el producto y se someta a un control de calidad. La empresa debe determinar las tareas de desmontaje y reparación que está dispuesta afrontar en función

de su coste y del valor del producto recuperado. Los métodos que apoyan este tipo de decisiones representan la estructura del producto mediante un diagrama de árbol y utilizan estimaciones de los costes y tiempos empleados en todas las operaciones involucradas en el proceso (Johnson y Wang 1995; Penev y De Ron 1996; Krikke et al 1998). Una simplificación en el tratamiento de este problema es suponer que los productos que retornan del mercado llegan a tener la misma calidad que el producto en su producción original. Sin embargo, dependiendo del tipo de producto, es muy difícil mantener este supuesto (Bouras y Tadj 2015). La complejidad tampoco es la misma si se trata de un solo producto o de varios productos (Krikke et al 1999^b).

4. Recuperación internacional de coleccionables

La mayor parte de las devoluciones que registran las editoriales se debe a la existencia de cláusulas contractuales con los clientes. Según estas cláusulas, la empresa acepta la devolución de todas las unidades que no hayan sido vendidas. La segunda razón tiene estrecha relación con la anterior. Si el editor se compromete a recoger todas las unidades no vendidas, el comerciante se inclinará por tener un alto volumen de unidades disponibles para la venta. Por supuesto, este alto volumen de unidades disponibles genera un alto número de devoluciones. La última causa importante es el corto ciclo de vida del producto. El corto ciclo de vida lo determina el pequeño espacio disponible que obliga a retirar números de una colección para dar cabida a números nuevos de la misma colección y las medidas de presión que ejerce el editor para que el comprador adquiriera un número cada semana y, en caso de no seguir el patrón de compra semanal, correr el riesgo de quedarse sin el número correspondiente. El aspecto menos representativo entre todas las razones que pudieran provocar las devoluciones es la devolución por daños. Por tanto, una gran parte del volumen de productos devueltos puede ser reincorporado al inventario de la empresa.

La gestión de la logística inversa tiene un impacto directo sobre los resultados de la empresa (Ballou 2004). De ahí que la principal motivación de la empresa por involucrarse en estrategias de flujo inverso sea económica. La empresa aumenta los ingresos gracias al valor de los productos recuperados y aumenta los beneficios a través de la reducción de costes de las operaciones realizadas y mejorando la gestión de stocks, los servicios de atención al cliente y la gestión de los residuos. Los fascículos, cuyo coste de producción es aproximadamente de siete céntimos de euro, que no se comercialicen en un mercado pueden hacerlo en otros mercados que compartan la lengua. Sin embargo, los *gadgets*, con un valor económico que fluctúa entre uno y dos euros, pueden venderse en cualquier otro mercado, compartan o no el idioma. Así, tanto la recuperación del producto en perfecto estado como una programación adecuada de las operaciones de logística inversa son cruciales para la rentabilidad de las empresas del sector editorial.

Los vínculos entre recuperación de productos en el sector editorial y medio ambiente también son reconocidos. Si el transporte de los productos recuperados se realiza de forma óptima es posible reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Si los productos que no se venden son recuperados en lugar de ser destruidos es posible disminuir las necesidades de papel para la edición y, de este modo, frenar la deforestación y la pérdida del hábitat de

millones de especies. Nótese además que una empresa con buena imagen desde el punto de vista ambiental es preferida por los consumidores y esta táctica ayuda a estrechar vínculos entre empresa y cliente. Este comportamiento es de relativa importancia en los mercados europeos.

4.1. Comercialización de coleccionables

En España, el sector editorial, que incluye empresas dedicadas a actividades relacionadas con la producción y la comercialización de libros, manuales de texto, coleccionables o fascículos, revistas y otros medios audiovisuales, es considerado un sector pequeño en comparación con otros sectores en función de su aportación al PIB⁶; sin embargo, la importancia económica del sector en España está por encima de la correspondiente a países de su entorno⁷. En este sentido, y según el informe anual de la Asociación Internacional de Editores sobre el sector editorial (2013), España ocupa el tercer puesto en el ranking de países en términos de capacidad exportadora⁸, después del Reino Unido y Estados Unidos. El sector editorial español está presente en todo el mundo pero sobre todo en el continente americano y, en menor medida, en Europa. Desde el punto de vista de la exportación, el decenio 2004/2013 se caracterizó principalmente por la consolidación de la UE como mercado preferente de los productos españoles, por una mayor internacionalización de las empresas españolas editoriales y, en los últimos años, por la aparición de problemas acusados para el sector gráfico⁹. En este sentido, el sector editorial demanda un sistema de distribución que no comprometa el desarrollo de la industria editorial.

⁶ La facturación del sector español de edición fue de 4.166 millones de euros en 2011, ligeramente por debajo del 0,4% del PIB nacional de ese mismo año (FANDE 2012).

⁷ España sólo es superada por Reino Unido en la producción de novedades (1.692 títulos por millón de habitantes frente a los 2.459 títulos por millón de habitantes). En cuanto a facturación, el sector editorial español ocupa la séptima posición, alcanzando 1.820 millones de euros; lejos de los 21.500 millones de euros de Estados Unidos, los 5.407 de Alemania o los 3.736 millones que factura Reino Unido. Sin embargo, ocupa el octavo lugar en cuanto a ingresos netos de las editoriales, siendo superada por Estados Unidos que lidera la lista, China, Alemania, Japón, Francia, Reino Unido e Italia. Además, el informe deja entrever que la situación del sector puede mejorar al cuantificar su facturación potencial en 2.890 millones de euros lo que supone un incremento en concepto de ingresos del 59% (IPA 2013).

⁸ En 2013 el saldo del sector editorial asciende a 322,72 millones de euros, siendo el sector del libro responsable del 68% y el sector gráfico del 32%. El sector del libro actúa fundamentalmente en América, 182,146 millones de euros frente a los 149,30 millones de euros en Europa en 2013; mientras que la actividad gráfica se mueve fundamentalmente en Europa, 153,488 millones de euros frente a los escasos 6 millones de euros en América en 2013. Por países, Europa se exporta a Francia, Portugal, Reino Unido e Italia y América a México, Argentina, Brasil, Chile y Estados Unidos.

⁹ Tras los 600 millones de euros de 2001, la cifra de exportación inició un aparente descenso hasta la recuperación más notable de 2006. La crisis mundial tras los ataques a las Torres Gemelas, el fortalecimiento del euro, la casi desaparición del mercado argentino, la saturación de los mercados de coleccionables y, sobre todo, el hecho de que un buen número de los más importantes grupos editoriales españoles comenzaron a editar e imprimir en Iberoamérica, originándose un crecimiento paralelo del comercio de servicios, son factores que pudieran explicar la caída entre 2002 y 2005. La progresiva recuperación del mercado argentino y el leve

En el sector editorial se debe diferenciar las publicaciones periódicas de las publicaciones no periódicas¹⁰. Una forma de publicación periódica es la venta por partes de un producto. En cada entrega se dispensa un folleto y un artilugio. Este artilugio, más conocido como *gadget* por su traducción al inglés, es un dispositivo de pequeñas proporciones, práctico y novedoso. Normalmente son necesarias entre 40 y 100 entregas para formar el producto, aunque el número de entregas puede variar en función del éxito de la colección. Los lanzamientos tienen lugar normalmente en dos épocas del año. Un lanzamiento tiene lugar en el periodo comprendido entre Navidades y Semana Santa y el segundo lanzamiento entre finales de agosto y principios de octubre. El abaratamiento de la publicidad y los hábitos de los consumidores convierten en ideales a estas épocas del año. El producto suele estar en los puntos de venta entre 7 y 14 días si el lanzamiento es semanal¹¹ y entre 15 y 30 días si es quincenal. El cliente corre el riesgo de no conseguir un número si no acude a tiempo a los puntos de venta. Normalmente, los primeros números de la colección salen al mercado bajo el formato de oferta novedosa a un precio muy reducido y se mantienen en los puntos de venta durante un periodo más largo de tiempo para atraer al mayor número posible de compradores¹². Esta doble presión del editor sobre el comprador para que adquiera el número durante los días que está en los puntos de venta y obtenga un producto sin tener que pagar un alto precio genera adicción de compra sobre el consumidor.

crecimiento de las cifras de exportación de fascículos y material de quiosco no fueron suficientes para paliar la fortaleza del euro frente al dólar y provocando una cifra de exportación en 2007 de leve retroceso (0,38%). A pesar de la crisis económica mundial que contrajo el comercio mundial de forma acusada, las cifras del sector del libro en 2008 se mantuvieron similares a las de 2007, sufriendo la exportación una disminución del 1,61% en concordancia con lo que pasó en otros sectores. Sin embargo, los efectos de la crisis se hacen notar en 2009 con la reducción del 18,98% de las exportaciones, siendo la causa principal la caída de la exportación de fascículos y material de quiosco. Desde 2010 las cifras muestran incrementos positivos a excepción del leve retroceso de 2013. El incremento del 15% en las exportaciones en estos cuatro años se debe al buen comportamiento del mercado americano y a la recuperación, con fluctuaciones, del mercado de fascículos y material de quiosco. La incertidumbre respecto a mercados como Argentina y Venezuela se mantiene.

¹⁰ En el caso de las publicaciones no periódicas, la mayor parte de las devoluciones son incorporadas al canal de distribución directo. En este sentido, la conservación del producto en buen estado después del proceso de retorno es de suma importancia para el editor. Las políticas de venta y las características de la demanda son totalmente diferentes en las ediciones generales y en los libros de texto. La demanda de los libros de texto es más concentrada y predecible. Están regulados por ley y tienen un ciclo de vida en torno a tres años. Estos productos son comercializados a través de los libreros tradicionales, las grandes superficies y también en algunas escuelas y colegios. Tanto la entrega como las devoluciones tienen plazos concretos que facilitan su planificación. En ocasiones, el editor exige a los libreros un porcentaje de devolución máximo. Sin embargo, la situación es totalmente diferente en las ediciones generales. Los editores lanzan novedades de forma permanentemente y no disponen de información sobre la evolución de la demanda que ayude a ajustar los pedidos. Los flujos de devoluciones son permanentes y se realizan de forma centralizada o a través de almacenes localizados en las diferentes ciudades.

¹¹ Si este fuera el caso, dos números distintos de la misma colección coinciden en el mismo punto de venta.

¹² En los puntos de venta en los que se ha registrado mayor volumen de demanda en las primeras semanas de lanzamiento, el distribuidor puede aplicar un sistema complementario de reposición de producto que le permite maximizar el volumen de ventas.

Las editoriales suelen subcontratar a imprentas nacionales las operaciones de impresión de los folletos y almacenan en stock los *gadget* que compran directamente a un proveedor nacional. La producción consiste en el empaquetado del folleto junto al *gadget*. Se trata de un proceso simple que se realiza de forma totalmente manual. Este proceso de manipulación se puede realizar en el país de origen o de destino en función de los costes que origine. La demanda de los primeros números de la colección se estima en base a la evolución histórica de las ventas según el idioma. Y a partir de los datos de venta de los primeros números de la colección se corrige la previsión de ventas y, por ende, de producción de las siguientes entregas.

No existe un sistema único de distribución en el sector editorial. Hay editores que tienen su propia red de distribución. Otros disponen de un sistema combinado en el que la editorial realiza parte de la distribución pero cede la entrega del producto a operadores logísticos o empresas de paquetería. Sin embargo, la fórmula más común es que toda la distribución corra a cargo de un operador logístico. Algunos operadores especializados tienen una amplia experiencia en la distribución editorial y desarrollan su actividad para un grupo de editores o en exclusividad para un editor.

Los coleccionables son productos complejos dentro de la industria editorial que comparten características propias tanto de las publicaciones periódicas como de las publicaciones no periódicas. Al igual que las publicaciones periódicas, el volumen de devolución es alto y la vida es corta. Como las publicaciones no periódicas, las devoluciones pueden reincorporarse al canal de distribución directo¹³. A medida que se progresa en el lanzamiento de la colección, el precio del producto aumenta y se retira con mayor frecuencia. Por tanto, el volumen de ventas baja y las devoluciones aumentan.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el tiempo que necesita el distribuidor para recoger un determinado número de la colección de todos los puntos de ventas. El distribuidor debe contar y clasificar las unidades no vendidas según los números de la colección e informar al editor. En función del tiempo efectivamente empleado en la recogida se adelanta o retrasa el momento de inicio de recuperación. Cada vez es más frecuente la desaparición de los quioscos y el traslado de los puntos de ventas a centros comerciales. Este es el caso de los países anglosajones y sudamericanos. El problema de los centros comerciales como puntos de

¹³ Según los datos de la Federación de Gremios de Editores de España (FGEE), el volumen promedio de devoluciones se encuentra en torno al 40%, cifra muy elevada que deja entrever volúmenes de devolución mucho más elevados en algunas empresas. Las devoluciones por daños es el aspecto menos representativo entre todas las razones que pudieran provocar las devoluciones, de modo que una parte importante del volumen de productos devueltos puede ser reincorporado al inventario de la empresa.

venta es, en la mayoría de los casos, la falta de preocupación por gestionar la devolución porque el producto no vendido se destruye. En este contexto, la recuperación de un producto no vendido supone contratar a personal que se encargue de gestionar el stock en el punto de venta o convencer al vendedor para que guarde los productos devueltos hasta que el distribuidor realice la recogida. La recuperación de las unidades no vendidas desde puntos de ventas situados a gran distancia de los centros de producción alarga los tiempos de recuperación y dificulta la gestión logística global de la empresa¹⁴.

Las devoluciones a los minoristas del importe total por el valor de las mercancías devueltas tiene lugar en diferentes momentos del proceso y, en función del momento, se logrará un mayor o menor grado de eficiencia del proceso de devolución. A la editorial le interesa realizar el abono cuanto antes para poder disponer también cuanto antes del producto. En ocasiones, las editoriales llevan a cabo el abono desde el mismo momento en que recibe el producto; en otros casos, la editorial lleva a cabo controles de calidad que le permitan discriminar entre realizar o no el abono.

Dependiendo del producto, las unidades no vendidas deben pasar por un proceso de desmontaje con el fin de separar las piezas que lo componen. En el caso de los coleccionables, el proceso consiste en separar el *gadget* del folleto. Una vez separado los componentes, las piezas se someten a un control de calidad y se decide el tipo de recuperación que se lleva a cabo. Si la calidad de los productos es tan alta como la de un producto nuevo, pueden ser reintroducidos en el mercado casi inmediatamente a través de una recuperación directa. Si no es el caso, tendrán lugar otros tipos de recuperación. Las operaciones de desmontaje y evaluación de calidad son tareas manuales que requieren llevarse a cabo por unidad y, por tanto, requieren de gran número de personal. Estas exigencias en mano de obra elevan los costes de recuperación y, dependiendo del país y del número de unidades, determina que el producto sea desechado o no, y en el caso de no ser desechado, que retorne o no al punto de producción.

Durante el periodo de recogida, el distribuidor envía al editor información sobre el número de unidades vendidas y devueltas. En los sondeos que recibe el editor hay un cierto componente de incertidumbre. La práctica habitual para iniciar los envíos de nuevos números de la colección no es esperar a tener todas las unidades en el almacén para ser contadas y clasificadas sino que se envían en función de la capacidad del contenedor en el que se

¹⁴ Por ejemplo, si los lanzamientos son quincenales y el trayecto es recorrido en un plazo de tiempo superior a un mes, los cinco o seis primeros números deben estar impresos cuando se lanza el primero.

transportan. La aplicación de las nuevas tecnologías a la producción y distribución ayuda a generar sistemas más eficientes al abaratar los costes logísticos y de administración¹⁵.

La expansión internacional del negocio del coleccionable es una gran oportunidad de beneficio y crecimiento para las empresas. Teniendo en cuenta que el *gadget* puede ser comercializado en cualquier otro mercado y el folleto sólo en aquellos mercados que comparten idioma, la logística inversa del coleccionable se suele agrupar por países o zonas en función del idioma y dentro de cada grupo se organiza en cascada.

4.2. La editorial RBA y el mercado anglosajón

RBA es un grupo de comunicación español fundado en Barcelona en 1981 con presencia en la edición de libros, revistas y coleccionables. Según datos del año 2013, de los 286 millones de facturación, aproximadamente el 51% corresponde a las revistas, el 36% a los coleccionables y el 13% a los libros. Cada producto cuenta con su propio departamento de logística de forma que la gestión de las operaciones de la cadena de suministro se realiza de forma independiente. En 1991 inició su actividad RBA Coleccionables SA lanzando la colección de *Cousteau* sobre el mundo submarino. Otro producto importante de esta división fue, en 2003, una colección que incorporaba un esqueleto humano a escala, de la que se vendieron más de 30 millones de piezas en 28 países del mundo. A partir del año 2000, RBA comenzó una serie de adquisiciones de editoriales que la llevaron a aumentar considerablemente de tamaño. La expansión internacional se reforzó con alianzas estratégicas tanto en coleccionables, con empresas de Italia, Francia y Reino Unido, como en revistas. En 2007, RBA consolidó su filial RBA Portugal y constituyó RBA Italia.

La logística inversa del coleccionable en RBA se agrupa por mercados que hablan el mismo idioma. En este sentido, cuenta con el mercado anglosajón compuesto por el Reino Unido, Australia y Sudáfrica, el mercado francés por Francia, Bélgica, Suiza y Quebec, el mercado castellano por España, Chile, Perú y Ecuador y los mercados polaco, italiano y portugués. Dada la dimensión de la logística del coleccionable de la editorial RBA se ha optado por analizar el problema en uno de esos mercados. En tres de los mercados señalados intervienen más de un país y los tres presentan una casuística similar. Sin embargo, el mercado anglosajón

¹⁵ La Federación de Gremios de Editores de España (FGEE), la Federación de Asociaciones Nacionales de Distribuidores de Ediciones de España (FANDE) y la Confederación Española de Gremios y Asociaciones de Libreros (CEGAL) han implementado un programa para el manejo en red de todas las fases de la logística de distribución y ventas, el *Radio Frequency Identification – Serial Global Trade Identifier Number* de 96 bits es una etiqueta de identificación que puede ser leída por radio frecuencia mediante un chip, el programa RISBN 5 registra el ISBN vía internet y el programa *Dilve* que permite al editor pasar información actualizada diariamente de producción editorial a los distribuidores y libreros.

es el formado por un menor número de países. Este ha sido el criterio seguido a la hora de elegir el mercado anglosajón para analizar la recuperación internacional de coleccionables.

