

# Freight consolidation as a coordination mechanism in perishable supply chains: A simulation study

Juan Pablo Castellón-Torres <sup>a</sup>, Jorge Luis García-Alcaraz <sup>b</sup> & Wilson Adarme-Jaimes <sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. [jpcastrellont@unal.edu.co](mailto:jpcastrellont@unal.edu.co)*

<sup>b</sup> *Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Juárez, México. [jorge.garcia@uacj.mx](mailto:jorge.garcia@uacj.mx)*

<sup>c</sup> *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. [wadarme@unal.edu.co](mailto:wadarme@unal.edu.co)*

Received: May 28<sup>th</sup>, 2014. Received in revised form: August 25<sup>th</sup>, 2014. Accepted: December 5<sup>th</sup>, 2014.

## Abstract

One of the most demanding needs of the primary sector is the development of methods, tools, models and techniques for the accurate and efficient management of perishables along the Supply Chain (SC), particularly focused on advanced logistics services (Third-Party Logistics 3PL) such as freight consolidation. This coordination strategy looks for the alignment of agents and processes around the efficient freight handling by minimizing costs and allowing the proper use of transportation capacity resources. The contribution of this paper relies on the analysis of benefits regarding freight consolidation strategies in the context of Agricultural Supply Chains (ASC) by using a simulation approach. The results of a discrete-event simulation with one commodity product evaluated in three different scenarios prove the benefits of this coordination strategy by reducing the number of annual shipments from 1732 to 725 in a city logistics context and increasing fleet utilization levels up to 71%.

**Keywords:** Logistics services; Third-Party Logistics 3PL; Freight Consolidation; Agricultural Supply Chain; Perishables; Coordination; Discrete-event simulation.

# Consolidación de carga como mecanismo de coordinación en cadenas de suministro de perecederos: Estudio de simulación

## Resumen

Una de las necesidades más apremiantes del sector primario es el desarrollo de métodos, herramientas, modelos y técnicas para una gestión adecuada y eficiente de productos perecederos a lo largo de Cadenas de Suministro (SC), particularmente enfocados en los servicios logísticos especializados (Third-Party Logistics 3PL) como la consolidación de carga. Esta estrategia de coordinación busca la alineación de los agentes y procesos para la eficiente manipulación de carga, minimizando costos y permitiendo el uso adecuado de capacidades de medios de transporte. La contribución de este artículo se centra en el modelado y análisis de beneficios de las estrategias de consolidación de carga en el contexto de Cadenas de Suministro Agrícolas (ASC) a través de la simulación. Los resultados de la simulación de eventos discretos, evaluando un producto commodity en tres diferentes escenarios, prueba los beneficios de esta estrategia de coordinación al reducir el número anual de envíos de 1732 a 725 en un contexto de logística urbana e incrementando los niveles de utilización de la flota hasta el 71%.

**Palabras clave:** Servicios logísticos; Third-Party Logistics 3PL; Consolidación de carga; Cadenas de suministro agrícolas; perecederos; coordinación; Simulación de eventos discretos.

## 1. Introducción

Las dinámicas del sector de servicios logísticos, en el contexto de un mercado cada día más globalizado, vislumbran tendencias específicas que condicionan la operación de las cadenas productivas de talla mundial, así como las áreas de investigación que emergen de los conceptos de logística y

administración de la cadena de suministro (Supply Chain Management o SCM por su siglas en inglés), trascendiendo de las prácticas enfocadas únicamente en el traslado de los bienes y servicios a lo largo de cadenas de suministro (SC – Supply Chains), hacia la agregación de valor a partir de servicios especializados que determinan la diferenciación en aspectos como calidad, tiempo, costo y oportunidad [1].

Estas dinámicas, motivadas por la naturaleza creciente del comercio mundial que ha mostrado tasas cercanas al 6% en promedio anual entre 1971 y 2010 [2], ha orientado a las empresas a centrar cada vez más sus esfuerzos en procesos de diferenciación [3], dentro de los cuales los servicios logísticos juegan un papel fundamental para atender requerimientos de entregas puerta a puerta, empaques y embalajes amigables con el medio ambiente y agradables al cliente final, trazabilidad y rastreabilidad de pedidos, bajos costos de transporte, entre otros elementos que agregan valor al producto desde la perspectiva del cliente, los cuales son generalmente atendidos a través de servicios logísticos especializados, denominados 3PL - Third-Party Logistics [2].

Las redes suministro/abasto del sector primario no son ajenas a los efectos de estas dinámicas, identificándose la necesidad de generar desarrollos para el manejo adecuado y eficiente de la carga de productos perecederos a lo largo de la SC que, tal como se propone en [4], logren la alineación de los agentes y los procesos alrededor de la manipulación eficiente de la carga, con el objetivo de minimizar costos por pérdidas, e incentivar el uso adecuado de los medios de transporte con el aprovechamiento eficiente de su capacidad, impactando los niveles de servicio en cuanto a tiempos, calidad y oportunidad.

Estas necesidades en el desarrollo de servicios logísticos para el sector agroalimentario surgen de los requerimientos cada vez más exigentes de los mercados objetivo, que no solamente demandan eficacia en cuanto a la calidad y disponibilidad del producto, sino que además condicionan las estructuras de operación a través de las restricciones para el acceso a los mercados de consumo masivo asentados generalmente en las urbes.

Dichas restricciones para el acceso se enmarcan en el concepto de logística urbana que como principio busca mitigar los impactos del transporte, incentivar la eficiencia económica de sus industrias, minimizar el uso del espacio público y de los recursos materiales, racionalizar los flujos urbanos, y mejorar la calidad de vida de las personas residentes en la ciudad [5].

Dentro de la gama de servicios logísticos desarrollados en la industria con fundamento en la investigación, distintos autores [6-7-8] han identificado en las estrategias consolidación y des consolidación de carga una solución logística que responde no sólo a las necesidades de eficiencia de las redes, sino también a los lineamientos de logística urbana. Sin embargo, sus aplicaciones aún tienen el reto de considerar la naturaleza propia de los productos y las relaciones de las redes agroalimentarias [9].

El presente trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de servicios logísticos para productos de redes agroalimentarias, que contemplen no sólo niveles de eficiencia de la red sino también de respuesta a los lineamientos de la logística urbana en el contexto específico de Bogotá, Colombia.

El desarrollo de los servicios logísticos se centra en el estudio puntual de la consolidación y des consolidación de carga, en las que se pueden contemplar decisiones referidas al número y tipo de vehículos para el reparto de última milla, el número y características de las paradas en zonas de reparto, la cantidad de envío, el empaque y embalaje de la

mercancía, entre otras variables que se relacionan directamente con los impactos de la logística en los contextos urbanos [10].

