

Efectos de la regularización de las entregas de producto terminado durante el ciclo de venta en una cadena de suministros de productos de consumo masivo

Efects of regulating deliveries of finished products during the sale cycle in the massive consumption products supply chain

Oscar Rubiano Ovalle^{a}, Hernán Soto García^b, María Eugenia Gil^c*

^aEscuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Facultad de Ingeniería, Edificio 357, Universidad del Valle, Calle 13 N.º 100-00, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali, Colombia.

^bGrupo de Investigación en Competitividad y Productividad Empresarial (GICPE), Departamento de Sistemas de Producción, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente, km. vía Jamundí, Valle del Lili, Cali, Colombia.

^cEscuela de Ingeniería Industrial y Estadística, Facultad de Ingeniería, Edificio 357, Universidad del Valle, Calle 13 N.º 100-00, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali, Colombia.

(Recibido el 16 de julio de 2008. Aceptado el 26 de mayo de 2009)

Resumen

En este artículo se presenta el estudio, modelamiento y propuestas de solución, al problema del reconocido Síndrome del Palo de Hockey (SPH) o síndrome de fin de mes. Mediante este estudio se lograron identificar sus causas y efectos en la cadena de suministro de productos de consumo masivo en un proceso continuo. Igualmente, se evaluó el impacto en la función de costos totales y se plantearon estrategias de solución al problema específico. El estudio se basa en el empleo de un modelo analítico que reproduce el problema y los costos asociados para luego medir los efectos y la magnitud de la solución. La solución apunta a la regularización (REG) del flujo de las entregas en el ciclo de la venta. Los resultados del estudio, muestran una reducción de inventarios, un mejor balance entre la producción y las entregas de productos, así como una mayor eficiencia en la utilización de los recursos logísticos.

* Autor de correspondencia: teléfono + 57 + 2 + 321 21 67, fax: + 57 + 2 + 339 84 62, correo electrónico: oscaruba@pino.univalle.edu.co (O. Rubiano)

----- **Palabras Clave:** Cadenas de suministro, síndrome del palo de hockey, consumo masivo.

Abstract

In this paper, the study, modelling and solution proposals of the famous Hockey Stick Syndrome (HSS) or End-of-the-Month Syndrome problem is presented. From this study it was possible to identify its causes and effects in a supply chain of massive consumption products in a continuous process. Equally, the impact was evaluated in the total cost function and solution strategies to the specific problem were established. The study is based on the use of an analytical model that reproduces the problem and the associate costs, then measures the effects and the magnitude of the solution. The solution aims to regularize the sale cycle flow. The results show a reduction of inventories, a better balance between the production and deliveries of products, as well as a larger efficiency in the use of the logistical resources.

----- **Keywords:** Supply chain, hockey stick syndrome problem, massive consumption.

Introducción

Uno de los problemas que enfrentan muchas empresas fabricantes de productos de consumo masivo, es la falta de regularización de las entregas durante el ciclo de la venta, generándose una concentración de pedidos en la última semana del mes, que afecta la sincronización de los flujos en los procesos de la cadena de suministro e incide en la eficiencia y eficacia del servicio.

Este fenómeno es conocido como el “Síndrome del palo de hokey o “Síndrome de fin de mes”, donde la tendencia de las transacciones entre proveedor-cliente, es a tranzar pedidos bajos en las primeras tres semanas, y al llegar el fin de mes se ejercen una serie de presiones, estrategias y condiciones, para que el cierre del mayor porcentaje de las transacciones se realice en la última semana.

Para aplicar el modelo se usó como piloto la información de una organización productora de la cadena productiva de aceites y grasas, ubicada en Colombia, cuyo comportamiento de entregas semanales durante un mes típico, se asemeja al mostrado en la figura 1, esto es, 10%, 15%, 15% y 60% (información suministrada por la Vicepre-

sidencia de Manufactura y Logística de la organización piloto) en cada semana respectivamente.

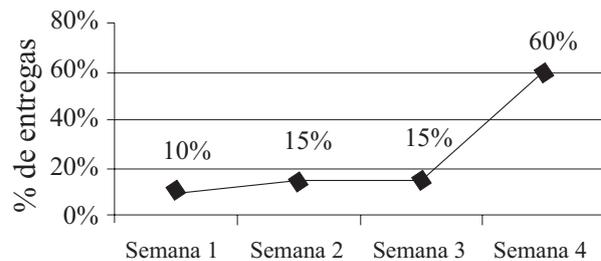


Figura 1 Desempeño del ciclo de entrega en la empresa

En esta investigación se propone como meta inicial, lograr regularizar las entregas de pedidos basados en un ciclo de entrega con un comportamiento semanal de 20%, 25%, 25% y 30% respectivamente, como se muestra en la figura 2, considerado este, un escenario futuro realista para calcular los efectos de la regulación mediante el modelo.

El problema se puede definir como una práctica de transacciones comerciales entre cliente y proveedor, que no permite la regularización de pedidos, creando una falta de uniformidad en el

flujo de productos durante el mes, que conlleva a sobrecostos, afecta el nivel de servicio al cliente y la efectividad de la cadena de suministro. Eventos identificados en este estudio, que inciden en la generación del fenómeno son: 1) las cuotas de ventas, 2) cultura de negociación de corto plazo por parte los clientes y vendedores, 3) políticas de descuentos, promociones y plazos especiales que ofrecen las mismas empresas, 4) poder de negociación de los grandes intermediarios de la cadena de suministro como mayoristas, distribuidores y las grandes cadenas, 5) no se define un portafolio (mezcla de productos) de ventas basado en rentabilidad, 6) escasa comunicación, coordinación y colaboración entre los socios de la cadena.

