

Visión sistémica del análisis de la flexibilidad en cadenas de suministro de productos perecederos

Systemic vision of flexibility analysis on perishables supply chains

Andrés Mauricio Paredes

andres.paredes@correounivalle.edu.co

Andrés Felipe Salazar

andres.f.salazar@correounivalle.edu.co

Universidad del Valle, Buga-Colombia

.....
Fecha de recepción: Agosto 1 de 2014

Fecha de aceptación: Septiembre 27 de 2014

Palabras clave

Capacidad, Cadena de suministro, Flexibilidad de volumen, Productos perecederos.

Keywords

Capacity, Volume Flexibility, Perishable products, Supply Chain.

Resumen

La flexibilidad de las cadenas de suministro está determinada por la capacidad de respuesta en términos de volumen y variedad ante cambios en los comportamientos de los consumidores. En el presente estudio se evalúa para una cadena de suministro, una política de flexibilidad de volumen y su relación con un factor de desperdicio inherente en la distribución de un producto perecedero. Mediante Dinámica de Sistemas, se analiza la distorsión en la información de demanda dada por el tipo de producto y se evalúan las implicaciones de la decisión de flexibilidad sobre el nivel de servicio brindado al cliente final.

Abstract

The Supply Chain Flexibility is determined by the response capacity related to volume and variety due of the change in the preferences of the consumers. This study evaluates a policy for a Supply Chain about the volume flexibility and its relation with a waste factor present in a perishable product. Through Systems Dynamics the distortion in the information due to the waste factor is analyzed and evaluated, as well as the effects of the flexibility decision on the service level afforded to the final client of the supply chain.

Colciencias **1**
tipo

El presente artículo es resultado de un proceso de investigación previo al trabajo de grado del estudiante Andrés Mauricio Paredes Rodríguez realizado en marco del semillero de investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle, sede Buga.

I. Introducción

La cadena de suministros se define como la integración de distintas unidades organizativas a lo largo de una red que se unen para la coordinación de materiales, información y flujos financieros con el fin de cumplir la demanda de los clientes finales y mejorar la competitividad de las firmas como un todo (Stadtler & Kilger, 2013). En los últimos años, el entorno al cual se enfrentan las empresas está saturado de incertidumbre debido a factores como la aparición de nuevos competidores, la convergencia de las industrias de alta tecnología, el aumento de la velocidad y el costo del desarrollo tecnológico (Lloréns, Molina, & Verdú, 2005). Debido a que la red de abastecimiento de una empresa debe ser lo suficientemente flexible para responder a la dinámica de los mercados, una de las mayores preocupaciones de las empresas globales es hacer de su cadena una red adaptable (Oh, Ryu, & Jung, 2013).

Con el fin de mitigar el riesgo sobre la administración de la cadena de suministros y la dinámica inherente en los mercados, la literatura ha enfatizado sus esfuerzos en el estudio de cadenas de suministro flexibles y reconfigurables (Oh et al., 2013). La adaptación es una práctica comúnmente aceptada para sobrevivir frente a la competencia en distintos ámbitos comerciales.

La capacidad de adaptación de las redes de organizaciones integradas se conoce como flexibilidad de una cadena de suministro. Moon, Yi y Ngai (2012) proponen una medida de flexibilidad para una cadena de suministro textil en China y afirman que la flexibilidad en las cadenas de suministro representa la habilidad de las firmas para responder a cambios no anticipados en las necesidades de los clientes y en las acciones empleadas por los competidores. Así mismo los autores señalan la necesidad de que el estudio se traslade desde la flexibilidad en manufactura a la flexibilidad de toda la cadena, señala que actualmente se conocen pocos estudios relacionados con el tema y mucho menos con la forma adecuada de medirla.

Pathak, Dilts, y Biswas (2007) resaltan ciertos enfoques determinantes de la flexibilidad en la administración de una cadena de suministros que se dividen en elementos del entorno (el aprendizaje de los eslabones, la administración de la demanda, la Gerencia de proveedores) y elementos internos (el cambio de capacidad, la administración de costos, la Planeación de la producción). En el presente estudio se analiza la cadena de suministro teniendo en cuenta el cambio en la capacidad, más puntualmente en la capacidad de producción. Bajo este mismo enfoque se han presentado estudios de la planeación de la cadena y sus operaciones considerando el comportamiento dinámico de la misma. En Ivanov, Sokolov y Kaeschel (2010) se propone un marco conceptual que establece los enlaces entre el manejo de la incertidumbre, la reconfiguración de la red y la ejecución de distintas actividades necesarias para adquirir flexibilidad en la cadena.

Se ha establecido que la flexibilidad se puede ver de distintas maneras, sin embargo, para Lloréns, Molina y Verdú (2005) las más estudiadas son la flexibilidad de volumen y la flexibilidad de la mezcla de producto. De esta manera la flexibilidad de volumen en una compañía puede ser abordada desde la habilidad de aumentar o disminuir capacidad de producción y distribución. Los autores también resaltan la necesidad de que la decisión estratégica de adaptación debe ser tomada con mucha cautela. Por ejemplo en el caso de la flexibilidad en volumen debe revisarse el comportamiento de los sistemas de pronósticos implementados ya que si no se realiza un pronóstico acertado de la demanda del producto, puede ocurrir que el fabricante tenga una baja utilización de la planta y una inversión injustificada.

Karakaya y Bakal (2013) plantean el estudio de la flexibilidad de una cadena de suministros con un fabricante y un sólo detallista que ordena múltiples productos. Puntualmente evalúa la implementación de un contrato de orden flexible, que permite al detallista revisar el pedido inicial y cambiarlo sobre unos límites preestablecidos. A través de un desarrollo matemático, demuestran que el beneficio que tienen los detallistas cuando el fabricante puede adaptar los volúmenes en las órdenes es mayor cuando se presenta alta incertidumbre en relación con la demanda del consumidor.

Se debe tener en cuenta que un factor relevante a la hora de realizar un análisis de aumento de capacidad es que la adquisición de ésta implica una demora y un costo por flexibilidad (Merschmann & Thonemann, 2011), por lo tanto se debe tomar la decisión antes de que se evidencien criticidad en algunas medidas de desempeño. Es por esto que se considera adecuado el estudio desde un enfoque holístico ya que la idea de un retraso en la decisión de capacidad y su efecto en el sistema se puede simular y analizar para abordar este tipo de problemáticas en las cadenas de suministro.

Particularmente Suryani, Chou, Hartono, y Chen (2010) plantean un marco conceptual relacionado con la decisión de alterar la capacidad instalada en la producción de cemento y realizan un análisis macroeconómico de la decisión resaltando la importancia de esta materia prima para el desarrollo de una economía. Al contrario del anterior trabajo, en el presente estudio se aborda el impacto del aumento de la capacidad de producción a través de la dinámica de sistemas desde un enfoque más reducido, en este caso una cadena de suministro de productos perecederos conformada por un productor y un detallista. Por medio de la herramienta se permite visualizar claramente el flujo de información de los pedidos del detallista al fabricante, junto con sus respectivas demoras; permitiendo de esta forma establecer la estructura del sistema, con el objetivo de controlar comportamientos indeseables en la cadena de suministro como el desabastecimiento del detallista o la pérdida de confiabilidad del productor.

Existe una distinción entre la flexibilidad de una cadena de suministro y la agilidad de respuesta. Mientras la flexibilidad se asocia a la adaptabilidad y versatilidad, la agilidad está más orientada a la velocidad. Desde otro punto de vista, la agilidad mide el tiempo de reacción, mientras la flexibilidad es la capacidad de reacción (Swafford, Ghosh, & Murthy, 2008). Retomando esta idea, en el presente estudio se busca analizar

una medida de flexibilidad sobre la capacidad de producción, mientras que la agilidad se representará con un retraso para la adopción de la nueva capacidad del sistema.

Las características físicas de los ítems almacenados determinan la naturaleza de las políticas de control implementadas. El modelo de control de inventarios EOQ formulado por Harris (1913) no considera estos aspectos, con lo cual Salamch, Fakhreddine y Noueihed (1999) proponen una variación del modelo bajo ciertos supuestos que considera la administración de productos perecederos. Este tipo de productos hacen parte de la vida diaria, sin embargo la academia no ha logrado un consenso acerca de su definición (Li, Hongjie, & Mawhinney, 2010). Estos últimos autores documentaron el estudio de ítems perecederos desde la perspectiva de una única empresa y desde la visión de una cadena de suministro conformada por varias empresas. Para el estudio de este tipo de productos, los autores reconocen la importancia de factores como la demanda, la tasa de deterioro o desperdicio, los descuentos en precios entre otros. Basado en lo señalado anteriormente, para el presente trabajo se busca analizar el factor de deterioro asociado a los productos perecederos y cómo determina el comportamiento de la gestión de inventarios en toda la cadena.

