

# Priorización de despacho de vehículos mediante simulación dinámica con metodología multicriterio

## Vehicle Dispatch prioritization through dynamic simulation with multicriteria methodology

Oscar D. Galvis P., Juan C. Osorio G. MSc., Maria A. Ortiz A., Carlos A. Pretel A.

oscar.galvis@correounivalle.edu.co, juan.osorio@correounivalle.edu.co, hannahortiz0614@gmail.com, carpretel@gmail.com

Grupo de estudio de Dinámica de sistemas, Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Valle, Colombia

**Resumen**—Con el propósito de realizar un estudio de los elementos más relevantes para la priorización de despacho de vehículos en un caso uniproducción mediante una metodología multicriterio, se desarrolla el análisis de una red de transporte que representa un caso típico de una empresa proveedora que abastece la demanda de un grupo de clientes, desde un centro de distribución cuyos envíos bien pueden ser a bodegas de la misma organización (clientes internos) o a un grupo de clientes con una demanda significativa (clientes externos). La base y la herramienta metodológica utilizada para el desarrollo de la investigación es la Dinámica de sistemas y el Software de simulación Vensim respectivamente.

**Palabras Clave**— Logística, dinámica de sistemas, metodología multicriterio, priorización

**Abstract**—In order to carry out a study of the most relevant elements for vehicle's dispatching prioritization on a one-product case through a multicriteria approach, was developed an analysis of a transportation network that represents a typical case of a provider that supplies the demand of a customer's group from a distribution center whose shipments could be done for own wineries (internal customers) or for a customers's group with significant demand (external customers). The technical basis for the development of this research is called Systems dynamics, using the Vensim software like a simulation tool.

**Keywords**— Logistics, Systems dynamics, multicriteria methodology, prioritization.

### I INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y las exigencias de los nuevos acuerdos comerciales son factores que obligan a la industria a adaptarse a situaciones que por su naturaleza empiezan a ser cada vez más complejas y paralelamente conlleva a un aumento desbordado de la competitividad.

Para poder ofrecer un valor agregado a los clientes, conseguir y mantener su fidelidad. Se hace necesario, construir una estrategia que permita a la organización, no solamente vender y entregar sus productos sino también ofrecer un excelente servicio, de tal manera que se cumpla con el momento de entrega comprometido de forma ágil y puntual y con las condiciones de calidad requeridas.

En este contexto, es natural que las organizaciones consideren el transporte de mercancías y la distribución física de productos como un elemento de estudio y mejoramiento, esencial en el logro de una logística comercial que se manifieste en reducciones significativas de costos, y al tiempo se consolide como una herramienta para el ofrecimiento de un buen servicio [1].

En los últimos años, en Latinoamérica, el transporte se incrementó significativamente por diversas causas, entre ellas, la necesidad de disminuir los inventarios, lo cual ha provocado un incremento, también, de las frecuencias de abastecimiento. Sin embargo, esto nada tiene que ver, ni es indicativo de un mejor comportamiento

del sector transporte, en las actuales cadenas de distribución. [2]

En un diagnóstico realizado por el Ministerio de Transporte [3] se encontró que en Colombia Para el 2004 se realizaron 10'302.634 viajes totales, de los cuales se cargaron 7'252.498 (70,39%), en los que se movilizaron 117'597.341 toneladas; de estas el 93.23% se movilizó en vehículos de servicio público, el 5.58% en vehículos de servicio particular y solo el 1.18% en vehículos de servicio oficial.

Se evidencia entonces, que existe una tendencia al aumento de la movilización de carga, pasando de 117'597.341 toneladas en el 2004 a 177.057.000 en el año 2009. Sin embargo las relaciones entre las empresas generadoras de carga, las empresas transportadoras y los dueños de los vehículos no son satisfactorias en la actualidad.[4]

Las falencias del sistema generan problemas de capacidad además de una generalidad en cuanto al manejo deficiente de la información y la falta de indicadores que permitan realizar seguimiento a la gestión de transporte y la distribución, lo cual conlleva a propiciar un servicio no satisfactorio al cliente final.[4]

[4] Desarrollaron un estudio de priorización del transporte donde se definieron unos indicadores que pretendían beneficiar directamente a los actores de la cadena. En este artículo se hará uso de los resultados de esta investigación y se simulará la cadena abordando el conjunto de criterios como elementos simultáneos de evaluación por lo que se consolida como una herramienta multicriterio.

