

COORDINACION DE ABASTECIMIENTO CON INFORMACION COMPARTIDA EN PYMES AGROALIMENTARIAS COLOMBIANAS.

SUPPLY COORDINATION WITH INFORMATION SHARING IN COLOMBIAN AGRI-FOOD SMES.

MARTÍN DARÍO ARANGO SERNA

Escuela de Ingeniería de la Organización. Facultad de Minas. Universidad Nacional, mdarango@unal.edu.co

WILSON ADARME JAIMES

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. wiadarme@unal.edu.co

MARIA ALEJANDRA OTERO

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. maoterop@unal.edu.co

Recibido para revisar noviembre 10 de 2010, aceptado mayo 9 de 2011, versión final mayo 11 de 2011

RESUMEN: Este artículo, propone un modelo de Inventario Gestionado por el Vendedor (Vendor Managed Inventory–VMI-) mejorado respecto al modelo propuesto por Yao [1] en una cadena de abastecimiento para dos eslabones con un vendedor y un comprador, que considera los costos de envío del proveedor al comprador y un inventario sincronizado. Se analizan los costos totales relevantes de la cadena de abastecimiento y los beneficios para cada uno de los eslabones en comparación con las situaciones en que no se implemente la política de VMI y en la que se implemente el modelo de VMI propuesto por Yao[1]. Se revisa el impacto de la aplicación de VMI en el sector panificador en Colombia, con el uso de parámetros que fueron determinados en estudios anteriores [2] y se obtiene que la implementación de una política de coordinación de inventarios es beneficiosa tanto para el proveedor como para el comprador.

PALABRAS CLAVE: VMI, coordinación, costo de pedir y almacenar, cantidad óptima de pedido.

ABSTRACT: This paper proposes a model of Vendor Managed Inventory (VMI) improved compared to the model proposed by Yao [1] in a supply chain to two links with a seller and a buyer, which considers the cost of shipping to the buyer and supplier inventory synchronized. It discusses the relevant total costs of the supply chain and benefits for each of the links in comparison to situations where no policy is implemented and in which VMI is implemented VMI model proposed by Yao [1]. We review the impact of the implementation of VMI in the sector baker in Colombia using parameters that were determined in previous studies [2] and is obtained that the implementation of an inventory policy coordination is beneficial to both the supplier and to the buyer.

KEY WORDS: VMI, coordination, order and store costs, optimal order quantity.

1 INTRODUCCIÓN

La importancia estratégica de integrar la cadena de abastecimiento de forma apropiada que busque generar ventajas en costos y en servicio al cliente, ha llevado a las empresas a implementar técnicas cooperativas de gestión de inventarios como el VMI que permitan al vendedor responder a la demanda final evitando el efecto distorsionante que generan las decisiones de abastecimiento del comprador y evitando la toma de decisiones sub-óptimas cuando cada eslabón de la cadena establece sus políticas de abastecimiento en forma independiente [3]. Luego de revisar la literatura sobre VMI, se encontró que en Colombia no se ha documentado esta estrategia, corresponde

evaluar las implicaciones que tendría en un sector que demanda la atención de académicos, investigadores y empresarios. El artículo estructura un modelo en el cual se describen los supuestos, variables y parámetros determinados en la investigación que se adelantó en las panaderías objeto de estudios localizados en la ciudad de Palmira, Valle del Cauca. Luego se desarrolla el análisis del modelo y se compara con el descrito por Yao y otros [1] que sirve como referencia de análisis y comparación. Finalmente se presenta el caso de estudio para identificar los ahorros generados por el modelo propuesto y cómo estos ahorros se distribuyen entre los dos eslabones de la cadena de abastecimiento considerada.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Siendo objetivo de la gestión de la cadena de abastecimiento minimizar los costos totales del sistema, a la vez que satisfacer los requerimientos del nivel de servicio al cliente [4]. El VMI es una práctica de aprovisionamiento que permite una respuesta rápida del vendedor a la demanda final y representa un alto nivel de asociación, donde el vendedor es el tomador de decisiones primario en la colocación de órdenes y en el control de inventarios [5]. Bajo un sistema VMI, el proveedor decide las políticas y el nivel de inventario para cada producto [5] [6].

Un programa típico de VMI involucra a un proveedor que monitorea los niveles de inventario de su cliente y asume la responsabilidad de reaprovisionar inventario para alcanzar objetivos específicos [7]. Como el proveedor es quien toma la decisión de reaprovisionar, el comprador reduce sus costos de ordenar y de mantener inventario [8], mientras que el proveedor soporta la carga de tener el inventario y de pronosticar la demanda, pero probablemente gana oportunidades para mejorar la eficiencia de la producción y el mercadeo [9].

El VMI apunta a la reducción de costos de inventario para el minorista y los costos totales para el proveedor [4]. Se reduce el impacto de la amplificación de la demanda pues el fabricante recibe una visión directa de los patrones de demanda del cliente final y puede utilizarlos para pronosticar [10] [11]. Como consecuencia, se consiguen mejoras en la productividad y en el servicio reflejado en un mayor margen de ganancias [12]. La confidencialidad del intercambio de información minorista - proveedor, el riesgo de pérdida de control del minorista, el incremento de los costos administrativos del vendedor y los mínimos beneficios para el proveedor son las mayores debilidades del VMI [13].