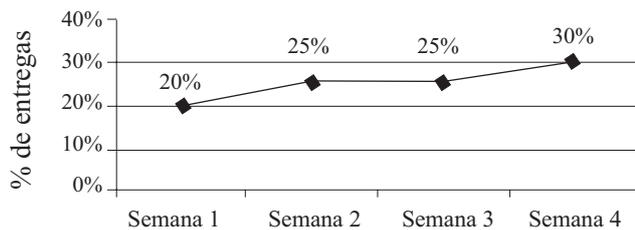


Figura 2 Comportamiento propuesto del ciclo de entrega

Revisión bibliográfica sobre el síndrome del palo de hockey

Numerosas publicaciones abordan la problemática del fenómeno llamado el efecto bullwhip [1, 2, 3, 4], pero una de sus causas relevantes, el llamado fenómeno del Síndrome de Fin de Mes, no ha sido modelado formalmente de manera matemática por los investigadores que lo han estudiado. En este estudio se realizó una exhaustiva revisión de la literatura alusiva al modelamiento matemático del fenómeno, y no se hallaron apotes significativos. Chase y otros [5] en la octava edición de su texto *Administración de la Producción y las Operaciones*, tratan el tema para ambientar la problemática de las restricciones en un sistema bajo la óptica de la Teoría de las Restricciones. Lozano [6] lo describe como el resultado de un juego de intereses entre vendedores

y compradores, que a la larga afecta el nivel de servicio logístico. De igual manera, el fundador del “Business Basics, LLC Bill Gaw [7], caracteriza el fenómeno, enfatizando en que aunque las empresas traten de enfrentar el problema con sofisticados sistemas de planeación y control de la producción, tal como los ERPs, la prevención del fenómeno no ha sido lograda, puesto que no se enfocan claro en la regularización de la relación ventas-producción. Gaw propone que una buena solución de equilibrio, podría ser el desarrollo de una simple hoja de cálculo, especialmente diseñada para planificar las etapas de producción crítica y para medir y / monitorear la regularidad de la producción. Igualmente enfatiza en concientizar a las personas de reevaluar sus paradigmas productivos, y abandonar las prácticas “apagadoras de incendios”. Por otro lado, Hines y otros [8], también caracterizan el problema e intentan encontrar maneras de prevenirlo aplicando la filosofía Lean en la industria automotriz en el Reino Unido. Finalmente Vanteddu y otros [9], construyen un instrumento en hoja electrónica para que todos los miembros de una cadena de suministro, interactúen y de forma común trabajen la información operativa de la cadena, con el fin de menoscar el impacto entre otros, del fenómeno en mención.

Modelamiento y experimentación

Modelo del sistema

En la figura 3, se presenta el modelo estructural de la configuración del sistema objeto.

En este estudio, para medir el efecto de la regulación de las entregas durante el ciclo de entregas mensuales, se identifican fundamentalmente los costos relevantes operativos del sistema operativo configurado, desde el ingreso de las materias primas, pasando por producción, hasta su distribución. Dentro de los costos logísticos se incluyen los generados por manejo y almacenamiento, transporte y faltantes, cuando el flujo (cantidades semanales), sobrepasa la capacidad del sistema en las Bodegas de los productos terminados.

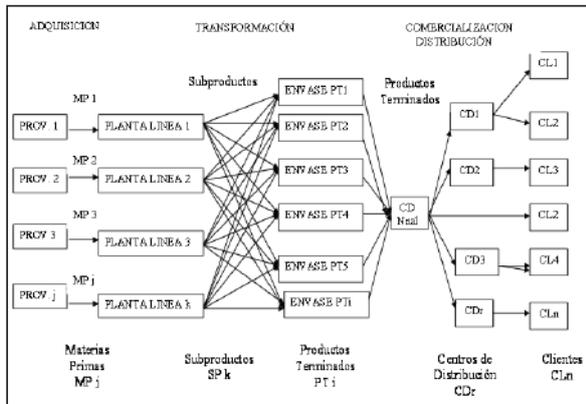


Figura 3 Configuración del sistema

Con un enfoque dinámico, se toma como unidad de tiempo la semana, para realizar seguimiento al comportamiento de las variables de flujo y de estado del modelo, al trasladar los saldos de una semana a otra. El modelo se desarrolla en AMPL (Algebraic Modeling Languages For Mathematical Programming).

Seguidamente se presenta la notación de las principales variables del modelo.

Supuestos:

- No se considera como restricción el abastecimiento de la materia prima al fabricante.
- La fábrica trabaja en forma continua todas las semanas.
- Planta de personal constante en el centro nacional y en los Centros de distribución (CDs) regionales, durante la simulación.
- Se considera una eficiencia promedio para cada una de las operaciones logísticas.
- Capacidad de almacenamiento física fija por ton/m² en CDs nacional y regionales.
- Atención a las necesidades de los CDs regionales por parte del CD nacional, respetando los inventarios de seguridad.
- Se penaliza (\$/tonelada) la demanda faltante por falta de capacidad de almacenamiento, o de horas extras máximas permitidas tanto en el centro nacional como en los CDs regionales.

Variables y parámetros

A continuación se describen las variables de decisión y parámetros definidas para el modelo.