La figura 1 Representa el problema de estudio que consiste en una planta de producción que realiza envíos de mercancía a un centro de distribución y a su vez este la envía a cinco bodegas ubicadas en puntos geográficos distintos con demandas y requerimientos diferentes.

## II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de despacho de producto es muy común en medianas y grandes empresas manufactureras y comercializadores de productos de consumo masivo. Las organizaciones se ven en la necesidad de priorizar las bodegas para realizar los envíos cada que hay escasez de recursos.

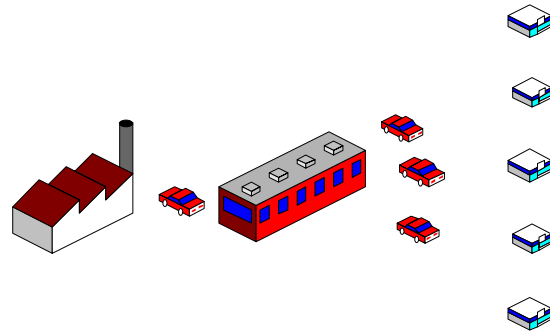


Figura 1. Cadena de abastecimiento

La toma de decisiones enfocadas a esta problemática se convierte en un elemento esencial dentro de la logística de la organización, debido a que una excelente planificación de los recursos destinados para tal fin, repercutirán en el uso eficiente de los mismos y en los costos generados por esta actividad.

Aunque el costo de transporte comúnmente representa en gran proporción a los costos logísticos totales en diversas compañías, la decisión de mantener o reducir estos costos, se toma con la finalidad de lograr el cumplimiento de un buen servicio. [5] Por esto se deben diseñar planes de mejoramiento enfocados en el transporte, la distribución y el seguimiento constante al servicio al cliente considerando indicadores logísticos y financieros.

La gestión del transporte implica sincronizar una cantidad finita y limitada de recursos, desde controlar la producción, el inventario en planta, los despachos al centro de distribución y a partir de este, el envío a los clientes, ya sean internos (bodegas) o externos (clientes con demandas específicas).

Todo esto en conjunto hace que el despacho de mercancías se convierta en un sistema dinámico que consiste en la interacción de elementos que varían en el tiempo, cuyas relaciones efectivas permitirán que se cumpla con los requerimientos necesarios para satisfacer al cliente.

La toma de decisiones de la gestión del transporte implica priorizar el despacho de mercancía, por lo cual se requiere jerarquizar las bodegas a las que se suministrará el producto. Sin embargo las decisiones asociadas a esta gestión se toman de forma empírica y deliberada, por ejemplo, es muy común que se despache primero a la Bodega que hizo el mayor pedido, o aquella que tenga el cliente externo, más importante, o aquella que esté

más cerca o más lejos del centro de distribución (valoración de lead times), etc.

[4] demostraron que no habían sido definidos de manera clara, indicadores que permitan planificar los despachos de una organización, y que apunten a aquellas variables claves para el servicio al cliente y la gestión efectiva de los recursos de los que dispone una empresa. Además, resaltaron la importancia de establecer mecanismos que permitan tomar estas decisiones fundamentados en criterios que den soporte a las mismas e indicadores que establezcan y permitan controlar su impacto en la cadena logística.

En este sentido, [4] proponen un conjunto de indicadores que contribuyen a priorizar los despachos, con un enfoque que permite mantener un buen servicio al cliente. Los indicadores de prioridad de bodegas o criterios propuestos son los siguientes:

- Criterio de cobertura en unidades (c.u.)
- Criterio de tamaño del faltante (t.f.)
- Criterio de cobertura en días (c.d.)
- Criterio priorización de zona de mercado
- Criterio de demanda
- Criterio de variabilidad de la demanda
- Criterio de tamaño del pedido (t.p.)

Entonces, el orden de importancia de cada bodega se determina conociendo las unidades demandadas, y se deberá tener en cuenta distintas etapas y escenarios que permitan evaluar la influencia de cada indicador de priorización en el sistema. La información obtenida será considerada el insumo para las decisiones de tipo logístico que permitirán un beneficio para todos los involucrados.