La pregunta de investigación que se pretende responder a través del desarrollo de este artículo se centra en determinar ¿cuál es la estrategia de consolidación de carga que puede responder al mejoramiento de las ineficiencias logísticas en las relaciones Productores – Prestadores de servicios 3PL de las cadenas de productos perecederos en Bogotá?

La evaluación de las estrategias de consolidación, soportada en una simulación de eventos discretos incluye el estudio de los efectos de la coordinación de agentes, la configuración de la cadena, la adopción de tecnologías de información y comunicación (TIC), así como aspectos táctico-operativos como el uso de empaques y embalajes, la gestión del deterioro de la calidad en el tiempo y el apilamiento de carga en los medios de transporte y almacenamiento.

El desarrollo de esta investigación representa un avance en el estado del arte al dar respuesta a brechas relacionadas con la contextualización de modelos de consolidación de carga en operaciones logísticas del sector primario y especialmente, en cadenas de productos perecederos en la logística urbana de mercancías [11], análisis de problemas de naturaleza estocástica y de manera más general, brechas en los avances de modelos de planeación de sistemas logísticos agroindustrial [9,12,13].

El artículo está organizado en cinco capítulos referidos a la identificación de los avances y brechas en el estado del arte, seguido del modelado de los sistemas de consolidación de carga, la presentación de la simulación y los resultados correspondientes para finalmente concluir con los hallazgos y áreas futuras de investigación.

## 2. Aproximación al concepto de consolidación de carga

En [14] se define la consolidación de la carga como el proceso de combinar pequeños envíos en cargas más grandes y económicas, utilizando el mismo vehículo, y relacionándolo con la gestión de bodegas, la programación de vehículos y personal con el óptimo diseño del despacho de carga. En [15] definen la consolidación de carga como el proceso de agrupar diferentes envíos de proveedores en un gran envío dentro de un centro de consolidación. El objetivo principal de la consolidación de carga es disminuir el costo total del transporte entre un origen y un destino [16].

En [17] se clasifican en tres las formas de consolidación: consolidación de inventarios, consolidación de vehículos y consolidación de terminales.

Consolidación de inventarios: Abarca el almacenamiento de ítems que son producidos y usados en diferentes momentos y transportados en la misma carga. “Consolidación temporal”. (Fig. 1)



Figura 1: Consolidación de inventarios  
Fuente: [17]

Consolidación de vehículos: “Consolidación espacial” que se refiere a la colección de ítems que provienen de diferentes proveedores y/o la entrega a múltiples clientes. (Fig. 2).

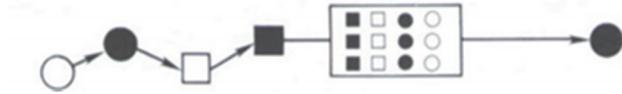


Figura 2: Consolidación de vehículos  
Fuente: [17]

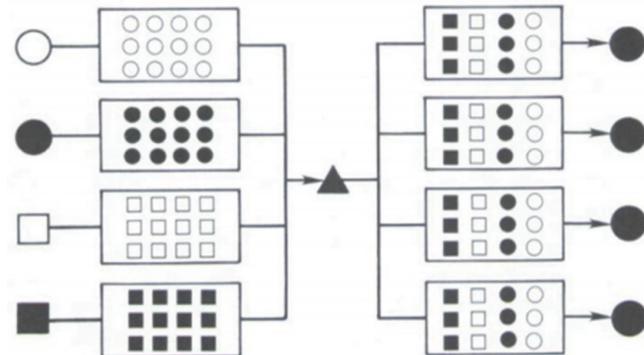


Figura 3: Consolidación de terminales  
Fuente: [17]

Consolidación de Terminales: Trae ítems de diferentes destinos a un nodo central donde son seleccionados, cargados en nuevos vehículos y llevados a diferentes destinos.

En [18] hacen una clasificación similar pero agrega una forma de consolidación denominada independiente, en la que se atienden pequeños envíos directamente a cada cliente de manera independiente. A la clasificación de Hall, Pooley las denomina consolidación de envíos, ruteo de vehículos y consolidación de red respectivamente.

### 2.1. Consolidación de carga como mecanismo de consolidación

Los hallazgos de las concepciones de la consolidación de carga estriban en que éste servicio logístico requiere no sólo de esfuerzos individuales por parte de los agentes de la cadena para hacer más eficientes sus operaciones, sino que también depende de fuertes relaciones de interdependencia que hacen que no sólo se compartan materiales e información, sino también objetivos como la minimización de costo, aseguramiento de la calidad, y entregas a tiempo, a través de las metodologías definidas como la consolidación de carga, lo que conlleva a que el desempeño de cualquier integrante de la cadena, en términos de la manipulación de la carga, depende del desempeño de los demás, y de sus habilidades particulares para coordinar las actividades al interior de la cadena. Las estrategias de consolidación de carga también demandan de los esfuerzos desde los planeadores y legisladores (Estado) en términos de la

definición de política pública que guíe/oriente/norme la acción para el desarrollo de este servicio logístico.

Esta filosofía se encuadra dentro de los objetivos de la gestión del SCM, enfocados a incrementar la competitividad de los agentes que la conforman, no de manera individual sino como un todo; cambiando las dinámicas del mercado en cuanto a la naturaleza de la competencia, pues pasa de ser entre compañías independientes a ser entre SC.

En [19] se identifican dos medios para lograr el crecimiento de la competitividad en una SC, cuyo componente fundamental es la conservación de la calidad a lo largo de la cadena, a través de la eficiente manipulación de la carga. El primero es la integración (o cooperación) de las compañías pertenecientes a la SC; y el segundo es la coordinación de los flujos de material, financieros y de información.

Los mecanismos de coordinación, de acuerdo con [20], se entienden como los medios que tienen las SC para ser más competitivas, primero, en una estructura de información que define quién obtiene la información del entorno, cómo se procesa la información y la forma en que se distribuye entre todos los miembros que hacen parte del mecanismo; y segundo, en un proceso de toma de decisiones que ayuda a seleccionar la acción apropiada a realizar entre una serie de soluciones alternativas.

En [21] se advierte que la coordinación de cadenas de suministro tiene que ver con la planeación, monitoreo, y alineación de los procesos logísticos intra- e inter-organizacionales, estos procesos son los que permiten la operación de los tres flujos mencionados con anterioridad.

Autores como [22-25] han contribuido con apreciaciones tendientes a hacer del mecanismo de coordinación un vehículo para gestionar la SC como una sola entidad o como un todo, evitando caer en la gestión individualizada de los agentes, que hace de los beneficios algo aislado e independiente a cada integrante de la cadena.

