

Beneficios de utilizar modelos ad-hoc de gestión de inventarios en presencia de flujos de retorno

Benefits of using ad-hoc inventory management models in the presence of return flows

Juan Pedro Sepúlveda Rojas^{1}, Felipe Baesler Abufarde², Domingo Antonio Núñez Morales³*

¹Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Alonso de Ribera 2850, Lomas de San Andrés. Concepción, Chile.

²Facultad de Ingeniería. Universidad del Desarrollo. Avenida Plaza 680, San Carlos de Apoquindo. Las Condes. Santiago de Chile. Chile

³Facultad de Ingeniería. Universidad de Talca. Camino Los Niches Km Uno. Curicó. Chile

(Recibido el 01 de diciembre de 2009. Aceptado el 17 de abril de 2010)

Resumen

En este trabajo se analiza el impacto de la logística reversa en los modelos de gestión de inventarios a través del análisis de las implicancias y extensiones de algunos modelos estudiados en la literatura. A través de experimentación con modelos de inventario determinísticos encontramos que en gran parte de los escenarios estudiados, los costos de utilizar modelos clásicos de gestión de inventarios son superiores a modelos que toman en cuenta los flujos de retorno. Solo en casos muy particulares en donde el costo de mantención de stocks en el taller de reparables era muy elevado, se observaba la conveniencia del uso de los modelos tradicionales en detrimento de los que consideran flujos de retorno. Se puede observar además que no existen comparaciones cuantitativas entre una gestión tradicional de inventarios y una que considere los flujos de retorno.

----- *Palabras clave:* logística inversa, teoría de inventarios, coordinación

Abstract

In this work we analyze the impact of reverse logistics in inventory management models through the analysis of implications and extensions

* Autor de correspondencia: teléfono: + 56 + 41 + 273 53 01, fax: + 56 + 41 + 273 53 00, correo electrónico: juanpedro.sepulveda@gmail.com. (J. Sepúlveda)

of some literature models. Through experimentation with deterministic inventory models we found that in most cases, the traditional inventory management costs are higher than the models considering return flows. Only in few cases, mainly when the recoverable inventory holding cost was very high in relation to the serviceable inventory holding cost, the benefits of ad-hoc models was negligible. We also observe that there is no quantitative comparison in the literature between a traditional inventory management and one which considers return flows.

----- **Keywords:** Reverse logistics, inventory management, coordination

Introducción

En los últimos decenios hemos visto un interés creciente, acompañada de una legítima inquietud, por el impacto de las actividades económicas en los recursos naturales. Las legislaciones, cada vez más exigentes, también han obligado a las empresas a preocuparse de sus productos al final de su vida útil (automóviles, teléfonos móviles, fotocopiadoras, etc.). Además de estas restricciones, las empresas también deben gestionar los flujos de retorno de productos con garantía, defectuosos, no conformes con los requerimientos del cliente, en exceso en los puntos de venta, etc. Estos flujos están en fuerte crecimiento debido también al aumento de las compras en Internet y representan un impacto importante en el funcionamiento de las empresas.

Es totalmente posible de re-crear valor a partir de productos retornados a través de operaciones de remanufactura (dejar los productos retornados como “nuevos”), de la reutilización de ciertos componentes para la fabricación de productos nuevos, del reciclaje de materiales, etc. [1] estima que la producción de productos remanufacturados cuesta entre un 40% y un 60% más barata que aquella de productos totalmente nuevos. En la referencia [2] se afirma que la reducción de costos de producción gracias a la reutilización de componentes y de materiales es de un 40% a un 65%. Eastman Kodak Company recibe de sus puntos de venta las cámaras fotográficas retornadas por los clientes. En promedio, 76% de los componentes de las cámaras fotográficas son reutilizados en la fabricación de una nueva cámara [2].

Este impacto económico necesita fuertemente una adecuada gestión de los flujos de retorno.

Sin embargo, estos flujos son muy aleatorios, en calidad y cantidad, incertidumbres que vuelven mucho más compleja su gestión. Por tanto, debido a los beneficios potenciales de los flujos de retorno y a la aleatoriedad de estos es que en este artículo presentamos las ventajas de utilizar modelos de gestión de inventarios que tomen en consideración estos flujos versus aquellos modelos que no lo consideran.