Yao y otros [1] desarrollan un modelo analítico que explora cómo los parámetros más importantes de la cadena de abastecimiento afectan a los ahorros de costos que puedan obtenerse de iniciativas colaborativas como el VMI. El modelo muestra los beneficios en forma de reducción de costos de inventario, generados de la integración dependiendo de sus parámetros. Para demostrar los resultados, Yao y otros [1] [14], trabajan en una cadena de abastecimiento de dos niveles, un proveedor y un comprador y analizan las prácticas de gestión de inventarios antes y después de la aplicación de VMI.

Determinando cantidades óptimas de pedido y costos con y sin VMI. La conclusión es que las cantidades óptimas de pedido son menores con VMI que sin VMI. En el estudio se observa que la reducción de costos de inventario no está distribuida equitativamente entre comprador y proveedor.

3. METODOLOGIA

El propósito de la investigación es complementar el modelo de Yao y otros [1], al explicitar los costos de envío del proveedor al comprador que se encuentran implícitos por el autor dentro del costo de ordenar del comprador. Se consideran los efectos que tiene el costo del transporte. Con una demanda determinística y lead time cero, el pedido del proveedor puede hacerse en el momento en que el comprador requiere un nuevo pedido para así disminuir el inventario promedio del proveedor y por tanto disminuir costos de la cadena [15] [16].

Para comparar el desempeño de los costos totales de la cadena bajo el modelo propuesto y el de Yao y otros [1], en la situación en la que el proveedor y el comprador no han establecido una política de VMI se consideran los siguientes supuestos:

El comprador y proveedor implementan una política de tamaño de orden óptimo en forma independiente.

- Ambos implementan una estrategia VMI considerando que el sistema de información del proveedor recibe directamente los datos de demanda del consumidor.
- La demanda del consumidor es determinística y conocida para el comprador
- Lead time es cero.

La investigación en las panaderías inicia desde el año 2007, donde se han evaluado 76 y dos proveedores mediante la interacción de empresarios, trabajadores e investigadores, utilizando técnicas como reuniones, encuestas, entrevistas estructuradas y observación del sistema.

4. MARCO DEL MODELO

Para analizar el VMI, se considera una red de dos eslabones, un proveedor, un comprador y un producto tomado de la evaluación de las panaderías. Se

mantienen los supuestos mencionados en el apartado anterior. Se analizan los costos cuando el comprador determina en forma independiente su cantidad óptima de pedido EOQ (*Economic Order Quantity*) y el proveedor lo hace observando la demanda final del producto a través de los pedidos que hace el comprador. Luego se analiza los costos de la cadena de abastecimiento para el modelo VMI siguiendo el propuesto por Yao y otros [1], en el que el proveedor conoce la demanda final del producto y determina la cantidad a enviar que minimice los costos. Se prevé la situación para un modelo con VMI que incorpore el costo de envío del producto del proveedor al comprador y asuma un inventario sincronizado dados los supuestos de tiempo de reaprovisionamiento y demanda conocida.

Considerando el costo de envío del proveedor al comprador y no el costo de envío del comprador a clientes finales pues este no influye en la política de cantidad de orden óptima [14]. El modelo asume que el costo de mantener por periodo de tiempo del comprador es mayor o igual al costo de mantener del proveedor debido a posibles ahorros del proveedor por mayores espacios de almacén, lo que disminuiría los costos fijos por unidad almacenada ($h > H$).

El modelo plantea una cadena con un comprador y un vendedor, se toma los parámetros de los estudios de Adarme y Prieto [17] para las panificadoras. La Tabla 1 muestra la notación utilizada; la tabla 2 los costos de almacenamiento y la tabla 3 muestra la demanda de insumos mes de las panaderías estudiadas:

Tabla 1. Parámetros y Variables de los modelos a evaluar.

Table 1. Parameters and variables of the models to assess.

	<i>Sin VMI</i>		<i>Modelo de Yao</i>		<i>VMI mejorado</i>	
	Proveedor	Comprador	Proveedor	Comprador	Proveedor	Comprador
Costo de mantener	H	.h	H	.h	H	.h
Costo de ordenar	C	.c	C	c'	C	c''
Cantidad de orden	Q	.q	Q'	q'	Q''	q''
Costo de envío	T				T	
Demanda del periodo	R	.r	R	.r	R	.r

Tabla 2. Costos de almacenamiento

Table 2. Cost of storage

<i>Insumo</i>	<i>Comprador (h)</i>	<i>Vendedor (H)</i>
Harina (kg)	7,34	10,85
Azúcar (kg)	8,48	7,47
Sal (kg)	5,72	8,52
Levadura (kg)	36,74	151,54
Queso (kg)	43,81	40,25

Costo de pedir comprador \$1171,79/pedido y Costo de pedir vendedor \$3015/pedido.

Tabla 3. Demanda de insumos - mes Panadería

Table 3. Demand for monthly inputs Bakery

<i>Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Comprador (r)</i>	<i>Vendedor (R)</i>
Harina	Bulto	40	900,0
Azúcar	Bulto	10	300,0
Sal	Arroba	1	30,0
Levadura	Libra	60	42,9
Queso	Arroba	30	1628,6

5 COSTOS TOTALES DE LA CADENA Y CANTIDAD ÓPTIMA DE PEDIDO

Se calculan los costos totales relevantes de inventario para la cadena, bajo tres situaciones propuestas,

así como las cantidades de pedido óptimas para el comprador y el proveedor.