De acuerdo con estos enfoques, los modelos de consolidación de carga requieren ser concebidos como mecanismos de coordinación donde se logre la alineación de los agentes y los procesos alrededor de la eficiente manipulación de la carga, que minimice los costos por pérdidas, y permita el uso adecuado de los medios de transporte, aprovechando al máximo su capacidad.

La percepción estratégica del concepto de consolidación de carga es tímidamente desarrollada en la literatura, y su alcance se ve enfocado en la operatividad de los sistemas. Ésta limitación conlleva al desarrollo del presente trabajo en el que se centra el análisis de la consolidación de carga en su funcionalidad como un componente de coordinación en las cadenas de suministro.

### 3. Modelado de las estrategias de Consolidación de carga

Las estrategias de consolidación de carga han sido desarrolladas como un medio para lograr la coordinación entre las decisiones de gestión de inventarios y de distribución. Iniciativas específicas incluyen estrategias como el Inventario Gestionado por el Proveedor (VMI – Vendor Managed Inventory) con Entregas de Tiempo Definido (TDD – Time Definite Delivery) y

Almacenamiento / Distribución de la Tercera Parte (3PW/D - Third Party Warehousing / Distribution) [26].

**3.1. Estrategias de consolidación de carga con VMI con Entregas de Tiempo Definido (TDD)**

En la estrategia VMI, de acuerdo con los requerimientos que han sido establecidos, las entregas deben ser hechas en cada periodo de orden en las cadenas de abastecimiento tradicionales en busca de un flujo de materiales suave, pero esto puede llevar a que los vehículos de transporte no vayan completamente llenos lo que no es eficiente en cuanto al pago por la utilización del vehículo [27]. Se desean vehículos viajando completamente llenos, y así los costos de transportes se reducen ya que la demanda de transporte se minimiza [27].

Como solución a ésta problemática, en [27] se identifican dos mecanismos: los productos pueden ser llevados a centros de consolidación, consolidar cargas de diferentes proveedores o entregar de forma conjunta a un grupo de clientes; o establecer reglas de pedido en las que sólo se permitan cargas de vehículos completos, es decir, se establecen restricciones a los clientes para que pidan y reciban sólo con cargas completas de vehículos.

En [28] modelan las estrategias de consolidación de carga para sistemas VMI, considerando el caso en el que el proveedor tiene una política de reabastecimiento del inventario (s, S), y una política de consolidación de carga basada en tiempo, para la atención de la demanda de sus clientes. Dentro de los supuestos del modelo se encuentran:

- El proveedor observa una secuencia de demandas aleatorias de un grupo de clientes ubicados en una zona geográfica específica. En un escenario ideal, estas demandas se atienden inmediatamente. Sin embargo, se considera el caso en el que el proveedor tiene la libertad de no entregar los pedidos pequeños hasta no acumular un envío FTL (Full Truck-Load).
- Los minoristas están dispuestos a esperar a expensas de un costo de espera.
- Un nuevo ciclo de consolidación de carga empieza cada vez que una decisión de despacho es tomada. Así, todas las órdenes que llegan durante un ciclo de consolidación se combinan para formar una cantidad mayor de envío, que al alcanzar un nivel se despacha el transporte.

El objetivo del modelo es minimizar el costo total de aprovisionamiento, transporte, manejo de inventario y tiempo de espera, atendiendo los requerimientos del cliente a tiempo. La Fig. 4 presenta el esquema general del problema en consideración.

Los parámetros tenidos en cuenta son:

$A_R$ : Costo fijo de reaprovisionamiento del inventario

$c_R$ : Costo unitario de compra

$h$ : Costo unitario de mantener el inventario por unidad de tiempo

$A_D$ : Costo fijo de despacho

$c_D$ : Costo unitario de transporte

$w$ : Costo unitario por espera del cliente por unidad de tiempo

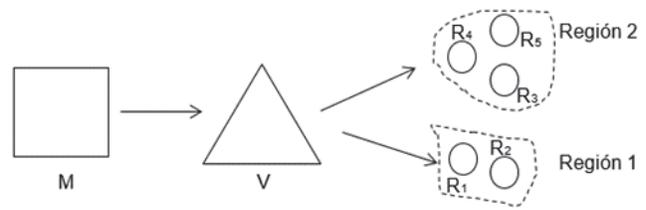


Figura 4 Consolidación en sistemas VMI Fuente: [28]

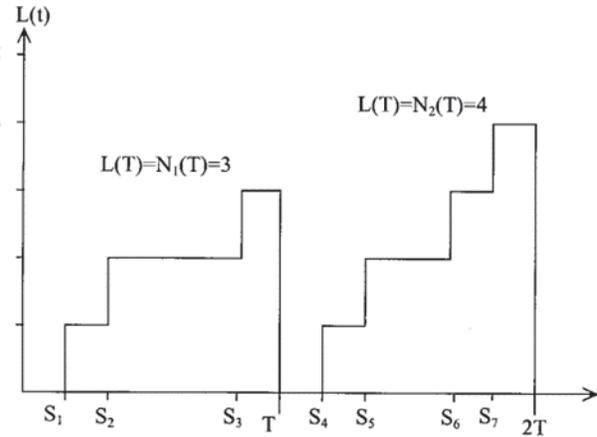


Figura 5 Realización de procesos de consolidación  $L(t)$ . Fuente: [28]

En el modelo formulado, se parte del supuesto que las demandas se generan siguiendo un proceso estocástico con un tiempo entre llegadas  $\{X_n: n = 1, 2, \dots\}$ . Se considera el caso donde  $X_n \geq 0, n = 1, 2, \dots$  son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.) de acuerdo con la función de distribución  $F(\cdot)$  donde  $F(0) < 1$ . Para  $S_0 = 0$  y  $S_n = \sum_{j=1}^n X_j$  se define

$$N(t) = \sup\{n: S_t \leq t\} \tag{1}$$

Así,  $N(t)$  es un proceso de nacimiento y muerte que registra el número de órdenes de pedido realizados en el instante  $t$ . Bajo una política de consolidación basada en tiempo, la decisión de despacho es tomada cada  $T$  unidades de tiempo, resultando el máximo valor de  $T$  la longitud del ciclo de consolidación de carga. La realización de un proceso de consolidación se denota por  $L(t)$ , que representa el tamaño de la carga acumulada hasta el instante  $t$ , y cuyo comportamiento se ejemplifica en la Fig. 5.