Según conversaciones mantenidas con el director de operaciones de la empresa, la producción, transporte y distribución tienen lugar de la siguiente manera. Teniendo en cuenta las series históricas de venta de coleccionables en cada uno de los países que componen el mercado y estudios de mercado que valoran la situación económica de los países, el perfil de consumidor al que va destinado el producto, ..., la empresa decide las unidades de producción de coleccionable en lengua inglesa. Una vez determinado el volumen de producción de coleccionables y, por ende, de *gadgets*, la empresa contacta con un proveedor nacional situado en Valencia y le comunica las necesidades de compra de *gadgets*. El proveedor envía los *gadgets* en camiones por carretera hasta el almacén de la empresa en Barcelona. El coste de producción y transporte de los *gadgets* se fluctúa entre uno y dos euros la unidad. Una vez que los *gadgets* han llegado al almacén, tiene lugar la recepción de la mercancía, su recuento y comprobación de calidad y se incorporan al stock en los almacenes de la empresa. Existe un coste asociado a las actividades de recepción y almacenamiento de la mercancía en el almacén por cada unidad de producto. Simultáneamente al pedido de *gadgets*, la impresión de los primeros fascículos del coleccionable tiene lugar en las instalaciones propiedad de la empresa en España. El coste de impresión por unidad de producto asciende a siete céntimos de euro aproximadamente. Los fascículos impresos se incorporan al stock en los almacenes de la empresa. El almacenaje de los fascículos también cuenta con un coste asociado por unidad de producto.

Una vez que la empresa dispone de stock suficiente de *gadgets* y fascículos, comienza la producción del producto en las instalaciones de la empresa. La producción consiste en la unión de fascículo y *gadgets*. Esta tarea se realiza manualmente y también tiene un coste asociado.

Cuando la producción del producto se ha completado, comienza su distribución en cascada a los diferentes países que componen el mercado. En función de las unidades estimadas a enviar al Reino Unido, se determina el número de contenedores necesarios para su envío. El transporte de la mercancía hasta el Reino Unido tiene lugar por carretera por un transportista externo. La empresa de transporte recoge las unidades en las instalaciones de la empresa, se cargan los contenedores y se empieza el transporte hasta UK. La empresa de transporte entrega la mercancía en los almacenes del distribuidor británico en Londres contratado para llevar a

cabo la distribución en el Reino Unido. La duración del trayecto por carretera es de un día. La carga, transporte y descarga tiene un coste asociado que el transportista facturará a la empresa.

La finalización del proceso logístico desde el productor a los puntos de venta provoca el proceso de recuperación de los coleccionables no vendidos o dañados aprovechando la distribución del siguiente número de la colección. Por tanto, la recogida de las unidades no vendidas corre a cargo del mismo distribuidor. El distribuidor factura a la empresa el mismo precio por realizar la entrega como la recogida por unidad y número de vehículos. Una vez completado el proceso de recogida de las unidades no vendidas, el distribuidor separa manualmente el fascículo de los *gadgets*, los cuenta y clasifica por número de colección e informa al editor. El producto separado es transportado por carretera hasta el almacén en Barcelona. La gestión del envío corre a cargo del distribuidor británico y el transporte a cargo de la misma empresa transportista que realizó el transporte desde Barcelona a Londres. La duración del tránsito es de un día. La desconsolidación del producto y el transporte tienen un coste asociado por unidad de producto. El primero de los conceptos corre a cargo del distribuidor en Londres y el segundo a cargo de la empresa transportista.

La llegada del producto desconsolidado a Barcelona da paso a la entrega de la mercancía en el almacén de la empresa, la descarga, el recuento y la evaluación manual de calidad de la mercancía. Las unidades en buen estado se incorporan al inventario de la empresa. Tanto la entrega como el almacenamiento tienen un coste asociado por unidad de producto. El mismo ciclo se repite por cada número publicado del mismo coleccionable, pudiéndose dar el caso de enviar o recibir varios números en un mismo envío.

Después del lanzamiento del último número del coleccionable en el Reino Unido inicia el mismo proceso en el mercado anglosajón de Australia. Teniendo en cuenta las estimaciones de demanda de este mercado realizada por la empresa y el stock existente en los almacenes de la empresa se hace el pedido de *gadgets* al proveedor nacional y comienza la impresión de fascículos. Una vez finalizado el proceso de producción comienza el transporte hasta Sidney, con escala en Singapur. El transporte se contrata a una empresa externa que recoge el producto en el almacén de Barcelona y lo carga en contenedores y lo traslada por carretera hasta el puerto de Barcelona desde donde sale en barco con destino al puerto de Sidney. Transcurridos cuarenta días, el distribuidor australiano contratado para la distribución a los

puntos de ventas del mercado australiano recoge la mercancía en el puerto de Sidney y la transporta hasta su almacén.

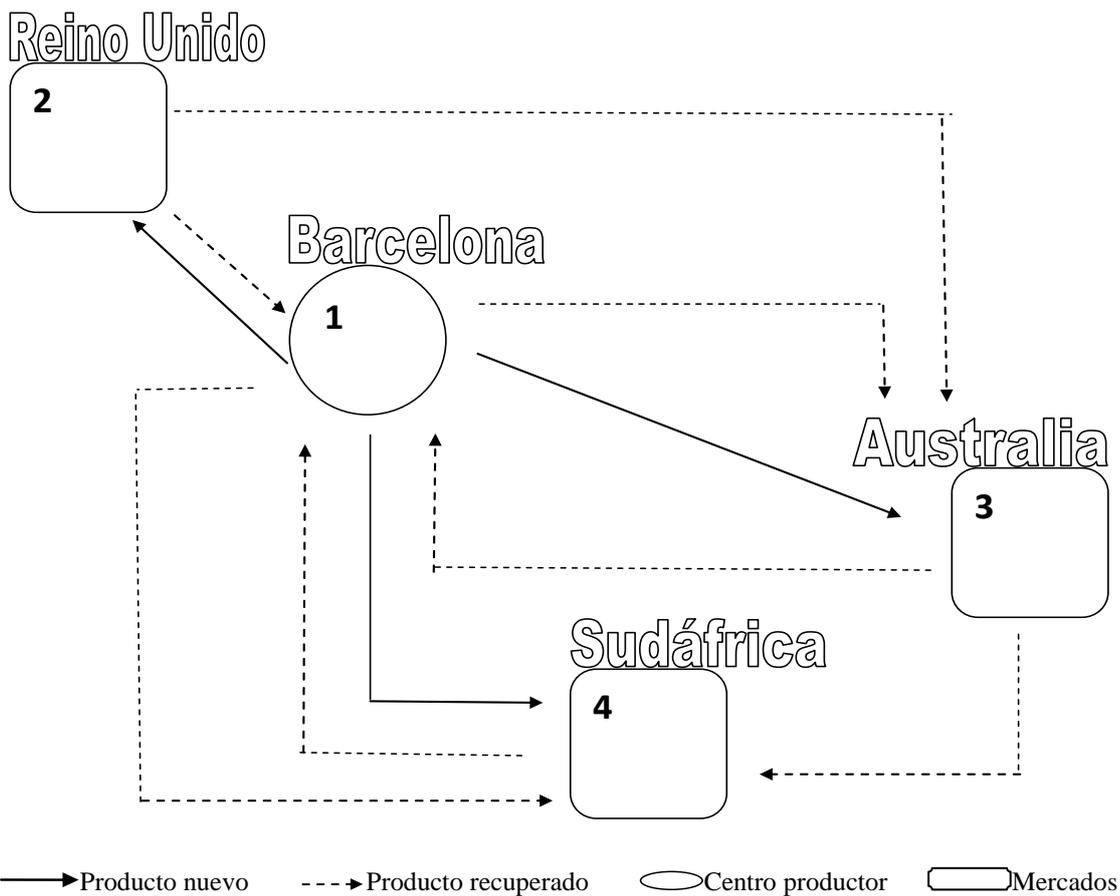
La finalización del proceso de entrega lleva a la recogida de las unidades no vendidas o dañadas que es similar al descrito para el caso del Reino Unido. Sin embargo, una vez que el distribuidor ha contado, clasificado las unidades e informado al editor, prepara las unidades no vendidas para enviarlas a Sudáfrica sin realizar ningún tipo de manipulación. El transporte marítimo desde Sídney hasta Durban en Sudáfrica lo realiza una empresa externa que en treinta y cinco días se compromete a recoger el producto en el almacén del distribuidor australiano, desplazarlas al puerto de Sídney y transportarlas vía marítima hasta el puerto de Durban. El distribuidor sudafricano es el encargado de llevar el producto desde el puerto de Durban hasta su propio almacén. El producto que llega a Durban desde Sidney no está manipulado. Y es el distribuidor en Durban el encargado de separar los fascículos de los *gadgets*, evaluar su calidad, contar e informar al editor. La empresa determinará si son o no suficientes las unidades procedentes de Sidney para vender en el mercado en Sudáfrica. En el caso de no ser suficientes se enviarán más unidades desde el almacén de Barcelona hasta Durban por vía marítima. La duración de este trayecto es de treinta y tres días. Llegado este punto comienza la unión de fascículo y *gadget*, distribución, recogida de unidades no vendidas o dañadas, separación de fascículo y *gadgets*, evaluación de calidad y recuento por el distribuidor sudafricano. En función del número de unidades, el editor decidirá qué hacer. Normalmente se recuperan los *gadgets*, mientras que los fascículos se destruyen y se reciclan. El tránsito entre Barcelona y Durban hace escala en el puerto de Algeciras. Una vez que las unidades sobrantes hayan llegado al almacén en Barcelona, se evalúa su calidad, se cuenta y se incorporan al inventario.

4.3. ¿Cuál es la forma de recuperación óptima?

Las conversaciones con el director de operaciones de la empresa dejan entrever que existen lagunas importantes como conocer el verdadero coste que generan las actividades en el flujo inverso que impiden alcanzar un sistema eficiente de logística inversa en la recuperación internacional de coleccionables. En esta memoria se hace una propuesta sobre cómo localizar los centros de manipulación donde realizar la desconsolidación, control de calidad y consolidación con mínimo coste.

La recuperación de coleccionables se organiza como se muestra en la Figura 4.1. La red conecta tres mercados internacionales y los productos recuperados fluyen en sentido directo como si de un producto nuevo se tratase.

Figura 4.1. Flujos del producto nuevo y del producto recuperado



Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la concepción que el campo de la Física atribuye a los términos de dirección y sentido, las mercancías recuperadas pueden seguir alguna de las direcciones siguientes en el sentido indicado:

- Flujo 1 Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona
- Flujo 2 Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica
→ Barcelona
- Flujo 3 Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona
- Flujo 4 Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona

Además de la dirección y sentido con el que circulan las mercancías, el diseño de la red se completa con la localización de los centros donde se realizan las tareas de desconsolidación, control de calidad y consolidación. En las líneas siguientes se introducen las hipótesis de carácter estratégico y operacional asumidas en relación a la localización de estos centros. En primer lugar, las tareas de desconsolidación, control de calidad y consolidación no requieren de una tecnología específica sino de abundante mano de obra. Estas tareas se agrupan bajo el nombre de tareas de manipulación y pueden realizarse en un único centro. Con esta hipótesis se asume una red de un solo nivel. Si, por ejemplo, el control de calidad del folleto y *gadget* tuviera que realizarse en centros distintos, la red sería de dos niveles. Otro aspecto de interés es la contratación de una empresa británica, australiana y sudafricana, respectivamente, para las tareas de distribución, recuperación y manipulación y a las que se les paga en función del volumen manipulado¹⁶, de forma que no existe capacidad límite de distribución, recolección o manipulación. Además, la mercancía permanece en el almacén de estas empresas hasta el envío al próximo destino. El centro productor en Barcelona también tiene capacidad para manipular la cantidad de producto para cubrir la demanda de los tres mercados. Finalmente, la red elegida es una red centralizada¹⁷ porque las dimensiones del producto permiten que sus partes, folleto y *gadget*, permanezcan juntas a lo largo de toda la red. Las piezas del coleccionable sólo se separan para la realización de las tareas de control de calidad que se realizan en un mismo centro.

Ahora bien, aun asumiendo esta argumentación directa del carácter centralizado de la red, es necesario indicar que, de forma general, el grado de centralización de una red depende del volumen de la mercancía manipulada y la distancia entre los puntos de ventas. Aprovechando la mención de estos dos aspectos, se ha considerado oportuno analizarlos, no tanto por su relevancia en la explicación del carácter centralizado de la red, aunque también, sino por su participación posterior en la estructura de evaluación de costes. En las líneas siguientes se especifican las dimensiones del producto y la distancia recorrida en la recuperación y en la distribución¹⁸, parámetros que, como se ha señalado, intervienen en la evaluación de costes.

El tamaño y calidad del papel en el que se imprime el folleto, el número de páginas y volumen del *gadget* aproximan el volumen de la mercancía manipulada. En la mayor parte del mundo,

¹⁶ Nótese que delegar las tareas de distribución, recolección y manipulación en una empresa elimina los costes fijos asociadas a estas actividades.

¹⁷ Una red centralizada con un solo nivel es una simplificación importante respecto al diseño de otras redes que sí que requieren de centros distintos para realizar los controles de calidad y de consolidación (más de un nivel) en las distintas delegaciones (red no centralizada).

¹⁸ Nótese que la red de recuperación está perfectamente integrada en la de distribución.

el tamaño del papel utilizado en la industria guarda relación con la norma ISO 216, que a su vez se basa en la norma DIN 476 del Instituto Alemán de Normalización (*Deutsches Institut für Normung*, en alemán) editada en 1922¹⁹. La idea que subyace en esta norma es el aprovechamiento al máximo de papel. Así, para que el desperdicio sea el mínimo posible, el papel es fabricado con un pliego que mide un metro cuadrado y la medida de sus lados es tal que, al dividir el pliego a la mitad, cada una de las partes mantiene la misma relación entre sus lados que el pliego original. Existen distintas medidas de papel que cumplen la norma ISO 216 como DIN A0, DIN A1, ... El folleto que acompaña a los coleccionables están impresos en DIN A4 de 210 mm ancho por 297 mm de largo. Las calidades de papel más utilizados en la impresión son el papel blanco u *offset*, que es el papel blanco que suele utilizarse en las impresoras, el ahuesado o marfil de color amarillento y rugoso al tacto, que suele utilizarse en ediciones exclusivas como novela y poesía y raramente en libros de divulgación, y, finalmente, el estucado, satinado o cuché que, con apariencia brillante o mate, es el que suele utilizarse en las impresiones en color porque el barniz mejora la calidad de la impresión. El papel estucado es el que suele emplearse en la impresión de catálogos, revistas, cómics y, por supuesto, coleccionables. El grosor del papel estucado fluctúa entre los 60 y 350 gramos por m², igual que el papel *offset*, pero los usos son diferentes en función del grosor tal y como se muestra a continuación:

- 1) Papel no satinado entre 60 y 115 gramos/m²: interiores de libros, revistas con muchas páginas, despleables, planos, prospectos médicos, hojas de carta con membrete.
- 2) Papel no satinado entre 135 y 200 gramos/m²: folletos, dípticos, trípticos, revistas de pocas páginas. Las portadas de un dossier se pueden imprimir en papel no satinado de 200 gramos/m².
- 3) Papel no satinado de grosor superior a 200 gramos/m²: tarjetas de visita, portadas de libros y revistas, alguna pieza de *packaging*, carpetas contenedoras de documentos.
- 4) Papel satinado de grosor entre 70 y 150 gramos/m²: folletos, dípticos, trípticos, despleables, planos, interiores de folletos, revistas y libros.
- 5) Papel satinado de grosor entre 170 y 250 gramos/m²: dípticos, trípticos, interiores de folletos, revistas, libros y catálogos con pocas páginas.
- 6) Papel satinado de grosor superior a 250 gramos/m²: portadas de revistas, libros, catálogos, objetos despleables con mucha consistencia.

¹⁹ Paralelamente siguen existiendo otros sistemas tradicionales, como los utilizados en los Estados Unidos, Canadá y México, u otros que están cayendo en desuso como el tamaño folio, anteriormente utilizado en Europa.

Si se asume que el folleto manipulado contiene 20 páginas (10 hojas), incluida la portada y contraportada, y que se imprime en papel DIN A de 200 gramos de grosor/m², el peso del folleto es de 125 gramos. Si se asume además que el grosor del folleto es de 0,5 cm, su volumen es igual a 0,00031 m³. Por otro lado, se asume que el peso y volumen del *gadget* es de 100 gramos y 100 x 200 x 50 mm³ ó 0,001 m³. El fascículo resultante pesa 225 gramos y su volumen es de 0,00131 m³. El peso y volumen del fascículo, además de ser importante a la hora de determinar el grado de centralización de la red, juegan un papel importante en la determinación de los costes de transporte y manipulación, normalmente expresados en euros por unidad de producto, es decir, euros por tonelada o euros por m³.

La otra dimensión que, de forma general, ayuda a explicar el grado de centralización de una red es la distancia entre los puntos de venta en los mercados en los que se comercializa el producto. El producto se comercializará en las ciudades con mayor número de habitantes. Ahora bien, la cuestión fundamental es saber dónde están geográficamente estas ciudades y si pueden ser abastecidas desde un solo almacén o son necesarios más almacenes a lo largo de la geografía del país que sirvan como apoyo a las tareas de distribución, recuperación y manipulación. En cada país se construyó un *ranking* de ciudades en función del número de habitantes. En Australia se seleccionan las primeras 14 ciudades porque en ellas reside el 84 % de la población de Australia. En Sudáfrica se seleccionan las primeras 18 ciudades porque la población en estas ciudades representa el 62% de la población de Sudáfrica. Sin embargo, en las 71 ciudades con más habitantes del Reino Unido sólo residen el 48% de la población de Reino Unido. Una vez seleccionadas las ciudades se construyeron rutas de distribución/recuperación. Estas rutas pueden o no coincidir con las que utilizan actualmente las empresas contratadas en cada país. Esta no es la cuestión. Estas rutas aportan el dato del número de kilómetros recorridos en distribución y recuperación que más adelante se necesitará en la estructura de costes de transporte. En Australia, con dos rutas desde el puerto de Sidney hacia Perth o hacia Brisbane se logra pasar por todas las ciudades seleccionadas. La distancia recorrida total es de 5.312,1 kilómetros según la aplicación disponible en *Google Map*. De igual modo, se construyeron dos rutas en Sudáfrica que parten del puerto de Durban. Una de las rutas en sentido a Krugersdorp y la otra hacia Welkom y la distancia total es de 3.316,9 kilómetros. El caso del Reino Unido es diferente por la cantidad de ciudades. Además, la mercancía entre el Reino Unido y Barcelona es transportada por vía terrestre a través de la ciudad de Dover. Sin embargo, el transporte entre Reino Unido y Australia es por vía marítima a través del puerto de Southampton. Esta circunstancia obliga a definir trayectos

diferentes en la distribución, que parten de Dover, y en la recuperación, que llegan a Southampton. El número de rutas es superior al número de rutas en Australia o Sudáfrica por el interés de comercializar el producto en 71 ciudades. Las ocho rutas dibujadas desde Dover representan un total de 4.564,0 kilómetros. Para recuperar el producto devuelto se trazaron también ocho rutas que mueren en el puerto de Southampton cubriendo un total de 3.820,3 kilómetros.