La problemática del tema se enfoca en una eficiente toma de decisiones que determine la prioridad entre las bodegas, observándose que es en el CD donde se concentra la mayor parte de las actividades y principalmente es donde se alimenta el funcionamiento en conjunto del sistema.

Tiempo después [6], determinaron que cada criterio trata la priorización desde perspectivas diferentes, y existe una necesidad de asociar todas esas percepciones y sacar una única y robusta conclusión con miras a una priorización y planeación más eficiente.

[7] realizaron un estudio considerando los criterios individualmente, sin embargo la

utilización de un solo criterio viene a ser insuficiente ante la habitual complejidad de estos procesos y dicha práctica es una de las mayores falencias que se cometen en la planificación de despachos hoy en día.

### III ELEMENTOS DE LA SIMULACIÓN

En el presente trabajo se abordará de manera ampliada el caso presentado por [7] como objeto de estudio de una cadena de abastecimiento considerando tres de los criterios de mayor importancia de manera simultánea propuestos por [4] (cobertura en días, tamaño de faltante, tamaño de pedido) y se analizará el impacto de los mismos con dos indicadores (nivel de servicio y rotación de inventario).

#### CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN

##### Cobertura en días ( $Cd$ ):

Se considera el número de días con que cuenta la bodega para cubrir la demanda teniendo como base el tiempo de reposición de inventario o en tránsito (Lead Time) y el inventario efectivo en cada agente de la cadena de producción.

Este criterio determina que tan crítica o no es la situación de una bodega comparada con los días que tarda en reponer su inventario hasta alcanzar el inventario permisible ( $S$ ). Con este se busca encontrar cuantos son los días con que la bodega cuenta para satisfacer las necesidades de la demanda hasta que se reponga el inventario del producto desde el CD, antes de que exista faltante de inventario en la bodega.

$$Cd = Leadtime - \left( \frac{Inventario}{Demanda} \right)$$

(1)

##### Tamaño del faltante ( $Tf$ ):

El inventario de seguridad es un parámetro calculado y consiste en el inventario con el que se responde a las fluctuaciones de la demanda, y cuyo mantenimiento permite evitar el agotamiento del producto, el Inventario efectivo por su parte es en la práctica el resultado del inventario físico en la bodega más la cantidad de producto pendiente por llegar, menos la cantidad de producto comprometida y pendiente por entregar a clientes. El criterio tamaño de faltante comprende el número de unidades contenidas por cada una de las bodegas o en caso contrario la cantidad que le

haría falta para cubrir un determinado nivel de servicio durante el tiempo de transición (LT + R).

$$Tf = Inv. deseguridad - Inv. efectivo$$

(2)

### Tamaño de pedido (Tp):

Comprende para una bodega el porcentaje que representa el pedido respecto al inventario máximo permisible calculado para ella. Este indicador siempre tiene signo positivo y un valor por ejemplo equivalente al 100%, significa que es necesario que la bodega sea prioritaria, dado que el nivel de inventario efectivo es nulo y por lo tanto, el pedido a solicitar debe ser igual al inventario máximo permisible (S). Este criterio pretende no centrar la atención en la magnitud del pedido solicitado sino en la relación de dicha magnitud con el pedido máximo permisible calculado para la respectiva bodega.

$$Tp = \left( \frac{Inv. Maxpermisible - Inv. efectivo}{Inv. Maxpermisible} \right) * 100$$

(3)

## INDICADORES

**Nivel de servicio:** Es la fracción de ciclos en los cuales no ocurren faltantes. El faltante de inventario ocurre cuando el inventario a la mano se reduce a cero.

$$Niveldeservicio = 1 - \left( \frac{Ventas perdidas}{Demanda} \right)$$

(4)

**Rotación de inventario:** Observada como el número de veces durante un periodo en que el inventario se renueva.

$$Rotación del inventario = \frac{Demanda}{Inventariopromedio}$$

(5)