El nivel de inventario en  $V$  en el instante  $t$  se denota por  $I(t)$ , y  $Q$  representa el nivel de inventario inmediatamente después que una orden de reaprovisionamiento llega. De esta manera se establece la rutina del comportamiento del inventario:

1.  $I(t)$  y  $L(t), t = T, 2T, \dots$  son observados.
2. El proveedor emplea una política especial de (s, S) con  $s = 0$  y  $S = Q$ . Por lo tanto  $Q$  es el nivel de inventario objetivo. Si  $I(t) < L(t)$ , entonces se

genera una orden de reaprovisionamiento de cantidad  $Z(t)$ , donde

$$Z(t) = \begin{cases} Q + L(t) - I(t), & \text{si } I(t) < L(t) \\ 0, & \text{si } I(t) \geq L(t) \end{cases} \quad (2)$$

3. Una vez se recibe  $Z(t)$ , una carga de tamaño  $L(t)$  se despacha instantáneamente.
4. Un nuevo ciclo de consolidación de carga empieza con  $Y(t)$  unidades en inventario empieza, donde

$$Y(t) = \begin{cases} Q, & \text{si } I(t) < L(t) \\ I(t) - L(t), & \text{si } I(t) \geq L(t) \end{cases} \quad (3)$$

El problema recae entonces en la determinación simultánea de  $Q^*$  y  $T^*$  con los que se minimiza el costo total del sistema logístico estudiado. Aplicando la ecuación de balance de los procesos de nacimiento y muerte, en [28] definen la expresión del costo total así:

$$C(Q, T) = \frac{E[\text{Costo ciclo de reaprovisionamiento}]}{E[\text{Longitud del ciclo de reaprovisionamiento}]} \quad (4)$$

Donde el ciclo de reaprovisionamiento se define como el intervalo de tiempo entre dos decisiones consecutivas de ordenar un nuevo pedido  $Z(t)$ . De tal forma que el problema se plantea de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \min C(Q, T) \\ \text{Sujeto a} & \\ & Q \geq 0, \\ & T \geq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

De acuerdo con Çetincaya et. al. en [28], la expresión para  $C(Q, T)$  es:

$$\begin{aligned} \text{Costo Total} = & \text{costo total de aprovisionamiento} \\ & + \text{manejo de inventario} \\ & + \text{transporte} \\ & + \text{costo por el tiempo de espera} \end{aligned}$$

$$C(\bar{Q}, T) = \left( \frac{A_R \lambda}{\bar{Q}} + c_R \lambda \right) + \left( \frac{h \lambda T (\bar{Q} - 1)}{\bar{Q}} + \frac{h(\bar{Q} - 1)}{2} \right) + \left( \frac{A_D}{T} + c_D \lambda \right) + \frac{w \lambda T}{2} \quad (6)$$

Donde,  
 $A_R$  = Costo fijo de reaprovisionar el inventario  
 $\bar{Q} = Q + 1$  donde  $Q$  es el nivel de inventario objetivo  
 $c_R$  = Costo unitario de compra  
 $\lambda$  = tasa media de llegada de una orden de pedido  
 $h$   
 = Costo unitario de mantener el inventario por unidad de tiempo

$T$   
 = Tiempo entre decisiones consecutivas de despacho mercancía  
 $A_D$  = Costo fijo de despacho  
 $c_D$  = Costo unitario de despacho  
 $w$   
 = Costo unitario por espera del cliente por unidad de tiempo

La solución aproximada, con evaluación satisfactoria de precisión realizados por Çetincaya et. al. en [28], del problema de optimización determina un óptimo global cuando los valores de  $Q$  y  $T$  cumplen la siguiente relación:

$$\bar{Q} = \sqrt{\frac{2A_R \lambda}{h}} \quad \text{y} \quad T = \sqrt{\frac{2A_D}{\lambda(w+2h)}} \quad (7)$$

### 3.2. Estrategias de consolidación de carga con 3PW/D

Estrategias de consolidación con 3PW/D asumen la prestación de servicios logísticos especializados en almacenamiento y distribución en los que se deben tomar decisiones sobre el tamaño del envío y la frecuencia del mismo hacia clientes ubicados en una zona en particular. La diferencia con la estrategia de consolidación asociada a VMI, reside en que las decisiones de consolidación son tomadas por un agente (tercero) prestador de servicios logísticos especializados de almacenamiento y distribución a una empresa productiva a la que presta el servicio, no de manera exclusiva, sino combinando los envíos con otras empresas para aprovechar economías de escala.

En [29] se menciona que en estos casos, el ajuste temporal de los servicios de transporte ya no se hace específicamente para cada cliente. Los prestadores de servicios logísticos fijan unos plazos de distribución de la mercancía o unos horarios de envío fijos, que se determinan con el objetivo de cumplir con las expectativas y preferencias del máximo número de clientes.

Esta tipología de servicios se denomina Less-Than TruckLoad (LTL), ya que el tamaño de la mercancía o envío de un solo cliente es muy inferior a la capacidad del vehículo de transporte. Por tanto, es necesario que cada viaje del vehículo sea cargado con envíos de múltiples clientes para incrementar su ocupación [29]. La Fig. 6 presenta el sistema analizado.

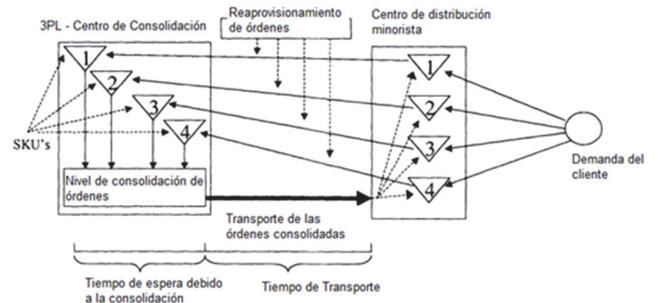


Figura 6 Representación esquemática del sistema de 3PW/D. Fuente: [30]

El modelado de este tipo de situaciones es desarrollado en [31], en el que se considera un envío de peso  $w$ , cuyo costo de transporte por el prestador de servicios logísticos 3PL es  $c(w)$ , tal que

$$c(w) = \begin{cases} c_N w, & w < MWT \\ c_V w, & w \geq MWT \end{cases} \quad (8)$$

Donde  $c_V < c_N$  son las tarifas tanto por volumen como fijas respectivamente, y  $MWT$  es el mínimo peso para obtener descuentos por cantidad.

