

# Análisis de la Apertura de Centros de Distribución Internacionales con Base en Precios de Transferencia<sup>1</sup>

## Analysis of the Opening of International Distribution Centers Based on Transfer Prices

D. Bonilla, C.J. Tamayo, C. J. Vidal

Recibido Septiembre 13 de 2012 - Aceptado Noviembre 30 de 2012

**Resumen** - Por medio de dos modelos matemáticos se analiza el efecto de la apertura de centros de distribución internacionales para una empresa que inicialmente exporta sus productos directamente a los clientes. Los modelos consideran precios de transferencia y costos de inventario, lo cual los transforma en no-lineales. El método de solución incluye la linearización del producto entre precios de transferencia y las variables de flujo de productos y la aplicación de un algoritmo iterativo para obtener costos de inventario consistentes. Los resultados muestran que bajo la mayoría de los supuestos considerados, es rentable abrir centros de distribución internacionales. Se presentan igualmente diversos análisis de sensibilidad, examinando la variación de los límites de los precios de transferencia, las tasas de impuesto de renta corporativa y los aranceles.

**Palabras Clave** - Distribución internacional, Modelos de producción y distribución, Precios de transferencia, Optimización de cadenas de abastecimiento globales.

**Abstract** - Two mathematical models to analyze the impact of locating new global distribution centers for a company that originally exports its products directly to its customers are presented. The models consider transfer pricing and inventory costs, which causes the models to be nonlinear. The solution method includes the linearization of the product between the transfer prices and the product flow variables and the application of an iterative procedure to obtain consistent inventory costs. The results show that under most assumptions considered, it is profitable to open international distribution centers. Several sensitivity analyses, such as the impact of the variation of transfer price bounds, corporate income tax rate, and duties, are also presented.

**Key Words** - International distribution, Production and distribution models, Transfer prices, Global supply chain optimization.

---

Este estudio fue parcialmente financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, Proyecto de Investigación SICOP-2613.

Producto derivado del Trabajo de Grado de Ingeniería Industrial "Modelo de localización de centros de distribución en una cadena de abastecimiento global con base en precios de transferencia" realizado por los dos primeros autores, dirigido por el profesor C. J. Vidal y del proyecto de investigación "Modelos matemáticos y métodos de solución para la optimización de cadenas de abastecimiento internacionales con precios de transferencia", código SICOP-2613, Grupo de Investigación en Logística y Producción, Universidad del Valle, dirigido por el tercer autor.

D. Bonilla y C. Tamayo son Ingenieros Industriales que hacen parte del Grupo de Investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle (correos e.: danielbn88@hotmail.com; christiantamayo@hotmail.es).

C. J. Vidal imparte docencia como Profesor Titular en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, Sede Meléndez, Calle 13 100-00, Cali, Colombia, y es director del Grupo de Investigación en Logística y Producción-Universidad del Valle. (correo e.: carlos.vidal@correounivalle.edu.co).

### I. INTRODUCCIÓN

Un precio de transferencia (PT) es el precio que un departamento, división o subsidiaria de una compañía le asigna a un producto o servicio, el cual vende a otro departamento, división o subsidiaria de la misma firma [1]. El problema de los PT es el más importante aspecto de impuestos internacionales que las empresas multinacionales deben enfrentar y varios autores sostienen que este problema ha sido de gran interés para administradores, contadores y economistas por largo tiempo [2].

En los últimos 30 años, las empresas multinacionales no han experimentado una función de negocios que influya de una manera tan profunda en prácticamente todas las operaciones de negocio (como manufactura, mercadeo, administración y finanzas), incluso afectando su habilidad

para alcanzar sus objetivos fundamentales, como lo han sido los PT. Además, “El problema de los PT es considerado como uno de los más importantes así como de los más complicados aspectos de negocios en el mundo.” [1].