• **Variables de flujo**

Las variables de flujo que aparecen en la tabla 1, representan los movimientos de materias primas, subproductos y productos terminados a lo largo de la cadena de suministro.

Tabla 1 Variables de flujo del modelo

Notación y descripción de la variable		No.
M_{jt}	Cantidad de materia prima j, requerida por la planta en el tiempo t	(1)
Y_{kt}	Cantidad de subproducto k, en el tiempo t	(2)
Z_{it}	Cantidad a producir de producto terminado i, en el tiempo t [Ton]	(3)
X_{irt}	Cantidad de producto terminado i, para enviar a la regional r, en el tiempo t [Ton]	(4)

• **Variables de estado**

Las variables de estado que aparecen en la tabla 2, representan las acumulaciones de materias primas, subproductos y productos terminados a lo largo de la cadena de suministro, así como acumulaciones de consumos de recursos, derivados.

Parámetros

Los parámetros que aparecen en la tabla 3, obtenidos en este estudio, representan fundamentalmente costos unitarios de producción, logísticos y de consumos de recursos. Los valores específicos de los múltiples parámetros que intervienen en el modelo relativos a costos y gastos, capacidades, eficiencias, variabilidad, consumo de materiales, tiempos de entrega, precios, fueron suministrados por las Áreas de Contabilidad, Logística y Manufactura de la Empresa piloto utilizada en este estudio. Los parámetros de rendimientos fueron obtenidos por los autores en los sitios de trabajo o a partir de las estadísticas. No se dan a conocer estos valores específicos por ser considerados confidenciales.

Tabla 2 Variables de Estado

<i>Notación y descripción de la variable</i>		No.
IMP_{jt}	Inventario promedio de materia prima j, en el tiempo t [Ton]	(1)
$ISMP_{jt}$	Inventario de seguridad de materia prima j, en el tiempo t [Ton]	(2)
IS_{kt}	Inventario de subproductos k, en el tiempo t [Ton]	(3)
ISS_{kt}	Inventario de seguridad de subproductos k, en el tiempo t [Ton]	(4)
IV_{nt}	Inventario final de producto terminado i, en el centro nacional n, en el tiempo t [Ton]	(5)
IVP_{nt}	Inventario promedio producto terminado i, en el centro nacional n, en el tiempo t [Ton]	(6)
ISN_{nt}	Inventario de seguridad de producto terminado i, en el centro nacional n, en el tiempo t [Ton]	(7)
IR_{rt}	Nivel de inventario final de producto terminado i, en la regional r, en el tiempo t [Ton]	(8)
IRP_{rt}	Nivel de inventario promedio de producto terminado i, en la regional r, en el tiempo t [Ton]	(9)
ISR_{rt}	Inventario de seguridad de producto terminado i, en la regional r [Ton]	(10)
HN_{nt}	Horas hombre directas requeridas en centro nacional n, en el tiempo t [Horas Hombre]	(11)
HR_{rt}	Horas hombre directas requeridas en la regional r, en el tiempo t [Horas Hombre]	(12)
HeN_{nt}	Horas Hombre Extras personal directo en centro nacional n, en el tiempo t [Horas Hombre]	(13)
HeR_{rt}	Horas Hombre Extras personal directo en la regional r, en el tiempo t [Horas Hombre]	(14)
$TNDN_{nt}$	Cantidad de producto terminado no despachado en el centro nacional n, en el tiempo t [Ton]	(15)
$TNDR_{rt}$	Cantidad de producto terminado no despachado en la regional r, en el tiempo t [Ton]	(16)
AN_{nt}	Área requerida para almacenar producto terminado en el centro nacional n, en el tiempo t [m ²]	(17)
AR_{rt}	Área requerida para almacenar producto terminado en la regional r, en el tiempo t [m ²]	(18)
$PTNAN_{nt}$	Cantidad de producto terminado no almacenado por exceder la capacidad en el centro nacionaln, en el tiempo t [Toneladas de producto terminado/m ²]	(19)
$PTNAR_{rt}$	Cantidad de producto terminado no almacenado por exceder la capacidad en la regional r, en el tiempo t [Ton/ m ²]	(20)
AeN_{nt}	Área adicional requerida para almacenar producto terminado en el centro nacional n, en el tiempo t [m ²]	(21)
AeR_{rt}	Área adicional requerida para almacenar producto terminado en la regional r, en el tiempo t [m ²]	(22)
TeN_{nt}	Cantidad de producto terminado a transportar por fuera del contrato en el centro nacional n, en el tiempo t m ² [Toneladas de producto terminado]	(23)
TeR_{rt}	Cantidad de producto terminado a transportar por fuera del contrato en la regional r, en el tiempo t [Ton]	(24)