Algunos estudios como Li et. al.(2010), Raafat (1991) y Goyal et. al.(2001) han logrado establecer dos tipos de productos perecederos: aquellos que tienen una vida útil fija y otros que tienen una vida útil aleatoria. En este artículo, se tendrá en cuenta que los productos que maneja la cadena de suministro tienen una vida útil fija, es decir, son elementos que pueden ser retenidos en inventario durante un periodo de tiempo, después del cual deben ser desechados.

De acuerdo con Fisher, Day, y Ryan (1997) los problemas de la cadena de suministro están asociados a los desajustes entre el tipo de cadena de abastecimiento (Demanda Pull vs Suministro Push) y el tipo de producto (innovadores o funcionales). A pesar de que la demanda de los productos perecederos (clasificados dentro del rango de productos funcionales) tiende a ser estable y predecible (Kamath & Roy, 2007) es difícil conocer si su variación se debe a un incremento real en la demanda del cliente o un aumento generado por la razón de que se debe pedir más de lo que se necesita (aspecto relacionado directamente con la merma natural que presentan los productos perecederos).

En Tako y Robinson (2012) es posible encontrar una revisión de la literatura sobre los enfoques de simulación empleados para estudiar las cadenas de suministro. Los autores afirman que la simulación de eventos discretos y la dinámica de sistemas son dos enfoques ampliamente estudiados para soportar las decisiones en cadenas de suministro y resalta el uso de la dinámica de sistemas para la evaluación de decisiones relacionadas con el flujo de información.

El análisis de la cadena de suministro se abordó a través del establecimiento de un sistema dinámico, ya que esta metodología permite conocer las interrelaciones entre las distintas actividades involucradas en su gestión, así como el traslado de la información

de los pedidos entre el detallista y el productor. El modelo consistió en un sistema de dos eslabones donde se involucró la relación entre un productor y un detallista para una cadena que distribuye un producto perecedero.

En este documento se analiza la decisión particular de incrementar la capacidad de producción en un eslabón de una cadena de suministro que distribuye productos perecederos. Dicho tipo de producto genera una complejidad mayor para la administración de la cadena, ya que deben moverse con rapidez en el mercado para evitar su deterioro, lo que impide que los vendedores puedan almacenar estos productos, esperando condiciones favorables del mercado (Rong, Akkerman, & Grunow, 2011). Por otro lado como se evidenciará más adelante, el hecho de que los productos tengan una vida útil corta causa un efecto negativo sobre la información de demanda, ya que los detallistas perciben que deben pedir una mayor cantidad de producto perecedero de lo que realmente necesitan.

El documento se desarrolla de la siguiente manera: en la sección 2 se describe la metodología con la que se abordó el problema objeto de estudio, en la sección 3 se realiza una explicación del modelo utilizado para simular el sistema; en la sección 4 se presentarán los resultados más relevantes y se terminará en la sección 5 exponiendo las conclusiones más representativas

II. Metodología

La Dinámica de Sistemas fue concebida por Forrester (1961) en el *Massachusetts Institute of Technology* [MIT] como una herramienta para el estudio, modelación y simulación de sistemas socio-económicos complejos. Desde entonces la dinámica de sistemas ha aportado al análisis de políticas gerenciales y a solución de problemas en la industria –Ver: Forrester (1961); Senge (2006); Suryani, Chou, Hartono y Chen (2010)–.

De manera particular se pueden encontrar algunos estudios relacionados con el uso de dinámica de sistemas en ambientes de distribución de productos perecederos. Georgiadis, Vlachos e Iakovou (2005) emplean la dinámica de sistemas para evaluar la capacidad de distribución en una cadena de alimentos en Grecia que opera por sistema de franquicias, de este estudio se retoma el análisis de la decisión de ampliación de capacidad, no por tiempo de distribución, sino por medida de faltantes. En Kumar y Nigmatullin (2011) se encuentra un estudio de una cadena de suministros alimenticios sin embargo, no estudia el aspecto perecedero de los productos, sino la influencia en las decisiones de diseño de la cadena bajo un marco de competencia monopolística. Para este estudio se considerará un ambiente donde la demanda es un factor externo enmarcado en la libre competencia. Como otro antecedente del uso de la metodología propia de la Dinámica de Sistemas, Para Minegishi y Thiel (2000) la herramienta es útil al analizar un sector específico de producción alimenticia de pollos y pavos, haciendo especial énfasis sobre los tiempos de distribución necesarios en la cadena y cómo las actividades de planeación correspondientes deben alinearse para enfrentar los ciclos de demanda de estos productos.

Para el presente estudio se utilizaron algunos aportes documentados por Kamath y Roy (2007) sobre las interacciones que se crean en una cadena de suministro de un detallista y un fabricante, sin embargo, en el trabajo referenciado se analizan productos de ciclo de vida corta en el sector tecnológico, que se caracterizan por un incremento en su demanda de manera exponencial durante un corto periodo de tiempo y que disminuye en la medida de que entra al mercado un producto sustituto por ventaja técnica para el consumidor. De esta manera se toma distancia en el presente documento al analizar el comportamiento de la cadena con un producto perecedero con demanda aleatoria perpetua o uniforme. Además se involucra en el análisis los factores de desperdicio del producto despachado por el productor en el transporte y en el almacenamiento.

Para el adecuado uso de la Dinámica de sistemas, el proceso metodológico plantea la construcción de un diagrama que relaciona las principales variables, y su influencia sobre las demás, dicho diagrama se conoce como diagrama causal. Para este trabajo el diagrama causal es construido a partir de referenciación en la literatura de estudios de cadenas de suministro y por proposición misma de los autores. Uno de los aportes de la construcción de este tipo de diagramas, es la identificación de comportamientos que dirigen el estado del sistema hacia el equilibrio (bucle de compensación) o que por el contrario tienden a un crecimiento o disminución exponencial (bucle de refuerzo). En la Figura 1 se ha resaltado con una balanza en bucle de compensación identificado por los autores.

En el diagrama causal se observa la interacción entre un productor, un detallista y el cliente final de una cadena de suministro. El productor comienza con una capacidad inicial, la cual afecta directamente la producción de éste y a su vez la cantidad de

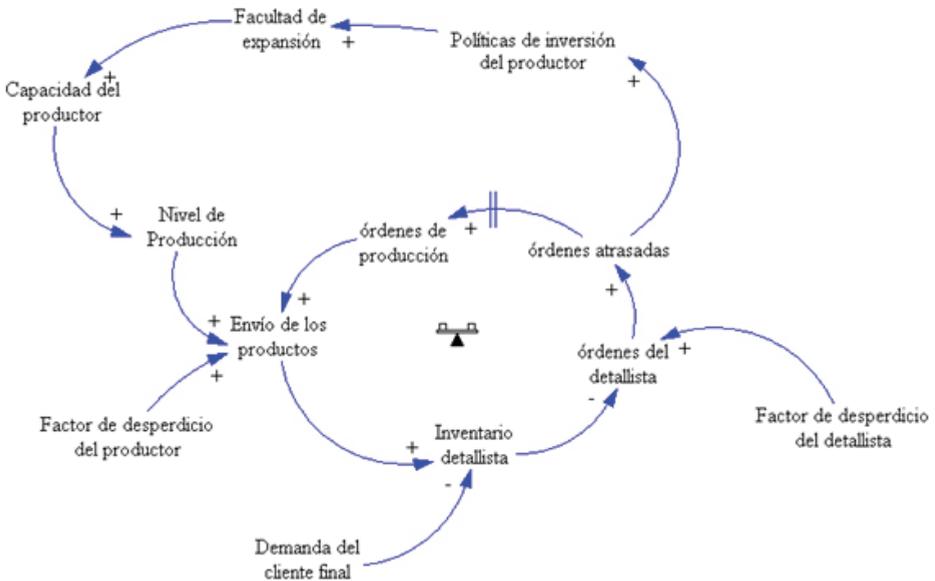


Figura 1. Diagrama causal cadena de suministro

productos que puede enviar; es necesario definir que la cantidad de productos que despacha el productor no es la misma que llega al inventario de detallista debido a que existe un factor de desperdicio asociado al transporte de este tipo de productos. La demanda del cliente final afecta directamente al inventario del detallista, ya que al presentarse valores de demanda elevados es necesario acumular un nivel alto de inventario para responder satisfactoriamente a las necesidades del cliente, sin embargo, ésta puede ser una medida muy arriesgada porque existe un factor de desperdicio asociado a mantener por un tiempo prolongado, productos que tienen una vida útil corta como lo son los perecederos.