Es claro entonces que el problema de los PT es uno de los tópicos más complejos que debe administrar una empresa internacional o local que esté buscando expandir sus operaciones hacia otros países. Uno de los objetivos más controversiales de los PT es la maximización de utilidades a través de la minimización de los impuestos y aranceles pagados en todos los países en los que opera la organización, ya que en el pasado muchas empresas manipulaban los PT de una forma arbitraria para lograr dicho objetivo. Por este motivo, las autoridades tributarias de los países han emitido regulaciones muy rígidas para evitar que esto ocurra. Sin embargo, considerando el marco legal vigente, existen rangos permitidos en los PT de tal forma que una empresa puede determinarlos legalmente dentro de ellos sin que ello implique ninguna violación de la ley ni falta de ética alguna.

El problema de los PT se ha convertido también en los últimos años en más que un problema meramente contable. Es un problema fundamental de planificación de las cadenas de abastecimiento internacionales y una oportunidad de decisión que afecta significativamente la administración de éstas [3]. El tratamiento del problema de los PT ha dado origen a modelos matemáticos complejos, actualmente un

problema de intensiva investigación. Específicamente, el problema consiste en diseñar la configuración de una cadena de abastecimiento internacional o global (CAG), cada vez de una forma más cercana a la óptima, teniendo en cuenta los PT como variables explícitas de decisión.

Un caso muy importante poco tratado en la literatura se detalla en la Fig. 1. En este artículo se caracterizan las condiciones bajo las cuales es conveniente para una empresa que esté operando localmente, por ejemplo en Colombia, establecer presencia en otro país a través de un centro de distribución (CD) propio, denominado centro de distribución internacional (CDI). Evidentemente, en esta segunda configuración, los PT pasan a formar parte fundamental del análisis del problema. Es importante aclarar que no se promueve de manera alguna la posible evasión de impuestos que puede presentarse a través de algunas técnicas para definir TP y que algunos autores han tratado en la literatura [4]; por el contrario, cualquier mejoramiento que una empresa logre en su posición financiera y en sus ingresos netos, debería traducirse en un mejoramiento global para toda la sociedad donde la empresa opera. Basándose en la revisión bibliográfica, en la sección II se aclaran los elementos específicos del problema a estudiar. Los modelos matemáticos que resuelven el problema planteado se describen en la sección III de Metodología y la sección IV muestra las experiencias computacionales y el análisis de los resultados obtenidos. La sección V concluye este artículo.