Materiales y métodos

Logística inversa – problemática científica

En la literatura existen muchas definiciones de “logística inversa”. Una de las definiciones más utilizadas está basada en la definición de logística hecha por el Council of Logistics Management [3]. Ellos definen la logística reversa como “El proceso de planificar, implementar y controlar en forma eficiente y costo efectiva el flujo de materias primas, inventarios de productos en proceso, productos terminados y la información relacionada, desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de recapturar valor o desecharlo adecuadamente”.

Según Fleischmann *et al.* [4], los diferentes modelos cuantitativos propuestos en el área de la logística inversa pueden ser clasificados en modelos de planificación de distribución, modelos de gestión de inventarios y modelos de planificación de la producción. En este trabajo nos vamos a focalizar en los modelos de gestión de inventarios. El tener mecanismos adecuados de control y gestión de los inventarios es fundamental para integrar correctamente los flujos de retorno de productos en desuso en la

planificación de producción de la empresa. Si los productos en desuso son retornados al productor de origen, esto le da otra fuente de recursos para la fabricación de nuevos productos. [4] propone un marco general para analizar la gestión de inventarios en este ámbito, (figura 1).

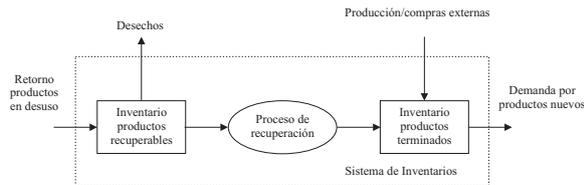


Figura 1 Marco para la gestión de inventarios con retornos

El productor satisface la demanda por productos nuevos. Nos ponemos en el caso donde el productor recibe productos en desuso del mercado. Tiene 2 alternativas para satisfacer la demanda. Ordenar los insumos a un proveedor externo y fabricar los nuevos productos, o reparar los productos en desuso recibidos para dejarlos en las mismas condiciones de productos nuevos. El objetivo de la gestión de inventarios es controlar las órdenes por insumos a proveedores externos y el control del proceso de recuperación de productos en desuso, con el fin de garantizar un adecuado nivel de servicio mientras se minimizan costos fijos y variables.

El marco presentado en la figura 1 difiere de la gestión de inventarios tradicional en los siguientes aspectos. El nivel de inventario de productos terminados entre 2 sucesivas órdenes (de producción o compras) no es necesariamente decreciente como en el caso tradicional, incluso podría aumentar debido al retorno de productos de los consumidores hacia el productor. Las dos alternativas para satisfacer la demanda imponen un conjunto adicional de decisiones que deben ser tomadas. Órdenes externas y recuperación de productos en desuso deben estar coordinadas. Esto es equivalente a suponer la existencia de 2 proveedores para la empresa, con la propiedad que uno de ellos no puede ser completamente controlado.

Revisión de la literatura

En un sistema con flujos de retorno (Figura 2) se tiene por una parte una fuente de productos nuevos («proveedor») los cuales se almacenan en un «almacén final». El proveedor hace llegar sus productos a este almacén (tras un tiempo de retraso T_p desde el momento que se hizo el pedido) en lotes de tamaño Q_p , y desde aquí se sirven los productos a los clientes, los cuales lo demandan según una tasa D . Esta es la parte que se corresponde con el análisis clásico de inventarios en el que hay un único sentido en el flujo. Al introducir el sentido inverso, el cliente reenvía una fracción $r \times D$ (siendo la tasa $0 < r < 1$) del material adquirido de vuelta a la empresa para su reutilización. La restante cantidad $(1 - r) \times D$ no retorna al sistema. La cantidad retornada pasa a mantenerse en un segundo almacén («reparables») desde donde, en lotes de tamaño Q_r , se envía a la sección donde se limpia y repara, llegando tras un tiempo T_r al almacén final en que estos productos se hacen indistinguibles de los originales enviados por el proveedor. Por lo tanto se tiene en este sistema dos almacenes y el objetivo será determinar los lotes que hacen mínimos los costos de posesión y pedido para ambos almacenes.