A medida que se comienza a agotar el inventario que el detallista tiene disponible, este se verá en la necesidad de emitir órdenes al productor; pero este debe tener en cuenta que debido a la merma natural que presentan los productos perecederos se debe pedir más de lo que se necesita, para lograr satisfacer el requisito del cliente, a pesar de que una proporción del pedido se degrada y pierde en el recorrido. Al incrementar el tamaño y la frecuencia de los pedidos, se ocasiona un embotellamiento de las órdenes y comienzan pedidos a retrasarse ya que el productor puede que no tenga la suficiente capacidad para cumplir con la cantidad de productos que solicita el detallista; por este motivo se debe establecer una política de inversión, la cual debe generar un incremento en la capacidad del productor cuando el *backorder* supere un porcentaje determinado de la demanda del cliente final. Con el incremento en la capacidad del productor lo que se busca es lograr mejorar el nivel de servicio al cliente mediante una cadena de suministro flexible.

Uno de los elementos de especial interés en este trabajo es la característica perecedera del producto que se distribuye y señalada en el diagrama causal como dos variables externas al sistema, el factor de desperdicio del detallista (asociado al almacenamiento del producto) y el factor de desperdicio del productor (asociado al transporte y su tiempo de entrega o *Lead Time*). En cuanto al análisis de esta tasa de desperdicio, en la revisión realizada por Li et al. (2010) se determina que hay algunos documentos de investigación de productos perecederos que la consideran constante – Padmanabhan y Vrat (1995); Bhunia y Maiti (1999)– y otros representan esta tasa como una función dependiente del tiempo, con cierta distribución aleatoria –Nita.H. Shah (1993), Sicilia, González, Febles, y Alcaide (2014)–. Para el caso de estudio realizado en el presente trabajo se considerará el análisis con los dos tipos de factores señalados constantes.

III. Descripción del modelo

A partir del diagrama causal construido y de las variables resaltadas en él, se propone un diagrama de Forrester de la cadena de suministros incluyendo algunos elementos necesarios para la simulación del sistema. En la Figura 2 se presenta el diagrama de Forrester estructurado mediante el programa VENSIM PLE, en él se ven evidenciados varios aspectos: El productor abastece un producto el cual es un flujo de entrada para su inventario, cabe aclarar que esta producción dependerá de la capacidad inicial que el

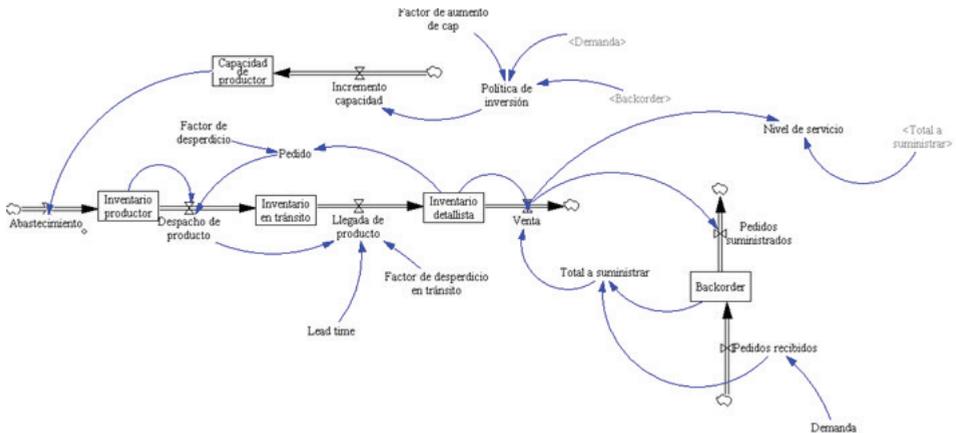


Figura 2. Diagrama de Forrester cadena de suministro.

productor tenga; el flujo de salida del inventario del productor está constituido por el despacho de productos que este hace hacia el detallista; como esta cantidad de producto no llega inmediatamente a su destino, se debe manejar un inventario en tránsito, cuya salida representará las unidades que llegan a suplir el inventario del detallista. Debido al factor de desperdicio en el transporte las cantidades recibidas son menores a las que envió el productor

Debido a que existe una gran posibilidad de incumplir con la demanda del cliente por la degradación de los productos a través de toda la cadena de suministro, algunas órdenes son retrasadas (suponiendo que el cliente está dispuesto a esperar), lo que constituye el llamado *Backorder*. El indicador que medirá la eficiencia de la cadena de suministro será el nivel de servicio que representa la probabilidad esperada de no llegar a una situación de falta de existencias.

Frente al estudio de cadenas de suministro de ítems perecederos que consideran el análisis de pedidos pendientes, se puede ver los trabajos desarrollados por Salamch, Fakhreddine y Noueihed (1999), y Wu, Ouyang, y Yang (2006). Por otro lado, Li et al., (2010) afirman que ante una tasa alta de desperdicio de los productos, los faltantes normalmente son asumidos para evitar el costo por deterioro en el almacén, lo importante entonces es la gestión que se debe hacer ante la insatisfacción de los clientes.

El modelo comprende los siguientes elementos y supuestos:

- » una cadena de suministros de dos eslabones, un detallista y un productor que atienden la demanda diaria del consumidor final;
- » la demanda del producto se considera aleatoria con patrón perpetuo o uniforme;
- » se distribuye un único producto;
- » los tiempos de entrega se suponen constantes entre el productor y el detallista;
- » la atención al cliente es inmediata en el caso de contar con inventario;

- » se consideran factores de desperdicio en el almacén del detallista y en el transporte desde el productor a las instalaciones del detallista;
- » se miden los pedidos pendientes del cliente final;
- » se establece una política de incremento de capacidad en función de la cantidad de *backorder* asumido por el detallista; y
- » se simula un periodo de treinta días.

Para consulta adicional, las ecuaciones utilizadas en el modelo con objeto de simulación se encuentran en el apéndice A.

IV. Resultados

En la Figura 3 se puede observar que en algunos periodos simulados el total de unidades a suministrar representados por la línea roja es mayor que los pedidos entregados, lo que significa que existen órdenes atrasadas y por lo tanto se está incumpliendo con los requisitos del cliente. Sin embargo para otros periodos de tiempo se logra suplir por completo la demanda del cliente, debido a que el productor ha tomado la decisión de aumentar su capacidad.

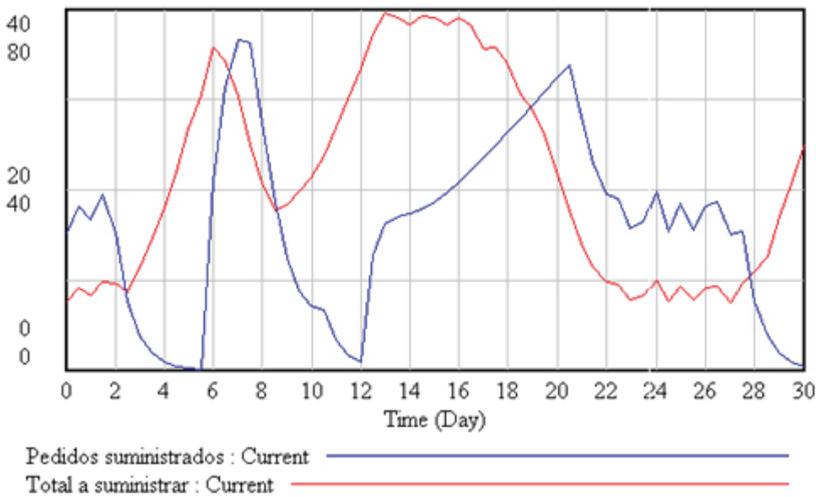


Figura 3. Pedidos suministrados vs. Total a suministrar

En la Figura 4 se puede notar que en los momentos en que hay un nivel elevado de *backorder* representados con la línea azul, los inventarios tanto del productor como el del detallista son cercanos a cero. A medida que el productor adquiere capacidad de producción, comienza a cumplir con los pedidos que necesita el detallista para reducir las órdenes atrasadas y generar un nivel de servicio del 100%. En los días 24 al 28 del mes no existen unidades en *backorder*, por lo cual el detallista no ve la necesidad de emitir pedidos al productor debido a que puede responder a la demanda del cliente con los productos que tiene en inventario, lo que a su vez provoca que el inventario