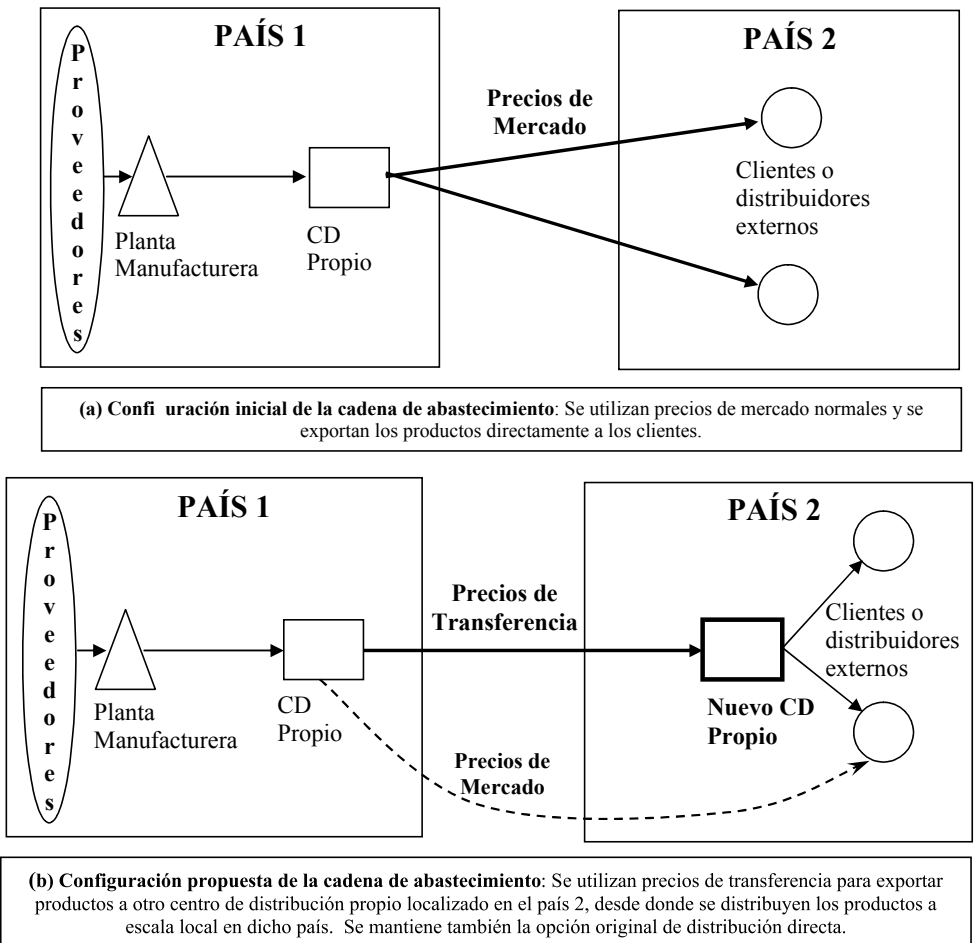


Fig. 1. Un problema de configuración de una cadena de abastecimiento internacional.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Algunos autores han considerado el problema de los PT como una parte integral de los modelos de optimización de cadenas de abastecimiento globales, pero los PT no son incluidos formalmente como variables de decisión en los modelos. En estos casos, los PT se fijan a priori o se calculan independientemente del modelo (Véase, por ejemplo, [5]-[9]).

Uno de los primeros trabajos que considera explícitamente los PT presenta un modelo matemático no-lineal para determinar los PT óptimos y la asignación de recursos en una firma textil multinacional. El autor afirma que pequeños cambios en los PT pueden ocasionar aumentos significativos de utilidades después de impuestos [10].

Vidal y Goetschalckx [11], formulan un modelo no-lineal de optimización para una cadena de abastecimiento global que considera el problema de los PT y presentan un algoritmo heurístico primal para resolverlo. Se implementa un método iterativo de solución que alterna entre fijar los PT o los flujos a lo largo de la cadena y se resuelve el modelo lineal remanente, hasta que no haya incremento en la función objetivo, logrando así un óptimo local.

Otros trabajos más recientes han considerado los PT como variables de decisión explícitas en los modelos. Para ilustrar, en [12] se formula un modelo para maximizar el ingreso global neto después de impuestos de una empresa. Se consideran los PT como variables de decisión y se permite que un PT básico sea diferente para el mismo producto cuando es enviado desde un origen hacia diferentes destinos (entendiendo como PT básico el que se considera sin incluir los costos de transporte).

Más recientemente, Villegas y Ouenniche [13] presentan un modelo no-lineal de optimización no restringida que permite comprender más profundamente el problema de los PT, las decisiones de flujos en la cadena y la asignación de costos de transporte. Sin embargo, este modelo no se prueba empíricamente ni se presenta un método de solución. Miller y de Matta [3] formulan un modelo integrado de producción / distribución para maximizar las utilidades de una cadena de abastecimiento global, considerando los PT entre plantas y mercados y entre mercados y clientes como factores aplicados sobre el valor de origen. En otro trabajo, se presenta un modelo matemático para el diseño de cadenas de abastecimiento considerando el problema de ‘deslocalización’, el cual consiste en la transferencia de capacidad de manufactura desde países desarrollados hacia países en proceso de desarrollo con el objeto de beneficiarse de costos de mano de obra más bajos [14].