5.1 Sin VMI

Si comprador y proveedor determinan su cantidad óptima de pedido de acuerdo con políticas EOQ. El modelo de Yao [1] [14] considera el inventario promedio del proveedor como $Q/2$ para determinar su cantidad óptima de pedir. Hacer esta suposición no es adecuada si se considera que el comprador está enviando órdenes de pedido de cantidad q cada cierto tiempo. Entonces el inventario del proveedor presentaría un comportamiento escalonado, es decir, cada vez que el comprador hace un pedido de q unidades, el inventario del proveedor cae en esta cantidad. La figura 1, describe la situación.

Van der Vlist y otros [18], analizan la situación en la que proveedor y comprador determinan su cantidad óptima de pedido en forma independiente e introduce los costos de transportar el producto teniendo en cuenta dos escenarios:

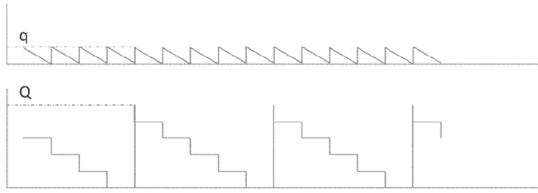


Figura 1. Comportamiento del inventario para el vendedor y distribuidor.

Figure 1. Behavior of inventory for the seller and distributor.

- El costo de transporte como un costo adicional por unidad
- El costo de transporte como un costo por envío realizado al comprador

El inventario promedio del proveedor es $Q/2$. Por su parte Huang y Ye [19] tienen en cuenta el comportamiento escalonado del inventario del proveedor y toman las consideraciones de Van der Vlist [18], respecto a la demanda sincronizada, pero omiten al igual que Yao y otros [1], los costos de transporte.

Esta propuesta incluye el comportamiento escalonado del inventario del proveedor e incorpora el costo de transporte, el cual se considera como un costo por envío y es cargado en el modelo al comprador para revisar su efecto. Entonces la cantidad óptima de pedido del comprador viene dada por:

$$CTR_c = \frac{(c+T) \cdot R}{q} + h \cdot \frac{q}{2} \quad (1)$$

Derivando e igualando a cero y despejando q , la cantidad de pedido óptima para el comprador es:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot (c+T) \cdot R}{h}} \quad (2)$$

El costo total relevante para el comprador, cantidad óptima de pedido es:

$$CTR_c^* = \frac{(c+T) \cdot R}{q^*} + \frac{q^*}{2} \cdot h = \sqrt{2hR \cdot (c+T)} \quad (3)$$

Por su parte la cantidad óptima para el proveedor viene dada por:

$$CTR_p = \frac{C \cdot R}{Q} + H \cdot I_p \quad (4)$$

De acuerdo con la gráfica del inventario del comprador y el proveedor, el inventario promedio del proveedor,

asumiendo que $Q=Kq$, es decir, que la cantidad de pedido óptima del proveedor es igual a la del comprador por un factor K , es:

$$I_p = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=1}^K (Q - i \cdot q) \quad (5)$$

Simplificando se tiene:

$$I_p = Q - \frac{K+1}{2} \cdot q = \frac{(Q-q)}{2} \quad (6)$$

Derivando el costo total relevante con el inventario promedio calculado e igualando a cero para obtener la cantidad de pedido óptima

para el proveedor es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (7)$$

El costo total relevante dada esta cantidad óptima de pedido es:

$$CTR_p^* = \frac{CR}{Q^*} + \frac{(Q^*-q)}{2} \cdot H = \sqrt{2HCR} - H \cdot \sqrt{\frac{(c+T) \cdot R}{2h}} \quad (8)$$

El costo total de la cadena de abastecimiento es:

$$\begin{aligned} CTR &= \sqrt{2hR \cdot (c+T)} + \sqrt{2HCR} - H \cdot \sqrt{\frac{(c+T) \cdot R}{2h}} \\ &= \sqrt{2R} \cdot \left[\sqrt{h \cdot (c+T)} + \sqrt{HC} \right] - H \cdot \sqrt{\frac{(c+T) \cdot R}{2h}} \quad (9) \end{aligned}$$

5.2 Modelo de VMI de Yao y otros (2007a)

De acuerdo con Yao y otros [1], el costo de transporte se encuentra implícito dentro del costo de ordenar, es decir, se considera un costo de transporte por orden. Las cantidades de pedido óptimas para comprador y proveedor y el costo total relevante de la cadena luego de implementar este modelo VMI son:

$$q^{*'} = \sqrt{\frac{2 \cdot c' \cdot R}{(h+H)}} \quad \text{y} \quad Q^{*'} = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (10)$$

$$CTR_{VMIAO}^* = \sqrt{2R} \cdot \left(\sqrt{(h+H) \cdot c'} + \sqrt{HC} \right) \quad (11)$$

5.3 Modelo de VMI propuesto

Este modelo optimiza el costo total para la cadena y no para cada eslabón, determinando las cantidades óptimas de pedido. Las funciones de costos para ambos eslabones de la cadena de abastecimiento

son las mismas que para el caso en que no se aplica VMI con la diferencia de que el costo de ordenar del comprador se ve disminuido debido a que el proveedor es el encargado de manejar los envíos del producto y de determinar las cantidades a enviar y el momento en que se despachará la orden, tal como lo expresa Yao y otros [1].