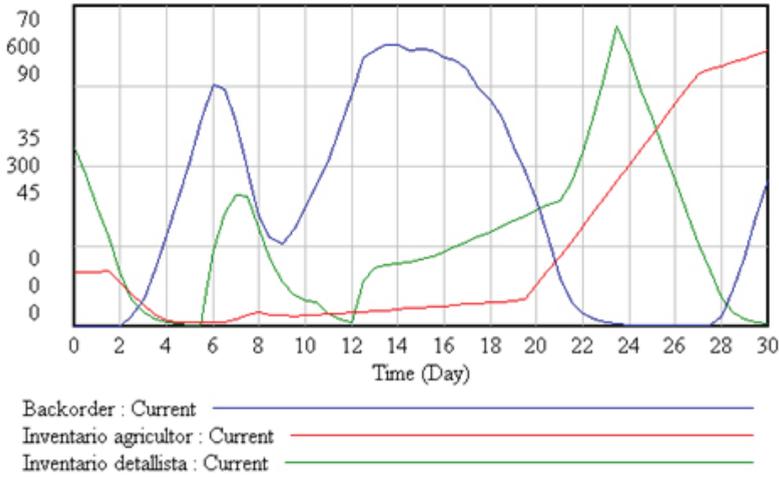


Figura 4. Comportamiento de los niveles de inventario productor y detallista frente al backorder.

del productor comience a crecer hasta que el inventario del detallista se desabastezca, comiencen a generarse órdenes atrasadas y por ende el productor utilice su inventario para cumplir con los requerimientos del detallista.

La Figura 5 exhibe la forma en que el nivel de servicio del detallista es del 100% cuando su venta logra cumplir con las unidades que el cliente ha demandado y con los pedidos pendientes, si es que se tienen; por el contrario cuando las unidades a suministrar están por encima de las ventas, esto refleja un nivel de servicio bajo, debido a que se están retrasando las órdenes porque no está llegando los productos que necesita el detallista para suplir sus necesidades. De la Figura 6 se puede distinguir

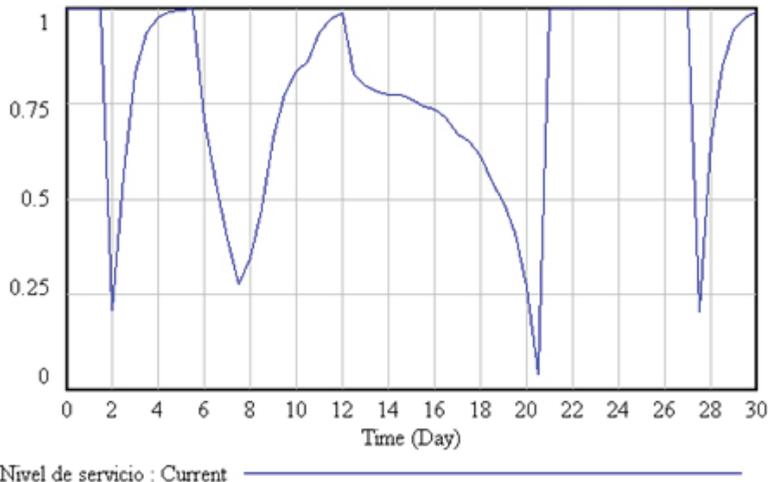


Figura 5. Comportamiento del nivel de servicio medido en fracción

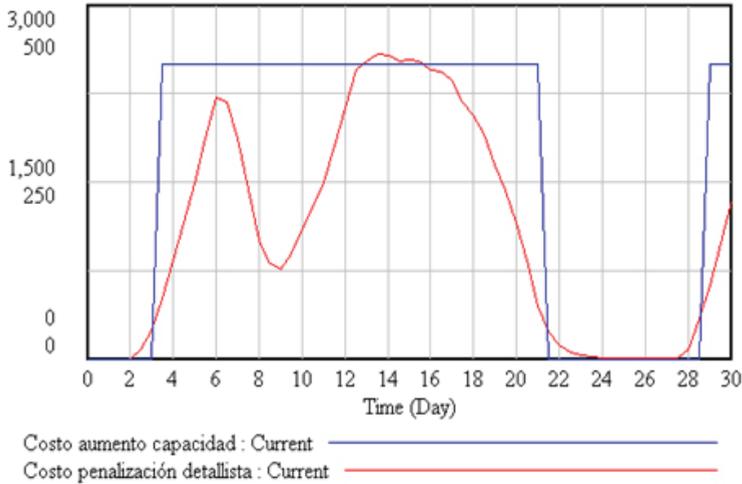


Figura 6. Comparación del costo del aumento de la capacidad frente al costo por penalización

de qué manera el detallista al presentar costos elevados de penalización por retraso en la entrega de los productos, obliga a que el productor incurra en un costo de aumento de capacidad para que logre entregarle la mayor cantidad de productos en el pedido y de esta forma, disminuir el *backorder* y el costo generado por hacer esperar un lapso de tiempo al cliente.

V. Análisis de sensibilidad

Se llevaron a cabo dos análisis: primero se realizó un estudio de la variación independiente del factor de desperdicio que se genera en el almacenamiento del detallista y el factor de aumento de capacidad, que establece qué proporción de la demanda debe cumplir las unidades en *backorder* para generar un aumento de capacidad por parte del productor, luego se efectuó un análisis conjunto del parámetro tiempo de entrega (*lead time*) y el factor de desperdicio en el transporte, por último se ejecutó una variación simultánea en ambos factores de desperdicio para ver su impacto en los costos de almacenamiento de inventario y la penalización generada por incumplimiento de la demanda.

En la Figura 7 se muestra el tamaño de pedido del detallista, producto de la variación consecutiva en un 5% del factor de desperdicio inicial en el almacenamiento (10%). Se puede evidenciar que las unidades solicitadas por éste son cada vez mayores, sin embargo los momentos en que realiza los pedidos es siempre el mismo ya que la tasa de demanda no ha cambiado. En la Figura 8 se puede notar la forma en que el nivel de servicio decrece en el mismo lapso de tiempo en que el inventario del detallista (Figura 9) se hace mayor, esto se debe a que en este intervalo de tiempo (días 6 al 10) el detallista no supe al 100% los pedidos que debe suministrar al cliente y por ende su inventario sufre un ligero incremento (de 2 a 3 unidades). Por otro lado se modificó el factor de aumento de capacidad inicial (50%) mediante incrementos consecutivos del

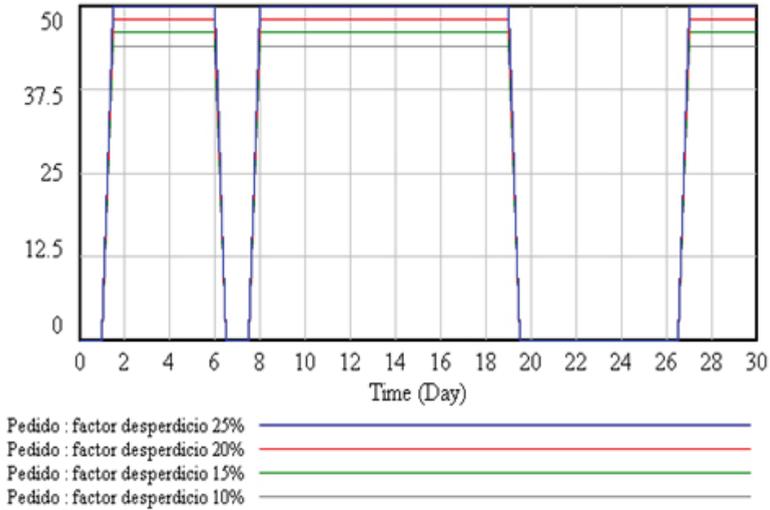


Figura 7. Resultados de escenarios de factor de desperdicio en la variable pedido

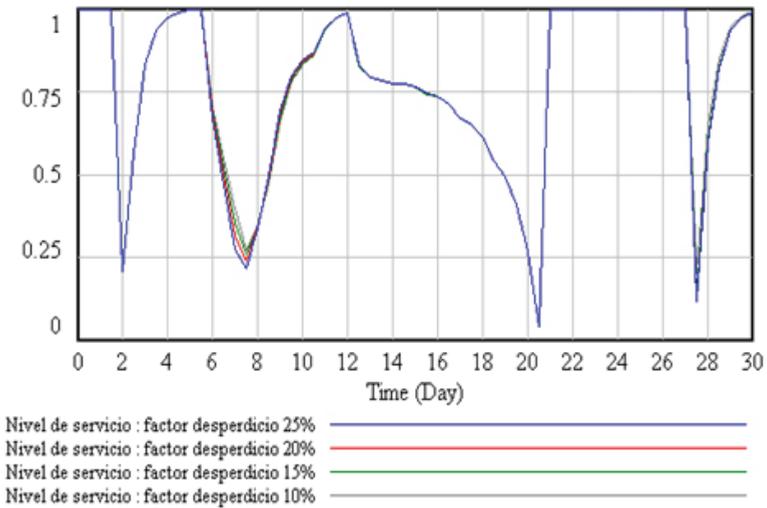


Figura 8. Comparación del nivel de servicio frente a distintos factores de desperdicio en almacenamiento

50%; la Figura 10 exhibe como al tener un factor de aumento más grande, el productor incrementa su capacidad con menos frecuencia, ya que la política establece que en cada escenario se necesite que el *backorder* alcance una mayor proporción frente a las unidades que se deben suministrar al cliente; esto a su vez genera que los lotes emitidos por el detallista se realicen con mayor periodicidad.