En el trabajo más reciente conocido, se toma el modelo propuesto por Vidal y Goetschalckx [11] y se aplican nuevos procedimientos de solución, tales como metaheurísticos llamados de búsqueda de la vecindad variable (*Variable Neighborhood Search*) y un algoritmo exacto de

ramificación y corte [15]. De acuerdo con los autores, sus procedimientos mejoran las soluciones originales obtenidas en [11], ya que encuentran algunas soluciones óptimas de algunas instancias y brechas de optimalidad menores en tiempos de computación razonables. A nivel local, el único trabajo que se ha encontrado relacionado con el tema es el de Vidal y Goetschalckx [16], quienes utilizaron modelación matemática para determinar la localización óptima de una nueva planta manufacturera.

En la mayoría de los trabajos anteriores no se caracterizan explícitamente las condiciones de la cadena de abastecimiento en cuanto a tasas de impuesto de renta corporativa, aranceles y PT, bajo los cuales es conveniente abrir un CDI en un país diferente al lugar de producción. En este artículo se presentan algunas ideas al respecto.

## III. METODOLOGIA

### A. El modelo base o caso base

El caso base considera una cadena de abastecimiento internacional de una empresa productora y distribuidora que opera en varios países, como se muestra en la Fig. 1(a). Diversas materias primas son enviadas por proveedores hacia plantas de producción donde se manufacturan los productos finales. Posteriormente, los productos son enviados a CDs que se encuentran ubicados cerca de las plantas de producción, por tanto se desprecian costos de transporte y tiempos de envío asociados a la operación desde plantas a CDs locales. Estos centros exportan los productos terminados, respondiendo a la demanda generada por los clientes. En este primer caso no se consideran CDIs y por tanto el envío de los productos es directo. Las características de este primer modelo son las siguientes:

**Función Objetivo:** Maximizar Utilidad Neta Total Después de Impuestos (*UNTDI*) (US\$ / año) = *UNTDI* de las plantas y sus CDs asociados =

$$\sum_{j \in PLANTAS} [(1 - impPL_j) \times IPL_j - CPL_j] \quad (1)$$

La *UNTDI* se calcula con base en la diferencia entre las variables de utilidad menos las variables de pérdida en cada instalación.

### Restricciones

- Ingresos Netos Antes de Impuestos (INAI) de las plantas y sus CDs adjuntos (Ecuaciones del Estado de Resultados o P&G de cada planta).
- Capacidad de proveedores.
- Capacidad productiva en plantas.
- Fórmulas de materiales en plantas.
- Capacidad de almacenamiento de CDs.
- Ecuaciones de balance de flujos en CDs.
- Restricciones de demanda de clientes.
- Restricciones obvias.

Para ilustrar las restricciones correspondientes a los P&G de las plantas tienen la estructura matemática mostrada en (2). Estas restricciones comprenden los ingresos por venta directa a los clientes de productos terminados a precios de mercado, los costos de materia prima, costos fijos y variables de producción en cada planta, costos fijos y de almacenamiento de inventario en los CD y fletes internacionales hasta el cliente. No se consideran costos de distribución dentro de la zona de consumo porque estos son

asumidos por el cliente, considerado como un distribuidor mayorista en el mercado destino.

El resto de restricciones son suficientemente conocidas y corresponden a expresiones estándar dentro de los modelos de optimización de cadenas de abastecimiento. La notación de los modelos se muestra al final de este artículo (véase la Tabla I y II del Apéndice) y el modelo completo está disponible a solicitud del lector interesado.

$$\begin{aligned}
& \sum_{k \in CDs} \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{Precio}_{mp} \times \text{flujoPTCDZONA}_{kmp}) \\
& - \sum_{i \in PROVEEDORES} \sum_{r \in MATERIAS PRIMAS} (\text{costMP}_{ir} \times \text{flujoMP}_{ijr}) \\
& - \text{costfijPL}_j \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costprodPL}_{jp} \times \text{flujoPTPLCD}_{jkp}) \\
& - \sum_{k \in CDs} \text{costfijCD}_k \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} \text{costmntInvCDn}_{kp} \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costtrnsCDZONA}_{km} \times \text{flujoPTCDZONA}_{kmp}) \\
& = IPL_j - CPL_j \quad \forall j \in PLANTAS
\end{aligned} \tag{2}$$