TABLA 3 Parámetros

<i>Notación y descripción de la variable</i>		<i>No.</i>
Cosum_mp j:	Costo de suministro de materia prima j [\$/Ton]	(1)
Cos_sp k:	Costo total de subproducto k [\$/Ton]	(2)
Codir_sp k:	Costos directos de conversión del subproducto k [\$/Ton]	(3)
Gasdir_sp k:	Gastos directos de proceso de subproducto k [\$/Ton]	(4)
Gasind_pt i:	Gastos indirectos de fabricación producto terminado i [\$/Ton]	(5)
Coemp_pt i:	Costos de empaque de producto terminado i [\$/Ton]	(6)
Gasemp_pt i:	Gastos directos de empaque producto terminado i [\$/Ton]	(7)
Costinv:	Costo de tener inventarios [%]	(8)
Cofal_pt i:	Costo del faltante producto terminado i [%]	(9)
Como_cn n:	Costo hora mano de obra directa en el centro nacional n. [\$/hora - hombre]	(10)
Cohex:	Costo hora hombre extra [\$/hora - hombre]	(11)
Como_reg r:	Costo hora mano de obra directa en la regional r [\$/hora - hombre]	(12)
Coalex_reg r:	Costo m ² de almacenamiento adicional a la capacidad normal para producto terminado en la regional r [\$/m ²]	(13)
Coalex_cn n:	Costo m ² de almacenamiento adicional a la capacidad normal para producto terminado en el centro nacional n. [\$/m ²]	(14)
Costran_ptN nr:	Costo de transporte de producto terminado desde el centro nacional n a la regional r [\$/Ton]	(15)
Costran_ptR r:	Costo de transporte de producto terminado desde la regional r a los canales [\$/Ton]	(16)
Rectran_pt:	Recargo flete transporte de producto terminado [%]	(17)
De_reg rit:	Demanda de producto terminado i de cada regional r [Ton]	(18)
Pedx rit:	Pedidos extras de producto terminado i de cada regional r al centro nacional [Ton]	(19)
Catr_cn n:	Capacidad contratada de carga por el centro nacional n [Ton]	(20)
Catr_reg r:	Capacidad contratada de carga por la regional r [Ton]	(21)
Dish:	Disponibilidad en horas de la planta Cali [horas]	(22)
Dish_cn n:	Disponibilidad de mano de obra en horas del centro nacional n [horas]	(23)
Dish_reg r:	Disponibilidad de mano de obra en horas de la regional r [horas]	(24)
Fo_pt kt:	Fórmula de subproducto, cantidad de subproducto k para fabricación de producto terminado i [Ton]/ [Ton]	(17)
REal:	Rendimiento de almacenamiento productos terminados [hora-h/Ton]	(18)
Efal_cn:	Eficiencia de almacenamiento de producto terminado por m ² en el centro nacional [m ² /Ton]	(19)
Efal_reg:	Eficiencia de almacenamiento de producto terminado por m ² en la regional [m ² /Ton].	(20)

Notación y descripción de la variable		No.
Copta_cn:	Conversión de toneladas de producto terminado a requerimiento de área en el centro nacional [Ton/m ²]	(21)
Capro j:	Capacidad del flujo de materia prima j [horas/Ton]	(22)
MPS it:	Programa de producción del producto terminado i, en el tiempo t [Ton]	(23)
Copta_reg:	Conversión de toneladas de producto terminado a requerimiento de área en los CDs regionales [Ton/m ²]	(24)
Disal_cn n:	Disponibilidad de almacenamiento neto de producto terminado del centro nacional n [m ²]	(25)
Disal_cnx n:	Disponibilidad máxima de almacenamiento de producto terminado del centro nacional n [m ²]	(26)
Disal_reg r:	Disponibilidad de almacenamiento neto de producto terminado de la regional r [m ²]	(27)
Disal_regx r:	Disponibilidad máxima de almacenamiento de producto terminado de la regional r [m ²]	(28)
REpp:	Eficiencia de preparación de pedidos de producto terminado [hora-hombre /Ton]	(29)
REht:	Horas requeridas a partir de toneladas a ubicar en estantería [Ton/hora-hombre]	(30)
REcar:	Eficiencia de carga de pedidos de producto terminado en camión [hora-hombre/Ton]	(31)
Efrans_sp jk:	Eficiencia de transformación de materia prima j a subproductos k [%]	(32)
pk:	Valor factor de seguridad k, tomado de la probabilidad de tener agotados por cada ciclo de reposición, basado en el nivel de servicio especificado por la empresa. [%]	(33)
Hemax_cn n:	Horas extras máximas permitidas en el centro nacional n [hora-hombre]	(34)
Hemax_reg r:	Horas extras máximas permitidas en la regional r [hora-hombre]	(35)
LT_SP:	Lead Time de producción planta para subproductos [Semanas]	(36)
LT_Pla:	Lead Time de producción planta para productos terminados [Sem]	(37)
LT_Log:	Lead Time de Logística para entrega de productos terminados a CDs regionales [Sem]	(38)
LT_Prov:	Lead Time del proveedor de materia prima [Sem]	(39)
Desv_sp kt:	Desviación estándar de la producción de subproducto en la planta el tiempo t [Ton]	(40)
Desv_ptN nit:	Desviación estándar de la demanda consolidada del producto terminado i en el centro nacional n, en el tiempo t [Ton]	(41)
Desv_ptR rit:	Desviación estándar de la demanda del producto terminado i de la regional r al centro nacional, en el tiempo t [Ton]	(42)
Desv_mp jt:	Desviación estándar de la demanda de materia prima j, en el tiempo t [Ton]	(43)
Preven_pt it:	Precio de venta de producto terminado i [\$/Ton] en el tiempo t [\$/Tonelada de producto terminado], en el tiempo t	(44)
Cocom_pt:	Costo comisión de venta por producto terminado [%]	(45)

• **Función objetivo**

La función objetivo, se concentra en la totalidad de costos de producción y logísticos, derivados de la gestión de los flujos generados por los movimientos y almacenamientos de productos a lo largo de la cadena de suministro.