Hasta el día 1, el detallista no realiza pedido porque está supliendo sus necesidades con el inventario que tenía disponible, entonces el productor comienza a acumular inventario. A mediados del día 1, el detallista lanza un pedido al productor (más grande

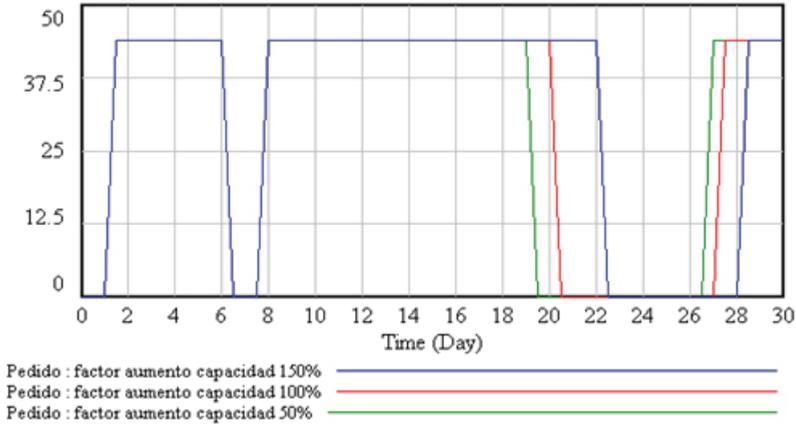


Figura 9. Comportamiento del inventario de detallista frente a los factores de desperdicio.

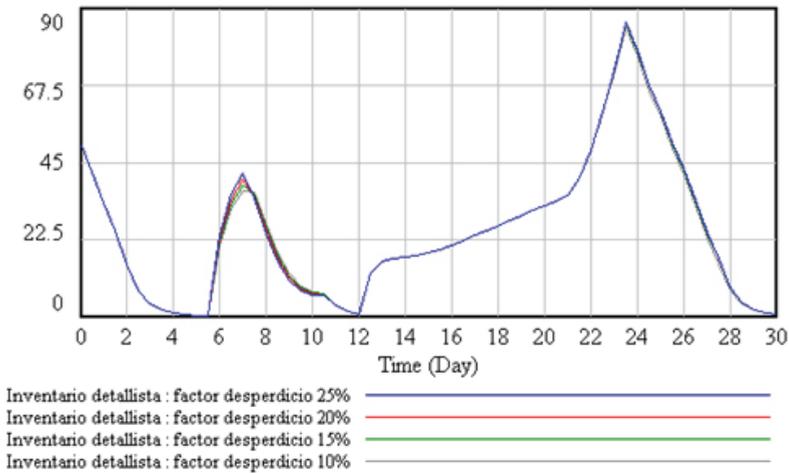


Figura 10. Comportamiento de los pedidos frente al aumento de factor de capacidad.

entre mayor sea el factor de desperdicio) lo que ocasiona que el inventario de este último se consuma rápidamente y en el día 3, los productos que comienza a despachar son en menor proporción que el lote emitido por el detallista, debido a la falta de capacidad que en ese momento tiene el productor. Debido a este acontecimiento, el productor comienza a notar que su producción no está acumulando el suficiente inventario para responder a los requerimientos del detallista, con lo que los pedidos pendientes de este último comienzan a crecer, y por ende el productor se ve en la necesidad de aumentar su capacidad, pero esta solo se ve evidenciada en el abastecimiento del día 4 debido a la demora inherente que tiene el proceso de incremento de capacidad. Al aumentar la producción, el productor va a poder responder en mayor proporción a las necesidades que exige el detallista. Sin embargo, como el detallista comienza a pedir frecuentemente, debido a que las unidades a suministrar son cada vez mayores, no deja que el productor

consolide un lote completo de envío de unidades hasta el día 27, cuando su capacidad se ha incrementado diariamente desde el día 3 hasta el día 21; como el detallista comienza a recibir lo que realmente necesita en los últimos días, logra suplir con las exigencias del cliente y de esta forma tener un nivel de servicio cercano al 100%.

Debido a que el detallista no siente el impacto del factor de desperdicio hasta el día 4, cuando el inventario inicial, que tenía disponible para responder a sus clientes, se agota. Los pedidos emitidos por el detallista, en los días 6 y 7, comienzan a ser cada vez más grandes conforme el factor de desperdicio es mayor y por este motivo el productor se ve en la necesidad de aumentar su capacidad en el día 4 para poder responder a estos requerimientos del detallista. Aunque el productor puede entregarle más unidades al detallista, este no logra suplir en un 100% la demanda exhibida por sus clientes, lo que provoca que comiencen a crecer las unidades en *backorder* y a su vez las unidades que el detallista debe suministrar al cliente.

En los días 8 al 11, las ventas comienzan a disminuir ya que el productor no entrega unidades al detallista y por ende este no puede vender a sus clientes y ocasiona que el total a suministrar a estos se incremente aproximadamente en un 25% a medida que pasan los días, debido a la acumulación de pedidos pendientes. En el día 12, como consecuencia de un aumento de capacidad diario del productor desde el día 4, el tamaño del lote de pedido no afecta en una mayor cuantía al inventario del detallista, ya que cada vez llegan más unidades con lo que se logra satisfacer aproximadamente un 95% de las ventas del detallista y por ende las unidades en *backorder* sufren una disminución aproximada del 5%.

La Figura 11 determina el comportamiento de los niveles de inventario en el detallista frente al aumento de capacidad del productor. Debido a que el pedido en unidades del detallista considera la cantidad de *backorder*, el tener un incremento de

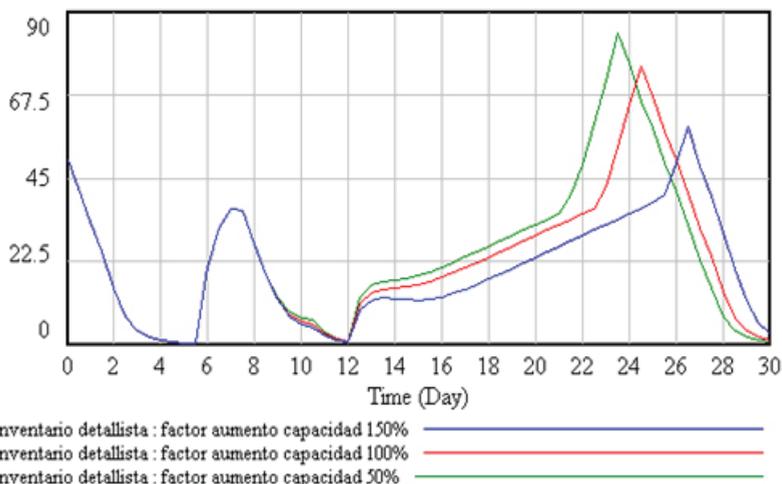


Figura 11. Inventario del detallista frente a un cambio en el factor de aumento de capacidad

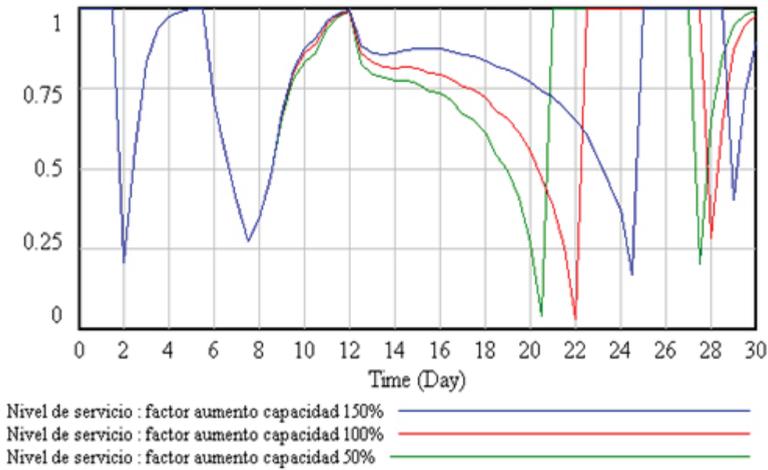


Figura 12. Nivel de servicio frente a un aumento del factor de capacidad

capacidad del productor mejora la respuesta global de la cadena, se puede cumplir con mayor precisión la demanda, con lo cual no se presentarán *backorders* ni posteriores incrementos de pedido que a su vez generan mayor nivel de inventario.