Siguiendo con el hilo argumental del diseño de la red y asumiendo que la recuperación es viable a través de una red centralizada, sólo habrá un centro de manipulación en Reino Unido, otro en Australia y otro en Sudáfrica. Por supuesto, en Barcelona existe ya un centro de manipulación. Una vez que se sabe cómo es la red en la que tiene lugar la distribución, recuperación y manipulación es necesario decidir cómo/dónde se hacen estas tareas. Respecto a cómo se hacen estas tareas, recuérdese que los productos recuperados en el mercado del Reino Unido se recolocan en el mercado australiano y las tareas de manipulación pueden realizarse en Reino Unido, en Barcelona o Australia. Los productos recuperados en Australia se recolocan en Sudáfrica y la manipulación puede realizarse en Australia, en Barcelona o Sudáfrica. Teniendo en cuenta que la manipulación puede realizarse tanto en Barcelona, Reino Unido, Australia o Sudáfrica, que siempre hay manipulación en Barcelona y que no pueden existir dos puntos consecutivos sin centro de manipulación, existen 25 maneras diferentes de recuperar los coleccionables en el mercado anglosajón (véase Tabla 4.1). Y la óptima es la que opera con mínimo coste. Por tanto, el esclarecimiento de cuál es la combinación óptima exige evaluar el coste total implícito en cada forma de recuperación y la evaluación de este coste obliga a conocer la cantidad de mercancía manipulada y el coste asociado a las actividades de distribución, recuperación y manipulación.

Tabla 4.1. Localizaciones posibles de los centros de manipulación según flujo.

Flujo 1: Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia →
Sudáfrica → Barcelona

| Solución | Barcelona | Reino Unido | Barcelona | Australia | Sudáfrica | Barcelona |
|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | x | x | x | x | x | x |
| 2 | x | x | x | x | | x |
| 3 | x | x | x | | x | x |
| 4 | x | | x | x | x | x |
| 5 | x | | x | | x | x |
| 6 | x | | x | x | | x |

Flujo 2: Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona

| Solución | Barcelona | Reino Unido | Barcelona | Australia | Barcelona | Sudáfrica | Barcelona |
|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 7 | x | x | x | x | x | x | x |
| 8 | x | x | x | x | x | | x |
| 9 | x | x | x | | x | x | x |
| 10 | x | | x | x | x | x | x |
| 11 | x | | x | | x | | x |
| 12 | x | | x | | x | x | x |
| 13 | x | | x | x | x | | x |
| 14 | x | x | x | | x | | x |

Flujo 3: Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona

| Solución | Barcelona | Reino Unido | Australia | Sudáfrica | Barcelona |
|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 15 | x | x | x | x | x |
| 16 | x | x | x | | x |
| 17 | x | x | | x | x |
| 18 | x | | x | x | x |
| 19 | x | | x | | x |

Flujo 4: Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona

| Solución | Barcelona | Reino Unido | Australia | Barcelona | Sudáfrica | Barcelona |
|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 20 | x | x | x | x | x | x |
| 21 | x | x | x | x | | x |
| 22 | x | x | | x | x | x |
| 23 | x | | x | x | x | x |
| 24 | x | | x | x | | x |
| 25 | x | x | | x | | x |

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la cantidad de mercancía manipulada, se diferencia la cantidad manipulada en el flujo directo de la cantidad manipulada en el flujo inverso. Las cantidades en el flujo directo suelen ser estimaciones de la demanda. Para estimar la demanda de coleccionables se han barajado distintas magnitudes de la población como población total, población de

16 o más años²⁰, población ocupada, número de hogares y tasa de actividad (véase Tabla 4.2). La demanda de coleccionables podría estimarse a partir de la población ocupada o del número de hogares. Dependiendo de la composición de los hogares la estimación de la demanda podría coincidir por una y otra vía. Los datos de la Tabla 4.2 revelan que sólo un miembro del hogar está ocupado en los hogares de España²¹ y Sudáfrica; mientras que el número de miembros con ocupación es mayor en los hogares del Reino Unido y de Australia. Si se asume que no suele ser habitual comprar más de un coleccionable por hogar, la demanda de coleccionables se define como función del número de hogares.

Tabla 4.2. Datos poblacionales según países.

| | Población total (nº) | Población de 16 o más años (nº) | Población ocupada (nº) | Hogares (nº) | Tasa de actividad (%) |
|-------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| España | 46.528.966 | 38.629.100 | 18.813.300 | 18.406.100 | 0,59 |
| Reino Unido | 65.648.100 | 42.359.146 | 31.727.000 | 25.700.000 | 0,75 |
| Australia | 24.130.000 | 19.840.000 | 12.167.870 | 7.800.000 | 0,65 |
| Sudáfrica | 55.910.000 | 36.905.000 | 16.069.000 | 16.773.000 | 0,61 |

Nota: Los datos de España se han incluido con fines meramente ilustrativos.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, *Office for National Statistics y Statistics South Africa*. En la página <http://www.datosmacro.com/epa/>, consultada por última vez en agosto de 2017, se obtuvieron los datos correspondientes a Australia.

Ahora bien, llegado este punto es menester introducir el factor tiempo por tener especial importancia en el estudio de los coleccionables. Los coleccionables se venden por fascículos y la venta se prolonga en el tiempo hasta completar la colección. En la propuesta de esta memoria se asume que el coleccionable se compone de 15 fascículos que salen a la venta cada dos semanas. Además, un fascículo no se pone a la venta la misma semana en los tres mercados. Si, por ejemplo, el 2% de los hogares españoles fuesen demandantes de un coleccionable, hay uno o más fascículos para los que se espera un máximo de ventas de 368.122 unidades. Pero si además se admite que un hogar no empieza la colección una vez que hayan salido a la venta la mitad más uno de los fascículos (7 fascículos), las 368.122 unidades sólo pueden corresponder a uno o más fascículos comprendidos entre los números 1 y 7. La demanda de los otros fascículos del coleccionable se aproxima asumiendo un comportamiento estocástico de la demanda según una función exponencial, *Poisson* o normal. Siguiendo con el ejemplo español y

²⁰ La encuesta de población activa en Australia y Sudáfrica publican el dato de la población de 15 o más años.

²¹ El caso de España se han incluido con fines meramente ilustrativos.

asumiendo que las 368.122 unidades corresponden al primer número del coleccionable, en la Tabla 4.3 se muestra cómo se obtiene el número de unidades por fascículos según una función exponencial con distintos valores del parámetro λ . El total de fascículos que se estima vender sin distinguir su número es de 1.929.695 unidades cuando $\lambda = 0,2$. Si $\lambda = 0,3$, el total de fascículos que se espera vender es de 1.404.545 unidades. El total de fascículos desciende a 935.062 unidades si $\lambda = 0,5$. El comportamiento observado sobre el total es el mismo comportamiento que se observa sobre los números de fascículos.

Tabla 4.3. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro λ y máximo en el primer fascículo.

| Fascículo | $\lambda = 0, 2$ | Fascículo 1 | $\lambda = 0, 3$ | Fascículo 1 | $\lambda = 0, 5$ | Fascículo 1 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| 1 | 1,0000 | 368.122 | 1,0000 | 368.122 | 1,0000 | 368.122 |
| 2 | 0,8187 | 301.393 | 0,7408 | 272.711 | 0,6065 | 223.277 |
| 3 | 0,6703 | 246.760 | 0,5488 | 202.030 | 0,3679 | 135.425 |
| 4 | 0,5488 | 202.030 | 0,4066 | 149.667 | 0,2231 | 82.139 |
| 5 | 0,4493 | 165.408 | 0,3012 | 110.876 | 0,1353 | 49.820 |
| 6 | 0,3679 | 135.425 | 0,2231 | 82.139 | 0,0821 | 30.217 |
| 7 | 0,3012 | 110.876 | 0,1653 | 60.850 | 0,0498 | 18.328 |
| 8 | 0,2466 | 90.778 | 0,1225 | 45.079 | 0,0302 | 11.116 |
| 9 | 0,2019 | 74.323 | 0,0907 | 33.395 | 0,0183 | 6.742 |
| 10 | 0,1653 | 60.850 | 0,0672 | 24.740 | 0,0111 | 4.089 |
| 11 | 0,1353 | 49.820 | 0,0498 | 18.328 | 0,0067 | 2.480 |
| 12 | 0,1108 | 40.789 | 0,0369 | 13.578 | 0,0041 | 1.504 |
| 13 | 0,0907 | 33.395 | 0,0273 | 10.058 | 0,0025 | 912 |
| 14 | 0,0743 | 27.342 | 0,0202 | 7.451 | 0,0015 | 553 |
| 15 | 0,0608 | 22.386 | 0,0150 | 5.520 | 0,0009 | 336 |
| Total | | 1.929.695 | | 1.404.545 | | 935.062 |

Notas:

(1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función exponencial de parámetro λ y que el fascículo más demandado es el primero;

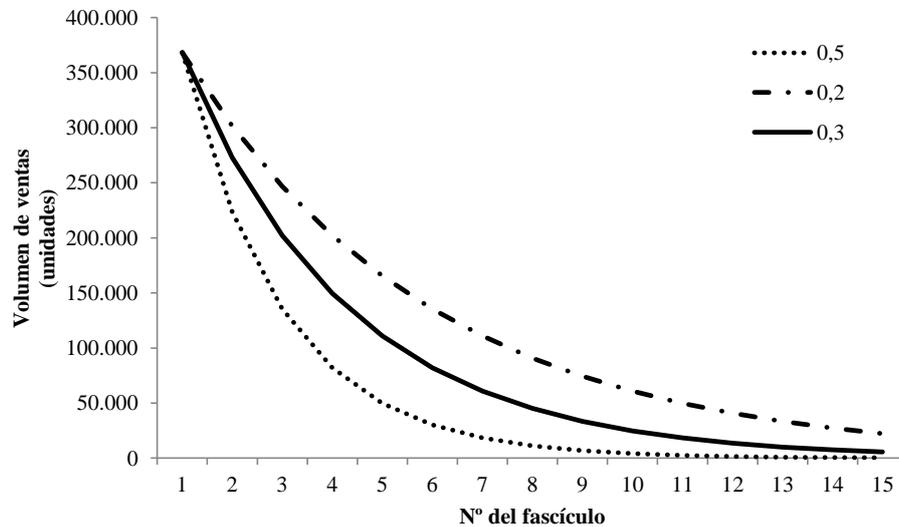
(2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del primer fascículo es máxima e igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.2 se muestran los comportamientos de las estimaciones de la demanda de la Tabla 4.3. El parámetro λ representa la velocidad a la que disminuye la estimación de la demanda. En la Tabla 4.4 y Figura 4.3 se muestran las estimaciones de la demanda de fascículos cuando las 368.122 unidades que como máximo se esperan vender

corresponden al fascículo número 1, 3 ó 7 según un comportamiento exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$.

Figura 4.2. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro λ .



Notas:

(1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función exponencial de parámetro λ y que el fascículo más demandado es el primero; (2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del primer fascículo es máxima e igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

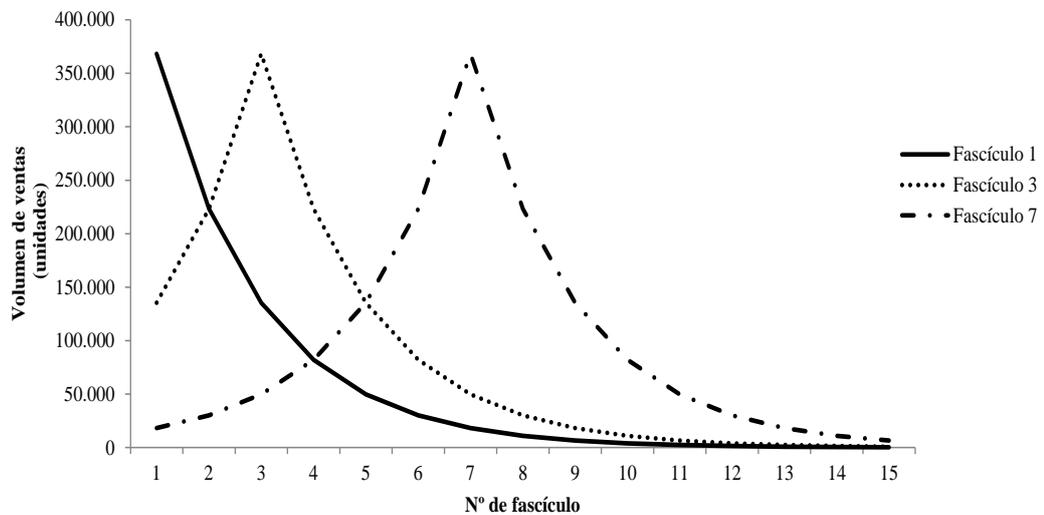
Tabla 4.4. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y máximos en los fascículos 1, 3 y 7.

| Fascículo | $\lambda = 0,5$ | Fascículo 1 | $\lambda = 0,5$ | Fascículo 3 | $\lambda = 0,5$ | Fascículo 7 |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | 1,0000 | 368.122 | 0,3679 | 135.425 | 0,0498 | 18.328 |
| 2 | 0,6065 | 223.277 | 0,6065 | 223.277 | 0,0821 | 30.217 |
| 3 | 0,3679 | 135.425 | 1,0000 | 368.122 | 0,1353 | 49.820 |
| 4 | 0,2231 | 82.139 | 0,6065 | 223.277 | 0,2231 | 82.139 |
| 5 | 0,1353 | 49.820 | 0,3679 | 135.425 | 0,3679 | 135.425 |
| 6 | 0,0821 | 30.217 | 0,2231 | 82.139 | 0,6065 | 223.277 |
| 7 | 0,0498 | 18.328 | 0,1353 | 49.820 | 1,0000 | 368.122 |
| 8 | 0,0302 | 11.116 | 0,0821 | 30.217 | 0,6065 | 223.277 |
| 9 | 0,0183 | 6.742 | 0,0498 | 18.328 | 0,3679 | 135.425 |
| 10 | 0,0111 | 4.089 | 0,0302 | 11.116 | 0,2231 | 82.139 |
| 11 | 0,0067 | 2.480 | 0,0183 | 6.742 | 0,1353 | 49.820 |
| 12 | 0,0041 | 1.504 | 0,0111 | 4.089 | 0,0821 | 30.217 |
| 13 | 0,0025 | 912 | 0,0067 | 2.480 | 0,0498 | 18.328 |
| 14 | 0,0015 | 553 | 0,0041 | 1.504 | 0,0302 | 11.116 |
| 15 | 0,0009 | 336 | 0,0025 | 912 | 0,0183 | 6.742 |
| Total | | 935.062 | | 1.292.875 | | 1.464.392 |

Notas: (1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y que el fascículo con máxima estimación de la demanda es el primero, tercero o séptimo (2) Simulación realizada para España asumiendo que el máximo de la demanda es igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y distintas localizaciones del nivel máximo.



Notas:

(1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función exponencial de parámetro $\lambda = 0,5$ y que el fascículo más vendido es el primero, tercero o séptimo;

(2) Simulación realizada para España asumiendo que el máximo de la demanda es igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

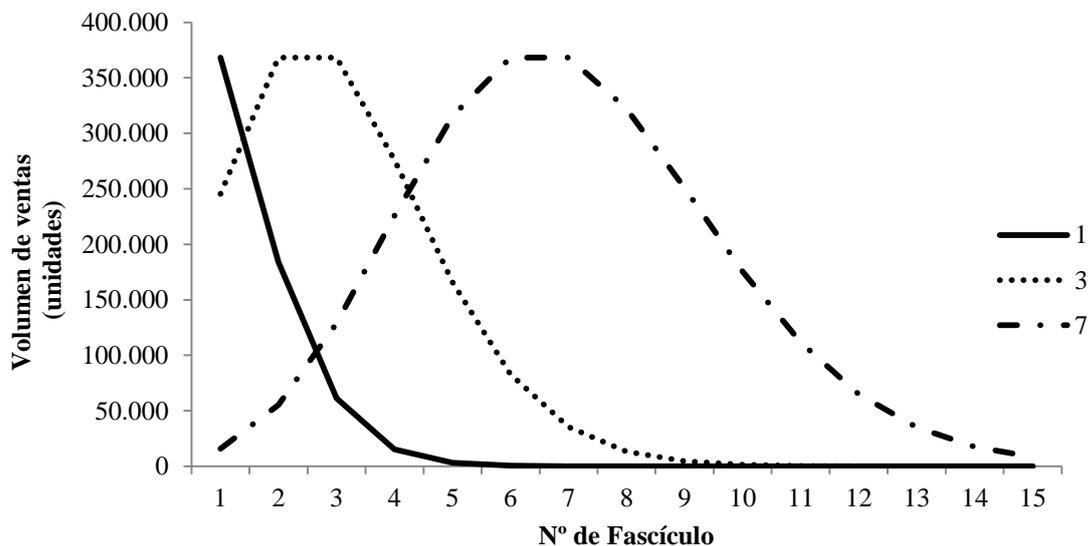
Si la demanda de fascículos se estima según una función de *Poisson* de parámetro λ , el parámetro λ de la función representa el número de fascículo para el que se espera una estimación máxima de la demanda. Por ejemplo, si $\lambda = 1$, la estimación de la demanda es máxima para el primer fascículo. En la Tabla 4.5 se recogen las simulaciones realizadas de diferentes estimaciones de la demanda según el parámetro λ . Por otro lado, el propio comportamiento de la función provoca que a medida que aumente el valor de λ , aumenta la estimación total de fascículos (véase también Figura 4.4).