Siguiendo la lógica del modelado de la consolidación de carga para estrategias VMI, en [31] definen la función de costo total de la siguiente forma:

$$\bar{C}(T) \approx \begin{cases} c_N \lambda \mu + \frac{h \lambda \mu T}{2}, & T \leq \frac{WBT}{\lambda \mu} \\ \frac{h \lambda \mu T}{2} + \frac{c_V MWT}{T}, & \frac{WBT}{\lambda \mu} < T \leq \frac{MWT}{\lambda \mu} \\ c_V \lambda \mu + \frac{h \lambda \mu T}{2}, & T > \frac{MWT}{\lambda \mu} \end{cases} \quad (9)$$

Donde,  
 $c_N$  = Tarifa independiente del volumen  
 $c_V$  = Tarifa dependiente del volumen  
 $\lambda$  = Tasa media de llegada de una orden de pedido  
 $\mu$  = Peso promedio de las cargas a consolidar  
 $h$  = Costo unitario de mantener el inventario por unidad de tiempo  
 $T$  = Tiempo entre decisiones consecutivas de despacho de mercancía  
 $MWT$  = Cantidad mínima para obtener descuentos por cantidad  
 $WBT = \frac{c_V MWT}{c_N}$

De acuerdo con [30], el tiempo entre envíos consolidados que minimiza la función de costo sólo se justifica para  $\frac{WBT}{\lambda \mu} < T^* \leq \frac{MWT}{\lambda \mu}$ , en el que  $T^*$  satisfice

$$T^* = \sqrt{\frac{2c_V MWT}{h \lambda \mu}} \quad (10)$$

Para los demás casos no se justifica la consolidación de carga por lo que se realizan las entregas mediante envíos directos.

Dentro de las limitaciones existentes de los modelos de consolidación de carga presentados, y a las que se pretende dar respuesta en éste trabajo, se encuentra la caracterización de políticas óptimas integradas que aseguren un nivel aceptable de servicio al cliente, en un ambiente estocástico para los procesos generales de demanda, para el transporte por flota privada y pública bajo restricciones de capacidad, y para únicos o múltiples áreas de mercado.

#### 4. Simulación de la estrategia de consolidación para productos perecederos

Aproximaciones para la solución del problema de consolidación de carga han sido abordadas desde la optimización matemática o la simulación de Monte Carlo. Sin embargo, en [32] se sugiere que la complejidad del análisis simultáneo de los sistemas logísticos de abasto, almacenamiento y distribución, con las diferentes estrategias que surgen para el mejoramiento de los niveles de desempeño de la red, puede ser abordada a través de la simulación de eventos discretos.

Utilizar la simulación como herramienta para evaluar las estrategias de consolidación se explica tras identificar en [33] las siguientes ventajas, que no tienen en su totalidad los modelos presentados previamente:

- Contienen diversas interacciones entre los elementos
- Contienen elementos afectados por la aleatoriedad, no predictibilidad, riesgo, etc.
- Incluye actividades cuyo desempeño es afectado por demoras en el tiempo.
- Permite analizar los recursos del sistema logístico.
- Permite evaluar las reglas, políticas, capacidades de resolución de problemas de operación que requieren los sistemas logísticos.

En [34] se agrega a las ventajas de la simulación la posibilidad de verificación, sensibilidad (what-if analysis), optimización, robustez y análisis de incertidumbre para niveles estratégicos.

Dadas estas ventajas, se diseña una simulación por eventos discretos que identifica las condiciones de operación de una estrategia de consolidación de carga en el contexto de la logística urbana de Bogotá, D.C.

##### 4.1. Diseño de la red de simulación

El diseño de la red de simulación del sistema logístico identificado, parte con el nodo de generación de carga perecedera, tomando como producto piloto el arroz colombiano cuya producción se presenta mayoritariamente en los departamentos del Tolima, Meta y Casanare con una participación del 31.69%, 18.35% y 16.72% respectivamente, del total nacional de acuerdo con el Ministerio de Agricultura.

El nodo focal para el estudio se encuentra localizado en Bogotá, a donde converge diariamente carga arrocera en camiones de 40 toneladas de capacidad, para el caso del Tolima, 28 toneladas, para el caso del Meta y de 17 toneladas para el arroz proveniente del resto del país. Los camiones deben esperar bajo una regla de primero en llegar, primero en salir (FIFO – First In First Out) en un centro de consolidación de carga que des consolida y distribuye en pequeños envíos la carga al interior de la ciudad.

La descarga se hace de forma manual, debido a la ausencia de estrategias de cooperación en las que se tenga en cuenta la paletización de la carga para procurar la eficiencia en su manipulación. El arroz se estiba al interior de la bodega, consolidándolo en grupos de 17 toneladas, que corresponde a la capacidad de los medios disponibles por el

3PL para la posterior distribución, a través de los 12 vehículos con los que se cuenta para llegar a los almacenes de cadena de 200 Km a la redonda de Bogotá.

La estructura de la red diseñada en el Software de Simulación Awesim with Visual Slam® en el que se cuenta con un generador de envíos de arroz que provienen de

diversas partes del país de acuerdo con las probabilidades descritas en la Tabla 1 y que se asignan en el banner "entity's attributes". Posteriormente pasan a una función de des consolidación para que finalmente se realice la distribución por parte del 3PL. La Fig. 7 presenta la red de la simulación. Anexo 1. Archivo simulación.

Tabla 1.  
Parámetros de la simulación – Escenario 1

| Parámetro   | Valor           |
|---|-----------------|
| Generación de carga arrocera en Colombia (días)               | Norm (0,3,0,12) |
| Probabilidad de arribo de carga del Tolima                    | 31.69%          |
| Probabilidad de arribo de carga del Meta                      | 18.35%          |
| Probabilidad de arribo de carga del Casanare                  | 16.72%          |
| Capacidad de los medios de transporte provenientes del Tolima | 40 Ton          |
| Capacidad de los medios de transporte provenientes del Tolima | 28 Ton          |
| Capacidad de los medios de transporte provenientes del Tolima | 17 Ton          |
| Tiempo de viaje Tolima-Bogotá (días)                          | TRIAG(4,6,8)    |
| Tiempo de viaje Meta-Bogotá (días)                            | TRIAG(4,6,8)    |
| Tiempo de viaje Casanare-Bogotá (días)                        | TRIAG(8,11,14)  |
| Tiempo de viaje Resto del País-Bogotá (días)                  | TRIAG(5,9,13)   |
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 40 Ton (días)   | EXPON(0,25)     |
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 28 Ton (días)   | EXPON(0,17)     |
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 17 Ton (días)   | EXPON(0,12)     |
| Q de consolidación en el Hub                                  | 197.26 Ton*     |
| # Vehículos del 3PL   | 12              |
| Capacidad de los vehículos del 3PL                            | 17 Ton          |
| Tiempo de distribución (días)                                 | Norm(0,8,0,3)   |
| Tiempo de simulación (días)                                   | 365             |

\*Q es calculado a partir del modelo matemático de consolidación de carga con 3PW/D presentado en la sección anterior con parámetros consultados a un operador logístico de Bogotá.  
Fuente: Propia.