El modelo propuesto considera un inventario sincronizado que reduce el inventario promedio para el proveedor con respecto al propuesto por Yao [1]. Además prevé los costos de transporte como un costo adicional por envío. Por su parte Van der Vlist [18], considera el inventario sincronizado y los costos de envío pero hace unas suposiciones que no se comparten, al indicar que el costo de mantener h para el comprador bajo esta situación es menor que el costo de mantener cuando no se ha implementado VMI.

Este costo de mantener es un costo por unidad en inventario por periodo y no depende de la política de inventario escogida sino de la valoración de los bienes en inventario. Van der Vlist [18], considera que el costo de transporte aumenta bajo la situación de VMI, lo cual no se comparte, pues el costo de transporte es un costo por envío y este costo no necesariamente depende de la política de inventarios. El modelo propuesto pretende a partir de los aportes de estos autores, considerar los costos de transporte en forma explícita y analizar como los parámetros de costos afectan los ahorros que se obtienen al implementar estas políticas y cuál de las partes resulta más beneficiada en la cadena.

El costo total relevante de la cadena viene dado por:

$$CTR_{VMI} = CTR_c + CTR_p = \left[\frac{(c' + T) * R}{q'} + \frac{q'}{2} * h \right] + \left[\frac{CR}{Q'} + \frac{(Q' - q')}{2} * H \right] \quad (12)$$

Para calcular las cantidades de pedido que minimicen los costos totales de la cadena se deriva la función anterior con respecto a q y a Q , y se obtienen estos

$$Q^* = Q^{**} = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad Q^* = Q^{**} = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (15);$$

$$q^{**} = \sqrt{\frac{2 * (c'' + T) * R}{(h - H)}} \quad (13)$$

El costo total óptimo de la cadena con el modelo mejorado de VMI:

$$CTR_{VMI}^* = \sqrt{2R} * \left[\sqrt{CH} + \sqrt{(c'' + T) * (h - H)} \right] \quad (14)$$

6. ANÁLISIS

6.1 Cantidades óptimas de pedido

Si la cantidad óptima de pedido para el proveedor permanece constante sin importar la política de inventarios, se debe analizar el comportamiento de la cantidad de pedido óptima para el comprador de acuerdo con cada política. Si se considera que en el modelo de Yao [1] el costo de ordenar o c' incluye el costo de transporte se asume que $c' = c'' + T$.

Es decir el modelo de VMI propuesto implica mayores frecuencias de reaprovisionamiento $(h - H) < (h + H)$ si se compara con el modelo de Yao [1]. La cantidad de pedido óptima bajo el modelo VMI de Yao [1], será menor que la cantidad de pedido óptima sin VMI puesto que $h < (h + H)$ y que $c' < c + T$.

Por su parte, el comportamiento de las cantidades óptimas de pedido del modelo sin VMI y el modelo VMI propuesto depende de qué tanto disminuya el costo de ordenar del comprador respecto del modelo sin VMI y cómo sea la relación entre el costo de mantener del proveedor y del comprador. Para esto se determina en qué punto la cantidad de pedido óptima del comprador bajo el modelo de VMI propuesto es igual a la cantidad de pedido óptima sin VMI $q^* = q^{**}$.

$$\frac{c + T}{h} = \frac{c'' + T}{(h - H)} \quad (15);$$

$$c'' = \frac{(c + T) * (h - H)}{h} - T \quad (16).$$

Si $c'' < \frac{(c + T) * (h - H)}{h} - T$

entonces, $q^{**} < q^*$.

Si $c'' = \frac{(c + T) * (h - H)}{h} - T$

entonces, $q^{**} = q^*$.

Y si $c'' > \frac{(c + T) * (h - H)}{h} - T$,

entonces, $q^{**} > q^*$.

Si la cantidad óptima de pedido del proveedor es la misma para todas las situaciones y la cantidad de pedido óptima del comprador para el modelo VMI propuesto es mayor que la propuesta por Yao, debe considerarse el caso en que $q^{**} > q^*$. No se permite que la cantidad óptima de pedido del proveedor sea

menor que la del comprador para evitar faltantes, por lo tanto se debe asegurar que la cantidad de pedido del proveedor sea al menos igual a la del comprador.

$$q^{**} = Q^{**} \cdot \frac{(c'' + T)}{(h - H)} = \frac{C}{H} \quad (18);$$

$$c'' = \frac{C * (h - H)}{H} - T \quad (19).$$

Huang y Ye [14], plantean esta consideración pero no tienen en cuenta los costos de transporte. De acuerdo con lo anterior cuando

$$c'' = \frac{C * (h - H)}{H} - T, q^{**} = Q^{**},$$

si $c'' < \frac{C * (h - H)}{H} - T$ entonces $q^{**} < Q^{**}$, y si

$c'' > \frac{C * (h - H)}{H} - T$ entonces $q^{**} > Q^{**}$.