Tabla 4.5. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función *Poisson* de parámetro λ .

| Fascículo | $\lambda = 1$ | Fascículo 1 | $\lambda = 3$ | Fascículo 3 | $\lambda = 7$ | Fascículo 7 |
|--------------|---------------|----------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
| 1 | 0,3679 | 368.122 | 0,1494 | 245.415 | 0,0064 | 15.770 |
| 2 | 0,1839 | 184.061 | 0,2240 | 368.122 | 0,0223 | 55.195 |
| 3 | 0,0613 | 61.354 | 0,2240 | 368.122 | 0,0521 | 128.789 |
| 4 | 0,0153 | 15.338 | 0,1680 | 276.092 | 0,0912 | 225.381 |
| 5 | 0,0031 | 3.068 | 0,1008 | 165.655 | 0,1277 | 315.533 |
| 6 | 0,0005 | 511 | 0,0504 | 82.827 | 0,1490 | 368.122 |
| 7 | 0,0001 | 73 | 0,0216 | 35.497 | 0,1490 | 368.122 |
| 8 | 0,0000 | 9 | 0,0081 | 13.312 | 0,1304 | 322.107 |
| 9 | 0,0000 | 1 | 0,0027 | 4.437 | 0,1014 | 250.527 |
| 10 | 0,0000 | 0 | 0,0008 | 1.331 | 0,0710 | 175.369 |
| 11 | 0,0000 | 0 | 0,0002 | 363 | 0,0452 | 111.599 |
| 12 | 0,0000 | 0 | 0,0001 | 91 | 0,0263 | 65.099 |
| 13 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 21 | 0,0142 | 35.053 |
| 14 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 4 | 0,0071 | 17.527 |
| 15 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 1 | 0,0033 | 8.179 |
| Total | | 632.537 | | 1.561.290 | | 2.462.373 |

Notas: (1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función Poisson de parámetro λ ; (2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda máxima es igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función *Poisson* de parámetro λ .

Notas:

(1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función Poisson de parámetro λ ; (2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda máxima es igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cuando es la función normal la que describe el comportamiento de la demanda es preciso afinar dos parámetros. Por un lado, la media de la función normal que tiene la función de localizar el número de fascículo en el que la estimación de la demanda es máxima tal y como sucedía en la función de *Poisson*; sin embargo, con la función normal se pueden trazar comportamientos más flexibles con la mera modificación de la desviación típica consiguiendo una forma más o menos plana (véanse Tabla 4.6 y Figura 4.5). Los datos de la Tabla 4.6 han sido generados asumiendo demanda máxima para el séptimo fascículo de la colección. Y como puede verse en la Figura 4.5 cuanto mayor es la desviación típica más similitudes existen en la demanda por fascículos. Y, por tanto, mayor es la estimación del total de unidades.

Tabla 4.6. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función Normal de media 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6.

| Fascículo | $\sigma = 2$ | Fascículo 7 | $\sigma = 4$ | Fascículo 7 | $\sigma = 6$ | Fascículo 7 |
|--------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| 1 | 0,0022 | 4.089 | 0,0324 | 119.512 | 0,0403 | 223.277 |
| 2 | 0,0088 | 16.174 | 0,0457 | 168.539 | 0,0470 | 260.133 |
| 3 | 0,0270 | 49.820 | 0,0605 | 223.277 | 0,0532 | 294.769 |
| 4 | 0,0648 | 119.512 | 0,0753 | 277.873 | 0,0587 | 324.867 |
| 5 | 0,1210 | 223.277 | 0,0880 | 324.867 | 0,0629 | 348.228 |
| 6 | 0,1760 | 324.867 | 0,0967 | 356.796 | 0,0656 | 363.045 |
| 7 | 0,1995 | 368.122 | 0,0997 | 368.122 | 0,0665 | 368.122 |
| 8 | 0,1760 | 324.867 | 0,0967 | 356.796 | 0,0656 | 363.045 |
| 9 | 0,1210 | 223.277 | 0,0880 | 324.867 | 0,0629 | 348.228 |
| 10 | 0,0648 | 119.512 | 0,0753 | 277.873 | 0,0587 | 324.867 |
| 11 | 0,0270 | 49.820 | 0,0605 | 223.277 | 0,0532 | 294.769 |
| 12 | 0,0088 | 16.174 | 0,0457 | 168.539 | 0,0470 | 260.133 |
| 13 | 0,0022 | 4.089 | 0,0324 | 119.512 | 0,0403 | 223.277 |
| 14 | 0,0004 | 805 | 0,0216 | 79.612 | 0,0337 | 186.393 |
| 15 | 0,0001 | 123 | 0,0135 | 49.820 | 0,0273 | 151.339 |
| Total | | 1.844.529 | | 3.439.280 | | 4.334.492 |

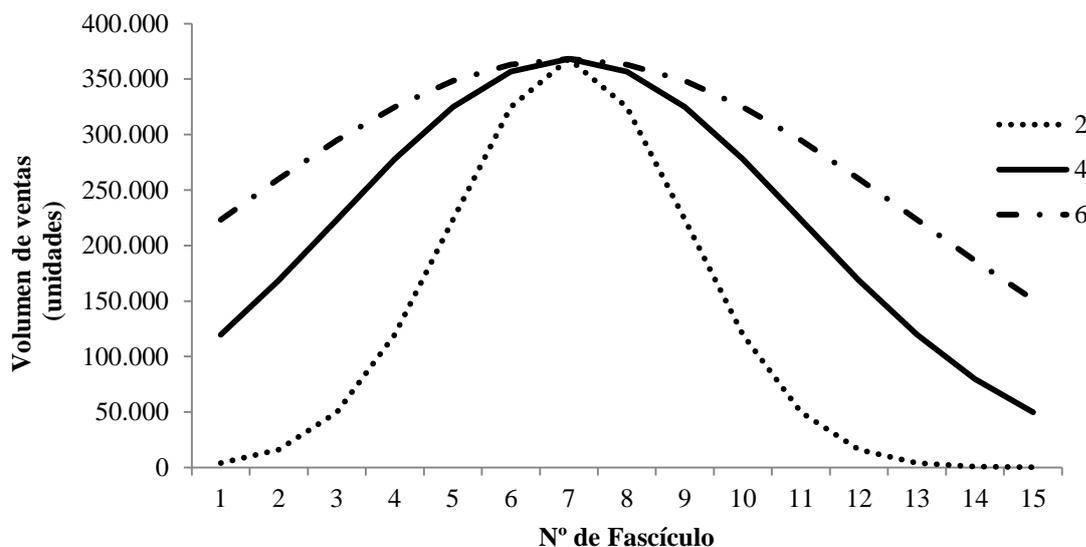
Notas:

(1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función Normal de media igual a 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6;

(2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del séptimo fascículo es máxima e igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. Comportamientos de la demanda de fascículos según la función Normal de media 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6.



Notas: (1) Aproximación de la demanda de fascículos asumiendo un comportamiento estocástico según una función Normal de media igual a 7 y desviación típica igual a 2, 4 y 6; (2) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del séptimo fascículo es máxima e igual al 2% del número de hogares (368.122 unidades).

Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades manipuladas en el flujo inverso o cantidades recuperadas se aproximan a partir de las cantidades manipuladas en el flujo directo²². Siguiendo con el ejemplo español, la Tabla 4.7 contiene las estimaciones de las cantidades que circulan en el flujo inverso siguiendo diferentes comportamientos y asumiendo, por ejemplo, que representa un 20% de la estimación de la demanda. El número de fascículo con demanda máxima no tiene por qué coincidir con el número de fascículo con recuperación máxima. Además, la función que describe el comportamiento en el flujo inverso no tiene por qué coincidir con la función que describe el comportamiento en el flujo directo. En los tres comportamientos representados (véase Figura 4.6) se ha asumido que en el fascículo número siete se localiza el máximo número de unidades recuperadas. Además, la función exponencial representada es de parámetro $\lambda = 0,5$ y la función normal de desviación típica igual a 5. Existen, por tanto, múltiples combinaciones para aproximar las cantidades manipuladas en el flujo directo y múltiples combinaciones en el flujo inverso. La estimación de la demanda en el flujo directo se puede calibrar a partir de datos históricos sobre el lanzamiento de otros coleccionables en posesión de la empresa RBA; sin embargo, la estimación de las cantidades manipuladas en el

²² Un procedimiento alternativo sería disponer de un programa que permita el manejo en red de la información en manos del distribuidor en el canal de recuperación al igual que *Radio Frequency Identification–Serial Global Trade Identifier Number*, *RISBN 5* y *Dilve*, entre otros, que manejan en red la información de todas las fases de la logística de distribución y ventas. En el epígrafe 5 se propone contratar a un informático que programe esta aplicación.

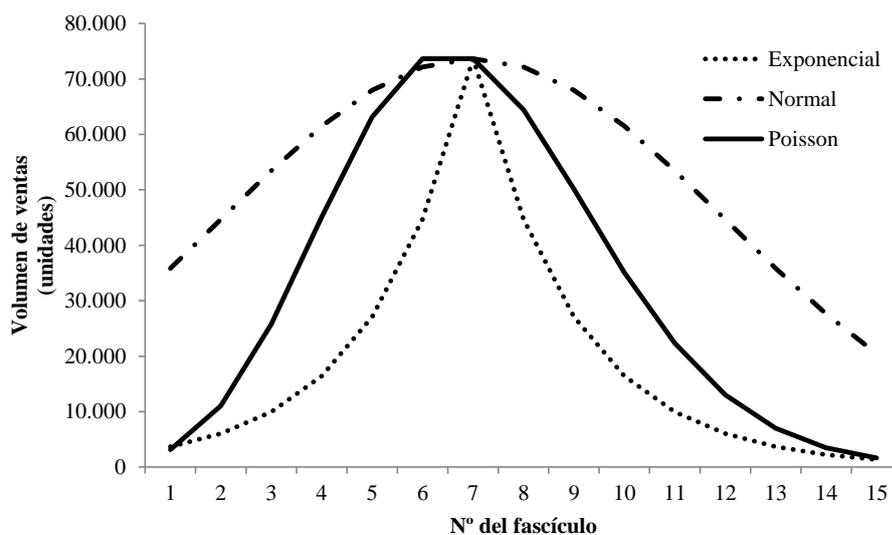
flujo inverso se podría aproximar con el desarrollo de un software que enviara información en tiempo real sobre las cantidades recuperadas. Ambos objetivos se proponen en el estudio económico como tareas futuras o de mejora.

Tabla 4.7. Cantidades manipuladas en el flujo inverso según la función exponencial, Poisson y Normal.

| Fascículo | Exponencial | | Poisson | | Normal | |
|--------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|
| | $\lambda = 0,5$ | Fascículo 7 | $\lambda = 7$ | Fascículo 7 | $\sigma = 5$ | Fascículo 7 |
| 1 | 0,0498 | 3.666 | 0,0064 | 3.154 | 0,0388 | 35.837 |
| 2 | 0,0821 | 6.043 | 0,0223 | 11.039 | 0,0484 | 44.655 |
| 3 | 0,1353 | 9.964 | 0,0521 | 25.758 | 0,0579 | 53.462 |
| 4 | 0,2231 | 16.428 | 0,0912 | 45.076 | 0,0666 | 61.496 |
| 5 | 0,3679 | 27.085 | 0,1277 | 63.107 | 0,0737 | 67.964 |
| 6 | 0,6065 | 44.655 | 0,1490 | 73.624 | 0,0782 | 72.167 |
| 7 | 1,0000 | 73.624 | 0,1490 | 73.624 | 0,0798 | 73.624 |
| 8 | 0,6065 | 44.655 | 0,1304 | 64.421 | 0,0782 | 72.167 |
| 9 | 0,3679 | 27.085 | 0,1014 | 50.105 | 0,0737 | 67.964 |
| 10 | 0,2231 | 16.428 | 0,0710 | 35.074 | 0,0666 | 61.496 |
| 11 | 0,1353 | 9.964 | 0,0452 | 22.320 | 0,0579 | 53.462 |
| 12 | 0,0821 | 6.043 | 0,0263 | 13.020 | 0,0484 | 44.655 |
| 13 | 0,0498 | 3.666 | 0,0142 | 7.011 | 0,0388 | 35.837 |
| 14 | 0,0302 | 2.223 | 0,0071 | 3.505 | 0,0299 | 27.632 |
| 15 | 0,0183 | 1.348 | 0,0033 | 1.636 | 0,0222 | 20.470 |
| Total | 4 | 292.878 | | 492.475 | | 792.889 |

Notas: (1) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del séptimo fascículo es máxima e igual al 20% de la estimación de la demanda del séptimo fascículo (73.624 unidades).
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6. Cantidades manipuladas en el flujo inverso según la función exponencial, Poisson y Normal.



Notas: (1) Simulación realizada para España asumiendo que la demanda del séptimo fascículo es máxima e igual al 20% de la estimación de la demanda del séptimo fascículo (73.624 unidades).
Fuente: Elaboración propia.

Como ya se ha mencionado, descubrir la forma de recuperación que opera con mínimo coste exige conocer el coste de las actividades asociadas a las tareas de distribución, recolección y manipulación. En lugar de seguir el enfoque tradicional de evaluación empleando el importe de gastos reflejados en los balances contables, se propone el enfoque de costes basado en las actividades o método ABC o *Activity based costing* (Saez-Torrecilla 1997); es decir, se propone cuantificar el coste inherente al desarrollo de las actividades²³. El método ABC requiere hacer un listado de todas las actividades que precise la recuperación internacional e imputar un coste por unidad de producto como, por ejemplo, euros por tonelada o euros por hora según el tipo de actividad. La recuperación internacional requiere del transporte de mercancías tanto en el flujo directo como en el flujo inverso y un conjunto de actividades vinculadas con el manejo de la mercancía.

En relación al transporte de las mercancías es necesario evaluar el coste de todos los desplazamientos. Los desplazamientos pueden tener lugar entre mercados o en el interior de cada mercado. Y en ambos casos, la mercancía puede ser tanto nueva como recuperada. Además, los desplazamientos en el interior de los mercados y entre Barcelona y Dover en el Reino Unido se realizan por vía terrestre y los desplazamientos entre mercados como los de Barcelona a Australia, Barcelona a Sudáfrica, Reino Unido a Australia y desde Australia a Sudáfrica son por vía marítima.

Según la estructura de costes del transporte de mercancías por carretera publicada por el Ministerio de Fomento en 2008, el transporte de mercancías en un camión de ámbito internacional con capacidad efectiva de 25.000 kg cuesta 1,1178 euros por kilómetro recorrido. A falta de la publicación de una cifra más reciente, el coste por kilómetro se ha actualizado aplicando un incremento anual del 1%. La estructura de costes directos del estudio mencionado está formada por un conjunto de conceptos que, en el periodo considerado, han experimentado un incremento como el señalado. El combustible que representa el 33% en el total de costes constituye una excepción porque su comportamiento, aunque ha fluctuado, en la actualidad se mantiene en los niveles de 2008. El precio por kilómetro recorrido en un camión de 25 toneladas se ha expresado en términos de euros por kilómetro y tonelada. El precio por kilómetro recorrido y tonelada en Reino Unido, Australia y Sudáfrica se obtiene aplicando un ratio corrector en función de la relación de salarios entre países. La distancia entre Barcelona y Dover, ciudad británica a la que llega la mercancía

²³ Aún cuando estas tareas se deleguen en una empresa externa, el método ofrece el precio que se debería pagar por el servicio prestado.

procedente de España es de 1.489 kilómetros, según la aplicación disponible en *Google.map*. El resto de las distancias por carretera ya fueron señaladas al mencionar las rutas de distribución y recuperación en Reino Unido, Australia y Sudáfrica.

El precio del transporte por vía marítima depende de la mercancía transportada, el sistema de transporte contratado y, por supuesto, de las distancias entre los puertos. En el portal *SeaRates.com* se han obtenido las tarifas correspondientes a material de oficina y escolar en contenedor compartido en euros por m³. El portal ofrece un precio en dólares americanos que fueron convertidos a euros aplicando la cotización al cierre del día once de agosto de 2017 de 1,1823 euros por dólar americano. Recuérdese que los fascículos que se comercializan según este estudio pesan 0,225 kilos y su volumen es de 0,00131 m³. Utilizando la relación entre masa y volumen del fascículo, el coste del transporte marítimo se expresa en euros por toneladas. En la Tabla 4.8 se señalan los costes de todos los desplazamientos en euros por tonelada manipulada.

Tabla 4.8. Trayectos, distancias y coste de transporte de mercancía.

| Panel A: trayectos entre mercados | | | | |
|---|------------------------|-------------------------|-------------|--|
| Trayecto | euros/km/Tn | Km | €/Tn | |
| Barcelona-Dover | 0,0489 | 1.489 | 79,5647 | |
| Trayecto | €/m³ | Tn/m³ | €/Tn | |
| Barcelona-Sidney | 251,8299 | 0,1713 | 46,7074 | |
| Barcelona-Durban | 243,5538 | 0,1713 | 45,1724 | |
| Southptom-Sidney | 244,7361 | 0,1713 | 45,3917 | |
| Sidney-Durban | 247,1007 | 0,1713 | 45,8303 | |
| Panel B: trayecto en el propio mercado | | | | |
| Trayecto | euros/km/Tn | Km | €/Tn | |
| Reino Unido (distribución desde Dover) | 0,0827 | 4.500 | 370,6400 | |
| Reino Unido (recuperación hasta Southampton) | 0,0827 | 3.800 | 343,5200 | |
| Australia | 0,1145 | 5.300 | 663,2685 | |
| Sudáfrica | 0,0131 | 3.300 | 47,2824 | |

Fuente: Elaboración propia.

Según el portal *Google.map* la duración del trayecto por carretera entre Barcelona y Dover es de más de 13 horas. Teniendo en cuenta las restricciones de tiempos de conducción y descanso de los conductores, el trayecto se prolonga durante dos días. Por otro lado, según el

portal *SeaRates.com*, el trayecto por vía marítima desde Barcelona o Southapptom hasta Sidney es de seis semanas, entre Sidney y Durban de tres semanas y entre Barcelona y Durban de dos semanas. Además, la distribución de la mercancía tiene lugar la misma semana en la que llega al puerto de destino. Después de que el producto esté dos semanas en el punto de venta se recogen las unidades de producto no vendido, aprovechando la distribución del siguiente fascículo. Finalmente, la manipulación se realiza la misma semana que tiene lugar la recuperación. El producto nuevo o recuperado permanece un máximo de un día por término medio en los almacenes de la empresa contratada para las tareas de distribución, recuperación y manipulación hasta ser enviado a su próximo destino. Con estas hipótesis se ha construido una matriz en la que las filas representan el número de fascículo y las columnas las semanas. La nomenclatura utilizada es la siguiente: “(país o ciudad - país o ciudad)(d)” representa transporte de producto nuevo entre ciudades o países; “(país o ciudad - país o ciudad)(i)” simboliza transporte de mercancía recuperada entre ciudades o países; “país o ciudad(d)” significa transporte de producto nuevo en la ciudad o país y “país o ciudad(i)” es el transporte de mercancía recuperada en la ciudad o país. Por ejemplo, la matriz para el trayecto Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona es la matriz superior de la Figura 4.9. Nótese que este trayecto requiere de 44 semanas para completar el transporte del producto. La segunda matriz de la Figura 4.9 evalúa el coste de los trayectos señalados en la matriz superior utilizando los precios por tonelada de la Tabla 4.8 y asumiendo que el comportamiento de las estimaciones de la demanda y de la recuperación son los correspondientes a la función normal de media 7 y desviación típica igual a 5. Se ha elegido esta forma funcional para mostrar los resultados de evaluación de los costes de transportes por ser la más flexible de las tres funciones. La media igual a 7 significa que el fascículo número 7 es el más vendido y, como el fascículo más vendido es un número relativamente avanzado de la colección, se ha supuesto una desviación típica tal que el número de hogares que completen la colección esté próximo al número máximo de unidades vendidas del fascículo 7. Es interesante señalar que la matriz proporciona el coste de transporte por semana de actividad. Así, por ejemplo, la primera semana del trayecto Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona implica un desembolso para la empresa de 27.344,31 euros.