## IV CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio para el desarrollo de esta investigación, se tomó de [6] donde se define un sistema de inventario (R, S) tanto para la planta, el CD y las bodegas. Este sistema de inventario se consideró debido a que aunque hay existencia de variabilidad en la demanda, ésta no es muy significativa. De esta manera se asume una distribución normal con media y desviación estándar para cada una de las bodegas. En la simulación se especifica que la demanda de las

bodegas hala el sistema de despacho, definiendo que en la planta se maneja un sistema Pull proveniente de los clientes (bodegas). Se consideran los siguientes parámetros y supuestos para la ejecución de la investigación:

- ✓ La cadena de abastecimiento está compuesta por: una planta de producción (P), un centro de distribución (CD) y cinco (5) bodegas (Bi), donde i = 1, 2, 3, 4 y 5.
- ✓ Se consideró la problemática de despacho de un solo producto P1 como caso de estudio.
- ✓ Se consideró un sistema de política de inventarios periódica (R, S), donde "R" es el periodo de revisión considerado por la empresa mediante cálculo matemático o por juicio subjetivo, y "S" el inventario máximo permisible del producto en una bodega, el cual debe ser calculado.
- ✓ Se determinó que el CD manejaría un sistema de política de inventarios periódico (R, S). Esto para que la planta disponga de una planificación de producción de ítems a gran escala.
- ✓ Se suponen los inventarios máximos permisibles valores constantes los cuales ya fueron calculados en el documento guía.
- ✓ Se consideró datos de LT, desde la planta hacia el CD, inventario a la mano en la planta, inventario a la mano del CD, el inventario máximo permisible del CD (S), el inventario máximo permisible de la planta (S) y la capacidad máxima de la planta.
- ✓ Se supone al inicio de la simulación un inventario inicial para cada uno de los eslabones de la cadena de abastecimiento (planta, CD y bodegas).

En las figuras 2 y 3 se presentan los diagramas de influencias y de forrester para el caso planteado.