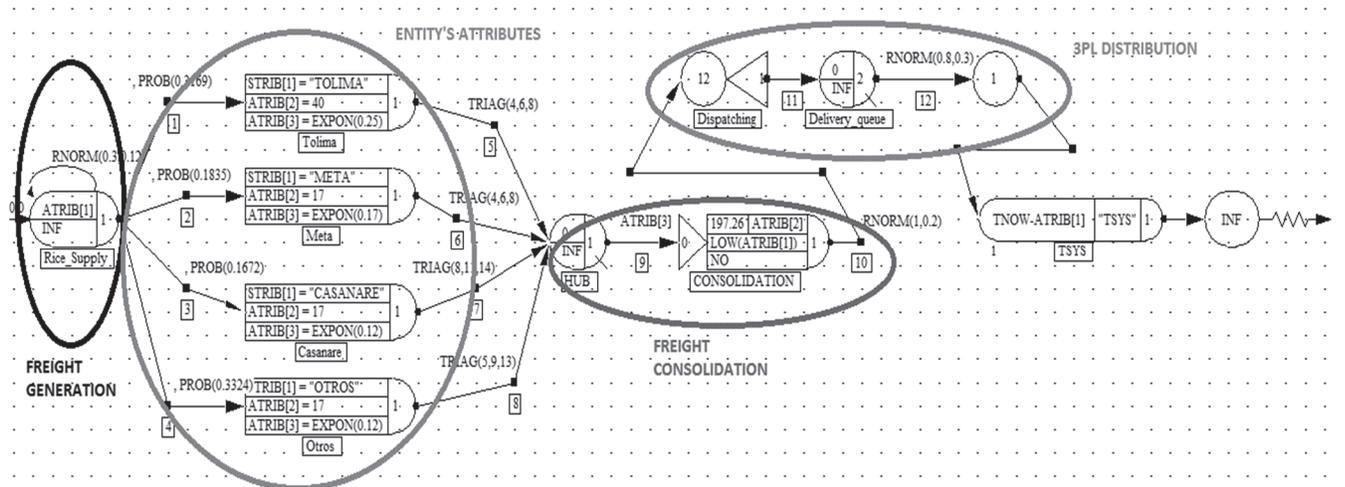


Figura 7 Diseño de la red de simulación  
Fuente: Propia

#### 4.2. Variables dependientes e independientes

Las variables del modelo constan de dos naturalezas: las independientes corresponden al tiempo total que dura la carga en el sistema modelado, desde que se genera en los nodos de producción hasta que llega a los mercados de grandes superficies. Estas variables permiten identificar los problemas que se pueden ocasionar en la descomposición de

los productos debido a su naturaleza perecedera, así como determinar los costos que se generan, puesto que están en función de los tiempos calculados en cada eslabón de la cadena.

El segundo tipo de variables, referidas a las dependientes, corresponden a la cantidad de medios utilizados para la operación logística con su respectiva capacidad, ejemplo el número de vehículos a utilizar en la

Tabla 2.

Parámetros de la simulación – Escenario 2

| Parámetro                          | Valor         |
|------------------------------------|---------------|
| # Vehículos del 3PL                | 7             |
| Capacidad de los vehículos del 3PL | 28 Ton        |
| Tiempo de distribución (días)      | Norm(1.5,0.5) |

Fuente: Propia

operación de distribución, que a través del diseño de escenarios se puede evaluar, identificando la mejor combinación entre el costo de almacenamiento y el costo de distribución.

Cada escenario contó con 55 muestras experimentales y los resultados presentados corresponden al promedio de las variables de decisión con su respectiva desviación estándar, valores máximos y mínimos.

## 5. Resultados

El primer escenario modelado corresponde a la situación actual, que cuenta con los parámetros del sistema descritos en la Tabla 1.

De acuerdo con los resultados del primer escenario, se evidencia que la duración de una carga de arroz en el sistema es en promedio 14 días, antes de llegar al mercado de gran superficie, en una ventana de tiempo de un año, en el que se realizaron cerca de 1739 envíos hacia el Hub localizado en Bogotá. Este tiempo es considerablemente alto, atendiendo la naturaleza perecedera del arroz, que en menos de cinco meses, empieza a afectarse su calidad y valores nutricionales, teniendo en cuenta que todavía falta la etapa de comercialización, que puede durar cerca de 3 meses, lo que da poca holgura al proceso de abasto que se está llevando a cabo en la actualidad.

El tiempo de almacenamiento en el Hub de Bogotá, tal como se muestra en los resultados, en promedio 1,09 días, es bastante eficiente en éste sistema donde la frecuencia de envíos es alta; sin embargo esto contrasta con los altos costos debidos a la distribución que una flota de 12 vehículos de 17 toneladas de capacidad genera.

En el segundo escenario se reduce la flota de vehículos, pero se amplía la capacidad de los mismos, llegando a un número de 7 con una capacidad de 28 toneladas, con los que se distribuye las mercancías en los almacenes dentro del área mencionada. Algunos de los parámetros iniciales cambian, configurándose tal como se muestra en la Tabla 2.

El escenario propuesto aumenta los tiempos de flujo de la mercancía, situación que no es favorable para las condiciones perecederas del producto, con un tiempo promedio de almacenamiento de 1,141 días. Sin embargo, reducciones en los costos son evidentes al disminuir la flota de vehículos, lo que además impacta de manera positiva el ambiente, reduciendo emisiones, ruido y congestión en la malla vial de las ciudad atendida. El número de envíos realizado es de 1001.

Finalmente se plantea un escenario ideal, en el que exista una coordinación entre los productores y el prestador de servicios 3PL, para la paletización de la carga, y una consolidación efectiva de mercancías, con 5 vehículos de capacidad de 17 toneladas que hacen entregas, en busca de

Tabla 3.

Parámetros de la simulación – Escenario 3

| Parámetro   | Valor         |
|---|---------------|
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 40 Ton (días) | EXPON(0.06)   |
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 28 Ton (días) | EXPON(0.04)   |
| Tiempo de descargue de mercancías – Vehículos 17 Ton (días) | EXPON(0.01)   |
| # Vehículos del 3PL   | 5             |
| Capacidad de los vehículos del 3PL                          | 17 Ton        |
| Tiempo de distribución (días)                               | Norm(0.8,0.3) |

Fuente: Propia

aumentar la utilización de la flota, que hasta ahora, en los escenarios propuestos no ha pasado del 58%. Los parámetros modificados se detallan en la Tabla 3:

Este escenario reduce considerablemente los costos de operación del sistema debido a la disminución de tiempos de almacenamiento, 1,066 días, así como los tiempos globales de flujo de productos, 13,531 días, logrado a partir de la cooperación entre agentes de la cadena al consolidar la carga de manera eficiente de tal manera que se agilizan las actividades de cargue, descargue, y se logra la reducción de la flota, aumentando su nivel de ocupación al 71,78%. El número de envíos realizados en este escenario es de 725.