Minimizar costo total:

Costos de Producción

Costo de suministro materia prima:

$$\sum_{j \in MP} \text{Cosum_mp}_j \times M_{jt}$$

Costos directos de conversión:

$$+ \sum_{k \in SP} \text{Codir_sp}_k \times Y_{kt}$$

Costos de empaque producto terminado:

$$+ \sum_{i \in PT} \text{Coemp_pt}_i \times Z_{it}$$

Gastos directos de proceso subproductos:

$$+ \sum_{k \in SP} \text{Gasdir_sp}_k \times Y_{kt}$$

Gastos directos de empaque producto terminado:

$$+ \sum_{n \in CN} \sum_{i \in PT} \text{Gasemp_pt}_i \times Z_{it}$$

Gastos indirectos de fabricación producto terminado:

$$+ \sum_{i \in PT} \text{Gasind_pt}_i \times Z_{it}$$

Costos Logísticos

Costo de tener inventario de materia prima:

$$+ \sum_{j \in MP} \text{Costinv} \times \text{Cosp_mp}_j \times (\text{IMP}_{jt} + \text{ISMP}_{jt})$$

Costo de tener inventario de subproducto:

$$+ \sum_{k \in SP} \text{Costinv} \times \text{Cos_sp}_k \times (\text{IS}_{kt} + \text{ISS}_{kt})$$

Costo de tener inventario de producto terminado en el centro nacional:

$$+ \sum_{n \in CN} \sum_{i \in PT} \text{Costinv} \times \text{Preven_pt}_{it} \times (\text{IVP}_{int} + \text{ISN}_{nit})$$

Costo de tener inventario de producto terminado en los CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in REG} \sum_{i \in PT} \text{Costinv} \times \text{Preven_pt}_{it} \times (\text{IRP}_{irt} + \text{ISR}_{irt})$$

Costo de faltante producto terminado en centro nacional por pedidos no entregados a tiempo (Back order):

$$+ \sum_{n \in CN} \text{Cofal_pt} \times \text{TNDN}_{nt}$$

Costo de faltante producto terminado en CDs regionales por pedidos no entregados a tiempo (Back order):

$$+ \sum_{r \in REG} \text{Cofal_pt} \times \text{TNDR}_{rt}$$

Costo mano de obra directa en centro nacional:

$$+ \sum_{n \in CN} \text{Como_cn}_n \times \text{HN}_{nt}$$

Costo mano de obra directa en CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in REG} \text{Como_reg}_r \times \text{HR}_{rt}$$

Costo horas extras centro nacional:

$$+ \sum_{n \in CN} \text{Cohex} \times \text{HeN}_{nt}$$

Costo horas extras en CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in REG} \text{Cohex} \times \text{HeR}_{rt}$$

Costo de transporte de producto terminado del centro nacional a los CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in REG} \sum_{n \in CN} \sum_{i \in PT} \text{Costran_ptN}_{nr} \times X_{irt}$$

Costo de transporte de producto terminado de los CDs regionales a los canales:

$$+ \sum_{r \in REG} \sum_{i \in PT} \text{Costran_ptR}_r \times X_{irt}$$

Recargos transporte de producto terminado que sobrepasa el contrato de carga en el centro nacional:

$$+ \sum_{n \in \text{CN}} \sum_{r \in \text{REG}} \text{Rectran_pt} \times \text{Costran_pt} N_{nr} \times \text{Te} N_{nt}$$

Recargos transporte de producto terminado que sobrepasa el contrato de carga en los CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in \text{REG}} \text{Rectran_pt} \times \text{Costran_pt} R_r \times \text{Te} R_{rt}$$

Recargo por almacenamiento adicional requerido en el centro nacional:

$$+ \sum_{n \in \text{CN}} \text{Coalex_cn}_n \times \text{Ae} N_{nt}$$

Recargo por almacenamiento adicional requerido en CDs regionales:

$$+ \sum_{r \in \text{REG}} \text{Coalex_reg}_r \times \text{Ae} R_{rt}$$

Costo de comisiones de venta producto terminado:

$$+ \sum_{r \in \text{REG}} \sum_{n \in \text{CN}} \sum_{i \in \text{PT}} \text{Cocom_pt}_i \times \text{Preven_pt}_{it} \times X_{irt}$$

Restricciones:

Utilización de materia prima:

$$\sum_{k \in \text{SP}} \text{Eftrans_sp}_{jk} \times Y_{kt} \leq \text{IM}_{kt-1} + M_{kt}, \forall j \in \text{MP}$$

Disponibilidad de tiempo en la planta:

$$\text{Capro}_j \times M_{jt} \leq \text{Dish}, \forall j \in \text{MP}$$

Balance de masa para subproductos:

$$M_{jt} = \sum_{k \in \text{SP}} \text{Eftrans_sp}_{jk} \times Y_{kt} + \text{ISMP}_{jt}, \forall j \in \text{MP}$$

Balance de subproductos para obtener producto terminado:

$$Y_{kt} = \sum_{i \in \text{PT}} \text{Fo_pt}_{ki} \times Z_{it}, \forall k \in \text{SP}$$

Presupuesto de producción de productos terminados:

$$Z_{it} = \text{MPS}_{it} + \sum_{r \in \text{REG}} \text{Ped} x_{rit} + \sum_{r \in \text{REG}} \text{ISR}_{irt} - \sum_{r \in \text{REG}} \text{ISR}_{irt-1} + \text{ISN}_{nit} - \text{ISN}_{nit-1}, \\ \forall i \in \text{PT} \wedge \forall n \in \text{CN}$$