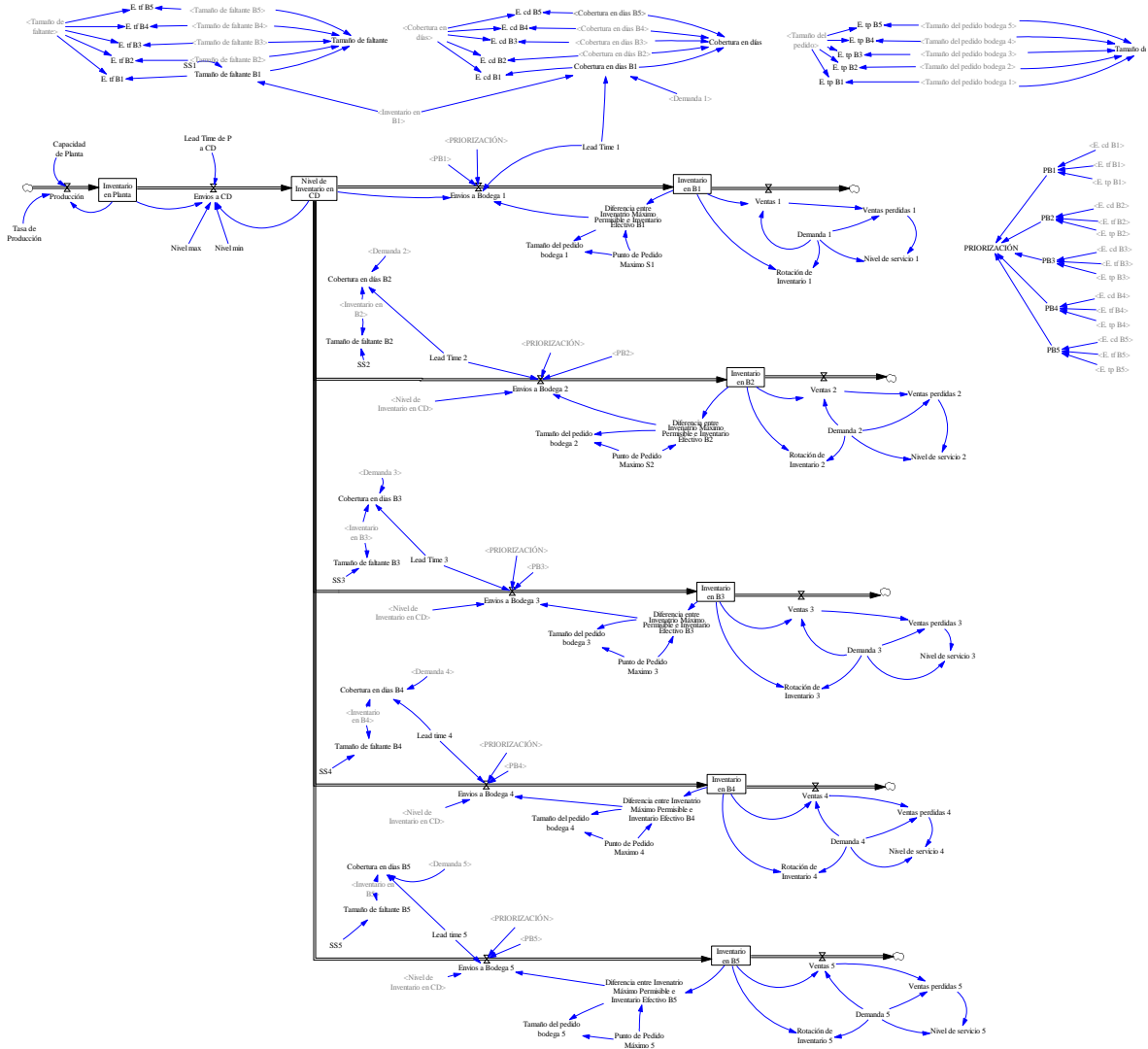


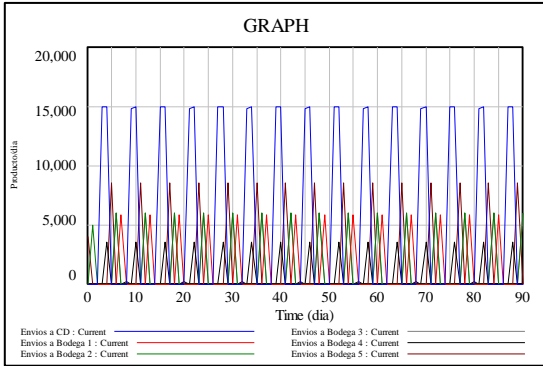
Figura 3. Diagrama de Forrester

## V ANÁLISIS DE RESULTADOS

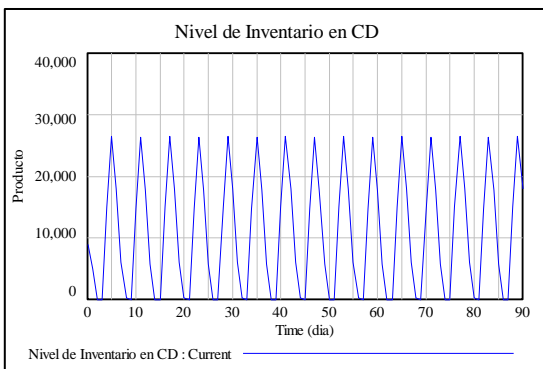
A partir del gráfico presentado, se ha realizado la simulación del sistema para 90 días. Se considera que hay solo un despacho diario, por lo tanto cada día se despachará a la bodega más prioritaria. Los resultados de los despachos se aprecian en la figura 4, así como el comportamiento del inventario del CD (figura 5). Adicionalmente, se presentarán para las bodegas las gráficas que muestran el comportamiento de sus inventarios, rotación y nivel de servicio. Se aclara que no se presentarán todas las gráficas porque su comportamiento es muy similar, sin embargo, se presentará al menos uno por cada bodega.

Es claro que para este caso, se genera desabastecimiento asociado a la restricción de un solo despacho por día, lo cual hace que las otras cuatro bodegas agoten sus inventarios e incurran en ventas perdidas. Sin embargo, el modelo se convierte en una importante referencia para futuros desarrollos que cubran esta falencia y le permita mejorar el nivel de servicio desde cada una de las Bodegas.

Los criterios (Cobertura en días, Tamaño del faltante y Tamaño del pedido) se ponderaron como resultado de la metodología AHP realizada en [4] obteniendo (74,6%, 8,3% y 17,1%) respectivamente.