La Figura 12 confirma el anterior análisis, mantener menor nivel de inventario con mejor respuesta del proveedor determina que los niveles de servicio sean cercanos al 100%, de hecho, se mantiene un mejor nivel de servicio frente a incrementos menores de la capacidad dado por los otros escenarios.

Cuando el límite permitido de *backorder* es del 50%, el productor aumenta su capacidad con mayor frecuencia, debido a que la proporción de *backorder* que se permite es más baja. Al aumentar la capacidad con periodicidad, el detallista logra acumular suficiente inventario para responder a las necesidades del cliente y por ende a mediados del día 19, el lote de pedido emitido es igual a cero, y solo se vuelve a realizar una orden cuando ve su inventario disminuido (día 27). A medida que el factor se comienza a incrementar en un 50%, el productor se demora más en adquirir la capacidad necesaria para suplir los requisitos del detallista, y por ende el tiempo en que el detallista no realiza pedidos se va extendiendo: si el factor es del 100%, el detallista deja de pedir a mediados del día 20 y si el factor es del 150%, el detallista no emite pedidos solo hasta a mediados del día 22. Cabe aclarar que como el día en que el detallista deja de hacer pedidos se extiende, así lo hace también el día en que los pedidos vuelven a ser emitidos; sin embargo, entre menor sea el factor de aumento de capacidad, mayor será el número de días que el detallista no realiza órdenes al productor.

Con un límite de *backorder* del 50%, el productor aumenta su capacidad de manera temprana, lo que ocasiona que en un momento determinado (a partir del día 9) se tengan mayores niveles de inventario del detallista respecto a factores más grandes (del 100% y 150% respectivamente). Al tener niveles de inventario altos, el detallista puede responder por un lapso más prolongado a la demanda del cliente final, con lo que se

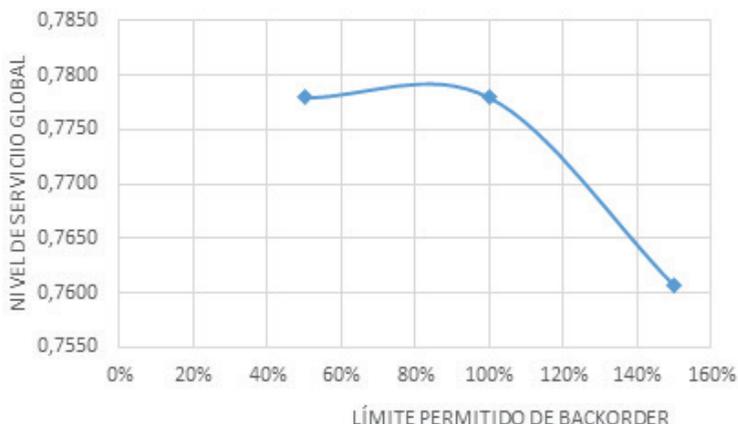


Figura 13. Nivel de servicio global frente al límite permitido de *backorder*.

tendrá un nivel de servicio del 100% por un tiempo más extenso que si por el contrario se tienen factores de capacidad de una proporción más grande, ya que un valor alto de estos factores genera una reacción lenta de la capacidad del productor respecto al *backorder* que va acumulando el detallista.

En la Figura 13 se puede observar como un límite de *backorder* más pequeño (50%) genera un nivel de servicio global más alto (77,79%). Sin embargo no existe un cambio considerable en el nivel de servicio al tener un límite de *backorder* del 50%, 100% o 150%. Por este motivo se le recomienda al productor tener una política en donde se aumente su capacidad cuando el *backorder* alcance el 100% de la demanda, ya que de esta forma no se ve en la necesidad de estar asumiendo un costo por el frecuente aumento de la capacidad y a su vez está obteniendo un nivel de servicio global aceptable (77,79%).

La Figura 14 exhibe el comportamiento del nivel de servicio respecto al costo que conlleva obtener dicho nivel de servicio. Primero se puede notar que un nivel de servicio del 100% es una meta utópica debido a que en la realidad es prácticamente imposible por la aleatoriedad presente en la demanda de los clientes. Además se puede observar que existe un momento en que una respectiva inversión puede generar una mejora significativa en el nivel de servicio, evidenciado en el hecho de que el cambio en la variable costo es menor que el cambio en el nivel de servicio. En el momento en que el nivel de servicio varíe en una menor proporción que el costo, entonces se puede decir que la inversión que se está realizando no vale la pena.

En la Figura 15 se puede notar que al ser mayor el factor de desperdicio y el lead time, las unidades que envía el productor al detallista, sufren un deterioro considerable en el transporte y por ende el inventario del detallista no se logra abastecer lo suficiente para responder a la demanda del cliente final, originando un aumento en las unidades que se tiene en *backorder*. Al tener una respuesta hacia el cliente tan lenta, el nivel de servicio alcanza niveles críticos (aproximadamente el 20%)

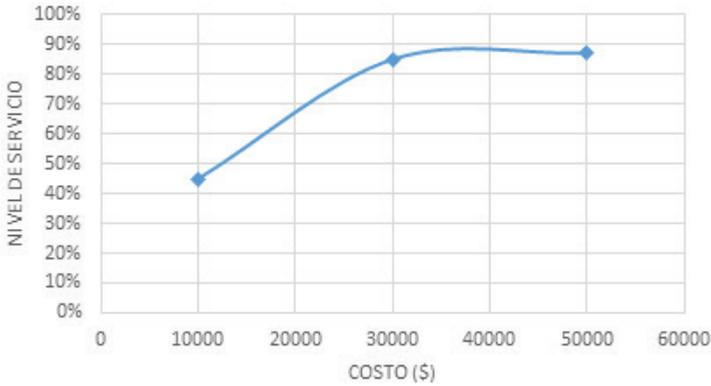


Figura 14. Comportamiento del nivel de servicio frente al costo de inversión en capacidad adicional.

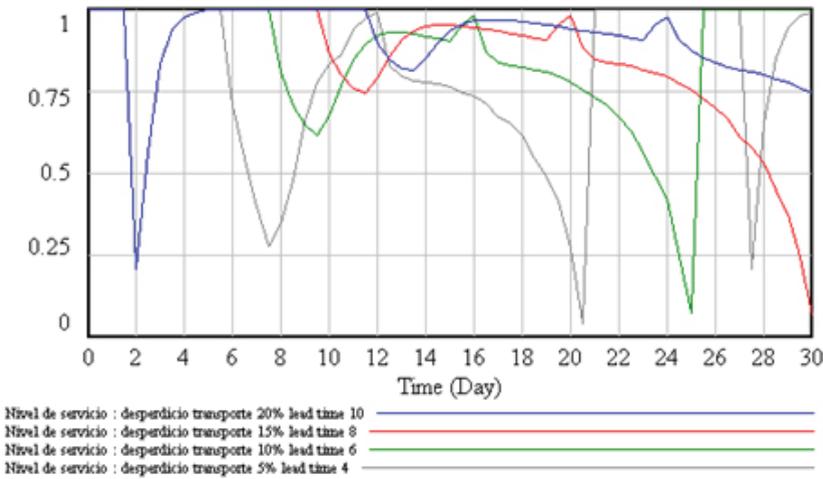


Figura 15. Comportamiento del nivel de servicio frente a un cambio simultáneo en factor de desperdicio en el transporte y el *lead time*

.....