Despacho del centro nacional a los CDs regionales:

$$X_{irt} = \text{De_reg}_{it} + \text{Ped} x_{rit} + \text{ISR}_{irt} - \text{ISR}_{irt-1}, \forall i \in \text{PT} \wedge \forall r \in \text{REG}$$

Condición de despacho a CDs regionales:

$$Z_{it} \geq X_{irt}, \forall i \in \text{PT} \wedge \forall r \in \text{REG}$$

Requerimientos de horas directas en centro nacional:

$$\text{HN}_{nt} = \sum_{i \in \text{PT}} \text{REal} \times Z_{it} + \sum_{i \in \text{PT}} \text{REal} \times \text{ISN}_{nit} + \sum_{r \in \text{REG}} \sum_{i \in \text{PT}} \text{REpp} \times X_{irt} + \sum_{r \in \text{REG}} \sum_{i \in \text{PT}} \text{REcar} \times X_{irt}, \\ \forall n \in \text{CN}$$

Requerimientos de horas directas en CDs regionales:

$$\text{HR}_{rt} = \sum_{i \in \text{PT}} \text{REal} \times X_{irt} + \sum_{i \in \text{PT}} \text{REal} \times \text{ISR}_{irt} + \sum_{i \in \text{PT}} \text{REpp} \times X_{irt} + \sum_{i \in \text{PT}} \text{REcar} \times X_{irt}, \forall r \in \text{REG}$$

Horas extras requeridas en centro nacional:

$$\text{Si } \text{HN}_{nt} - \text{Dish_cn}_n \leq 0 \text{ entonces } 0, \\ \text{de lo contrario } \text{He} N_{nt} = \text{HN}_{nt} - \text{Dish_cn}_n, \\ \forall n \in \text{CN}$$

Horas extras requeridas en CDs regionales:

$$\text{Si } \text{HR}_{rt} - \text{Dish_reg}_r \leq 0 \text{ entonces } 0, \\ \text{de lo contrario} \\ \text{He} R_{rt} = \text{HR}_{rt} - \text{Dish_reg}_r, \\ \forall r \in \text{REG}$$

Producto terminado no despachado en el centro nacional: $TNDN_{nt} = (HeN_{nt} - Hemax_{cn_n}) \times REht$, $\forall n \in CN$

Producto terminado no despachado en CDs regionales: $TNDR_{rt} = (HeR_{rt} - Hemax_{reg_r}) \times REht$, $\forall r \in REG$

Requerimiento de almacenamiento en centro nacional:

$$AN_{nt} = \sum_{i \in PT} Efal_{cn} \times (IV_{nit} + ISN_{nit}),$$

$$\forall n \in CN$$

Requerimiento de almacenamiento en CDs regionales:

$$AR_{rt} = \sum_{i \in PT} Efal_{reg} \times (IR_{irt} + ISR_{irt}), \forall r \in REG$$

Producto terminado que sobrepasa la capacidad de almacenamiento máxima en centro nacional y que debe almacenarse en bodegas alternas: $PTNAN_{nt} = (AN_{nt} - Disal_{cn_n}) \times Copta_{cn}$, $\forall n \in CN$

Producto terminado que sobrepasa la capacidad de almacenamiento máxima en cada regional y que debe almacenarse en bodegas alternas: $PTNAR_{rt} = (AR_{rt} - Disal_{reg_r}) \times Copta_{reg}$, $\forall r \in REG$

Almacenamiento extra requerido en centro nacional:

$$\text{Si } AN_{nt} - Disal_{cn_n} \leq 0, \text{ entonces } 0$$

$$\text{de lo contrario } AeN_{nt} = AN_{nt} - Disal_{cn_n},$$

$$\forall n \in CN$$

Almacenamiento extra requerido en CDs regionales:

$$\text{Si } AR_{rt} - Disal_{reg_r} \leq 0$$

$$\text{entonces } 0 \text{ de lo contrario}$$

$$AeR_{rt} = AR_{rt} - Disal_{reg_r}$$

Requerimiento extra de transporte del centro nacional a los CDs regionales:

$$\text{Si } \sum_{r \in REG} \sum_{i \in PT} X_{irt} - Catr_{cn_n} \leq 0$$

$$\text{entonces } 0 \text{ de lo contrario}$$

$$TeN_{nt} = \sum_{r \in REG} \sum_{i \in PT} X_{irt} - Catr_{cn_n}$$

$$, \forall n \in CN$$

Requerimiento extra de transporte desde los CDs regionales a los canales:

$$\text{Si } \sum_{i \in PT} De_{reg_{nit}} - Catr_{reg_r} \leq 0$$

$$\text{entonces } TeR_{rt} = 0, \text{ de lo contrario}$$

$$TeR_{rt} = \sum_{i \in PT} De_{reg_{nit}} - Catr_{reg_r}, \forall r \in REG$$

Inventario de materia prima:

$$IM_{jt} = IM_{jt-1} + M_{jt}$$

$$- \sum_{k \in SP} Eftrans_{sp_{jk}} \times Y_{kt} - ISMP_{jt-1}, \forall j \in MP$$

Inventario de subproductos:

$$IS_{kt} = IS_{kt-1} + ISS_{kt} - ISS_{kt-1}, \forall k \in SP$$

Inventario productos terminados en centro nacional:

$$IV_{nit} = IV_{nit-1} + Z_{it} - \sum_{r \in REG} X_{irt}, \forall i \in PT, \forall n \in CN$$