Asumiendo las hipótesis señaladas en los párrafos anteriores, en la Tabla 4.10 se resume el coste de transporte según flujo. Tomando como referencia el flujo Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona, por ser el que resulta con menor coste como cabía

esperar (1.039.043 euros), la diferencia con respecto al flujo Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona, que es el que ocupa el siguiente lugar (1.042.292 euros), se debe a que las cantidades devueltas en Australia son enviadas a Barcelona en lugar de ir directamente a Sudáfrica. La diferencia en el coste en un caso y otro no debe ser objeto de sorpresa si se piensa en la cantidad de mercancía de la que se trata y que, además, siempre se completa el pedido de un mercado con mercancía desde Barcelona. Si las cantidades recuperadas se envían a Barcelona, desde Barcelona se envía a Sudáfrica la estimación total de la demanda. Si por el contrario, las cantidades devueltas son remitidas desde Australia a Sudáfrica, bien en el estado de mercancía recuperada y, por tanto, probablemente dañada para su manejo en Sudáfrica, o como producto renovado, el envío desde Barcelona complementa la previsión de demanda en Sudáfrica. Si se establece una comparación entre el flujo Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona (1.042.292 euros) y Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona (1.059.129 euros), la diferencia se debe a que la mercancía recuperada en Reino Unido retorna a Barcelona en el segundo caso y en el primero se transporta directamente a Australia. Finalmente, en el caso Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona (1.062.341 euros), la mercancía recuperada siempre retorna a Barcelona antes de ser enviada al siguiente mercado.

Tabla 4.9. Matriz de trayectos de mercancías por semana según producto y su coste en el flujo Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona.

| Semana | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|
| Producto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: la nomenclatura utilizada es la siguiente:
 a) “(país o ciudad - país o ciudad)(d)”: transporte de producto nuevo entre ciudades o países;
 b) “(país o ciudad - país o ciudad)(i)”: transporte de mercancía recuperada entre ciudades o países;
 c) “país o ciudad(d)”: transporte de producto nuevo en la ciudad o país;
 d) “país o ciudad(i)”: transporte de mercancía recuperada en la ciudad o país.



entre el producto recuperado y el producto nuevo y se ha establecido en 1,2 de forma que la cantidad manipulada de producto recuperado es de 0,8333 toneladas por hora trabajada. Por supuesto, tampoco se han introducido diferencias según el país. Las devoluciones por daños es el aspecto menos representativo entre todas las razones que pudieran provocar las devoluciones, de modo que una parte importante del volumen de productos devueltos puede ser reincorporado al inventario de la empresa. Esta es la razón por la que no se han considerado los costes que ocasiona la retirada definitiva del producto del mercado. De nuevo, el coste de cada actividad se ha expresado en euros por tonelada.

Tabla 4.11. Actividades y coste del manejo de mercancía.

| | | Plaza | €/horas | Tn/horas | €/Tn | |
|---------------------|--|-----------------------------|-------------|----------|---------|--------|
| Fabricación | (d.1) Preparación de pedidos | Barcelona | 4,6876 | 1,0000 | 4,6876 | |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 | |
| | | Australia | 10,9783 | 1,0000 | 10,9783 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 1,0000 | 1,2569 | |
| | (d.2) Expedición de pedidos | Barcelona | 4,6876 | 1,0000 | 4,6876 | |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 | |
| | | Australia | 10,9783 | 1,0000 | 10,9783 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 1,0000 | 1,2569 | |
| Distribución | (d.3) Recepción física de pedidos | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 | |
| | | Australia | 10,9783 | 1,0000 | 10,9783 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 1,0000 | 1,2569 | |
| | (d.4) Control de pedidos | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 | |
| | | Australia | 10,9783 | 1,0000 | 10,9783 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 1,0000 | 1,2569 | |
| | (d.1) Preparación pedidos | Barcelona | 4,6876 | 1,0000 | 4,6876 | |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 | |
| | | Australia | 10,9783 | 1,0000 | 10,9783 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 1,0000 | 1,2569 | |
| | | (d.2) Expedición de pedidos | Barcelona | 4,6876 | 1,0000 | 4,6876 |
| | | | Reino Unido | 7,9303 | 1,0000 | 7,9303 |
| Australia | 10,9783 | | 1,0000 | 10,9783 | | |
| Sudáfrica | 1,2569 | | 1,0000 | 1,2569 | | |
| Recolección | (i.1) Recepción física de devoluciones | Barcelona | 4,6876 | 0,8333 | 6,7501 | |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 0,8333 | 11,4197 | |
| | | Australia | 10,9783 | 0,8333 | 15,8088 | |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 0,8333 | 1,8099 | |

| | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|-------------|---------|--------|---------|
| Manipulación | (i.2) Control de devoluciones | Barcelona | 4,6876 | 0,8333 | 6,7501 |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 0,8333 | 11,4197 |
| | | Australia | 10,9783 | 0,8333 | 15,8088 |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 0,8333 | 1,8099 |
| | (i.3) Expedición devoluciones | Barcelona | 4,6876 | 0,8333 | 6,7501 |
| | | Reino Unido | 7,9303 | 0,8333 | 11,4197 |
| | | Australia | 10,9783 | 0,8333 | 15,8088 |
| | | Sudáfrica | 1,2569 | 0,8333 | 1,8099 |

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la mercancía debe ser almacenada a la espera de su próximo destino. El precio del almacenamiento se expresa en euros por m³ y día. En el trazado de los trayectos de mercancías se ha asumido que el producto sólo permanece almacenado un día como máximo. El precio de almacenamiento por metro cúbico y día se ha aproximado tomando como referencia el precio por metro cúbico y día en suelo industrial. Este es un aspecto sumamente complejo porque existe una gran dependencia del punto geográfico concreto en el que esté ubicado el almacén con variaciones significativas entre puntos próximos. Como se muestra en la Tabla 4.12, el coste de almacenamiento no difiere de un producto nuevo a uno recuperado. Sin embargo, la heterogeneidad propia del producto recuperado es la que introduce las diferencias en relación al almacenamiento. Utilizando el valor de la densidad del fascículo es posible convertir el precio de almacenamiento en euros por tonelada y día. La densidad del fascículo nuevo es del orden de 0,1713 toneladas por m³; sin embargo, aplicando el ratio entre producto recuperado y producto nuevo, la densidad del producto recuperado se reduce a 0,1428 toneladas por m³.

Tabla 4.12. Almacenamiento de producto nuevo y recuperado.

| | Plaza | €/m ³ /día | Tn/m ³ | €/Tn/día |
|---------------------|-------------|-----------------------|-------------------|----------|
| Distribución | | | | |
| (alm d) Almacenaje | Barcelona | 9,3751 | 0,1713 | 54,7244 |
| | Reino Unido | 15,8606 | 0,1713 | 92,5815 |
| | Australia | 21,9567 | 0,1713 | 128,1653 |
| | Sudáfrica | 2,5138 | 0,1713 | 14,6736 |
| Manipulación | | | | |
| (alm i) Almacenaje | Barcelona | 9,3751 | 0,1428 | 65,6693 |
| | Reino Unido | 15,8606 | 0,1428 | 111,0978 |
| | Australia | 21,9567 | 0,1428 | 153,7984 |
| | Sudáfrica | 2,5138 | 0,1428 | 17,6083 |

Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo del número y lugar donde se ubiquen los centros de manipulación, el coste asociado al manejo de la mercancía es diferente. Tal y como se señaló en la Tabla 4.1 existen

25 manera diferente de localización. Aplicando los mismos supuestos que los considerados en la evaluación del coste de transporte en relación a la duración de los trayectos, tiempo de permanencia del producto en los puntos de venta y en el almacén y momentos concretos en los que tiene lugar la distribución, recuperación y manipulación, se construyó otra matriz en la que, nuevamente, las filas representan el número de fascículo y las columnas las semanas. La nomenclatura utilizada es “(código actividad)(ciudad o país)”. El código de la actividad es el que aparece a la izquierda del nombre de la actividad en las tablas 4.11 y 4.12. También se utiliza la nomenclatura “(alm d)(ciudad o país)” y “(alm i)(ciudad o país)” para indicar el almacenamiento de producto nuevo o recuperado, respectivamente. Por ejemplo, el contenido de la primera fila de la matriz para el trayecto Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona con centros de manipulación en todos los puntos es como se indica a continuación:

Columna 1: (d.1)(Uk) + (d.2)(Uk) + (d.3)(Uk) + (d.4)(Uk) + (alm d)(Uk).

Columna 3: (i.1)(Uk) + (i.2)(Uk) + (alm i)(Uk) + (d.1)(Uk-Bcn) + (d.2)(Uk-Bcn) + (d.3)(Bcn) + (d.4)(Bcn) + (d.1)(Bcn-Aus) + (d.2)(Bcn-Aus).

Columna 9: (d.3)(Aus) + (d.4)(Aus) + (alm d)(Aus).

Columna 11: (i.1)(Aus) + (i.2)(Aus) + (alm i)(Aus) + (d.1)(Aus-Sud) + (d.2)(Aus-Sud) + (alm d)(Aus) + (d.1)(Bcn-Sud) + (d.2)(Bcn-Sud).

Columna 14: (d.3)(Sud) + (d.4)(Sud) + (alm d)(Sud).

Columna 16: (i.1)(Sud) + (i.2)(Sud) + (alm i)(Sud) + (d.1)(Sud-Bcn) + (d.2)(Sud-Bcn) + (alm d)(Sud).

Columna 18: (d.3)(Bcn) + (d.4)(Bcn).

El resto de las filas contienen la misma información dos columnas a la derecha respecto de la fila anterior porque cada fascículo sale a la venta dos semanas más tarde que el anterior. Sin embargo, las actividades de cada fila se evalúan de acuerdo a las cantidades distribuidas y recuperadas de cada fascículo. Una vez definida las actividades según fila y columna, el coste asociado a esas actividades se calcula utilizando los precios de las tablas 4.11 y 4.12 y asumiendo el mismo comportamiento de las estimaciones de la demanda y de la recuperación aplicado para obtener los costes de transporte señalados en la Tabla 4.10. Es decir, comportamiento estocástico según la función normal de media igual a 7 y desviación típica igual a 5.

Los costes de transporte y manejo de mercancía de las 25 combinaciones siguiendo los supuestos explicados a lo largo del texto se recogen en la segunda y tercera columna de la Tabla 4.13. En la última columna de esta tabla se ha calculado el coste total de recuperación internacional en cada caso. La solución al problema planteado en esta memoria requiere elegir aquella fila de la Tabla 4.13 con mínimo valor en la última columna. Es decir, la recuperación de coleccionables siguiendo el flujo 17 de la Tabla 4.1. Según este flujo, la mercancía sigue el trayecto Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona con centro de manipulación en Reino Unido y Sudáfrica, además del de Barcelona. Ahora bien, nótese que esta combinación pertenece al grupo de las combinaciones que operan con mínimo coste de transporte pero existen otras combinaciones que tienen un coste de manejo de mercancía inferior (véase Figura 4.7).

Tabla 4.13. Coste de desplazamientos, de actividades de manipulación y almacenamiento y coste total.

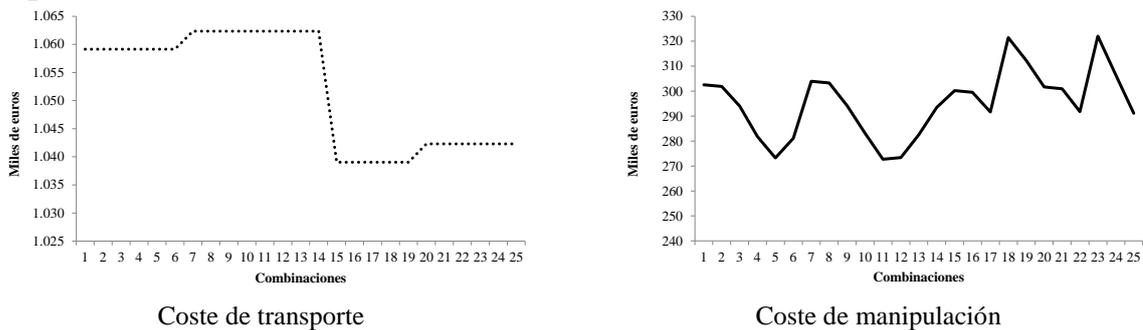
| Flujo | Transporte (euros) | Manejo (euros) | Total (euros) |
|---|--------------------|----------------|---------------|
| Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona | | | |
| 1 | 1.059.129 | 302.559 | 1.364.279 |
| 2 | 1.059.129 | 301.884 | 1.363.604 |
| 3 | 1.059.129 | 294.020 | 1.355.739 |
| 4 | 1.059.129 | 281.778 | 1.343.498 |
| 5 | 1.059.129 | 273.239 | 1.334.958 |
| 6 | 1.059.129 | 281.103 | 1.342.823 |
| Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona | | | |
| 7 | 1.062.341 | 303.975 | 1.366.316 |
| 8 | 1.062.341 | 303.300 | 1.365.641 |
| 9 | 1.062.341 | 294.144 | 1.356.485 |
| 10 | 1.062.341 | 283.194 | 1.345.535 |
| 11 | 1.062.341 | 272.688 | 1.335.029 |
| 12 | 1.062.341 | 273.363 | 1.335.704 |
| 13 | 1.062.341 | 282.519 | 1.344.860 |
| 14 | 1.062.341 | 293.469 | 1.355.810 |

| Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona | | | |
|---|-----------|----------------|-----------|
| 15 | 1.039.043 | 300.226 | 1.339.270 |
| 16 | 1.039.043 | 299.552 | 1.338.595 |
| 17 | 1.039.043 | 291.687 | 1.330.730 |
| 18 | 1.039.043 | 321.409 | 1.360.453 |
| 19 | 1.039.043 | 312.267 | 1.351.310 |

| Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona | | | |
|---|-----------|----------------|-----------|
| 20 | 1.042.292 | 301.642 | 1.346.768 |
| 21 | 1.042.292 | 300.967 | 1.346.093 |
| 22 | 1.042.292 | 291.811 | 1.336.937 |
| 23 | 1.042.292 | 322.015 | 1.367.141 |
| 24 | 1.042.292 | 306.458 | 1.351.584 |
| 25 | 1.042.292 | 291.136 | 1.336.262 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7. Coste de transporte y de manipulación de las combinaciones de recuperación.



Coste de transporte
Fuente: Elaboración propia.

Coste de manipulación

Aunque el principal interés se centra en la combinación que recupera los coleccionables con mínimo coste, el análisis de las soluciones según los trayectos también tienen su interés al esclarecer qué localizaciones encarecen/abaratán la recuperación y, en este sentido, ayudará a la toma de decisiones por parte de los responsables de la empresa. Recuérdese que existen 25 maneras distintas de realizar la recuperación y que estas 25 maneras de llevar a cabo la recuperación se han agrupado en cuatro trayectos (véase Tabla 4.1). En el trayecto Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona, las cantidades recuperadas en el Reino Unido son enviadas a Barcelona antes de introducirse en el mercado australiano. Teniendo en cuenta que el centro de Barcelona sirve de apoyo a los productos recuperados en Reino Unido, en este trayecto existen seis maneras de localizar los centros de

manipulación. Entre las seis maneras diferentes existentes en este trayecto, la solución más económica es la que exige un solo centro de manipulación localizado en Sudáfrica (solución 5 de la Tabla 4.1 con 273.239 euros). Si el único centro de manipulación se localizara en Australia en lugar de Sudáfrica (solución 6 de la Tabla 4.1), el coste de manipulación sube hasta los 281.103 euros. Nótese que es posible operar con un solo centro de manipulación porque siempre se cuenta con el centro de Barcelona que, en este trayecto constituye no sólo el centro de origen del producto nuevo y recepción del producto no vendido en el mercado anglosajón, sino también recibe la mercancía recuperada en Reino Unido. Si, en el mismo trayecto, se localizaran dos centros de manipulación, la combinación Sudáfrica y Australia (solución 4 de la Tabla 4.1) es más económica (281.778 euros) que la combinación Reino Unido y Sudáfrica (solución 3 de la Tabla 4.1 con 294.020 euros). Es decir, operar en Reino Unido es más caro que hacerlo en Australia. Por supuesto, el coste de la combinación Reino Unido y Australia es el más elevado entre las soluciones con dos centros de manipulación (solución 2 de la Tabla 4.1 y 301.884 euros). La solución 1 de la Tabla 4.1, que requiere centros de manipulación en Reino Unido, Australia y Sudáfrica en este trayecto, es la de coste más elevado con 302.559 euros.

El trayecto Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona tiene 8 soluciones y, a diferencia del trayecto anteriormente comentado, incorpora la ruta Australia – Barcelona. De esta manera, el producto recuperado en Australia pasa por Barcelona en lugar de ir directamente a Sudáfrica. Teniendo en cuenta esta apreciación, es posible que la recuperación tenga lugar sin centros de manipulación en Reino Unido, Australia o Sudáfrica. Y, además, esta solución, que se corresponde con la número 11 de la Tabla 4.1, es la de menor coste (272.688 euros). Hay tres soluciones que recogen un solo centro de manipulación, bien en Sudáfrica, Australia o Reino Unido. De estas tres posibilidades, la solución 12 de la Tabla 4.1, que localiza el centro en Sudáfrica, es la más económica (273.363 euros); en segundo lugar es la solución 13 de la Tabla 4.1, que localiza el centro en Australia (282.519 euros). Ahora bien, la solución 10 de la Tabla 4.1, con dos centros de manipulación (Sudáfrica y Australia), es más económica (283.194 euros) que la solución 14 de la Tabla 4.1 con un solo centro de manipulación en Reino Unido (293.469 euros). La combinación Sudáfrica y Australia es más económica que la combinación Sudáfrica y Reino Unido (solución 9 de la Tabla 4.1 con 294.144 euros). Por supuesto, la opción Australia y Reino Unido (solución 8 de la Tabla 4.1) es la de mayor coste entre las soluciones de dos centros de manipulación (303.300 euros). Finalmente, el caso de coste más

elevado es el que localiza centros de manipulación tanto en Sudáfrica como Australia y Reino Unido (solución 7 de la Tabla 4.1 con 303.975 euros).