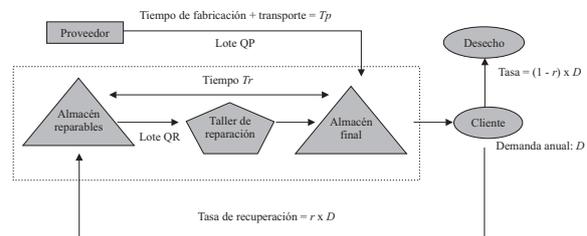


Figura 2 Esquema de los distintos flujos de material cuando hay retornos de productos

Para dar solución a este tipo de problemas no basta con los modelos tradicionales de inventario sino que se requieren modelos de gestión que consideren flujos de retorno.

Modelos determinísticos que consideren flujo de retorno de material

El primer trabajo sobre gestión de inventarios en el que se considera de manera explícita la

existencia de un flujo de retorno es el trabajo de [5] en el que se formula un modelo determinista para la gestión de un inventario de productos susceptibles de reparación o productos reparables. El objetivo de este modelo es encontrar lotes óptimos de pedido al proveedor externo y al proceso de recuperación (similar al modelo EOQ, Economic Order Quantity). Para ello [5] distingue entre dos posibles modos de actuación: el sistema continuo y el de sustitución. En el primero de ellos (Figura 3) cada vez que el nivel en el almacén de reparables alcanza un nivel Q_r , se envía un lote al almacén final. Debido a que el ritmo de llegada de retornos es menor que la demanda ($r \times D < D$), solo se evitan los quiebres de stock si periódicamente se reciben productos nuevos, los cuales se renuevan antes que el nivel de inventario se agote. Por lo tanto, este modelo considera que no existen rupturas de stocks y supone capacidad infinita del proveedor externo y del proceso de recuperación. El objetivo de este modelo es encontrar los lotes óptimos de pedido al proveedor externo y al proceso de recuperación.

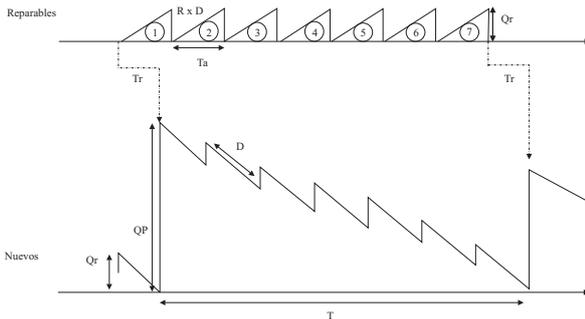


Figura 3 Niveles de inventario en el modelo continuo de [5], sistema (1,7)

Por el contrario, los sistemas de sustitución (Figura 4) basan en lo posible el suministro al almacén final en las existencias de reparables. Sólo cuando se agota el stock de reparables se hace que llegue un pedido del proveedor.

Teunter [6] demuestra que cuando los costos de mantención de una unidad en el almacén final son mayores que los costos de mantención de una unidad en el almacén de reparables es más conveniente trabajar con sistemas de sustitución

que continuos, producto que estos últimos son más caros (estos sistemas privilegian los pedidos del proveedor, los cuales son almacenados en el almacén final).

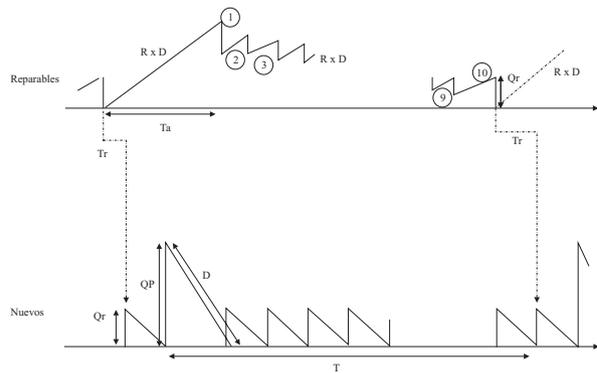


Figura 4 Niveles de inventario en el modelo de sustitución de [5], sistema (1,10)

Mabini *et al.* [7] presentan dos sustituciones que amplían el modelo básico [5]: en el primero se aborda la misma situación que Schrady, pero aceptando que se produzcan rupturas de stock en el almacén final, que son atendidas cuando llegan nuevos lotes de pedidos, en la segunda situación, suponen que el taller de reparación tiene una capacidad máxima y atiende no sólo un artículo reparable sino varios.