### Los costos de inventario

Dentro de las ecuaciones que determinan el INAI de cada planta y su CD asociado, los costos de mantenimiento del inventario se calculan por medio de la Ley de la Raíz Cuadrada (SRL) por sus siglas en inglés [17], [18]. La SRL establece que bajo el supuesto de igualdad de inventarios en cada una de las instalaciones, el inventario en cada lugar puede hallarse mediante (3):

$$CIN_n = \frac{CIN_1}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

Donde:

$CIN_1$  = Cantidad de inventario, si éste se consolida en una sola ubicación, [Unidades];

$CIN_n$  = Cantidad de inventario en cada ubicación de las  $n$  presentes, [Unidades],

$n$  = Número de ubicaciones o instalaciones donde se mantiene inventario.

B. El modelo para la localización de CDIs o modelo propuesto

A partir del modelo base anterior, se formula un nuevo modelo de localización que incluye la apertura de CDIs, PT, costos de mantenimiento de inventario en los CDIs, flujos entre los CDs y los clientes y flujos entre CDs y CDIs. La Fig. 1(b) muestra la CAG detallada en el modelo propuesto, cuyas características son las siguientes:

$$\begin{aligned}
& + \sum_{j \in PLANTAS} [(1 - \text{impPL}_j) \times IPL_j - CPL_j] \\
& + \sum_{l \in CDIs} [(1 - \text{impCDI}_l) \times ICDI_l - CCDI_l]
\end{aligned} \tag{4}$$

**Función Objetivo:** Maximizar  $UNTDI$  (US\$ / año) =  $UNTDI$  de las plantas y sus CDs adjuntos y de los CDIs =

La función objetivo mostrada en (4) es una modificación de la función objetivo que se describe en (1). Se calcula la  $UNTDI$  de las plantas y sus respectivos CDs asociados y de los CDIs cuya apertura en las zonas de consumo donde se encuentran los clientes se considera en el nuevo modelo.

### Restricciones

El modelo propuesto contiene básicamente las mismas restricciones del modelo inicial y las siguientes restricciones adicionales:

- Ingresos Netos Antes de Impuestos (INAI) de los CDIs (Ecuaciones del Estado de Resultados o P&G de los CDIs)
- Capacidad de almacenamiento de los CDIs
- Ecuaciones de balance de flujos en los CDIs
- Cálculo de los costos de mantenimiento de inventario
- Restricciones de demanda de clientes (modificada)

- Límites de los precios de transferencia
- Límite del número de CDIs a abrir
- Restricciones lógicas de las variables binarias
- Restricciones obvias

En este caso, las restricciones que representan los P&G de las plantas y sus CDIs locales asociados contienen las ventas a los CDIs utilizando los precios de transferencia, tal como se ilustra en (5).

$$\begin{aligned}
& \sum_{k \in CDs} \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{Precio}_{mp} \times \text{flujoPTCDZONA}_{kmp}) \\
& + \sum_{k \in CDs} \sum_{l \in CDIs} \sum_{p \in PRODUCTOS} \text{flujoPTPrecTrans}_{klp} \\
& - \sum_{i \in PROVEEDORES} \sum_{r \in MATERIAS PRIMAS} (\text{costMP}_{ir} \times \text{flujoMP}_{ijr}) \\
& - \text{costfijPL}_j \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costprodPL}_{jp} \times \text{flujoPTPLCD}_{jkp}) \\
& - \sum_{k \in CDs} \text{costfijCD}_k \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} \text{costmntInvCDn}_{kp} \\
& - \sum_{p \in PRODUCTOS} \text{costmntInvCDnCDIn}_p \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costtrnsCDZONA}_{km} \times \text{flujoPTCDZONA}_{kmp}) \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{l \in CDIs} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costtrnsCDCDI}_{kl} \times \text{flujoPTCDCDI}_{klp}) \\
& = \text{IPL}_j - \text{CPL}_j \quad \boxtimes \quad j \text{ PLANTAS}
\end{aligned} \tag{5}$$