El trayecto Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona es el trayecto en el que el producto recuperado se incorpora en el siguiente mercado sin pasar por Barcelona. Sin embargo, desde Barcelona se envían las partidas necesarias para completar la estimación de la demanda. El número de soluciones de este trayecto es igual a cinco. De las cinco soluciones, en una de ellas hay centros de manipulación en Reino Unido, Australia y Sudáfrica. Este caso es la solución 15 de la Tabla 4.1 que, sin embargo, no se corresponde con la de coste más elevado como ocurría en los dos trayectos anteriores (300.226 euros). Esta solución significa que las cantidades recuperadas en cada mercado son manipuladas en ese mismo mercado antes de llevarlas al mercado siguiente. Existen dos soluciones diferentes a este modo *operandis* de coste inferior que requieren de dos centros de manipulación en lugar de tres. La primera de estas soluciones es la solución número 17 de la Tabla 4.1 que, como ya se ha comentado, es la solución óptima en el problema de recuperación. El coste de manipulación de esta opción asciende a 291.687 euros e implica, con respecto a la solución número 15, prescindir del centro de Australia y manipular las cantidades recuperadas en Australia en Sudáfrica. La otra solución por debajo de los 300.226 euros es la solución número 16 de la Tabla 4.1. Esta solución, que requiere de dos centros de manipulación, prescinde del centro de manipulación en Sudáfrica provocando que la mercancía recuperada en Sudáfrica llegue a Barcelona como producto usado y no como producto nuevo. Esta solución de 299.552 euros es de mayor coste que la solución óptima en la que se consigue que el producto recuperado de Sudáfrica llegue a Barcelona como producto nuevo.

El hecho realmente significativo de este trayecto es que hay dos soluciones con menor número de centros de manipulación pero de coste más elevado que aquella en la que hay un centro de manipulación en cada mercado, es decir, tres centros. En la solución número 19 de la Tabla 4.1 se elige a Australia para localizar el centro de manipulación, lo que significa que el producto recuperado en Reino Unido y en Australia es manipulado en Australia y el producto recuperado en Sudáfrica llega a Barcelona como producto usado. El coste de manipulación en este caso asciende a 312.263 euros. Por supuesto, si se decide que el producto recuperado en Sudáfrica sea enviado a Barcelona como producto nuevo (solución 18 de la Tabla 4.1), el coste de manipulación se eleva a 321.409 euros.

Puede llamar la atención que se admitan como soluciones los escenarios en los que el producto recuperado en Sudáfrica llegue a Barcelona como producto nuevo o usado. Ambos casos se han mantenido como soluciones posibles pensando en la optimización de la recuperación de coleccionables en el mercado anglosajón, sin introducir restricciones adicionales que impliquen un estado determinado para el producto recuperado en Sudáfrica.

Finalmente, en el cuarto trayecto, Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona, resultan seis soluciones. Antes de analizar estas soluciones es conveniente fijar las diferencias respecto a los trayectos anteriores. El primer trayecto significa que el producto recuperado en Reino Unido pasa por Barcelona antes de introducirse en el mercado Australiano. En el segundo trayecto, tanto el producto recuperado en Reino Unido como el recuperado en Australia pasan por Barcelona antes de ser introducidos en Australia y Sudáfrica, respectivamente. En el tercer trayecto, los productos recuperados se envían directamente al mercado en el que van a ser comercializado sin utilizar Barcelona como punto de apoyo. En este último trayecto, Barcelona sirve como apoyo al producto recuperado en Australia antes de ser enviado a Sudáfrica.

Teniendo el centro de Barcelona como centro de apoyo para los productos recuperados en Australia, las soluciones posibles, de menor a mayor coste, son la solución 25 de la Tabla 4.1 que significa manipular en Reino Unido y enviar los productos recuperados en Sudáfrica a Barcelona como producto usado (291.136 euros), la solución 22 de la Tabla 4.1 que significa añadir a la solución anterior un centro en Sudáfrica de tal manera que la mercancía que llegue a Barcelona lo haga como producto nuevo (291.811 euros); la solución 21 de la Tabla 4.1 permite tareas de manipulación tanto en Reino Unido como en Australia y en la que el producto recuperado en Sudáfrica llega a Barcelona como producto usado (300.967 euros) y, según la solución 20 de la Tabla 4.1, los centros de manipulación se sitúan en Reino Unido, Australia y Sudáfrica y, dado que se establece un centro en Sudáfrica, la mercancía de este mercado llega a Barcelona como producto nuevo (301.642 euros). Las soluciones 23 y 24 de la Tabla 4.1 tienen un coste más elevado que las mencionadas hasta ahora dentro de este trayecto e implican no manipular en Reino Unido. Al no haber centro de manipulación en Reino Unido, las cantidades recuperadas en este mercado se manipulan en Australia. La solución 24 se enmarca dentro de este escenario pero, al no existir centro en Sudáfrica, las cantidades recuperadas en Sudáfrica llegan a Barcelona con producto usado. El coste de esta opción es de 306.458 euros. Ahora bien, si se decide enviar las cantidades recuperadas en Sudáfrica a Barcelona como producto nuevo, el coste se eleva a 322.015 euros.

Los resultados que se han mostrado están fuertemente condicionados a las hipótesis planteadas. Hay tres frentes en términos de los supuestos. Por un lado, el diseño de la red (un nivel, centralizada y sin límites de capacidad). En segundo lugar, todas las hipótesis relacionadas con las cantidades manipuladas, bien sea de producto nuevo como de producto recuperado. Y, en tercer lugar, las hipótesis en relación al precio de las actividades que se suponen que permanecen constantes durante el periodo de tiempo que dure la promoción del coleccionable. En la Tabla 4.14 se relacionan los 39 parámetros que podrían formar parte de un análisis de sensibilidad. El análisis de sensibilidad pretende, por un lado, aproximar el escenario del estudio a la realidad de la empresa si hubiesen discrepancias. Por otro lado, ensayar escenarios distintos en los que pudiera tener interés la empresa. El cambio en el diseño de la red y el ajuste de las cantidades a los datos históricos forman parte de las labores que se detallan como objetivos a cubrir en el epígrafe 5.

Tabla 4.14. Parámetros de los que dependen las hipótesis asumidas en la evaluación de costes.

| Hogares demandantes de coleccionables (%) | | |
|---|--------------|--------------|
| Reino Unido | | 0,02 |
| Australia | | 0,02 |
| Sudáfrica | | 0,02 |
| Devoluciones sobre demanda (%) | | |
| Reino Unido | | 0,2 |
| Australia | | 0,2 |
| Sudáfrica | | 0,2 |
| Coste transporte por carretera (euros/km/Tn) | | |
| Reino Unido | | 0,09 |
| Australia | | 0,13 |
| Sudáfrica | | 0,01 |
| Coste transporte marítimo (euro/m³) | | |
| Barcelona-Sidney | | 272,6400 |
| Barcelona-Durban | | 263,6800 |
| Southaptom-Sidney | | 264,9600 |
| Sidney-Durban | | 267,5200 |
| Distancia recorridas en distribución/recuperación (Km) | | |
| | Distribución | Recuperación |
| Reino Unido | 4.100 | 3.800 |
| Australia | 5.300 | 5.300 |
| Sudáfrica | 3.300 | 3.300 |
| Salario mínimo interprofesional (euros) | | |
| Reino Unido | | 1.396,90 |
| Australia | | 1.933,80 |
| Sudáfrica | | 221,40 |
| Pedidos manipulados (Tn/hora) | | |
| Reino Unido | | 1,00 |
| Australia | | 1,00 |
| Sudáfrica | | 1,00 |
| Almacenaje pedidos (euros/m3/día) | | |
| Reino Unido | | 15,8606 |
| Australia | | 21,9567 |
| Sudáfrica | | 2,5138 |

| Folleto | | |
|----------------------------------|---------------------------|-------------|
| Dimensión (DIN A4) | | 0,06 |
| Grosor (kg) | | 0,20 |
| Hojas (nº) | | 10 |
| | Peso (Kg) | 0,125 |
| Grosor (m) | | 0,005 |
| | Volumen (m ³) | 0,00031 |
| Gadget | | |
| Peso (Kg) | | 0,100 |
| Volumen (m ³) | | 0,0010 |
| Fascículo | | |
| Peso (Kg) | | 0,225 |
| Volumen (m ³) | | 0,00131 |
| Ratio recuperación/pedido | | 1,20 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se menciona el análisis de sensibilidad, el primer pensamiento se dirige a estudiar en qué sentido los parámetros hacen cambiar la solución óptima. El análisis requiere manipular 39 parámetros y, por esta razón, se ha considerado más idóneo, a efectos de ilustrar el potencial de esta herramienta, mostrar el análisis de sensibilidad sobre los costes de transportes y, de forma separada, sobre los costes en el manejo de la mercancía. Por supuesto, esto no significa que no pueda hacerse sobre la búsqueda de la solución óptima.

El coste de transporte depende de las cantidades distribuidas y recuperadas, distancia recorrida en la distribución y en la recuperación, precio por kilómetro recorrido por vía terrestre o por m³ si tiene lugar por vía marítima, grosor y número de páginas del folleto y peso y volumen del *gadget*. En realidad, el peso y volumen del folleto dependen también de su tamaño y grosor pero se consideró excesivo trabajar con estas variables y se eligieron el grosor y número de páginas del folleto porque resulta más fácil de asimilar qué significa un cambio en la unidad de medida de estos parámetros. A la izquierda de la Figura 4.8²⁵ aparecen todos estos parámetros. Para cada parámetro se ha indicado el valor fijado en esta memoria y se ha definido un intervalo en el que pudiera ser interesante analizar su comportamiento. Al mover el indicador de cada parámetro se puede analizar el efecto de este movimiento en relación a la solución.

²⁵ Junto a esta memoria se proporciona el fichero “Transporte.pdf”, que contiene una aplicación que permite realizar el análisis de sensibilidad y que, por supuesto, no constituye una foto fija como la de la Figura 4.8.

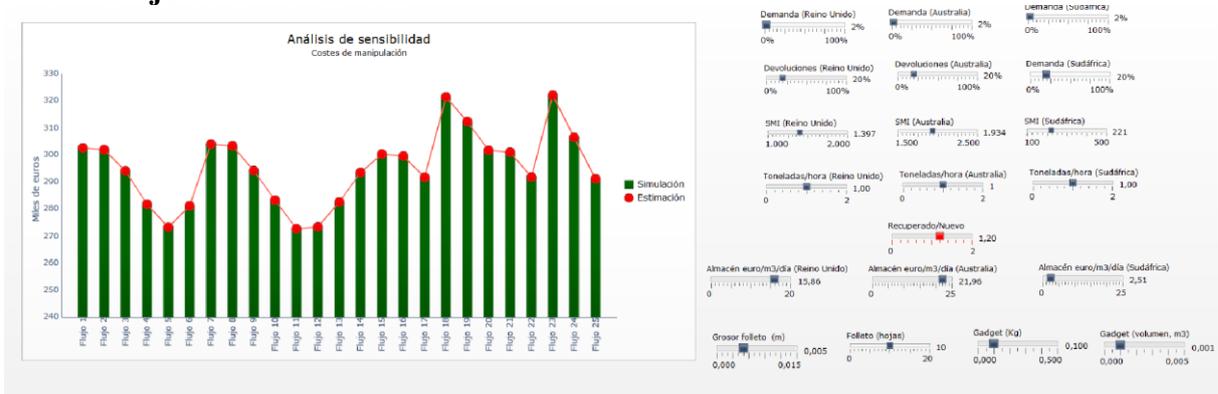
Figura 4.8. Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el coste de transporte.



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa de visualización de datos *Xcelsius*.

De manera similar se ha procedido a ejecutar el análisis de sensibilidad con los parámetros que intervienen en el cálculo del coste en el manejo de la mercancía. Estos parámetros son las cantidades manipuladas como producto nuevo o recuperado, el salario que define el coste de una hora de trabajo, toneladas manipuladas por hora de trabajo, precio de almacenamiento por m³ y día, número de hojas y grosor del folleto y peso y volumen del *gadget*. También se incluye el ratio que relaciona el producto recuperado con el producto nuevo y que se aplica, por ejemplo, para determinar la cantidad de producto recuperado manipulado por hora en relación a la cantidad de producto nuevo manipulado por hora. De nuevo, a la izquierda de la Figura 4.9²⁶ se relacionan estos parámetros indicándose el valor fijado en esta memoria y el intervalo en el que pudiera ser interesante analizar su comportamiento.

Figura 4.9. Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el coste en el manejo de la mercancía.



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa de visualización de datos *Xcelsius*.

²⁶ De forma similar al caso anterior, se proporciona el fichero “Manipulación.pdf” para el análisis de sensibilidad.

4.4. Impacto sobre el medio ambiente

La literatura en torno al diseño de redes logística está dividida en dos enfoques principales. La minimización de costes (o maximización de beneficios) y minimización del impacto ambiental. Esta forma de proceder significa dejar de lado el *trade-off* entre costes e impacto sobre el medio ambiente. El impacto ambiental de la recuperación internacional de coleccionables no ha sido abordado de forma directa, aunque sí de forma indirecta vía costes. Muchas actividades de la red logística influyen sobre el medio ambiente. El transporte es una de ellas y, en concreto, la elección del medio de transporte. El transporte en barco es el que menos energía emplea o la emplea de forma más eficiente que otros medios. Sin embargo, el tren hace un uso más eficiente del territorio, emplea energías renovables, ejerce menor presión sobre el tráfico en las zonas urbanas, contamina menos y genera menos ruido en comparación al transporte por carretera.

En la literatura sobre optimización se utilizan los modelos de programación lineal entera mixta con más de un objetivo para combinar el enfoque económico y la responsabilidad con el medio ambiente. Estos modelos adoptan una complejidad que dificulta su tratamiento computacional. Una alternativa a este procedimiento es la propuesta que se expone a continuación.

Sean c_i , $i = 1, \dots, 25$, los costes asociados a las 25 soluciones de la recuperación internacional de coleccionables. Suponga además que cada solución tiene asociado un índice de impacto medioambiental. Sean (c_i, I_i) , $i = 1, \dots, 25$, los pares de valores que indican el coste y el impacto ambiental de las 25 soluciones. Cuanto mayor sea el valor del indicador de impacto mayor es el deterioro que la ruta y localización de los centros de manipulación ejercen sobre el medio ambiente. Se trata de determinar la forma de recuperación de los coleccionables que siendo de coste mínimo ocasione el menor impacto sobre el medio ambiente. La Tabla 4.13 muestra que sólo existe una combinación con mínimo coste. Sin embargo, el coste total de las distintas combinaciones se mueve entre 1.330.730 y 1.366.316 euros. En situaciones como la señalada, el impacto sobre el medio ambiente se convierte en otro criterio para discriminar entre las soluciones.

Cada forma de recuperación de coleccionables tiene asociado un conjunto de actividades. En nuestro ejemplo existen 10 actividades. Dos actividades que tienen que ver con la forma de transporte, si tiene lugar por un medio terrestre o por vía marítima, cuatro actividades relacionadas con la manipulación de producto nuevo (preparación y expedición de pedido en

origen y recepción y control de pedido en destino), tres actividades con la manipulación de producto recuperado (recepción, control y expedición) y una actividad más relacionada con el almacenamiento, que no exige distinguir si el producto es nuevo o recuperado. Se considera que la recepción y control de producto nuevo es diferente de la recepción y control de producto recuperado en términos de impacto medioambiental porque el tipo y cantidad de recursos que pudieran consumir una y otra actividad pudieran ser diferentes. Sea $a_{i,r}$, la actividad r -ésima desarrollada en la solución i -ésima, con $i = 1, \dots, 25$ y $r = 1, \dots, 10$. Si las actividades son las mismas en todas las formas de recuperación, $a_{i,r}$ puede sustituirse por a_r . Sean $I_{i,r}$ los indicadores de impacto ambiental asociado a la r -ésima actividad desarrollada en la i -ésima solución, $i = 1, \dots, 25$ y $r = 1, \dots, 10$.

Las emisiones al aire de gases efecto invernadero, el rendimiento de producción, el consumo de materias primas, consumo de energía como luz y agua, residuos totales, porcentaje de reciclaje de residuos y aguas residuales de la actividad son indicadores de impacto ambiental de una actividad. Si sólo se considera las emisiones de gases efecto invernadero como indicador de impacto ambiental y se asume que sólo se emiten gases efecto invernadero en el transporte, el cálculo del impacto sobre el medio ambiente se reduce a los cuatro flujos diferentes de transportar la mercancía. La Tabla 4.15 recoge las emisiones directas o derivadas de la combustión por la quema de combustible de gases de efecto invernadero en tCO₂ según trayecto y actividad. Las emisiones de gases de efecto invernadero se han calculado teniendo en cuenta las emisiones por kilómetro recorrido y tonelada transportada en camiones de mercancía o m³ en buques portacontenedores. Según el portal *Network for Transport Measure*, un camión emite 59 gramos de CO₂ por tonelada de carga y kilómetro recorrido. La misma fuente establece que un buque portacontenedores emite 24 gramos por TEU²⁷ y kilómetro. Si se tiene en cuenta que una TEU equivale a 33,2 m³, el buque portacontenedores emite 0,72 gramos de dióxido de carbono por m³ y kilómetro recorrido. Teniendo en cuenta las cantidades manipuladas de producto nuevo y recuperado, las distancias recorridas por vía terrestre y marítima²⁸ y el peso (225 gramos) y volumen del fascículo (0,00131 m³), las emisiones de la última columna de la Tabla 4.15 miden el impacto que, en términos de tCO₂, genera cada trayecto de recuperación sobre el medio ambiente.

²⁷ Acrónimo del término en inglés *Twenty-foot Equivalent Unit*, que significa unidad equivalente a veinte pies.

²⁸ La distancia en barco entre Barcelona y Australia y entre Barcelona y Sudáfrica es de 18.386,86 y 11.465,33 kilómetros, respectivamente. Ahora bien, la distancia en el mismo medio entre Reino Unido y Australia es de 21.150,40 kilómetros. Finalmente, la distancia entre Australia y Sudáfrica es de 10.701,25 kilómetros. Véase *SeaRates.com*.