Si la cantidad óptima de pedido del proveedor es menor a la del comprador, Huang y Ye [19] comprueban que la mejor solución es igualar la cantidad de pedido del proveedor con la del comprador. En estos casos, tanto para la situación sin VMI como para la de VMI mejorado las nuevas funciones de costos son:

$$\frac{C}{H} = \frac{(c + T)}{h} \quad (22); \quad c = C * \frac{h}{H} - T \quad (20).$$

Entonces cuando $c > C * \frac{h}{H} - T$ tenemos que

$$Q^* = q^* = \sqrt{\frac{2 * (c + T) * R}{h}}$$

y el costo total relevante sería:

$$CTR = \frac{(c + T)R}{q^*} + h * \frac{q^*}{2} + \frac{CR}{q^*} + H * \frac{(q^* - q^*)}{2} =$$

$$\sqrt{2Rh * (c + T)} + \sqrt{\frac{hRC^2}{2 * (c + T)}} = \sqrt{2Rh * (c + T)} * \left(1 + \frac{C}{2 * (c + T)}\right) \quad (21).$$

Por su parte, el modelo VMI de Huang y Ye [19] demuestran que igualar cantidad de pedido del proveedor y comprador, no genera solución óptima y por tanto se debe buscar la cantidad de pedido que optimice el costo total relevante de la cadena para la situación en que

$$q^{**} = Q^{**}$$

$$CTR_{VMI(q,q)} = \frac{CR}{q} + H * \frac{(q - q)}{2} + \frac{(c' + T)R}{q} + h * \frac{q}{2} = \frac{R * (C + c' + T)}{q} + h * \frac{q}{2} \quad (22)$$

De lo anterior se deduce que no existe costo de mantener por parte del proveedor, es decir, el proveedor no mantiene unidades en inventario sino que pide la misma cantidad que el comprador le solicita. Derivando la expresión anterior e igualando a cero se determina esa cantidad de pedido óptima tanto para proveedor como para comprador.

$$CTR_{VMI(q,q)}' = -\frac{R * (C + c'' + T)}{q^2} + \frac{h}{2} = 0 \quad (23).$$

La cantidad de pedido es entonces denotada como q_a^*

$$q_a^* = \sqrt{\frac{2R * (C + c'' + T)}{h}} \quad (24).$$

Entonces los costos totales relevantes de la cadena bajo esta situación son:

$$CTR = \frac{(c'' + T)R}{q_a^*} + h * \frac{q_a^*}{2} + \frac{CR}{q_a^*} + H * \frac{(q_a^* - q_a^*)}{2} = \sqrt{2hR * (c'' + T + C)} \quad (25)$$

6.2 Costos totales relevantes

Para analizar los ahorros de los costos totales relevantes de la cadena del modelo VMI propuesto respecto de los otros dos modelos considerados y determinar cómo se distribuyen los ahorros entre el proveedor y comprador se utilizan las razones expuestas por Yao [14]. Estas razones son las siguientes:

$$d = \frac{H}{h}; \quad g = \frac{C}{(c + T)}; \quad g' = \frac{C}{c'} = \frac{C}{(c'' + T)} \quad (26).$$

El análisis de costos solo se hará para $c'' < \frac{C * (h - H)}{H} - T$, es decir, $q^{**} < Q^{**}$.

De acuerdo con las ecuaciones (11) y (14) y el modelo propuesto, bajo cualquier condición de los parámetros de costo de la cadena y teniendo en cuenta la restricción en la que la cantidad óptima de pedido del proveedor es mayor que la del comprador, el costo total relevante óptimo del modelo propuesto es en todo caso menor al costo obtenido por el modelo de Yao, si se considera que $c = c' + T$ y por tanto el modelo propuesto implica una resta de los costos de mantener de las dos partes de la cadena mientras que el modelo de Yao los suma [1] [14].

Se observa de la ecuación de costos del proveedor para el modelo no VMI las ventajas que representa para él

mayores cantidades de pedido enviadas al comprador, pues estas terminan reduciendo los costos totales de la cadena y presentan beneficios para este. Esto contradice los supuestos de Yao [1] para la función de costos del proveedor con VMI pues en esta, una mayor cantidad de pedido entre el proveedor y el comprador terminaría aumentando los costos totales para la cadena.

$$CTR_{PNOVMI} = \frac{C * R}{Q} + H * \frac{(Q - q)}{2} \tag{27}$$

$$CTR_{PVMIVAO} = \frac{C * R}{Q} + H * \frac{(Q + q)}{2} \tag{28}$$

Las tablas 4 y 5, muestran los ahorros que se generan con el modelo de coordinación de inventarios con una estrategia VMI propuesta en este artículo, en comparación con la situación en la que no se ha implementado política de coordinación y la situación en la que las partes de la cadena de abastecimiento deciden adoptar una política de VMI siguiendo el modelo de Yao [1]. Para el caso de estudio se consideró los siguientes supuestos:

- La relación entre costos de mantener el proveedor y comprador (d), se analiza entre 0,1 y 0,8 dado que el costo de mantener el comprador es mayor que el del proveedor
- La relación entre el costo de ordenar del proveedor y comprador más el de envío en la situación de no VMI (g), se considera en todos los casos igual a uno ($g = \frac{C}{(c + T)} = 1$).
- La relación entre el costo de ordenar del proveedor y comprador más el de envío bajo el modelo de VMI propuesto, denotado g', se analiza para cuatro casos $g' = \frac{C}{(c' + T)} = \{4,6,8,10\}$. Estos valores de g' fueron escogidos para garantizar la condición de que $q'' < Q''$.
- El costo de transporte se establece por envío y se considera un porcentaje del costo de ordenar del comprador calculado bajo la situación de no VMI.