Cuando el detallista lanza su primer pedido en el día 1, este es producido por el productor y enviado, sin embargo, entre mayor sea el factor de desperdicio y el lead time, el pedido llegará más retrasado y en menor proporción. Por ejemplo, cuando el lead time es 4, el pedido llega aproximadamente el día 5, con lo que el detallista logra abastecer su inventario y responder sustancialmente a la demanda evidenciada por sus clientes, mientras que si el lead time es 10, el pedido llega en el día 11, donde ya se ha acumulado un nivel de *backorder* alto y por ende se ha tenido un nivel de servicio bajo.

La Figura 16 muestra de que manera el costo de penalización del detallista por no atender la demanda, aumenta a medida que los factores de desperdicio, tanto en el almacén como en el transporte, se hacen mayores; esto se debe a que al recibir menos unidades de parte del productor, el detallista incumple constantemente con la demanda

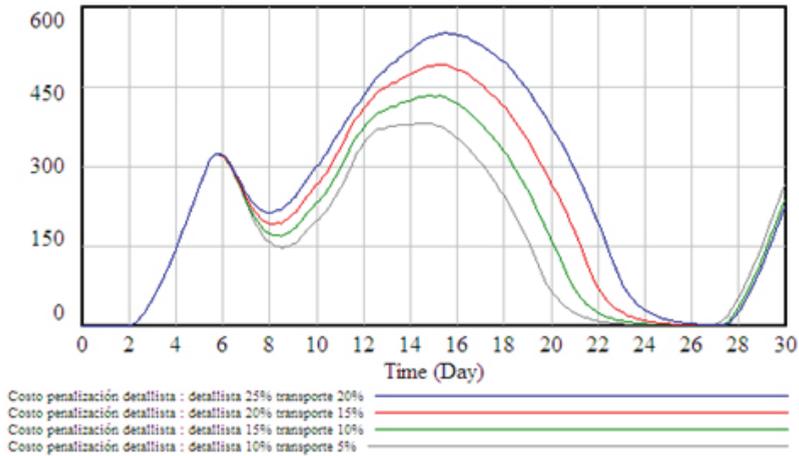


Figura 16. Comportamiento en el costo de penalización del detallista frente a un cambio paralelo en el factor de desperdicio, tanto en el almacenamiento como en el transporte.

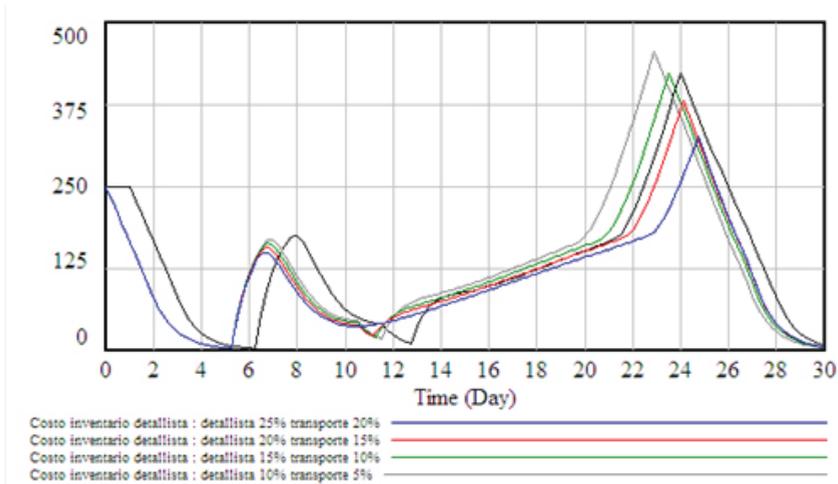


Figura 17. Costo de inventario detallista frente a un cambio en el factor de desperdicio, tanto en el almacenamiento como en el transporte

del cliente y por ende tiene que asumir un costo para que el consumidor esté dispuesto a esperar. La Figura 17 exhibe la forma en que el costo de mantener inventario se reduce a medida que los factores de desperdicio se incrementan, ya que el detallista recibe un lote por debajo del que realmente emitió.

A partir del día 7, que es donde comienza a llegar el primer pedido realizado por el detallista, entre mayor sea el desperdicio tanto en el almacenamiento como en el transporte, el inventario del detallista se suplirá en una menor cantidad, lo que provoca que no se pueda responder en un 100% a los requerimientos del cliente, se comiencen a acumular unidades en *backorder*, y con esto el costo de penalización de detallista por demanda no servida se hace mayor.

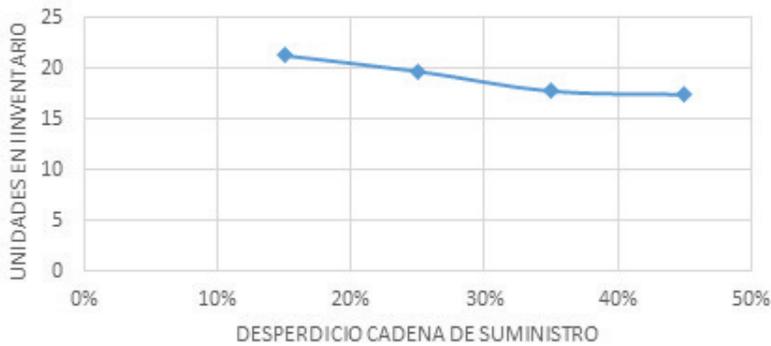


Figura 18. Unidades en inventario del detallista frente al desperdicio de la cadena de suministro

La Figura 18 muestra como el inventario del detallista logra picos más altos de unidades entre menor sea el factor de desperdicio generado en toda la cadena de suministro (suma entre el desperdicio en el transporte y en el almacenamiento).

Gosling, Purvis y Naim (2010) determinan que la medición de flexibilidad en la cadena de suministro es un elemento relevante para la selección de proveedores y los acuerdos comerciales que puede tener un detallista con ellos. Desde los resultados encontrados en el análisis de la cadena estudiada, el detallista puede evaluar la conveniencia del proveedor no solo por su flexibilidad en términos de volumen de distribución sino en la tasa de desperdicio asociado al producto que distribuye. En otras palabras, el análisis de flexibilidad permite evaluar la capacidad de respuesta de la cadena como un todo y determinar los posibles cambios estructurales necesarios para atender las necesidades cambiantes de los consumidores.

Este estudio se considera una aproximación preliminar al análisis de la distribución de productos perecederos en cadenas de suministro, en concordancia con la literatura expuesta, aún se vislumbran muchos elementos de estudio y aporte alrededor de este tema. Como trabajo futuro se plantea la evaluación de múltiples productos, así como múltiples proveedores, diferentes patrones de demanda, la evaluación de diferentes medidas de flexibilidad como la denominada *mix* de producto, así como la evaluación de políticas de control de inventarios flexibles, entre otros.

Conclusiones

- » Se ha encontrado que las decisiones de flexibilidad deben considerar no sólo el comportamiento de la demanda sino el tipo de producto que se distribuye, las características perecederas de un producto influyen sobre los pedidos y la capacidad necesaria para atenderlos. Se concibe la aparición de un efecto látigo por la consideración de factores de desperdicio que generan pedidos más frecuentes y de mayor volumen al proveedor y los eslabones anteriores a él.

- » Otro aspecto que influencia la gestión de inventarios del detallista debe es el factor de desperdicio asociado al proceso de distribución. En conjunto se resalta la influencia negativa sobre el control del inventario ya que dichos factores de desperdicio distorsionan la información de demanda del cliente final para todas las firmas integradas en una cadena de suministro.
- » Se puede plantear que existe un retraso entre la decisión gerencial de incremento de la capacidad del proveedor y el efecto positivo que pueda tener en los niveles de servicio al cliente final. Para el caso puntual del estudio se encontró que el beneficio se empieza a manifestar después de 2 semanas de operación.
- » En el desarrollo del trabajo se planteó la necesidad de estudiar el efecto del tiempo de entrega del proveedor sobre el desempeño de la cadena, encontrando que para los escenarios en que se altera tanto el lead time como los factores de desperdicio los niveles de servicio presentan una disminución más crítica en los contextos de capacidad limitada, con lo cual nuevamente se evidencia la importancia de la flexibilidad de volumen como decisión estructural de una cadena de suministro.
- » La Dinámica de Sistemas se considera relevante como insumo gerencial para analizar los impactos que tienen las decisiones de política, como lo fue en este caso el incremento de capacidad frente a un determinado nivel de pedidos pendientes. Es posible evaluar otras políticas así como el flujo de información entre los participantes de la cadena, con lo cual se establece un rango amplio de estudio sobre la flexibilidad aún sin explorar, y que a su vez es soportado por la misma revisión bibliográfica realizada en este trabajo, que señala la falta de estudios en este tema.⁵⁷