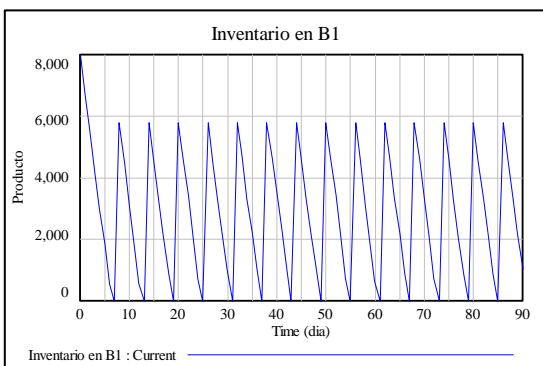
**Figura 4.** Despachos a las bodegas y envíos al CD



**Figura 5.** Nivel de inventario del CD

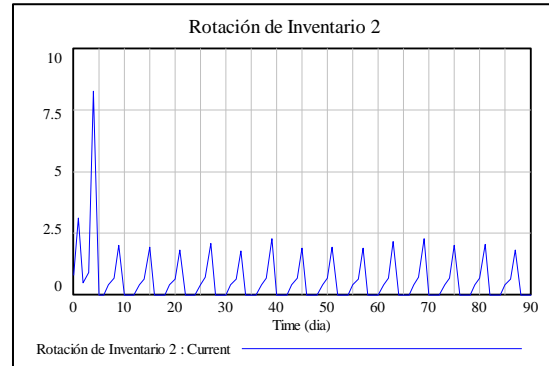
Tal como se dijo, se aprecia en la figura 5 que en repetidas oportunidades el CD lleva su nivel de inventarios a Cero, lo cual generará desabastecimiento mayor en las bodegas. Este elemento puede abordarse en un futuro trabajo, manejando un nivel mayor de inventario en el CD asociado a un incremento de la capacidad en la planta de producción.

A continuación, las figuras 6, 7, 8, 9 y 10 presentan el comportamiento del inventario en la bodega 1, la rotación del inventario en la bodega 2, el nivel de servicio de la bodega 3, y las ventas pérdidas de las bodegas 4 y 5 respectivamente.



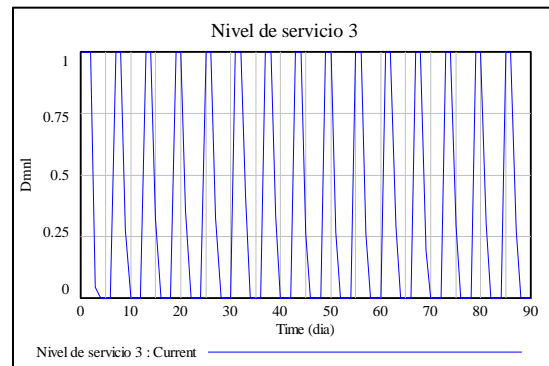
**Figura 6.** Nivel de inventario en la Bodega1

Se aprecia claramente en la figura 6, que el modelo de priorización está funcionando, y que se hacen envíos a la bodega en los momentos en que sus niveles tienden a cero, de manera que para esos momentos su prioridad será mayor. Es importante recordar, que esta prioridad está en función de los tres objetivos de manera global.



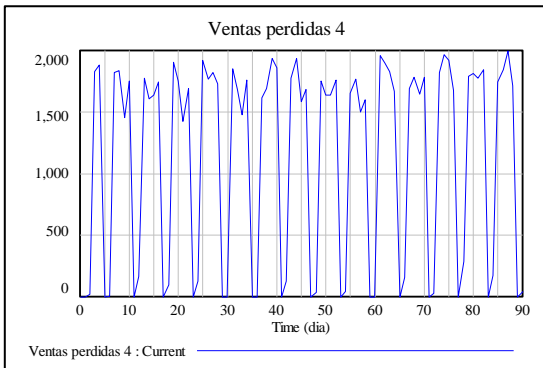
**Figura 7.** Rotación del inventario para la Bodega 2

Como lo muestra la figura, el inventario rota rápidamente, pues el sistema no permite grandes acumulaciones en las bodegas, pues en medio de las limitaciones y restricciones del caso, siempre se estará enviando producción a la bodega de mayor prioridad, lo que no permite acumulaciones en ninguna de las mismas.