## 6. Conclusiones

El desarrollo de la disertación concluye con el diseño de una estrategia de consolidación de carga que considera para un caso piloto del sector agro industrial, cadena del arroz, un escenario ideal en el que exista una coordinación entre los productores y el prestador de servicios 3PL para la paletización de la carga, y una consolidación efectiva de mercancías, con 5 vehículos de capacidad de 17 toneladas que hacen entregas, en busca de aumentar la utilización de la flota, que hasta ahora, en los escenarios actuales no ha pasado del 58%.

La definición del escenario ideal se logra a partir del diseño de escenarios para la implementación de la estrategia de consolidación que consideran el tiempo del producto a lo largo del sistema, considerando ésta variable fundamental para la evaluación de factores como la naturaleza perecedera de la mercancía, en la que a mayores tiempos de duración del producto en el sistema, menor la disponibilidad del producto en las condiciones requeridas por el consumidor. Así como la eficiencia en la utilización de los medios de transporte que resulta en reducción no sólo de costos del sistema logístico, sino también de impactos negativos en la movilidad de la ciudad en donde se realiza la operación.

El diseño de la estrategia de consolidación se ajusta a las particularidades del contexto estudiado, que para la definición de parámetros y reglas de operación requirió del conocimiento de las dinámicas de las redes productivas y de servicios. Los hallazgos para el caso de estudio en Bogotá, muestran la importancia del sector agro industrial no sólo para la seguridad alimentaria sino para los esquemas de movilidad y ordenamiento del espacio público, que son elementos poco visibles en estudios previos relacionados con la consolidación de carga.

La modelación de la consolidación de carga en el sistema logístico de una cadena agroindustrial que abastece la ciudad capital se realizó bajo un enfoque de simulación debido a que presenta ventajas, que no tienen en su totalidad los modelos presentados previamente, tales como: contienen diversas interacciones entre los elementos; contienen elementos afectados por la aleatoriedad, no predictibilidad, riesgo, etc.; incluye actividades cuyo desempeño es afectado por demoras en el tiempo; permite analizar los recursos del sistema logístico; permite evaluar las reglas, políticas, capacidades de resolución de problemas de operación que requieren los sistemas logísticos.

Los resultados de la consolidación de la carga de arroz muestran que ésta disminuiría la pérdida de productos como consecuencia de la disminución de cerca del 12% del tiempo en el sistema con respecto al escenario base además de disminuir en 58,33% la capacidad total de transporte del servicio 3PL tenido en cuenta en este ejemplo, lo cual generaría beneficios que no son medidos en esta simulación como la reducción de emisiones de gases y el aumento en la velocidad del flujo de vehículos en la región.

La simulación de este estudio toma como ejemplo de estudio al arroz, el cual, si bien es perecedero, presenta una vida útil que significa más de seis veces el tiempo promedio que pasa en sistema una carga; sin embargo si se consideran productos de vida útil más corta como el caso de una fruta cuyo tiempo medio adecuado para el consumo humano puede ser inferior a tres meses, el riesgo de desabastecimiento y/o de pérdidas por su vencimiento disminuiría en mayor proporción a la del ejemplo, que fue de 6,57%.

Además de las futuras áreas de investigación vislumbradas en el recorrido por la literatura descrita en los capítulos 2 y 3, en [35] se reafirma la necesidad de contar con trabajos que destaquen la estructuración de la red para las actividades propias del JRP (definir quién entrega a quién,...), el desarrollo de modelos con parámetros dinámicos y la aplicación de los modelos teóricos a contextos reales.

En cuanto a futuras simulaciones o modelos de ASC semejantes a la simulación presentada en este trabajo, se podrían considerar opciones que se acerquen a la complejidad que se encuentra en la realidad. Por ejemplo la consideración de multiplicidad de productos con tiempos de vida útil probabilísticos variables, lo cual sería aplicable a contextos como los de los países del trópico en donde las frutas y verduras frescas y no congeladas hacen parte de la dieta diaria de la mayoría de la población.

Otro estudio que podría considerarse sería aquel que contenga a un servicio 3PL que cuente con diferentes tamaños de transporte para distribuir carga en el que la demanda de los clientes varíe y se deba decidir en el HUB el tamaño de vehículo a enviar posiblemente integrando la opción de considerar ruteo en caso de permitir que dos clientes diferentes compartan la capacidad de un solo vehículo.

Un estudio más complejo podría tener en cuenta las variables presentadas en las dos propuestas anteriores en donde se cuente con una línea de ensamble de pedidos y un sistema de información que permita proveer kits de pedidos

de múltiples productos de diferentes a múltiples clientes con demanda probabilística.

## 7. Bibliografía

- [1] Von der Gracht, H.A. and Darkow, I.-L., Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025. *International Journal of Production Economics*, 127 (1), pp. 46-59. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.013>
- [2] Kirby, C., and Brosa, N., La logística como factor de competitividad de las Pymes en las Américas Santo Domingo, República Dominicana. 2011. 39 P.
- [3] Andersson, D. and Norrman, A., Procurement of logistics services - A minutes work or a multi-year project? *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 8 (1), pp. 3-14. 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012\(01\)00018-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-7012(01)00018-1)
- [4] Grunow, M. and Rong, A., A methodology for controlling dispersion in food production and distribution. *OR Spectrum*, 32 (4), pp. 957-978. 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-010-0210-7>
- [5] Benjelloun, A., Crainic, T.G. and Bigras, Y., Towards a taxonomy of city logistics projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2 (3), pp. 6217-6228. 2010.
- [6] Correia, V. de A., Oliveira, L.K. de, and Guerra, A.L., Economical and environmental analysis of an urban consolidation center for Belo Horizonte City (Brazil). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, pp. 770-782. 2012.
- [7] Malhene, N., Trentini, A., Marques, G. and Burlat, P., Freight consolidation centers for urban logistics solutions: The key role of interoperability. In 2012 6th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (DEST) pp. 1-6. IEEE. 2012.
- [8] Wilson, M.M.J. and Roy, R.N., Enabling lean procurement: A consolidation model for small- and medium-sized enterprises. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20 (6), pp. 817-833. 2009. <http://dx.doi.org/10.1108/17410380910975096>
- [9] Akkerman, R., Farahani, P. and Grunow, M., Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *OR Spectrum*, 32 (4), pp. 863-904. 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s00291-010-0223-2>
- [10] Cai, X., Chen, J., Xiao, Y., Xu, X. and Yu, G., Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing. *Omega*, 41 (4), pp. 752-765. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.004>
- [11] Khouja, M. and Goyal, S., A review of the joint replenishment problem literature: 1989-2005. *European Journal of Operational Research*, 186 (1), pp. 1-16. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.03.007>
- [12] Ahumada, O. and Villalobos, J.R., Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research*, 196 (1), pp. 1-20. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.014>
- [13] Rong, A., Akkerman, R. and Grunow, M., An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*, 131 (1), pp. 421-429, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.026>
- [14] Zhou, G., Hui, Y. Van, and Liang, L., Strategic alliance in freight consolidation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47 (1), pp. 18-29, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2010.07.002>
- [15] Tyan, J., Wang, F.-K. and Du, T., An evaluation of freight consolidation policies in global third party logistics. *The International Journal of Management Science*, 31, pp. 55-62. 2003.
- [16] Bookbinder, J. and Higginson, J., Probabilistic modeling of freight consolidation by private carriage. *Transportation Research Part E*, 38, pp. 305-318. 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S1366-5545\(02\)00014-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1366-5545(02)00014-5)
- [17] Hall, R., Consolidation strategy: inventory, vehicles and terminals. *Journal of Business Logistics*, 8 (2), pp. 57-73. 1987.
- [18] Pooley, J. and Stenger, A., Modeling and evaluating shipment consolidation in a logistics system. *Journal of Business Logistics*, 12 (2), pp. 153-175. 1992.