Teunter [6] también generaliza el trabajo de Schrady [5] introduciendo otra forma de gestionar las políticas de inventario. Aparte del modelo en el cual por cada pedido recibido del proveedor se lanzan R lotes en el taller de reparables (sistema (1, R)), expuesto ya por Kleber *et al.* [8] y He *et al.* [9] agrega el modelo en el cual se lanzan un número P de pedidos al proveedor por cada lote procesado en el taller de reparación (sistema (P, 1)). El sistema (P, 1) tiene al almacén de reparables como un deposito auxiliar. Los clientes son abastecidos básicamente por lo recibido del proveedor, y sólo cuando hay una cantidad Q_r en el almacén de reparables, se consumen los reparables y no se piden productos nuevos. Teunter [6] entonces, considera un modelo con llegada paulatina de productos provenientes del proceso de recuperación a un ritmo de P

unidades/año. Este modelo es una extensión del modelo EPQ (Economic Production Quantity) a flujos inversos. Se supone que el proceso de recuperación tiene una capacidad limitada.

Modelos estocásticos que consideren flujo de retorno de material

En el contexto de los modelos de inventarios estocásticos se puede señalar a Kleber *et al.* [8] que analizan un modelo de inventario con flujo de retorno en el que determinan políticas óptimas de fabricación, refabricación y eliminación a través de un problema de optimización dinámica. Otro estudio relacionado con el tema es el que hicieron He *et al.* [9] al estudiar diferentes políticas de decisión en un sistema de fabricación obteniendo la política óptima de aprovisionamiento y comparándola con las obtenidas a través de procedimientos heurísticos. Rubio [10] realiza un análisis de un sistema de gestión de inventario, de naturaleza dinámica, a través de la simulación de modelos que contengan procesos de recuperación.

De acuerdo a nuestro conocimiento, se puede observar en la literatura sobre los modelos de inventarios en el dominio de la logística inversa, que no existen comparaciones cuantitativas entre una gestión tradicional de inventarios y una que considere los flujos de retorno. Por otra parte, la mayoría de los modelos propuestos son para un producto de un componente. Naturalmente, en la práctica existen muchas situaciones en las que el producto está estructurado de varios componentes, por lo tanto la extensión a estos casos es bastante natural y deseable a través de la utilización de modelos de inventario multiescalón.

Metodología de análisis

Para mostrar el valor de considerar modelos de inventario ad-hocs en presencia de flujos inversos, vamos a comparar los costos totales de uno de los modelos más básicos [5], el sistema (1, R) de sustitución (Figura 4), con dos versiones modificadas del modelo EOQ, propuestas por nosotros, que no toman en consideración estos flujos de retorno (que llamaremos modelos

forward alternativa 1 y forward alternativa 2) para la determinación de los tamaños de lote que minimizan el costo total. Cabe destacar que los modelos forward aquí propuestos corresponden a soluciones heurísticas o intuitivas que, a nuestro juicio, cualquier tomador de decisiones podría tomar.

A continuación se presenta el modelo de sustitución (1, R) de Schradly (ver ecuaciones del número 1 al número 7). Mayores detalles sobre el desarrollo de este modelo se encuentran en Díaz *et al.* [11]. Recordemos que los sistemas de sustitución basan en lo posible el suministro al almacén final en las existencias de reparables. Solo cuando se agota el stock de reparables se hace que llegue un pedido del proveedor. Los costos en los que se incurre en este modelo y los tamaños de lote son:

Costo anual de pedido al proveedor

$$= \frac{C_{LP}(1 - r)D}{Q_P} \tag{1}$$

Costo anual de pedido al taller de reparación

$$= \frac{C_{LR}rD}{Q_R} \tag{2}$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén final

$$= \frac{C_{hP}r}{2} \left[Q_R + \frac{(1 - r)Q_P}{r} \right] \tag{3}$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén de reparables

$$= \frac{C_{hR}r}{2} [Q_P + Q_R] \tag{4}$$

$$Q_P = \sqrt{\frac{2C_{LP}(1 - r)D}{C_{hP}(1 - r) + C_{hR}r}} \tag{5}$$

$$Q_R = \sqrt{\frac{2C_{LR}D}{C_{hP} + C_{hR}}} \tag{6}$$

El costo total es la suma de los costos de pedir (al proveedor y al taller de reparación) y los costos de mantenimiento (en el almacén de reparables y

el almacén final). Este modelo de Schrady no considera costos de ruptura de stock.