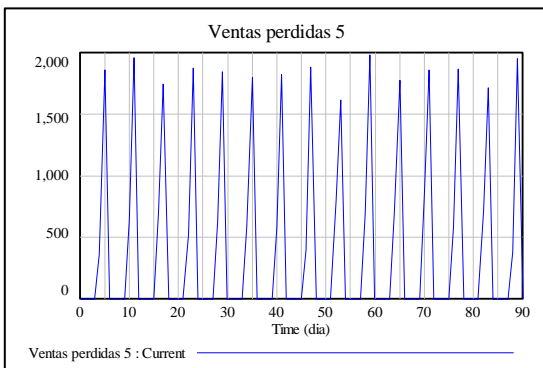


**Figura 8.** Nivel de servicio para la bodega 3

Aunque el comportamiento del nivel de servicio no es muy halagador, dado que hay oportunidades en que este indicador toca el valor de cero, esto se explica dentro del caso de estudio por las limitaciones de capacidad del CD y por la limitación de envíos a las bodegas (que podría explicarse por ejemplo por limitaciones en la flota). Pero es importante notar aquí, que igual que con las bodegas 2 y 3, se están generando despachos en los momentos en que más necesitada esta la bodega.



**Figura 9.** Ventas perdidas para la bodega 4



**Figura 10.** Ventas perdidas para la bodega 5

Las figuras 9 y 10 terminan de confirmar lo que se ha venido planteando en relación con que todas las bodegas son abastecidas en el momento en que más lo necesitan. Que finalmente, es el objetivo del modelo de priorización.

Esta claro que este es un estudio preliminar y que quedan muchos aspectos que pueden incluirse, sin embargo, se considera un avance importante, mas cuando es muy poca la bibliografía existente sobre aplicaciones de dinámica de sistemas en esta situación específica.

## VI CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El modelo logra su cometido al priorizar las bodegas de forma dinámica, puesto que los indicadores de priorización se actualizan momento a momento de acuerdo con las acciones que se den en el sistema, tales como el efecto de la demanda y de los despachos desde el CD.

Queda por confirmar, aunque los resultados así lo dejan inferir, que la priorización multicriterio es más poderosa que si se hiciera por alguno de los

criterios individuales, ya que de acuerdo con la revisión de la literatura, los criterios aquí planteados, pueden en algún momento ser contrarios al momento de priorizar individualmente, pero se complementan al momento de la consideración conjunta.

Para desarrollos futuros queda la posibilidad de múltiples despachos, y la de combinación de despachos en función de una mejor utilización de la capacidad de la flota de transporte.

## VII REFERENCIAS

[1] L. Vargas., F. Salazar., J. Orejuela, “Priorización óptima de despacho de mercancías con recursos de distribución limitados”, xvi international conference on industrial engineering and operations management 2010, Challenges and Maturity of Production Engineering: competitiveness of enterprises, working conditions, environment.

[2] ALADI-Asociación Latinoamericana de Integración “Incidencia del sistema de distribución física utilizado en la región en la competitividad de las exportaciones de los países y sobre los emprendimientos para desarrollar la infraestructura física regional” (2003)

[3] Ministerio de Transporte, “caracterización de transporte en Colombia” (2009)

[4] J. J. Bravo, J. C. Osorio, J. P. Orejuela. “Administración de recursos de distribución: indicadores para la priorización en transporte”. Estudios Gerenciales. Vol. 23. 2007. pp.101-118

[5] Ministerio de Transporte, “Diagnóstico del transporte en Colombia” (2010)

[6] J. J. Bravo, J. C. Osorio, J. P. Orejuela. “Modelo para la priorización dinámica de despachos de vehículos utilizando el proceso analítico jerárquico”. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N.º 48. 2009 pp. 201-215.

[7] A. Betancurt, J. D. Ramos, F. A. Rojas, J. C. Osorio, “Análisis de los elementos que interactúan en la priorización dinámica de despacho uniproducto”. La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento, 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá, septiembre del 2011, pag, 116 – 122.





[www.dinamica-de-sistemas.com](http://www.dinamica-de-sistemas.com)

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



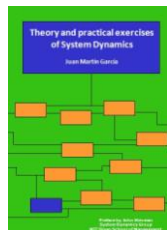
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



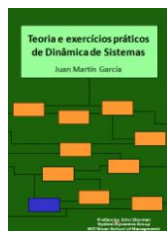
[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)