Nótese en (5) que se deja la opción del envío directo de CDs a clientes al igual que la exportación a los potenciales CDIs, utilizando un conjunto de PT, detallado posteriormente. Se considera también el efecto de la apertura de los CDIs sobre el inventario en toda la cadena. Ahora, las restricciones que representan los P&G de los CDIs incluyen

los ingresos en las zonas de consumo, el costo de apertura y los costos fijos de los CDIs, los costos de mantenimiento de inventario y los costos de compra y aranceles de productos terminados importados de las plantas y sus CDIs asociados, como lo muestra (6).

$$\begin{aligned}
& \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{Precio}_{mp} \times \text{flujoPTCDIZONA}_{lmp}) \\
& - \left[ \left( \frac{\text{costAperCDI}_l}{20} \right) \times \text{CDIabrir}_l \right] \\
& - (\text{costfijCDI}_l * \text{CDIabrir}_l) \\
& - \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costmntInvCDnCDIn}_p \times \text{CDIabrir}_l) \\
& - \sum_{m \in CLIENTES} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{costtrnsCDIZONA}_{lm} \times \text{flujoPTCDIZONA}_{lmp}) \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} [\text{flujoPTPrecTrans}_{klp} \times (1 + \text{Arancel}_{klp})] \\
& - \sum_{k \in CDs} \sum_{p \in PRODUCTOS} (\text{CosttrnsCDCDI}_{kl} \times \text{flujoPTCDCDI}_{klp} \times \text{Arancel}_{klp}) \\
& = \text{ICDI}_l - \text{CCDI}_l \quad \boxtimes \quad l \text{ CDIs}
\end{aligned} \tag{6}$$

Otro grupo de restricciones, a través de variables binarias, manejan los costos de mantenimiento del inventario para CDs solamente o para CDs en conjunto con CDIs si éstos se abren. El modelo completo está disponible a solicitud del lector interesado.

### 1) Tratamiento de los precios de transferencia

Dado que el modelo propuesto contiene inicialmente el producto entre variables de flujo ( $flujoPTCDDI_{klp}$  = flujo del producto  $p$  desde el CD  $k$  hacia el CDI  $l$ ) y de precios de transferencia ( $PrecTrans_{klp}$  = Precio de Transferencia del producto  $p$  enviado desde el CD  $k$  hacia el CDI  $l$ ), las restricciones del *INAI* son no-lineales. Sin embargo esta no linealidad se puede solucionar mediante el cambio de variable mostrado en (7), el cual permite obtener una solución óptima [11]:

$$flujoPTPrecTrans_{klp} = PrecTrans_{klp} \times flujoPTCDDI_{klp} \quad (7)$$

La variable  $flujoPTPrecTrans_{klp}$  representa el volumen de dinero transferido desde los CDs a los CDIs, a través del flujo de producto  $flujoPTCDDI_{klp}$  a un precio de transferencia  $PrecTrans_{klp}$ . Esta linearización es posible hacerla porque actualmente en Colombia (y probablemente en otros países) es posible tener diferencias entre los PT de productos que se envían desde un mismo origen hacia diferentes destinos. Las autoridades tributarias permiten cierto rango por el cual se puede multiplicar el costo de absorción del producto para obtener el precio de transferencia y se controla el volumen consolidado, permitiendo la utilización de factores diferentes para flujos particulares de productos.