Inventario productos terminados en CDs regionales:

$$IR_{irt} = IR_{irt-1} + ISR_{irt} - ISR_{irt-1}, \forall i \in PT, \forall r \in REG$$

Inventario de seguridad de materias primas en planta:

$$ISMP_{jt} = Desv_{mp_{jt}} \times \sqrt{LT_{Prov}} \times pk, \forall j \in MP$$

Inventario de seguridad de subproductos en planta:

$$ISS_{kt} = Desv_{sp_{kt}} \times \sqrt{LT_{sp}} \times pk, \forall k \in SP$$

Inventario de seguridad de productos terminados en el centro nacional:

$$ISN_{nit} = Desv_{pt}N_{nit} \times \sqrt{LT_Pla} \times pk, \\ \forall i \in PT \wedge \forall n \in CN$$

Inventario de seguridad de productos terminados en CDs regionales:

$$ISR_{irt} = Desv_{pt}R_{nit} \times \sqrt{LT_Log} \times pk, \\ \forall i \in PT \wedge \forall r \in REG$$

Inventario promedio de materias primas:

$$IMP_{jt} = (IM_{jt-1} + IM_{jt})/2, \forall j \in MP$$

Inventario promedio de subproductos:

$$ISP_{kt} = (IS_{kt-1} + IS_{kt})/2, \forall k \in SP$$

Inventario promedio de producto terminado en centro nacional:

$$IVP_{int} = (IV_{nit-1} + IV_{nit})/2, \forall i \in PT \wedge \forall n \in CN$$

Inventario promedio de producto terminado en regional:

$$IRP_{irt} = (IR_{irt-1} + IR_{irt})/2, \forall i \in PT \wedge \forall r \in REG$$

En el modelamiento se incluyeron las restricciones de no negatividad de las variables.

Formulación de escenarios

La problemática del SPH exige soluciones sistémicas, siguiendo las prioridades de motricidad y dependencia sugeridas por el análisis estructural.

Objetivo general: Regularización del flujo de salida durante cada mes.

Escenario 1: ventas reguladas

Consiste en ajustar la demanda al ciclo de venta propuesto. Como resultante, la demanda semanal se ajustará a la meta planteada inicialmente por el Fabricante, la cual se contó en la figura 2, regularizando el flujo de la siguiente manera: en la primera semana debe despacharse el 20%, en la segunda semana un 25%, en la tercera semana un 25% y en la 4 semana un 30%. De esta forma la Compañía esperaría que como mínimo, en la tercera semana se haya despachado un 70% del total de los pedidos.

Escenario 2: Ventas reguladas, con despachos directos y sin pedidos extras

En éste escenario se introducen adicionalmente al modelo, los despachos directos programados y priorizados, con los intermediarios. También se introduce la eliminación de la práctica de pedidos extras en la última semana del mes, los cuales se planifican dentro de la demanda normal de los CDs regionales.

Resultados y discusión

En la figura 4 se observan los resultados del escenario 2 en los costos de producción vs. los costos con el SPH, resultando una reducción del 5.71% del costo total de producción.

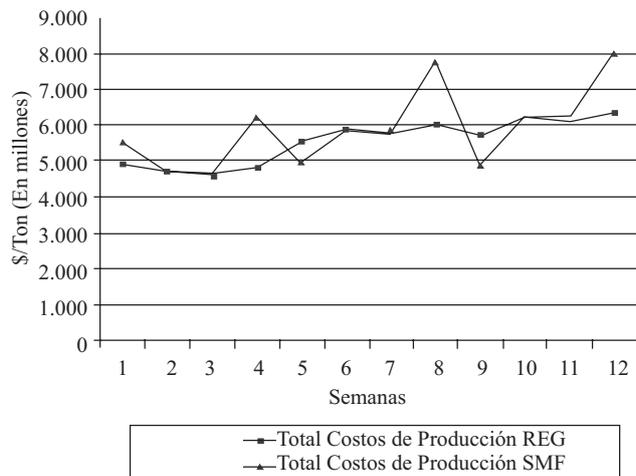


Figura 4 Costo total de producción del SPH vs. REG

Se aprecia en la figura 5, cómo los costos logísticos del SPH, se reducen en las semanas 4, 8 y 12, impactando los costos logísticos totales con un ahorro del 38.12%. La tabla 4 muestra la descomposición obtenida de los costos logísticos.

Se aprecia como en las semanas 1 y 2, los costos logísticos del escenario 2 son mayores a los del SPH, por el mayor volumen de actividad en las operaciones de logística, pero en las semanas 4, 8 y 12 el pico se reduce, producido solo por la mayor salida de productos en la última semana, acorde con el ciclo de venta esperado.