Tabla 4.15. Emisiones de gases de efecto invernadero en tCO₂ según flujo y actividad.

| Flujos | Actividades | | | | | | | | | | Impacto total |
|--------|-------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|----|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 1 | 848,60 | 76,19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 924,79 |
| 2 | 848,60 | 82,29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 930,89 |
| 3 | 826,74 | 79,09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 905,83 |
| 4 | 826,74 | 84,67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 911,41 |

Nota: Las actividades se han codificado de la siguiente manera: (1) Transporte por vía terrestre; (2) Transporte por vía marítima; (3) preparación de pedidos en origen; (4) expedición de pedidos en origen; (5) recepción de pedidos en destino; (6) control de pedidos en destino; (7) recepción de devoluciones; (8) control de devoluciones; (9) expedición de devoluciones y (10) almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de las emisiones de gases efecto invernadero obtenidas del portal *Network for Transport Measure*.

Considerando las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte en la recuperación de coleccionables, el trayecto Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona, con 905,83 tCO₂, es el que menor impacto ocasiona sobre el medio ambiente. Recuérdese que este mismo trayecto es el que opera con mínimo coste. El trayecto Barcelona → Reino Unido → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona emite más gases al medio ambiente (905,83 tCO₂) debido a los casi 7.000 kilómetros adicionales que se recorren por vía marítima al desplazar el producto recuperado en Australia hasta Barcelona y no hacerlo directamente a Sudáfrica. Recuérdese que si el producto recuperado hubiera ido a Sudáfrica, desde Barcelona se completa la demanda de Sudáfrica no cubierta con el producto recuperado en Australia. Si, por el contrario, el producto recuperado en Reino Unido es enviado a Barcelona en lugar de ir directamente a Australia (Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Sudáfrica → Barcelona), las emisiones de gases se elevan a 924,79 tCO₂ e incluso a 930,89 tCO₂ si la estrategia es pasar siempre por Barcelona (Barcelona → Reino Unido → Barcelona → Australia → Barcelona → Sudáfrica → Barcelona).

Como ya se ha comentado, estos resultados dependen de las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido y tonelada o m³ dependiendo del medio de transporte y tipo de vehículo o buque, de las cantidades manipuladas de producto nuevo y recuperado, del peso y volumen del fascículo y de la distancia entre mercados, tanto por vía terrestre como marítima (véase Tabla 4.16). Un análisis de sensibilidad permite estudiar cómo cambia el impacto sobre el medio ambiente cuando cambia el valor de estos parámetros. En este sentido, a la izquierda de la Figura 4.10²⁹ se relacionan estos parámetros indicándose el valor fijado en esta memoria y el intervalo en el que pudiera ser interesante analizar su comportamiento. Como en la evaluación de costes, se

²⁹ Junto a esta memoria se proporciona el fichero “Medio ambiente.pdf” para el análisis de sensibilidad.

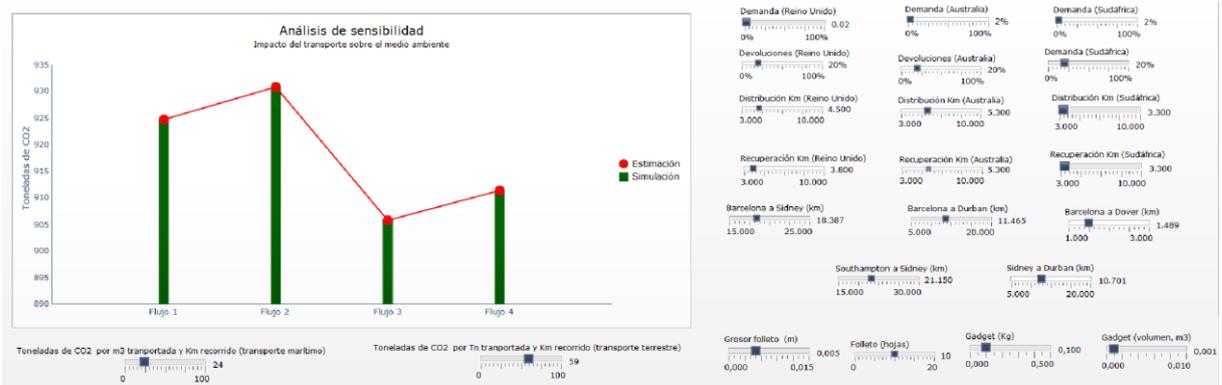
ha considerado oportuno elegir el grosor y número de hojas como parámetros de los que depende el peso y volumen del folleto.

Tabla 4.16. Parámetros de los que dependen las hipótesis asumidas en la evaluación del impacto sobre el medio ambiente.

| Hogares demandantes de coleccionables (%) | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Reino Unido | | 0,02 |
| Australia | | 0,02 |
| Sudáfrica | | 0,02 |
| Devoluciones sobre demanda (%) | | |
| Reino Unido | | 0,2 |
| Australia | | 0,2 |
| Sudáfrica | | 0,2 |
| Distancia recorridas en distribución/ recuperación (Km) | | |
| | Distribución | Recuperación |
| Reino Unido | 4.100 | 3.800 |
| Australia | 5.300 | 5.300 |
| Sudáfrica | 3.300 | 3.300 |
| Distancias entre mercados (Km) | | |
| Barcelona a Sidney | | 18.386,86 |
| Barcelona a Durban | | 11.465,33 |
| Barcelona a Reino Unido | | 1.489 |
| Reino Unido a Sidney | | 21.150,40 |
| Sidney a Durban | | 10.701,25 |
| Folleto | | |
| Dimensión (DIN A4) | | 0,06 |
| Grosor (kg) | | 0,20 |
| Hojas (nº) | | 10 |
| | Peso (Kg) | 0,125 |
| Grosor (m) | | 0,005 |
| | Volumen (m³) | 0,00031 |
| Gadget | | |
| Peso (Kg) | | 0,100 |
| Volumen (m³) | | 0,0010 |
| Fascículo | | |
| Peso (Kg) | | 0,225 |
| Volumen (m³) | | 0,00131 |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10. Foto fija que muestra la aplicación del análisis de sensibilidad sobre el impacto del medio ambiente según flujo.



Fuente: Elaboración propia utilizando el programa de visualización de datos Xcelsius.

Para evaluar el impacto total que la recuperación de coleccionables ocasiona sobre el medio ambiente es necesario conocer la huella, no sólo en términos de CO₂, de todas las actividades, tarea que también se propone como objetivo futuro en el siguiente epígrafe.

5. Estudio económico

La elección de la forma de recuperación óptima está condicionada a las hipótesis realizadas en relación al diseño de la red y al valor de los parámetros que intervienen en el cálculo del coste total. Por este motivo, esta memoria concluye con una planificación temporal y de costes con el fin de analizar si las hipótesis y parámetros se adecúan a la realidad de la empresa. En este sentido, se plantea alcanzar los siguientes objetivos:

- 1) Comprobar si el diseño de la red es o no adecuado. La red actual es centralizada con un nivel.
- 2) Ajustar las cantidades de producto nuevo y recuperado.
- 3) Hacer un listado completo de actividades y asignar un coste a cada una de ellas.
- 4) Estimación del coste total de las distintas maneras de recuperación.
- 5) Estimación de los indicadores de impacto ambiental y del indicador de impacto de las distintas maneras de recuperación.

Las tareas señaladas exigen la participación de las personas siguientes.

- 1) Un responsable del proyecto que además realiza las tareas necesarias para cumplir con los objetivos planteados.
- 2) Un contacto en RBA con conocimientos en el campo en el que se contextualiza el contenido de la investigación. La coordinación entre el responsable del proyecto y el contacto es especialmente relevante para el ajuste de las cantidades de producto nuevo, en el listado de tareas y asignación de coste a cada tarea.
- 3) Un informático que programe un software para la transmisión en red de las cantidades recuperadas. Además, deberá programar la estimación del coste total e impacto ambiental de todas las combinaciones posibles. Nótese que el número de formas de recuperación aumenta exponencialmente si la red deja de ser centralizada y requiere de más de un nivel.

El desarrollo de la propuesta de investigación sólo requiere de horas de trabajo del personal necesario. Partiendo de la consideración de que la realización de la investigación propuesta es intensiva en trabajo y siguiendo la propuesta de evaluación de costes basadas en actividades,

la evaluación económica tiene en cuenta todas las actividades a desarrollar y los costes asociados hasta la finalización de la investigación. En concreto, las horas efectivas anuales y el coste por hora trabajada empleada en las distintas fases en función de la cualificación del personal. Para desarrollar el proyecto se necesitan un titulado superior con formación en Logística, Transporte y Movilidad y un programador informático. El coste por hora y semana de trabajo efectivo de cada uno de estos profesionales es el que aparece en la Tabla 5.1. Según las bases de cotización de la seguridad social el salario es de 46.500 euros anuales para el titulado superior y 21.500 para el programador informático. También se ha creído conveniente considerar el número de horas efectivas de trabajo a lo largo de un año, una vez descontado los días festivos reconocidos y otros días como los de baja por enfermedad, por tratarse de una actividad que no se prolonga de forma ilimitada en el tiempo. En este sentido se ha considerado que un año tiene 1.680 horas o 44 semanas de trabajo efectivo. A partir de estos supuestos se obtiene un coste de 37,37 y 17,28 euros por hora de trabajo efectivo, respectivamente.

Tabla 5.1. Costes de personal del equipo de investigación según formación (euros/año)

| CONCEPTO | Titulado superior | Programador informático |
|--|-------------------|-------------------------|
| Salario | 46.500 | 21.500 |
| Seguridad Social a cargo de la empresa (35%) | 16.275 | 7.525 |
| Total | 62.775 | 29.025 |
| Euros por hora de trabajo efectivo | 37,37 | 17,28 |
| Euros semanales por trabajo efectivo | 1.426,70 | 659,66 |

Nota: Se ha considerado que un año tiene 1.680 horas efectivas y una 44 semanas efectivas, una vez descontadas días festivos reconocidos y días de baja por enfermedad.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de cotización de la seguridad social.

La promoción de un número de coleccionable a nivel internacional se prolonga durante 16 semanas como mínimo y 25 semanas como máximo, dependiendo del trayecto seguido en la recuperación. Nótese que el número de semanas necesarias depende del número de fascículos y las hipótesis de distribución temporal de tareas. Si el titulado superior e informático se comprometen a ajustar la herramienta dedicando 300 horas totales, el presupuesto asciende a 9.378 euros, cantidad que se ha aproximado a partir de las horas de trabajo asignadas según cualificación y objetivo de la investigación y remuneración del personal en función del salario (véanse Tablas 5.2 y 5.3). De la cantidad presupuestada total, 5.606 euros se le abonarán al responsable del proyecto y 2.592 al programador informático.

Tabla 5.2. Horas de trabajo según cualificación y objetivo de la investigación

| PERSONAL | Objetivo 1 | Objetivo 2 | Objetivo 3 | Objetivo 4 | Objetivo 5 | TOTAL |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Titulado superior | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 0,0 | 0,0 | 150 |
| Programador informático | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 75,0 | 75,0 | 150 |
| TOTAL | 50 | 50 | 50 | 75 | 75 | 300 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.3. Remuneración (euros) según cualificación y objetivo de la investigación

| PERSONAL | Objetivo 1 | Objetivo 2 | Objetivo 3 | Objetivo 4 | Objetivo 5 | TOTAL |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| Titulado superior | 1.869 | 1.869 | 1.869 | 0 | 0 | 5.606 |
| Programador informático | 0 | 0 | 0 | 1.296 | 1.296 | 2.592 |
| TOTAL | 1.869 | 1.869 | 1.869 | 1.296 | 1.296 | 8.198 |

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El presente trabajo examina la recuperación internacional de coleccionables para la comercialización en otros mercados como si de un producto nuevo se tratase. El productor puede convenir con el distribuidor el no retorno al centro productor de los productos recuperados y el reenvío a otro distribuidor. El objetivo de la presente memoria ha sido ofrecer una herramienta que permita decidir dónde realizar la manipulación de los productos recuperados antes de reintroducirlos en el siguiente mercado. El escenario en el que se aplica la herramienta es el mercado anglosajón de coleccionables formado por Reino Unido, Australia y Sudáfrica.

Tras hacer una revisión del estado del arte sobre la logística inversa se observa que el criterio basado en el coste es el que predomina en el proceso de toma de decisiones. Aunque también es verdad que el impacto sobre el medio ambiente es otro de los criterios que se toma en consideración. La aplicación del criterio basado en el coste ha obligado, en primer lugar, a diseñar una red que representara la actividad. Sin embargo, y como ya se venía venir, no existe un único modo de realizar la recuperación. Si se asume que las tareas propias de la recuperación se recogen bajo la etiqueta de manipulación, que se pueden realizar en un único centro porque lo único que demandan es mano de obra, que se trata de una red centralizada dadas las características del producto y la distancia entre los puntos de venta y que no hay capacidad máxima en la distribución, recuperación y manipulación porque la empresa contrata estas tareas a una empresa en destino, existen 25 maneras distintas de recuperación. Y la óptima es la que opera con mínimo coste.

Para llegar a la solución óptima es preciso abordar dos frentes. Por un lado, hacer una estimación sobre demanda y cantidades recuperadas en cada mercado. Por otro lado, evaluar el coste de distribuir y recuperar sendas cantidades y de convertir el producto recuperado en un producto nuevo.

Los representantes de la empresa manifestaron que las unidades recuperadas superan las expectativas de las devoluciones revelando así las dificultades actuales en la estimación de ventas. En este trabajo se propone, en primer lugar, estimar la cantidad del fascículo más demandado como función del número de hogares y, en segundo lugar, obtener la estimación de la demanda de los otros números de la colección asumiendo comportamientos estocásticos según una función exponencial, *Poisson* o normal. En la evaluación de esta memoria se utilizó finalmente la función normal por su flexibilidad en comparación con las otras funciones. Una

vez estimada la demanda, se asume que la estimación de las cantidades recuperadas es función de la demanda. Sería muy interesante disponer de datos históricos de demanda y recuperaciones para calibrar las estimaciones.

Otra preocupación revelada en el análisis de este caso es la dificultad de operar en esos otros mercados internacionales y el desconocimiento si el precio pagado por los servicios es o no justo. En este sentido se propone un estudio de costes en términos de actividad. La evaluación de costes de actividad proporcionará el precio justo de las actividades de la cadena e incluso dónde actuar para conseguir un nivel de competitividad superior. La estructura de costes que se propone considera costes de transportes, distribución, recuperación y manipulación. Estas tres últimas partidas dependen del volumen de mercancía. Sin embargo, en relación a los costes de transportes se asumen que dependen del volumen, de la distancia, del medio utilizado y del sistema contratado.

Bajo las consideraciones señaladas, se obtiene la forma de recuperación óptima, que sigue la dirección y sentido Barcelona → Reino Unido → Australia → Sudáfrica → Barcelona con centros de manipulación en Reino Unido y Sudáfrica, además del de Barcelona. Sin embargo, además de la obtención de la solución, el estudio de los resultados permite hacer otro análisis en el sentido de ver cómo influye el transporte o el manejo de la mercancía en la solución de mínimo coste, dado que se advierte que la solución de mínimo coste obtenida es también de mínimo coste de transporte pero no de mínimo coste en el manejo de la mercancía. Otro aspecto es estudiar cómo cambia la solución a medida que cambien los valores de los parámetros que actúan en el cálculo de la solución óptima. El cambio en el valor de estos parámetros puede estar motivado en el ajuste a la realidad exacta de la empresa o, también, al ensayo de un escenario nuevo en el que la empresa pudiera tener interés.

Finalmente, quedan dos líneas abiertas en la línea de los costes. En primer lugar, los resultados de esta memoria asumen también precios constantes a lo largo de las 53 semanas que como máximo dura la promoción. El lanzamiento de las promociones tiene lugar en épocas muy concretas del año según recomiendan los estudios de marketing. Sin embargo, si los costes por unidad de producto no permanecen constantes a lo largo de la campaña sino que fluctúan según la semana de la promoción, no sólo sería plausible determinar la localización óptima de los centros de manipulación sino también el momento en el que sería más oportuno en término de costes realizar el lanzamiento. Este nuevo marco sugiere que el coste de transporte fluctúa además respondiendo a la época del año al igual que lo podría hacer el coste

de la mano de obra empleada en las labores de manipulación. En segundo lugar, la relajación de los supuestos con los que se ha trabajado en esta memoria aumenta considerablemente el número de soluciones y su complejidad computacional y hace pensar en la necesidad de un nivel de programación avanzado.

En relación al impacto ambiental se ha seguido el enfoque basado en actividades, es decir, evaluar el impacto de cada una de las 25 soluciones a partir de la huella de las actividades que se suceden en cada solución. En esta memoria se ha evaluado la huella a partir de las emisiones de gases efecto invernadero. Sin embargo, el gran dilema es conocer la huella de las actividades a partir de otros indicadores.

Bibliografía

- ACOTRAM Asistente para el Cálculo de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera. Versión 2.4.0. Ministerio de Fomento. Gobierno de España. http://www.fomento.gob.es/mfom/lang_castellano/direcciones_generales/transporte_terrestre/servicios_transportista/descarga_software/acotram.htm.
- Ammons J.C.; Realff, M.J.; Newton, D. Reverse Production System Design and Operation for Carpet Recycling. Working Paper, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 1997.
- Ammons, J.C.; Realff, M.J.; Newton, D. Carpet Recycling: Determining the Reverse Production System Design. *The Journal of Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 1999, vol. 38, no 3, p. 547–567.
- Angulo, J. C. Producción y Logística Inversa. New York, 2003.
- Ballou, R. H. Logística. Administración de la Cadena de Suministro. Pearson Educación. México. 2004.
- Barros, A.I.; Dekker, R.; Scholten, V. A Two Level Network for Recycling Sand: A Case Study. *Econometric Institute Report Series 9673/A*. Erasmus University Rotterdam, The Netherlands. .
- Bernon, M.; Cullen, J. An Integrated Approach to Managing Reverse Logistics. *International Journal of Logistics Research and Applications: A leading Journal of Supply Chain Management*. 2007, vol. 10, no. 1, p. 41-56.
- Berger, T.; Debaillie, B. Location of Disassembly Centres for Re-use to Extend an Existing Distribution Network. Unpublished Masters thesis, University of Leuven, Belgium, 1997.
- Bereciartúa, A.; Echazarra, J. Sistema Basado en Identificación Multiespectral para la Separación de Metales no Férricos en WEEE en Procesos de Logística Inversa. Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro. Zaragoza, 2007.
- Bing, X.; Bloemhof-Ruwaard, J.; Chaabane, A.; Van der Vorst, J. Global Reverse Supply Chain Redesign for Household Plastic Waste under the Emission Trading Scheme. *Journal of Cleaner Production*. 2015, vol. 103, p. 28-39.