Costo total anual

$$= \frac{C_{LP}(1-r)D}{Q_p} + \frac{C_{LR}rD}{Q_R} + \frac{C_{hp}r}{2} \left[Q_R + \frac{(1-r)Q_p}{r} \right] + \frac{C_{hr}r}{2} [Q_p + Q_R] \quad (7)$$

Donde,

C_{LP} = Costo de lanzar un pedido al proveedor; C_{LR} = Costo de inicio de un lote en el taller de reparación; C_{hp} = Costo de posesión de stocks por cada unidad mantenida durante un año en el almacén final (tanto para los nuevos como los reparados ya que son considerados como indistinguibles); C_{hr} = Costo de posesión de stocks por cada unidad mantenida en el almacén de reparables; D = demanda del cliente final; r = tasa de retorno de la demanda; Q_p = Cantidad óptima de pedido al proveedor; Q_R = Cantidad óptima de pedido al taller de reparación.

A continuación se presentan las dos versiones modificadas del modelo EOQ sin consideración de flujos inversos (modelos forward alternativa 1 y forward alternativa 2).

En el modelo forward alternativa 1, el almacén final pasa una sola orden, que será satisfecha proporcionalmente por el proveedor externo y el taller de reparables, esta orden está basada en los costos ponderados de pedir y de almacenar (ver ecuación 12). Es decir, para el cálculo del tamaño de lote se considera, primero, la combinación lineal de los costos ponderados de pedir y almacenar para el cálculo de un único Q . Luego, las cantidades óptimas solicitadas al proveedor y al taller de reparación, se obtienen ponderando este único Q por la tasa de retorno que cada uno de éstos debe enfrentar. Los costos en los que se incurre y los tamaños de lote son (ver ecuaciones del número 8 al número 13):

Costo anual de pedido al proveedor

$$= \frac{C_{LP}(1-r)D}{Q_p} \quad (8)$$

Costo anual de pedido al taller de reparación

$$= \frac{C_{LR}rD}{Q_R} \quad (9)$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén final

$$= \frac{C_{hp}}{2} [Q_R + Q_p] \quad (10)$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén de reparables

$$= \frac{C_{hr}}{2} [Q_R] \quad (11)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2[C_{LP}(1-r) + C_{LR}r]D}{(C_{hp})(1-r) + C_{hr}r}} \quad (12)$$

$$Q_p = (1-r)Q ; Q_R = rQ$$

Como en el modelo anterior, el costo total corresponde a la suma de los costos de pedir y de mantención. En ninguno de los modelos forward se considera costos de ruptura de stocks (al igual que el modelo de Schrady).

Costo total anual

$$= \frac{C_{LP}(1-r)D}{Q_p} + \frac{C_{LR}rD}{Q_R} + \frac{C_{hp}}{2} [Q_R + Q_p] + \frac{C_{hr}}{2} [Q_R] \quad (13)$$

En el modelo forward alternativa 2, se supone que el almacén final lanza un pedido al proveedor externo y al taller de reparables basado en la disponibilidad de productos retornados. Si la tasa de retorno es r y la demanda del cliente final es D , entonces el almacén final pasará un pedido basado en el modelo EOQ con una demanda de $(1-r)D$ al proveedor externo (ver ecuación 17) y con una demanda de rD al taller de reparables (véase ecuación 18). Los costos de posesión de stocks y de lanzar un pedido se consideran respectivamente dependiendo de donde se realice la orden. Entonces, el cálculo de los tamaños de lote para el proveedor y el taller de reparables se calcula directamente basado en la demanda que enfrenta cada uno y en sus costos particulares de pedir y almacenar. Por lo tanto los costos y los tamaños de lote son (véase ecuaciones 14 al 20):