Tabla 4. Ahorros generados por la implementación del modelo de VMI propuesto versus el modelo sin VMI.
Table 4. Savings generated by implementation of the proposed VMI model versus the model without VMI.

MODELO PROPUESTO VS. MODELO SIN VMI (% de AHORRO)												
g=1	g'=4			g'=6			g'=8			g'=10		
d	TOTAL	CR	PR									
0,1	37,5	49,9	-8,8	44,4	59,1	-10,6	48,5	64,5	-11,7	51,3	68,3	-12,5
0,2	33,6	49,6	-12,7	39,7	58,9	-15,6	43,3	64,4	-17,4	45,8	68,1	-18,6
0,3	30,8	49,2	-15,1	36,3	58,5	-19,3	39,6	64,0	-21,7	41,8	67,8	-23,4
0,4	28,8	48,3	-16,3	33,7	57,8	-21,8	36,7	63,4	-25,1	38,7	67,3	-27,3
0,5	27,2	46,9	-16,0	31,6	56,6	-23,1	34,3	62,5	-27,3	36,1	66,4	-30,2
0,6	26,0	44,6	-13,2	29,9	54,8	-22,4	32,3	60,8	-27,8	33,9	65,0	-31,6
0,7	25,3	40,6	-6,2	28,6	51,5	-18,3	30,6	58,0	-25,4	32,0	62,4	-30,3
0,8	25,1	32,9	9,5	27,9	45,2	-7,0	29,5	52,5	-16,9	30,6	57,5	-23,6

CR: Comprador PR: Proveedor

Tabla 5. Ahorros generados por la implementación del modelo de VMI propuesto versus el modelo de Yao[1].
Table 5. Savings generated by implementation of the VMI model versus the model proposed by Yao [1].

MODELO PROPUESTO VS. MODELO YAO (% de AHORRO)												
g=1	g'=4			g'=6			g'=8			g'=10		
d	TOTAL	CR	PR									
0,1	5,9	-0,0	14,7	5,4	-0,0	12,2	5,1	-0,0	10,6	4,8	-0,0	9,58
0,2	10,1	-0,2	20,6	9,1	-0,2	17,1	8,5	-0,2	14,9	8,0	-0,2	13,4
0,3	13,5	-0,7	25,3	12,2	-0,7	21,1	11,2	-0,7	18,4	10,5	-0,7	16,6
0,4	16,6	-1,8	29,7	14,9	-1,8	24,8	13,7	-1,8	21,8	12,8	-1,8	19,6
0,5	19,6	-3,9	34,4	17,5	-3,9	28,8	16,0	-3,9	25,3	14,9	-3,9	22,8
0,6	22,4	-7,6	39,8	20,0	-7,6	33,3	18,3	-7,6	29,3	17,0	-7,6	26,4
0,7	25,3	-14,6	46,7	22,5	-14,6	39,1	20,6	-14,6	34,4	19,1	-14,6	31,1
0,8	28,5	-28,5	57,1	25,3	-28,5	47,9	23,1	-28,5	42,1	21,4	-28,5	38,1

CR: Comprador PR: Proveedor

Cuando se implementa el modelo VMI propuesto el costo de ordenar del comprador disminuye pero el costo por envío permanece constante pues este no depende de los ahorros generados debido al manejo por parte del proveedor de la política de inventario. Para el caso del análisis mostrado a continuación se prevé un costo de envío del 10% del valor de c .

Como se puede observar el modelo de VMI propuesto representa ahorros en los costos totales relevantes de la cadena respecto a las otras dos situaciones analizadas, además se puede observar que estos ahorros dependen de los parámetros de costos de la cadena considerados. Comparando el modelo VMI propuesto con el modelo sin VMI se generan mayores ahorros totales entre mayor sea g y menor sea d . Para esta situación, el mayor beneficiado del modelo de coordinación de VMI propuesto es el comprador, mientras que el proveedor ve incrementados sus costos. La figura 3 ilustra esta situación para $g = 4$.

Modelo VMI propuesto versus modelo sin VMI para $g = 4$.

Al comparar el modelo de VMI propuesto con el de VMI de Yao [1], se obtiene la situación opuesta pues se generan mayores ahorros totales entre menor sea g y mayor sea d . Para esta situación, el mayor beneficiado del modelo VMI propuesto es el proveedor, mientras que el comprador ve incrementados sus costos. La figura 2 ilustra esta situación para $g = 4$.

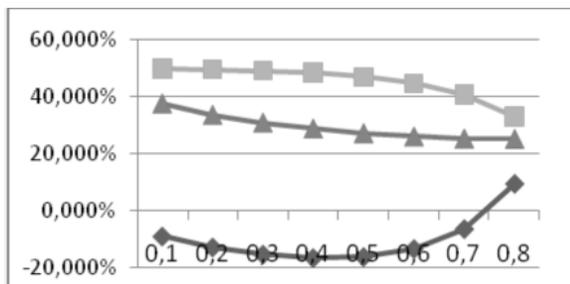


Figura 2. Ahorros de los costos del modelo de V. **Figure 2.** Cost savings model V.