- [19] Christopher, M., Logistics and supply chain management, creating value-added networks (3rd ed.).3 Harlow: Financial Times Prentice Hall. 2005.
- [20] Romano, P., Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9, pp. 119-134. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S1478-4092\(03\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1478-4092(03)00008-6)
- [21] Hewitt, F., Supply chain redesign. *The International Journal of Logistics Management*, 5 (2), pp. 1-10. 1994. <http://dx.doi.org/10.1108/09574099410805162>
- [22] Bechtel, C. and Jayaram, J., Supply chain management: A strategic perspective. *The International Journal of Logistics Management*, 8 (1), pp. 15-34. 1997. <http://dx.doi.org/10.1108/09574099710805565>
- [23] Christopher, M., Logistics and supply chain management : Strategies for reducing cost and improving service (2nd ed.). London: Financial
- [24] Cooper, M.C., Lambert, D.M. and Pagh, J.D., Supply chain management: More than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8 (1), pp. 1-14. 1997. <http://dx.doi.org/10.1108/09574099710805556>
- [25] Cooper, M. and Ellram, L., Characteristics of supply chain management and implications for purchasing and logistics strategy. *The International Journal of Logistics Management*, 4 (2), pp. 13-24. 1993. <http://dx.doi.org/10.1108/09574099310804957>
- [26] Cetinkaya, S., Coordination of inventory and shipment consolidation decisions: A review of premises, models, and justification. In *Applications of supply chain management and e-commerce research* New York: Springer Science+Business Media. 2005, pp. 3-52.
- [27] Disney, S.M., Potter, A.T. and Gardner, B.M., The impact of vendor managed inventory on transport operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39 (5), pp. 363-380. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S1366-5545\(03\)00014-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1366-5545(03)00014-0)
- [28] Çetinkaya, S. and Lee, C.-Y., Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems. *Management Science*, 46 (2), pp. 217-232. 2000. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.46.2.217.11923>
- [29] Estrada-Romeu, M., Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería. *Universitat Politècnica de Catalunya*. 2007.
- [30] Smits, S.R. and de Kok, A.G., Approximations for the waiting time in (s,nQ)-inventory models for different types of consolidation policies. In *Quatitative approaches to distribution logistics and supply chain management*, Berlin: Springer-Verlag. 2002. pp. 395-417. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-56183-2\\_22](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-56183-2_22)
- [31] Çetinkaya, S. and Bookbinder, J.H., Stochastic models for the dispatch of consolidated shipments. *Transportation Research Part B: Methodological*, 37 (8), pp. 747-768. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0191-2615\(02\)00060-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0191-2615(02)00060-7)
- [32] Lee, E. and Farahmand, K., Simulation of a base stock inventory management system integrated with transportation strategies of a logistic network. In *2010 Winter Simularion Conference*, pp. 1934-1945, 2010. <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2010.5678877>
- [33] Ford, D.J., Inbound freight consolidation : A simulation model to evaluate consolidation rules. *Massachusetts Institute of Technology*. 2006.
- [34] Kleijnen, J.P.C., Supply chain simulation tools and techniques: A survey. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 1 (1-2), pp. 82-89. 2005.
- [35] Glock, C.H., The joint economic lot size problem: A review. *International Journal of Production Economics*, 135 (2), pp. 671-686. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.10.026>

**J.P. Castrellón-Torres**, recibió el grado de Ingeniero Industrial en 2012 y actualmente se encuentra culminando su MSc. en Ingeniería Industrial, ambos estudios en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Se encuentra vinculado a la investigación en logística a través del Grupo Sociedad Economía y Productividad SEPRO – Línea Logística donde ha participado en proyectos de investigación y extensión con el sector público y privado en temas relacionados con la logística y la administración de la cadena de suministro. Sus áreas de interés abarcan los temas de logística de productos perecederos, los servicios logísticos 3PL, políticas públicas en logística.

**J.L. García-Alcaraz**, es Ingeniero Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México; MSc. en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Colima, México; Dr. en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, México y PhD. en la Universidad de La Rioja, España. El Dr. García es miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones y miembro activo de la Academia Mexicana de Ingeniería Industrial. Es investigador reconocido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT). Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la toma de decisiones multicriterio y modelado aplicado a procesos de producción. Es autor-coautor de más de 100 artículos publicados en revistas, conferencias y congresos internacionales.

**W. Adarme-James**, recibió el grado de Ingeniero Industrial en 1993 de la Universidad Industrial de Santander, Colombia; es Esp. en Ingeniería de la Producción y Mejoramiento Continuo en 1997 de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia, es MSc. en Ingeniería con énfasis Logística en 2007 de la Universidad del Valle, Colombia, Dr. en Ingeniería, Industria y Organizaciones en 2011 de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Ha tenido experiencia en el sector metalúrgico y textil. Actualmente se desempeña como profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Es el director del grupo Sociedad Economía y Productividad SEPRO – Línea Logística, donde ha dirigido proyectos de investigación y extensión en contextos regionales, nacionales e internacionales, todos en temas de logística y administración de la cadena de suministro. Sus áreas de interés comprenden la coordinación de actores, políticas públicas en logística.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería Administrativa e  
Ingeniería Industrial

Oferta de Posgrados

Especialización en Gestión Empresarial  
Especialización en Ingeniería Financiera  
Maestría en Ingeniería Administrativa  
Maestría en Ingeniería Industrial  
Doctorado en Ingeniería - Industria y  
Organizaciones

Mayor información:

E-mail: [acia\\_med@unal.edu.co](mailto:acia_med@unal.edu.co)  
Teléfono: (57-4) 425 52 02