Costo anual de pedido al proveedor

$$= \frac{C_{LP}(1-r)D}{Q_P} \quad (14)$$

Costo anual de pedido al taller de reparación

$$= \frac{C_{LR}rD}{Q_R} \quad (15)$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén final

$$= C_{hp} \left[\frac{Q_P + Q_R}{2} \right] \quad (16)$$

Costo anual de posesión de inventario en el almacén de reparables

$$= C_{hr} \left[\frac{Q_R}{2} \right] \quad (17)$$

$$Q_P = \sqrt{\frac{2C_{LP}(1-r)D}{C_{hp}}} \quad (18)$$

$$Q_R = \sqrt{\frac{2C_{LR}rD}{C_{hr}}} \quad (19)$$

El costo total corresponde a:

Costo total anual

$$= \frac{C_{LP}(1-r)D}{Q_P} + \frac{C_{LR}rD}{Q_R} + C_{hp} \left[\frac{Q_P + Q_R}{2} \right] + C_{hr} \left[\frac{Q_R}{2} \right] \quad (20)$$

Para el modelo de Schrady y las dos alternativas del modelo forward se utilizó un set de datos específico utilizado en Díaz *et al.* [11]. Los datos son: $C_{LP} = 750$ (\$/orden); $C_{LR} = 100$ (\$/orden); $C_{hp} = 12$ (\$/unidad/año); $C_{hr} = 1$ (\$/unidad/año); $D=20900$ (unidades/año); $r=0,7$.

Finalmente se realiza el cálculo de los costos totales para cada alternativa y se compararon a través del sobre costo en el cual se incurre si se utilizan los modelos forward. Para otorgar mayor generalidad a los resultados, se realizó un análisis de sensibilidad para ver el efecto de la variación de la razón entre los costos de pasar una orden y

los de posesión de stocks sobre los sobre costos totales. También se analizó el impacto de la tasa de retorno sobre los sobre costos generados por las dos alternativas del modelo forward.

Resultados y discusión

En la figura 5 se presenta la comparación entre el modelo de Schrady y las dos alternativas del modelo forward usando como parámetro de sensibilización, la razón entre los costos de pedir para el almacén final y el taller de reparables (C_{LP}/C_{LR}). Podemos observar que para todo el rango de valores de esta razón, los modelos forward presentan costos superiores al modelo de Schrady, no disminuyendo, al menos para el rango de datos utilizados, de un sobre costo para ambos modelos de 35% aproximadamente. Podemos observar que mientras mayor sea el costo de pasar una orden al proveedor externo en comparación con el taller de reparables, los sobre costos de la alternativa 2 de los modelos forward son crecientes. En el caso de la alternativa 1 se observa que sucede exactamente lo contrario. Una de las causas es que la alternativa 1 genera tamaños de lote en el almacén de reparables comparativamente más grandes que la alternativa 2, por lo que los costos de mantenimiento de inventario (tanto en el almacén final como en el taller de reparables) son mayores. Cabe recordar que una disminución de esta razón significa que los costos de lanzar un pedido al taller de reparables son mayores que los costos de lanzar un pedido al proveedor externo, por lo que el tamaño de lote aumenta para disminuir los costos de pedir.

Por otra parte, los sobre costos obtenidos para ambos modelos forward implican que la consideración de los flujos de retorno, en este caso, se vuelve imprescindible. La alternativa 1 de los modelos Forward aparece como la de mejor desempeño cuando la razón entre los costos de pedir no es tan elevada (no superior, para este conjunto de datos, de 7,5 veces). Se observa además que los sobre costos tienden a converger a medida que el costo de pasar una orden al taller de reparables aumenta comparativamente con respecto al costo de lanzar un pedido al proveedor externo.