Tabla 4 Reducción de costos de Producción y Logísticos

<i>Item</i>	<i>% de reducción</i>	<i>% de reducción</i>
Costos de producción	5,7	
Costos logísticos	38,12	
Costos de transporte		33,8
Costos de faltantes		36,13
Costos de tener inventario p.t.		15,3
Costo de almacenamiento de pt		6,32
Costo de tener inventario de subproductos		3,18
Otros		5,7

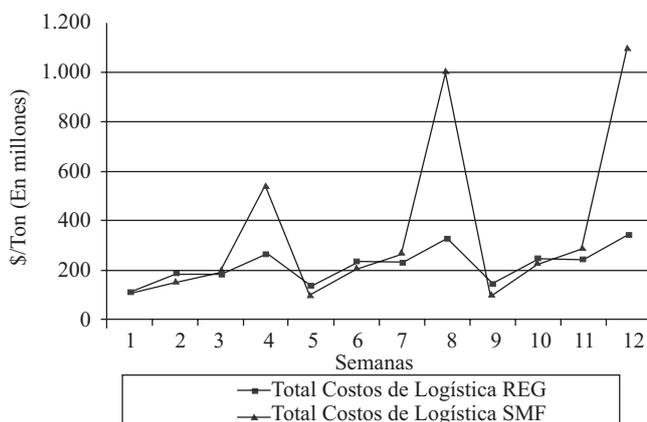


Figura 5 Costo total logística del SPH Vs. REG

Para implementar las soluciones que apuntan a los resultados favorables, evidenciados por el modelo, es una condición implementar *estrategias* que promuevan un trabajo integrado entre las áreas comercial, logística y los intermediarios, para generar las condiciones y cualidades requeridas para regular el flujo de productos, e implementar las mejores prácticas comerciales y logísticas. Las estrategias propuestas en esta investigación son:

- 1) Definir directrices que promuevan un cambio cultural en las prácticas comerciales y logísticas,
- 2) acordar entre los miembros de la cadena un plan de entregas programadas estableciendo reglas de prioridad,
- 3) estructurar el programa de entregas directas,
- 4) definir el portafolio de productos diferenciado por canales,
- 5) diseñar un sistema de compensación para la fuerza de ventas que promueva el apoyo a la regularización y al cumplimiento de la mezcla de productos o portafolio rentable para la organización,
- 6) cierre mensual de ventas anticipado al cierre fiscal,
- 7) implementar un sistema de planeación conjunta entre fabricante y distribuidores, que incluya también los eventos especiales,
- 8) capacitar y entrenar adecuadamente a la fuerza de ventas y logística para propiciar el cambio.

Conclusiones

En este estudio, se caracterizó y se modeló una cadena de suministro de fabricación y distribución de una familia de productos de consumo masivo. A partir del modelo se estudió el impacto del fenómeno, Síndrome del Palo de Hockey sobre las variables operativas y sobre los costos de producción y logística, dentro del ciclo de ventas de un mes típico durante 52 semanas. Las causas relevantes, están relacionadas con políticas y cultura de negociación de los actores de la cadena de suministro, así como el mal aprovechamiento del poder de negociación de los grandes intermediarios de la cadena de suministro en la gestión de la cadena como un todo.

Con el objetivo de contrarrestar la desregularización de las salidas de producto terminado hacia los clientes, se evaluaron 2 escenarios de solución con base en variables incidentes claves en el fenómeno estudiado. Los resultados obtenidos indican una reducción en los costos de producción del 5.7%, lo cual en términos de dinero es muy significativo en la estructura de costos del tipo de industria estudiado. Con respecto a los costos logísticos, el porcentaje de ahorro es aún muy significativo, 38.12%. En el ahorro del costo logístico el mayor peso lo presentó la reducción en los requerimientos y costos de transporte de

productos terminados en un 33.8 %, reducción de costos por faltantes de producto terminado en una 36.13% y reducción de costos de mantener inventario de producto terminado en 15.30%. También se logran ahorros en porcentajes menores en costos de almacenamiento (6.32%) y de mantener inventario de subproducto (3.18%).

Otros beneficios logrados con la regularización incluyen: mejor balance entre la producción y las salidas de productos, reducción de la incertidumbre de la demanda, mayor eficiencia en la utilización de los recursos logísticos, reducción en los requerimientos de horas hombre para las operaciones de almacenamiento, preparación de pedidos y cargue de vehículos.

Referencias

1. S. Disney, I. Farasyn, M. Lambrecht, D. Towill. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=873588. Consultada el 17 de enero de 2008.
2. F. Campuzano, F. Lario, L. Ros. “Consecuencias del efecto Bullwhip según distintas estrategias de gestión de la cadena de suministro: modelado y simulación”. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*. Vol. 5. 2008. pp. 49-66.
3. H. Lee, W. Whang. “Information Sharing in a Supply Chain”. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*. Vol. 1. 2000. pp. 79-93.
4. A. Crespo, O. Rubiano. “The effectiveness of using e-collaboration tools in the supply chain: an assessment study with system dynamics”. *Journal of Purchasing & Supply Management*. Vol 9. 2003. pp 151-163.
5. Richard B. Chase, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano, “*Administración de producción y operaciones para una ventaja Competitiva*”. 8ª. ed. Mc Graw Hill. Mexico. 2000. pp.792-793.
6. O. Lozano. *El Síndrome de Fin de Mes* <http://www.sintec.org/Publicaciones/ArticulosDetalle.aspx?367>. Consultada el 20 de octubre de 2007.
7. G. Bill. *Production Linearity - Eliminating the "Hockey Stick Syndrome"*. <http://ezinearticles.com/?Production-Linearity---Eliminating-the-Hockey-Stick-Syndrome&id=977100>. Consultada el 15 de enero de 2008.
8. P. Hines, M. Holweg, J. Sullivan, J. Waves. “Beaches, breakwaters and rip currents – A three-dimensional view of supply chain dynamics”. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. Vol. 30. 2000. pp. 827-846.
9. G. Vanteddu, R. Chinnam, K. Yang. “A performance comparison tool for supply chain management”. *International Journal of Logistics Systems and Management*. Vol. 2. 2006. pp. 342-356.