Apéndice A. Ecuaciones del modelo

-
- (01) $Backorder = INTEG(\text{Pedidos recibidos} - \text{Pedidos suministrados}, 0)$
 - (02) $Capacidad\ de\ productor = INTEG(\text{Incremento capacidad}, 10)$
 - (03) $Abastece = Capacidad\ de\ productor / 8$
 - (04) $Costo\ aumento\ capacidad = Costo\ unitario\ de\ aumento\ capacidad * Incremento\ capacidad$
 - (05) $Costo\ de\ incumplimiento\ unitario = 10$
 - (06) $Costo\ de\ incumplimiento\ unitario\ detallista = 7$
 - (07) $Costo\ de\ pedido = Costo\ por\ unidad\ pedida * Pedido$
 - (08) $Costo\ inventario\ productor = Costo\ unitario\ mantener\ inventario\ productor * Inventario\ productor$
 - (09) $Costo\ inventario\ detallista = Costo\ unitario\ mantener\ inventario\ detallista * Inventario\ detallista$
 - (10) $Costo\ penalización\ detallista = Costo\ de\ incumplimiento\ unitario\ detallista * incumplimiento\ del\ detallista$
 - (11) $Costo\ penalización\ productor = Costo\ de\ incumplimiento\ unitario * Incumplimiento\ del\ productor$
 - (12) $Costo\ por\ unidad\ pedida = 2$
 - (13) $Costo\ transporte = Costo\ unitario\ transporte * Despacho\ de\ producto$

- (14) Costo unitario de aumento capacidad = 100
 (15) Costo unitario mantener inventario productor = 3
 (16) Costo unitario mantener inventario detallista = 5
 (17) Costo unitario transporte = 4
 (18) Demanda = RANDOM NORMAL(15, 20, 17, 6, 0)
 (19) Despacho de producto = min(Pedido, Inventario productor)
 (20) Factor de aumento de cap = 0.5
 (21) Factor de desperdicio = 0.1
 (22) Factor de desperdicio en tránsito = 0.05
 (23) FINAL TIME = 30 The final time for the simulation.
 (24) Incremento capacidad = Política de inversión
 (25) incumplimiento del detallista = IF THEN ELSE(*Backorder*>0, *Backorder*, 0)
 (26) Incumplimiento del productor = IF THEN ELSE(Llegada de producto<Pedido, Pedido-Llegada de producto, 0)
 (27) INITIAL TIME = 0 The initial time for the simulation.
 (28) Inventario productor = INTEG (Abastece-Despacho de producto, 100)
 (29) Inventario detallista = INTEG (Llegada de producto-Venta, 50)
 (30) Inventario en tránsito = INTEG (Despacho de producto-Llegada de producto, 0)
 (31) Lead time = 4
 (32) Llegada de producto = DELAY FIXED(Despacho de producto*(1-Factor de desperdicio en tránsito), Lead time, Despacho de producto)
 (33) Nivel de servicio = IF THEN ELSE(1-(Venta/Total a suministrar)<=0, 1, 1-(Venta/Total a suministrar))
 (34) Pedido = IF THEN ELSE(Inventario detallista<=30, 40*(1+Factor de desperdicio), 0)
 (35) Pedidos recibidos = Demanda
 (36) Pedidos suministrados = Venta
 (37) Política de inversión = IF THEN ELSE(*Backorder*>(Factor de aumento de cap*Demanda), 25, 0)
 (38) SAVEPER = TIME STEP
 (39) TIME STEP = 0.5 The time step for the simulation.
 (40) Total a suministrar = *Backorder* + Pedidos recibidos
 (41) Venta = min(Inventario detallista, Total a suministrar)

Referencias bibliográficas

- Bhunja, a. K., & Maiti, M. (1999). An inventory model of deteriorating items with lot-size dependent replenishment cost and a linear trend in demand. *Applied Mathematical Modelling*, 23(4), 301-308.
- Fisher, M. L., Day, G. S., & Ryan, W. (1997). *What is the Right Supply Chain for Your Product? Harvard Business Review* 1 (pp. 105-116).
- Forrester, W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: MIT.
- Georgiadis, P., Vlachos, D., & Iakovou, E. (2005). A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. *Journal of Food Engineering*, 70(3), 351-364.
- Gosling, J., Purvis, L., & Naim, M. M. (2010). Supply chain flexibility as a

- determinant of supplier selection. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 11–21.
- Goyal, S. K., & Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134(1), 1–16.
- Harris, F. (1913). How Many Parts To Make At Once. *The Magazine of Management*, 10(2), 135–152.
- Ivanov, D., Sokolov, B., & Kaeschel, J. (2010). A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations. *European Journal of Operational Research*, 200(2), 409–420.
- Kamath, N. B., & Roy, R. (2007). Capacity augmentation of a supply chain for a short lifecycle product: A system dynamics framework. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 334–351.
- Karakaya, S., & Bakal, İ. S. (2013). Joint quantity flexibility for multiple products in a decentralized supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 696–707.
- Kumar, S., & Nigmatullin, A. (2011). A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(10), 2151–2168.
- Li, R., Hongjie, L., & Mawhinney, J. (2010). A Review on Deteriorating Inventory Study. *Journal of Service Science and Management*, 03(01), 117–129.
- Lloréns, F. J., Molina, L. M., & Verdú, A. J. (2005). Flexibility of manufacturing systems, strategic change and performance. *International Journal of Production Economics*, 98(3), 273–289.
- Merschmann, U., & Thonemann, U. W. (2011). Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 43–53.
- Minegishi, S., & Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, 8(5), 321–339.
- Moon, K. K.-L., Yi, C. Y., & Ngai, E. W. T. (2012). An instrument for measuring supply chain flexibility for the textile and clothing companies. *European Journal of Operational Research*, 222(2), 191–203.
- Nita, H. Shah. (1993). Probabilistic time-scheduling model for an exponentially decaying inventory when delays in payments are permissible. *International Journal of Production Economics*, 32(1), 77–82.
- Oh, S., Ryu, K., & Jung, M. (2013). Reconfiguration framework of a supply network based on flexibility strategies. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 156–165.
- Padmanabhan, G., & Vrat, P. (1995). EOQ models for perishable items under stock dependent selling rate. *European Journal of Operational Research*, 86(2), 281–292.
- Pathak, S. D., Dilts, D. M., & Biswas, G. (2007). On the evolutionary dynamics of supply network topologies.

- IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(4), 662–672.
- Raafat, F. (1991). Survey of Literature on Continuously Deteriorating Inventory Models. *Operational Research Society*, 42(1), 27–37.
- Rong, A., Akkerman, R., & Grunow, M. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 421–429.
- Salamch, M. K., Fakhreddine, S. A., & Noueihed, N. (1999). Effect of deteriorating items on the instantaneous replenishment model with backlogging. *Computers & Industrial Engineering*, 37, 261–264.
- Senge, P. (2006). *The fifth Discipline: the art and practice of the learning organization*. New York, United States: Doubleday Currency.
- Sicilia, J., González, M., Febles, J., & Alcaide, D. (2014). An inventory model for deteriorating items with shortages and time-varying demand. *International Journal of Production Economics*, (2003), 1–8.
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2013). *Supply Chain Management and Advanced Planning Concepts, Models, Software and Case Studies* (Third Edit., p. 504). Springer Berlin / Heidelberg.
- Suryani, E., Chou, S.-Y., Hartono, R., & Chen, C.-H. (2010). Demand scenario analysis and planned capacity expansion: A system dynamics framework. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(6), 732–751.
- Swafford, P. M., Ghosh, S., & Murthy, N. (2008). Achieving supply chain agility through IT integration and flexibility. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 288–297.
- Tako, A. a., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 52(4), 802–815.
- Wu, K.-S., Ouyang, L.-Y., & Yang, C.-T. (2006). An optimal replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stock-dependent demand and partial backlogging. *International Journal of Production Economics*, 101(2), 369–384.

Curriculum vitae

Andrés Mauricio Paredes Rodríguez

Estudiante de Ingeniería Industrial, participa en el semillero de investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle sede Buga, Colombia.

Andrés Felipe Salazar Ramos

Ingeniero Industrial, Estudiante de maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial. Docente tiempo completo del programa de Ingeniería Industrial y coordinador del semillero de investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle sede Buga, Colombia.