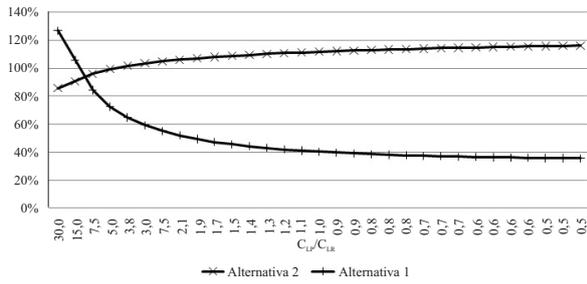


Figura 5 Sensibilidad de costos de pasar una orden en los sobrecostos de los modelos *forward* con respecto al modelo de sustitución de *Schrady*

En la figura 6 se presenta la comparación entre el modelo de Schrady y las dos alternativas del modelo *forward* usando como parámetro de sensibilización la razón entre los costos de posesión para el almacén final y el taller de reparables (C_{hp} / C_{hr}). Podemos observar que para un amplio rango de valores de estos costos de posesión de stocks, los modelos *forward* presentan costos superiores al modelo de Schrady, no disminuyendo, al menos para el rango de datos utilizados, de un sobrecosto para la alternativa 1 de un 56%. En el caso de la alternativa 2 se observa que cuando el costo de mantenimiento de stock en el almacén de reparables es superior al costo de mantenimiento en el almacén final los sobrecostos tienden a cero e incluso para valores de esta razón cercanos a cero se obtiene que la alternativa 2 tiene un mejor desempeño que el modelo de Schrady. Este resultado es interesante, denotando el hecho que a costos elevados de mantenimiento de stocks del taller de reparables conviene surtirse exclusivamente del proveedor externo. A pesar de este hecho es observable la necesidad de considerar los modelos de inventarios para flujos inversos (como el de Schrady) para un amplio rango de valores de costos de mantenimiento (excluyendo el caso de costos de mantenimiento elevados en el taller de reparación). En oposición al caso anterior, la alternativa 1 de los modelos *Forward* aparece como la de mejor desempeño para rangos altos de la razón de costos de mantenimiento, apareciendo luego la alternativa 2 como de mejor desempeño a medida que este valor disminuye.

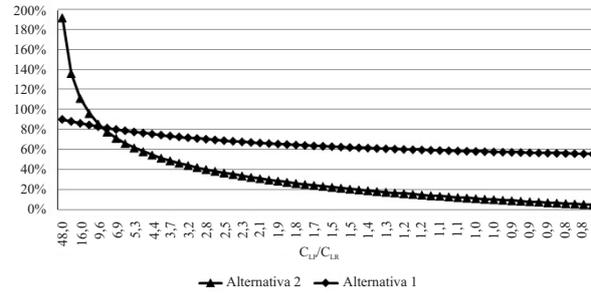


Figura 6 Sensibilidad de costos de posesión en los sobrecostos de los modelos *forward* con respecto al modelo de sustitución de *Schrady*

En la figura 7 se presenta la comparación entre el modelo de Schrady y las dos alternativas del modelo *forward* usando como parámetro de sensibilización, el porcentaje o tasa de retornos. Podemos observar que para rango de valores de tasas de retorno superiores a cero, los modelos *forward* presentan costos superiores al modelo de Schrady. Si la tasa de retorno tiende a cero los beneficios de la utilización del modelo de Schrady desaparecen, debido a que el problema se transforma al caso tradicional del modelo EOQ. Por tanto, el modelo de Schrady converge a los modelos *forward* si la tasa de retorno tiende a cero. También podemos observar que mientras mayor sea la tasa de retorno los sobrecostos de los modelos *forwards* son crecientes, resultado intuitivo dado que implica la necesidad de dar un trato adecuado a los productos en retorno por parte del cliente final. La alternativa 1 aparece también en este caso como la de mejor desempeño para tasas de retorno medianas o bajas. Para tasas de retorno cercanas al 100% la alternativa 2 de los modelos *forward* tiene un mejor desempeño.

Conclusiones

La función inversa de la logística, para poder generar de manera eficiente estas oportunidades competitivas, requiere un proceso de planificación, desarrollo y control similar al existente para la función directa de la logística. Es decir, la logística inversa presenta un carácter intrínsecamente estratégico. Durante el análisis de los diferentes