- Blumberg, D.R. Strategic Examination of Reverse Logistics & Repair Service Requirements, Needs, Market Size, and Opportunities. *Journal of Business Logistics*. 1999, vol. 20 No. 2, p. 141-59.
- Bokor, Z.; Markovits-Somogyi, R. Applying Activity-based Costing at Logistics Service Providers. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2015, vol. 43, no 2, p. 98-105.
- Boks, C.; Nilsson, J.; Masui, K.; Suzuki, K.; Rose C.; Lee, B.H. An International Comparison of Product End-of-Life Scenarios and Legislation for Consumer Electronics. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Oak Brook, IL, 1998.
- Bonney, M.; Jaber, M. Environmentally Responsible Inventory Models: Non-Classical Models for a Non-Classical Era. *International Journal of Production Economic*. 2011, vol. 133, p. 43-53.
- Bouchery, Y.; Ghaffari, A.; Jemai, Z.; Dallery. Y. Including Sustainability Criteria into Inventory Models. *European Journal of Operational Research*. 2012, vol. 222 p. 229–240.
- Bouras, A.; Tadj, L. Production Planning in a Three-Stock Reverse-Logistics System with Deteriorating Items under a Continuous Review Policy. *Journal of Industrial and Management Optimization*. 2015, vol. 11, no 4, p. 1041-1058.
- Cardoso, S.R.; Barbosa-Povoa, A.P.; Relvas, S. Design and Planning of Supply Chains with Integration of Reverse Logistics Activities under Demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 2013, vol. 3. P. 436-451.
- Carter, C. R.; Ellram, L. M. Reverse logistics: A review of the Literature and Framework for Future Investigation. *Journal of Business Logistics*. 1998, vol. 19, no. 1, p. 85-102.
- Caruso, C.; Colorni, A.; Paruccini, M. The Regional Urban Solid Waste Management System: A Modeling Approach. *European Journal of Operational Research*. 1993, vol. 70, p. 16-30.
- Cervantes, G. A Methodology for Teaching Industrial Ecology. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2007. vol. 8, no. 2, pp. 131–141.

- Chaabane, A.; Ramudhin, A.; Paquet, M. Design of Sustainable Supply Chains under the Emission Trading Scheme. *International Journal of Production Economics*. 2012, vol. 135, p. 37–49.
- Cheng, W.P. Supply Chain Management of Chinese Book Publishing: Reverse Logistics Research. Master thesis, Department of Logistics Management, National Kaohsiung First University of Science & Technology, Kaohsiung, Taiwan. 2004.
- Choudhary, A.; Sarkar, S.; Settur, S.; Tiwari, M.K.. A Carbon Market Sensitive Optimization Model for Integrated Forward–Reverse Logistics. *International Journal of Production Economics*. 2015, vol. 164, p. 433-444.
- CML (1992) Environmental Life Cycle Assessment of Products; Vol. I: Guide, and Vol. II: Backgrounds, (Edited by Heijungs R). Center of Environmental Science No. 9266, Leiden.
- Daugherty, P.J.; Autry, C.W.; Ellinger, A.E. Reverse Logistics: the Relationship Between Resource Commitment and Program Performance. *Journal of Business Logistics*. 2001. Vol. 22 No. 1, pp. 107-23.
- Dawe, Richard L. Reengineer your Returns. *Transportation & Distribution*. 1995, vol. 36, no. 8, p. 78.
- De Brito, M. P.; Dekker, R. Modelling Product Returns in Inventory Control. Exploring the Validity of General Assumptions. *International Journal of Production Economics*. 2003, vol 81, p. 225-241.
- De Brito, M. P.; Dekker, R. A Framework for Reverse Logistics. ERIM Report Series Research in Management, Erasmus University Rotterdam, 2004.
- De Brito, M. P.; Flapper, S. D. P.; Dekker, R. Reverse Logistics: a Review of Case Studies. *Econometric Institute Report EI2002-21*, Erasmus University Rotterdam, 2002.
- Dehghanian, F.; Mansour, S. Designing Sustainable Recovery Network of End-Of-Life Products Using Genetic Algorithm. *Resources, Conservation and Recycling*. 2009, vol. 53, p. 559–570.
- Dehghanian, F.; Mahdavi, F.; Edalatpoor, V. A Bi-Level Programming For Reverse Logistics Network Design. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012*.

- Dowlatshahi, S. Developing a Theory of Reverse Logistics. *Interfaces*. 2000, vol. 30, no 3, p. 143-155.
- Du, F.; Evans, G.W. A Bi-Objective Reverse Logistics Network Analysis for Post-Sale Service. *Computers and Operations Research*, 2008. Vol. 35, no. 8, pp. 2617-2634.
- El Saadany, A. M. A.; Jaber, M. Y. A Production/Remanufacture Model with Returns Subassemblies Managed Differently. *International Journal of Production Economics*. 2011, vol. 133, no. 1, p. 119-126.
- Elmas, G.; Erdoğan, F. The Importance of Reverse Logistics. *International Journal of Business and Management Studies*. 2011, vol. 3, no. 1, p. 165-169.
- Fernández, I. Identification of Research Areas Within Reverse Logistics. *Journal of Management Systems*. 2005, vol. XVII, no. 1, p. 17-25.
- Fernández-Moya, M. Editoriales Españolas en América Latina. Un proceso de internacionalización secular. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*. 2009, no 849, p. 65-77. ISSN 0019-977X. Ejemplar dedicado a la internacionalización de la empresa española en perspectiva histórica.
- Figueiredo, J.N.; Mayerle, S.F. Designing Minimum-Cost Recycling Collection Networks with Required Throughput. *Transportation Research Part E*. 2008, vol. 44, p. 731-752.
- Fleischmann, M.; Bloemhof-Fuwaard, J.M.; Dekker, R.; Van der Laan, E.; Van Nunen, J.A. E. E.; Van Wassenhove L.N. Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review. *European Journal of Operational Research*. 1997, vol. 103, p. 1-17.
- Fleischmann, M.; Krikke, H.R.; Dekker, R.; Flapper, S.D.P. A Characterisation of Logistics Networks for Product Recovery. *The International Journal of Management Science*. 2000, vol. 28, p. 653-666.
- Fleischmann, M.; Beullens, P.; Bloemhof-Fuwaard, J.M.; Wassenhove, L.N. The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design. *Production and Operations Management*. 2001, vol. 10, no 2, p. 156-173.
- Fleischmann, M.; Kuik, R.; Dekker, R. Controlling Inventories with Stochastic item Returns: A Basic Model. *European Journal of Operational Research*. 2002, vol. 138, p. 63-75.

- Goldsby, T.J.; Closs, D.J. Using Activity Based Costing to Reengineer the Reverse Logistics Channel. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 2000, vol. 30, no 6, p. 500-514.
- Govindan, K.; Palaniappan, M., Zhu Q.; Kannan, D. Analysis of Third Party Reverse Logistics Provider Using Interpretive Structural Modelling. *International Journal of Production Economics*. 2012, vol. 140, no. 1, p. 204-211.
- Guide, V. D. R.; Van Wassenhove L. N. *Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains*. Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2003.
- Guide, J.R.; Jayaraman, V.; Srivastava, R.; Benton, W.C. Supply Chain Management for Recoverable Manufacturing Systems. *Interfaces*. 2000, no 30, p. 125-142.
- Guiltinan, J.; Nwokoye, N. Reverse Channels for Recycling: An Analysis for Alternatives and Public Policy Implications. En *American Marketing Association Proceedings*. 1974, vol. 36, p. 341-346.
- Hawks, K. VP Supply Chain Practice, Navesink. *Reverse Logistics Magazine*, Winter/Spring 2006.
- IPPA International Publishers Association. Annual Report 2015-2016.
- Jim Wu, Yen-Chun; Wei-Ping Cheng. Reverse Logistics in the Publishing Industry: China, Hong Kong, and Taiwan. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2006, vol. 36, no 7, p. 507–523.
- Jahre, M. *Logistic Systems for Recycling – Efficient Collection of Household Waste*. Ph. D. Thesis, Chalmers university of Technology, Goterborg, Sweden. 1995.
- Jayaraman, V.; Guide, Jr V.D.R.; Srivastava, R.A. A Closed Loop Logistics Model for Remanufacturing. *Journal of the Operational Research Society*. 1999, vol. 50, p. 497 – 508.
- Jayaraman, V.; Patterson, R.A.; Rolland, E. The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures. *European Journal of Operational Research*. 2003, vol. 150, p. 128–149.
- Johnson, M.R.; Wang, M.H. Planning Product Disassembly for Material Recovery Opportunities. *International Journal of Production Research*. 1995, vol. 33, no 11, p. 3119-3142.

- Ko, H.J.; Evans, G.W. A Genetic Algorithm-based Heuristic for the Dynamic Integrated Forward/Reverse Logistics Network for 3PLs. *Computers & Operations Research*. 2007.
- Kokkinaki, A. I.; Dekker R.; Lee, R; Pappis C.P. Integrating a Web-based System with Business Processes in Closed Loop Supply Chains. *Econometric Institute EI 2001-31*, Erasmus University Rotterdam, 2001.
- Koster, R.B.M.; Vendel, M.; de Brito, M.P. How to Organise Return Handling: An Exploratory Study with Nine Retailer Warehouses. *ERIM report series Research in Management*. 2001.
- Krikke, H.R.; Van Harten, A; Schuur, P.C. On a Medium Term Product Recovery and Disposal Strategy for Durable Assembly Products. *International Journal of Production Research*. 1998, vol. 36, no 1, p. 111-140.
- Krikke, H.R.; Van Harten, A; Schuur, P.C. Business Case OCE: Reverse Logistic Network Re-design for Copiers. *OR-Spektrum*. 1999^a, vol. 21, no 3, p. 381-409.
- Krikke H.; Van Harten A.; Schuur P. Business Case ROTEB: Recovery Strategies for Monitors. *Computers and Industrial Engineering*. 1999^b. vol. 364, pp. 739–757.
- Kroon, L.; Vrijens, G. Returnable Containers: An Example of Reverse Logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1995, Vol. 25, no 2, p. 56-68.
- Lieckens, K.; Vandaele, N. Reverse Logistics Network Design with Stochastic Lead Times. *Computers & Operations Research*. 2007, vol. 34, p. 395–416.
- Listes, O.; Dekker, R. A Stochastic Approach to a Case Study for Product Recovery Network Design. *European Journal of Operational Research*. 2005, vol. 160, p. 268–287.
- Louwers, D.; Kip, B. J.; Peters, E.; Souren, F.; Flapper, SWP. A Facility Location Allocation Model for Reusing Carpet Material. *Computers & Industrial Engineering*. 1999, vol. 36, no 4, p. 855-869.
- Mabini, M.C.; Pintelon, L.M.; Gelders, L.F.; EOQ Type Formulations for Controlling Repairable Inventories. *International Journal of Production Economics*. 1992, vol. 28, p. 21-33.

- Meyer H. Many happy returns. *The Journal of Business Strategy*. 1999, vol. 20, no 4, p. 27-31.
- Mihi-Ramírez, A.; Arias-Aranda, D.; García-Morales, V. J. La Gestión de la Logística Inversa en las Empresas Españolas. *Hacia las Prácticas de Excelencia. Universia Business Review*. 2012, no 33, p. 70-82.
- Min, H.; Ko, H. J. The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network from the Perspective of Third-Party Logistics Service Providers. *International Journal of Production Economics*. 2008, vol. 113, p. 176–192.
- Min, H.; Ko, H.J.; Ko, C.S. A Genetic Algorithm Approach to Developing the Multi-Echelon Reverse Logistics Network for Product Returns. *The International Journal of Management Science*. 2006, vol. 34, p. 56-39.
- Ministerio de Fomento. Estructura de Costes del Transporte por Carretera de Mercancías. Resumen Ejecutivo. 2008.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deportes. El Sector del Libro en España (2012-2014). 2014^b.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deportes. El Sector del Libro en España (2013-2015). 2015.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Cuenta Satélite de la Cultura en España. Base 2010. Avance de resultados 2010-2014. Estimación provisional para los años 2010 a 2014. 2016^a.
- Mitra, S. Inventory Management in a Two-Echelon Closed-Loop Supply Chain with Correlated Demands and Returns. *Computers & Industrial Engineering*. 2012, vol. 62, p. 870–879.
- Murphy, P. R.; Poist, R. F. Management of Logistical Retromovements: An Empirical Analysis of Literature Suggestions. *Journal of the Transportation Research Forum*. 1989, vol. 29, no. 1, p. 177-184.
- Penev, K.D.; De Ron, A.J. Determination of a Disassembly Strategy. *International Journal of Production Research*. 1996, vol. 34, no 2, 495-506.
- Pohlen, T. L.; Farris, T. Reverse Logistics in Plastics Recycling. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 1992, vol. 22, no. 7, p. 35-47.

- Ponce-Cueto, E.; Molenat-Muelas, M. Integrating Forward and Reverse Logistics Network for Commercial Goods Management. An Integer Linear Programming Model Proposal. *International Journal of Production Management and Engineering*. 2015, vol. 3, no 1, p. 25-32.
- Porter, M. E.; van der Linde, C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, 1995. Vol. 9, no. 4, pp. 97-118.
- Rajagopal, P.; Kaliani Sundram, V.P.; Naidu, B.M. Future Directions of Reverse Logistics in Gaining Competitive Advantages: A Review of Literature. *International Journal of Supply Chain Management*. 2015, vol. 4, no. 1, p. 39-48.
- Raimer, G. In reverse. *Materials Management and Distribution*. 1997, vol. 12, no 3, p. 12-13.
- Ravi, V.; Shankar, R. Analysis of Interactions Among the Barriers of Reverse Logistics. *Technological Forecasting and Social Change*. 2005, vol. 72, no. 8, p. 1011-1029.
- Realff, M.; Ammons, J.; Newton, D. Strategic Design of Reverse Production Systems. *Computers and Chemical Engineering*. 2000, vol. 24, no 2, p. 991-6.
- Realff, M. J.; Ammons, J. C.; Newton, D. J. Robust Reverse Production System Design for Carpet Recycling, *IIE Transactions*, 2004.
- Reyes de León, V.; Zavala, D.; Gálvez, J. A Review of Reverse Logistics Process and Its Relation with Green Logistics. *Revista Ingeniería Industrial*, 2008. Año 7, N° 2., ISSN 0717-9103.
- Richardson, H.L. Logistics in Reverse. *Industry Week/IW*. 2001, vol. 250, no 6, p. 37-39.
- Richter, K. The EOQ Repair and Waste Disposal Model with Variable Setup Numbers. *European Journal of Operational Research*. 1996^a, vol. 95, p. 313-324.
- Richter, K. The extended EOQ Repair and Waste Disposal Model. *International Journal of Production Economics*. 1996^b, vol. 45, no 1, p. 443-448.
- Rogers, D.S.; Tibben-Lembke, R.S. Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. *Reverse Logistics Executive Council*. 1998.
- Rogers, D.S.; Tibben-Lembke, R.S. An Examination of Reverse Logistics Practices. *Journal of Business Logistics*. 2001, vol. 22, no 2, p. 129-148.

- Rogers, D.S.; Tibben-Lembke, R.S. Differences between Forward and Reverse Logistics in a Retail Environment. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2002, vol. 7, no. 5, pp. 271-82.
- Rojas, A.; Salazar, S.; Sepúlveda, A.; Sepúlveda, C.; Santelices, M. Residuos Sólidos Domiciliarios: Logística, una Herramienta Moderna para Afrontar este Antiguo Problema. *Revista Ingeniería Industrial*, 2006. ISSN-e 0718-8307, no. 1, pp. 77-87.
- Rubio-Lacoba, S. El Sistema de Logística Inversa en la Empresa: Análisis y Aplicaciones. Tesis Docotoral. Departamento De Economía Aplicada Y Organización De Empresas. Universidad De Extremadura. 2003.
- Saez-Torrecilla, A. (1997). "Los Sistemas de Costes Convencionales y el Método ABC: Análisis Comparativo." *Revista de contabilidad*, nº0, pp: 167-183.
- Schrady, D.A. A Deterministic Inventory Model for Repairable items. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1967, vol. 13, no 3, p. 391-398.
- Soto-Zuluaga, J.P. Reverse Logistics: Model and Applications. Tesis Doctoral. Department of economics and business Graduate program in economics, management and finance. Universitat Pompeu Fabra. 2005.
- Spengler, T; Puckert, H.; Penkuhn, T. Rentz, O; Environmental Integrated Production and Recycling Management. *European Journal of Operational Research*. 1997, vol. 97., p. 308-326.
- Srivastava, S.K. Green Supply Chain Management: A State of the Art Literature Review. *The International Journal of Management Review*. 2007, vol. 9, no 1, p. 53-80.
- Srivastava, S.K. Network Design for Reverse Logistics. *The International Journal of Management Science*. 2008, vol. 36, p. 535-548.
- Stock, J. R. Reverse Logistics. Council of Logistics Management, Oak Brook, 1992.
- Teunter, R. H. Economic Ordering Quantities for Recoverable ítem Inventory Systems. *Naval Research Logistics*. 2001, vol. 48, no 6, p. 484-495.
- Teunter, R. H. Lot-sizing for Inventory Systems with Product Recovery. *Computers & Industrial Engineering*. 2004, vol. 46, no 3, p. 431-441.

- Teunter, R.H.; Vlachos, D. On the Necessity of a Disposal Option for Returned Items that Can Be remanufactured. *International Journal of Production Economics*. 2002, vol. 75, no 3, p. 257-266.
- Van der Laan, E.; Dekker, R.; Salomon, M.; Ridder, A. An (s,Q) Inventory Model with Remanufacturing and Disposal. *International Journal of Production Economics*. 1996, vol. 46, p. 339.-350.
- Wu, H.; Dunn, S.C. Environmentally Responsible Logistics Systems. *International Journal of Physical Distribution & Logistics*. 1995, vol. 25, no 2, p. 20-38.
- Xcelsius. SAP Crystal Dashboard Design. 2016.
- Zhou, Y.; Wang, S. Generic Model of Reverse Logistics Network Design. *Journal of Transportation Systems, Engineering and Information Technology*. 2008, vol. 8, no 3, p. 71–78.
- Zerhouni H.; Gayon J.P.; Frein Y. Influence of Dependency between Demands and Returns in a Reverse Logistics System. *Internacional Journal of Production Economics*. 2010, vol. 143, no 1, p. 62-71.
- Zhou, X.; Zhou, Y. Designing a Multi-echelon Reverse Logistics Operation and Network: A Case Study of Office Paper in Beijing. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015, vol. 100, p. 58–69.