6.3 Caso de estudio – Industria Panificadora.

Para estudiar los beneficios del VMI y los ahorros que obtendrían tanto proveedor como comprador en una situación real se estudió el sector panificador en la ciudad de Palmira, de acuerdo con parámetros obtenidos de estudios previos se determinan las

cantidades óptimas de pedido bajo la situación en la que cada parte de la cadena de abastecimiento implementa una política de cantidad de pedido óptima en forma independiente.

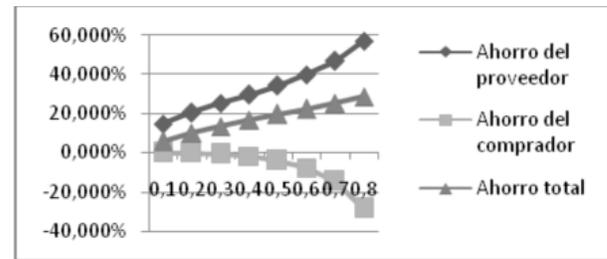


Figura 3. Ahorros en costos del modelo VMI propuesto vs. modelo de VMI de Yao para $g = 4$ **Figure 3.** Cost Savings VMI model proposed vs Yao VMI model for $g = 4$.

El horizonte de estudio fue de un mes, utilizando el insumo “Queso para el análisis”. La cantidad de pedido óptima para el comprador es:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * (c + T) * R}{h}} \tag{29}$$

Como en los parámetros del modelo no se especifica que parte del costo de ordenar corresponde al costo del envío se considera la cantidad $(c + T)$ como un único parámetro.

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * \left(\frac{1171,79\$}{pedido}\right) * \frac{375kg}{mes}}{\frac{43,81\$}{kg/mes}}} = \frac{141,63kg}{mes}$$

Se establece la cantidad de pedido óptima para el proveedor considerando que este atiende a otras panaderías y por tanto sus demandas son mayores. Para definir los costos totales de la cadena de abastecimiento, se consideró la demanda del proveedor igual a la del comprador.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{H}} = \sqrt{\frac{2 * \frac{3015\$}{pedido} * \frac{375kg}{mes}}{\frac{40,25\$}{kg/mes}}} = \frac{237,023kg}{mes}$$

De esta manera los costos totales relevantes de la cadena de abastecimiento en estudio son de:

$$CTR = \sqrt{2R} * \left[\sqrt{h * (c + T)} + \sqrt{HC} \right] - H * \sqrt{\frac{(c + T) * R}{2h}} =$$

$$\sqrt{2 * \frac{375 \text{ kg}}{\text{mes}} * \left[\frac{43,81 \text{ \$}}{\text{kg}} * \left(\frac{1171,79 \text{ \$}}{\text{pedido}} \right) + \frac{40,25 \text{ \$}}{\text{mes}} * \frac{3015 \text{ \$}}{\text{pedido}} \right]}$$

$$- \frac{40,25 \text{ \$}}{\text{mes}} * \frac{\left(\frac{1171,79 \text{ \$}}{\text{pedido}} \right) * \frac{375 \text{ kg}}{\text{mes}}}{\frac{43,81 \text{ \$}}{2 * \frac{\text{kg}}{\text{mes}}}} = \frac{512894}{\text{mes}}$$

Si se implementa una política de VMI de acuerdo con el modelo propuesto, asumiendo que la reducción en el costo de compra es del 80% pues las órdenes ya no las debe hacer el comprador pero si se sigue incurriendo en el costo de transporte, las cantidades óptimas de pedido y el costo total relevante serían:

$$q^{**} = \sqrt{\frac{2 * (c' + T) * R}{(h - H)}} = \sqrt{\frac{2 * \left(\frac{234,358 \text{ \$}}{\text{pedido}} \right) * \frac{375 \text{ kg}}{\text{mes}}}{\left(\frac{43,81 \text{ \$}}{\text{mes}} - \frac{40,25 \text{ \$}}{\text{mes}} \right)}} = \frac{222,2 \text{ kg}}{\text{mes}}$$

$$Q^{**} = \sqrt{\frac{2CR}{H}} = \frac{237,023 \text{ kg}}{\text{mes}}$$

$$CTR = \sqrt{2R} * \left[\sqrt{cH} + \sqrt{(c' + T) * (h - H)} \right] = \frac{510331}{\text{meS}}$$

Con la implementación del VMI, los costos totales de la cadena se reducen en un 19,87%. Se analizó cuál de las dos partes de la cadena se vio beneficiada de la implementación de esta estrategia, determinando los costos para cada una de las partes, antes y después de la implementación de VMI. El costo total relevante para el proveedor y el comprador antes de implementar VMI:

$$CTR_{\text{PROVEEDOR}} = \frac{C * R}{Q} + H * \frac{(Q - q)}{2} = \frac{56689,899}{\text{meS}}$$

El costo total relevante para el proveedor y el comprador con la implementación del VMI:

$$CTR_{\text{PROVEEDOR}} = \frac{CR}{Q'} + \frac{(Q' - q')}{2} * = \frac{55068,4194}{\text{meS}}$$

Ambas partes se ven beneficiadas. El ahorro para el comprador es del 15,19% y para el proveedor es del 24,23%.