sistemas de logística inversa se ha realizado un breve repaso bibliográfico de algunos modelos diseñados para la recuperación económica de PFU, señalando elementos de incertidumbre que condicionan, de manera importante, el diseño, y control de estos sistemas. Dentro de los resultados más relevantes de este trabajo tenemos que en gran parte de los escenarios estudiados, los costos de utilizar modelos clásicos de gestión de inventarios son superiores a modelos que toman en cuenta los flujos de retorno llegando en ciertas condiciones a costos superiores en torno al 180%. Solo en casos muy particulares en donde el costo de mantención de stocks en el taller de reparables era muy elevado en relación al costo de mantención en el almacén final, se observaba la conveniencia de los modelos tradicionales en detrimento de los que consideran flujos de retorno. Sin embargo, este resultado es esperable dado que este mayor costo desincentiva el uso del taller de reparables apoyando el suministro principalmente en el proveedor externo. También si la tasa de retorno tendía a cero se encontraba una diferencia nula entre los modelos forward y el modelo de Schradly.

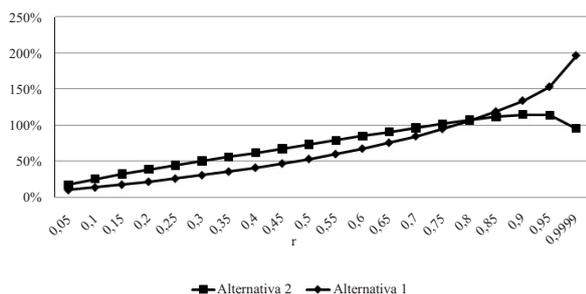


Figura 7 Sensibilidad de la tasa de retorno de productos en los sobrecostos de los modelos forward con respecto al modelo de sustitución de Schradly

El objetivo de este trabajo fue el poner en evidencia la importancia de modelos de gestión de inventarios ad-hocs para flujos de retorno. A través de un experimento simple hemos demostrado los costos adicionales de no considerar dichos modelos. Además hemos presentado algunos modelos determinísticos y estocásticos encontrados en la literatura que, a nuestro juicio, pueden seguir enriqueciendo

los análisis como el realizado en este artículo. Las perspectivas de este trabajo son entonces complejizar los modelos con flujos de retorno para poder confirmar los resultados obtenidos. Otra perspectiva es analizar la robustez de los modelos de inventario con flujos de retorno frente a la incertidumbre sobre la demanda y sobre la calidad y cantidad de los productos retornados.

Referencias

1. S. Mitra. "A Survey of Third-party Logistics (3PL) Service Providers in India". *IIMB Management Review*. Vol. 18. 2006. pp. 159-174.
2. R. C. Savaskan, S. Bhattacharya, L. N. Van Wassenhove. "Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing". *Management Science*. Vol. 50. 2004. pp. 239-252.
3. D. S. Rogers, R. S. Tibben-Lembke. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. RLEC Press. Pittsburgh (PA). 1999. pp. 275.
4. M. Fleischmann, J. Bloemhof-Ruwaard, R. Dekker, E. Van Der Laan, J. Van Nunen, L. Van Wassenhove. "Quantitative models for reverse logistics: a review". *European Journal of Operational Research*. Vol. 103. 1997. pp. 1-17.
5. D. A. Schradly. "A deterministic inventory model for repairable items". *Naval Research Logistics Quarterly*. Vol. 14. 1967. pp. 391-398.
6. R. Teunter. "Lot-sizing for inventory systems with product recovery". *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 46. 2004. pp. 431-441.
7. M. Mabini, L. Pintelon, L. Gelders. "EOQ type formulations for controlling repairable inventories". *International Journal of Production Economics*. Vol. 28. 1992. pp. 21-33.
8. R. Kleber, S. Minner, G. Kiesmüller. "A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options". *International Journal of Production Economics*. Vol. 79. 2002. pp. 121-141.
9. Q. He, E. Jewkes, J. Buzacott. "The value of information used in inventory control of a make-to-order inventory-production system". *IIE Transactions*. Vol. 34. 2002. pp. 999-1013.
10. S. Rubio. "El sistema de logística inversa en la empresa: Análisis y Aplicaciones". *Tesis de doctorado*. Departamento de economía aplicada y organización de empresas. Universidad de Extremadura. 2003. pp. 102-221.
11. A. Díaz, M. J. Álvarez, P. González. "Logística Inversa y medio ambiente". *Aspectos estratégicos y operativos*. Ed. McGraw-Hill. Madrid. 2004. pp. 253-353.