### 2) Costos de mantenimiento de inventario en CDs y CDIs

En el modelo propuesto surge una no-linealidad a partir de la *SRL*, dado que se debe estimar los costos de mantenimiento del inventario con base en la raíz cuadrada del número de CDs más el número potencial de CDIs a abrirse (equivalente a la suma de las variables binarias de apertura asociadas), razón por la cual la optimización del modelo puede variar conforme cambia el número de CDIs que se abren. Para obviar esta no-linealidad se subdivide el modelo propuesto en dos fases: un modelo auxiliar y un modelo maestro.

El modelo auxiliar es equivalente en su mayoría al modelo propuesto, pero no considera los costos de mantenimiento de inventario en CDs y CDIs ni sus restricciones asociadas, con el propósito de encontrar un número preliminar  $\beta$  de posibles CDIs a abrirse. El modelo auxiliar conforma la primera parte de un bucle de programación que tiene como objetivo determinar un número óptimo de CDIs que permite calcular el costo de mantenimiento del inventario en todos los centros de almacenamiento de la CAG a través de la *SRL* ( $l$  CDs existentes +  $\beta$  CDIs abiertos). Este número óptimo de CDIs es transferido al modelo maestro como un parámetro,

permitiendo mantener la linealidad del modelo propuesto. Este proceso se repite hasta que coincida el número de CDIs abiertos entre iteraciones sucesivas (modelo auxiliar y modelo propuesto), lográndose la convergencia deseada.

## IV. EXPERIENCIAS COMPUTACIONALES Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados mostrados en esta sección están basados en una aplicación real a una cadena de abastecimiento de una empresa del sector del papel. El caso base consta de cuatro proveedores que suministran cuatro materias primas a tres plantas de producción. Las plantas fabrican cinco productos terminados que son enviados al CD local de cada planta, desde donde se distribuyen a seis clientes internacionales.

Los modelos permitieron comparar la utilidad neta anual después de impuestos de la cadena de abastecimiento del caso base con aquella donde es posible abrir CDIs. El resultado del modelo propuesto (US\$ 21.170.137 / año) presenta un incremento del 3,9% en comparación al caso base (US\$ 20.368.845 / año). Este incremento de la utilidad se debe primordialmente a una transferencia de utilidades de las plantas y sus CDs adjuntos a los CDIs a partir de la diferencia que presentan los impuestos de renta en donde se encuentran ubicados estos últimos. Gracias a la utilización de los PT, los productos pueden venderse al menor PT entre una planta con alto impuesto de renta y un CDI con uno más bajo, lo que posibilita una reducción legal en los impuestos sobre ingresos netos en las plantas y se transfiere la ganancia a los CDIs que pagan menos impuestos. El ahorro en la carga tributaria que se presenta al comparar los resultados de ambos modelos equivale al 27% en impuestos sobre utilidades. En el modelo propuesto, las plantas y sus CDs adjuntos presentan ingresos netos antes y después de impuestos iguales a cero, un resultado común en este tipo de modelos, contribuyendo así con la utilidad neta global de la cadena.

La apertura de CDIs genera sobrecostos que no son considerados en el caso base, como son los costos de apertura y fijos, costos adicionales de mantenimiento del inventario, costos de transporte desde CDIs a clientes y aranceles. Los aranceles se constituyen en un costo importante, por lo cual el modelo matemático considera la apertura de CDIs que permitan maximizar su utilidad total a partir de la contracción del precio de transferencia. Los costos de mantenimiento de inventario en CDIs solamente representan el 2,6% de los costos totales para las instalaciones de almacenamiento

Se realizaron análisis de sensibilidad de los límites inferior y superior de los PT, de las tasas arancelarias y de las tasas de impuesto de renta corporativo en cada país bajo estudio. Inicialmente, se varió el límite inferior del factor de cálculo de los PT entre 1,11 y 1,15 y el límite superior desde 1,25 a 1,45, todos sobre el costo de absorción del producto. Los resultados muestran que la utilidad neta después de impuestos sufrió una disminución máxima del 0,53% con relación a los resultados con los PT originales.