7 CONCLUSIONES

El modelo de coordinación propuesto bajo una estrategia VMI mejora el desarrollado por Yao[1]

al considerar los costos de transporte por envío entre el proveedor y el comprador, al sincronizar los inventarios del proveedor con el comportamiento de la demanda del comprador conduciendo a menores inventarios promedios del proveedor. El modelo se compara con una situación en la que no se ha implementado coordinación de inventarios y cada eslabón de la cadena determina su cantidad óptima de pedido en forma separada, al igual que lo hace Yao[1] en su artículo pero ajustando el hecho de considerar el inventario promedio del proveedor es $Q/2$ y reemplazándolo por un inventario sincronizado que tiene un comportamiento escalonado.

El modelo propuesto genera ahorros en los costos totales de la cadena en comparación con los otros dos modelos y además conduce a mayores cantidades de envío del proveedor al comprador, diferente a las conclusiones obtenidas por Yao en su modelo.

Se analizó bajo que situaciones de los parámetros de costos la cantidad óptima de pedido del comprador al proveedor es mayor o menor que la óptima sin VMI y bajo qué situaciones la cantidad de pedido del proveedor es menor que la del comprador y como cambiarían las funciones de costos en este caso.

Los ahorros generados de la implementación de este modelo de coordinación no se distribuyen en forma equitativa sino que benefician casi exclusivamente al comprador. Para el caso de aplicación del VMI en la industria panificadora de Palmira se obtuvo que las cantidades de envío del proveedor al comprador aumentan con la implementación de esta política y se obtienen ahorros en los costos totales relevantes de la cadena completa como ahorros en los costos correspondientes a los dos actores de la cadena.

REFERENCIAS

- [1] YAO, Y; EVERS, P; DRESNER, M. (2007a). Supply chain integration in VMI. Decision Support Systems, Volume 43, Issue 2.
- [2] ADARME, W; ÁLVAREZ, C. (2007). Consumo de insumos agroindustriales por el subsector panificador de Palmira, Valle del Cauca. Revista: Acta Agronómica UN de Colombia. Sede Palmira. Vol. 56 No. 2. ISSN 0120-2812.
- [3] HOLMSTRÖM, J. (1998). Business process innovation in the supply chain – a case study of implementing VMI. European Journal of Purchasing & Supply Management, Vol. 4, Issues 2-3, Pages 127-131

- [4] TYAN Y WEE. (2003). VMI: a survey of the Taiwanese grocery industry. *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 9, Issue 1, 11-18.
- [5] SIMCHI-LIVI, D., KAMINSKY, P., SIMCHI-LIVI, E.(2000). *Designing and Managing the SC-Concepts, Strategies*. McGraw-Hill, Singapore. Tomado de: Tyan y Wee.
- [6] WALLER, M., JOHNSON, M.E., DAVIS, T. (1999). VMI in the retail supply chain. *Journal of Business Logistics* 20 (1), 183–203.
- [7] COPACINO, W.C. (1993). Logistics strategy: how to get with the program. *Traffic Management* 32 (8), 23–24. Tomado de: Dong y Xu, 2002 op cit.
- [8] BENEFIELD, D. (1987). Consignment: what the hospital CFO should know. *Hospital Material Management Quarterly* 8 (4), 29–37. Tomado de: Dong y Xu, 2002 op cit.
- [9] COTTRILL, K. (1997). Reforging the supply chain. *Journal of Business Strategy* 18 (6), 35–39. Tomado de: Dong y Xu, 2002 op cit.
- [10] DISNEY, S.M. (2001). The production and inventory control problem in vendor managed inventory supply chains. Ph.D. Thesis, Cardiff Business School, Cardiff University. Tomado de: Disney et al, 2003
- [11] DISNEY, S.M; POTTER, A.T; GARDNER. B.M.(2003). The impact of vendor managed inventory on transport operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transp. Review*, Vol. 39, Issue 5, 363-380.
- [12] DONG, Y., XU, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 38 (2), 75–95.
- [13] AICHLYMAYR, M.(2000). DC mart: who manages inventory in a value chain. *Transportation and Distribution* 41, 60–68. Tomado de: Tyan y Wee, 2003.
- [14] YAO, Y; EVERS, P; DRESNER, M. (2007b). Response to “Note on supply chain integration in vendor managed inventory”. *Decision Support Systems*, Volume 44.
- [15] SABATH, R., (1995). Volatile demand calls for quick response: the integrated supply chain. *Logistics Information Management* 8 (2), 49–52.
- [16] YAN DONG, KEFENGXU. (2002). A supply chain model of VMI Transportation. *Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Volume 38, Issue 2, 75-95.
- [17] ADARME, W; PRIETO, R. (2007). Modelo para integrar la Red de Abastecimiento de las PYMES Subsector Panificador de Palmira. Tesis Maestría. Universidad del Valle.
- [18] VANDER VLIST, ROELOFKUIK, BAS VERHEIJEN. (2007). Note on supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems*, Volume 44.
- [19] HUANG, B; YE, Z. (2009). The effects of lumpy demand and shipment size constraint: A response to “Revisit the note on supply chain integration in vendor-managed inventory”. *Decision Support Systems*, In Press, Accepted Manuscript.