Respecto de los aranceles, se realizaron 30 variaciones modificando en cada una el arancel por producto y por zona a 0%, simulando un posible tratado con preferencias arancelarias para ciertos productos. Además, se implementó una variación donde no se paga arancel para producto alguno en todas las zonas de consumo. Los resultados muestran que aranceles del 0% sobre productos y zonas individuales tienen un leve incremento en la utilidad total. Sin embargo,

el impacto generado en la utilidad total de la CAG al llevar el arancel al 0% para todos los productos, representa un incremento del 5,6 % en las utilidades inicialmente generadas por el modelo propuesto. Ante la disminución en los aranceles, el modelo propuesto siempre establece la apertura de tres CDIs, dado que con ello se logra incrementar la utilidad de la CAG en las zonas de consumo donde el gravamen por importación no existe (Ver Fig. 2).

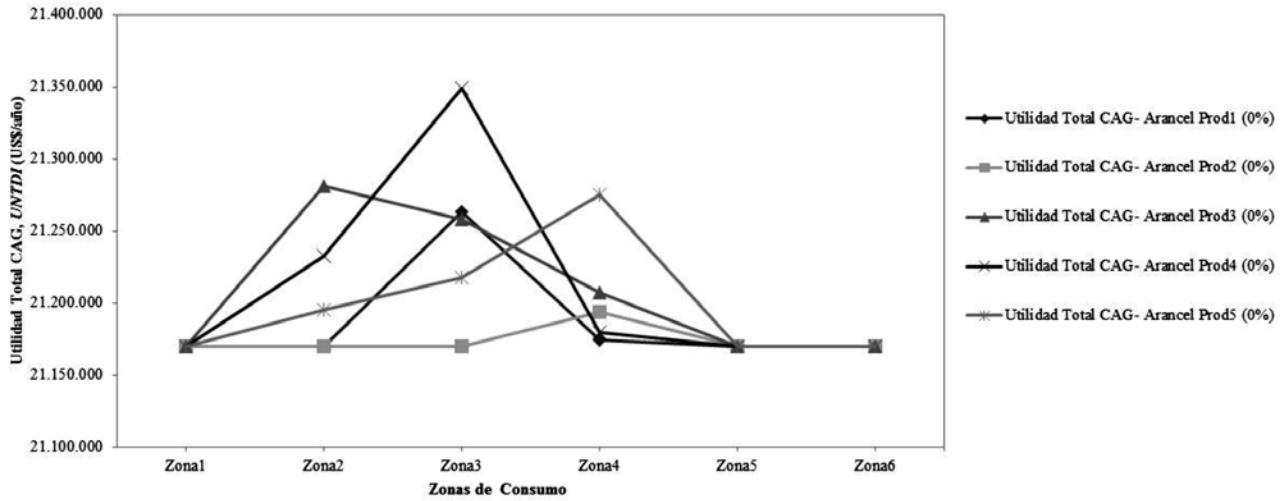


Fig. 2. Comportamiento de la utilidad total de la CAG en las zonas de consumo dado un impuesto sobre arancel del 0% por producto (US\$).

Por otra parte, las tasas de impuesto de renta corporativa de los países donde están ubicadas las plantas y los CDIs se variaron entre un 2,5% y un 35% con incrementos del 2,5%. Como es de esperarse, se obtiene una tendencia de disminución en la utilidad total en ambos casos (Ver Fig. 3 como ejemplo para la Planta A). Sin embargo, las utilidades del modelo propuesto son superiores en todos los casos a

los del modelo base, ya que en este último las plantas deben pagar más impuestos. Así, el modelo propuesto busca la mejor configuración de la CAG, abogando por la apertura de los CDIs y transfiriendo las ganancias de un lugar donde se paga más impuestos a uno donde se pague menos, generando un incremento en las utilidades totales.

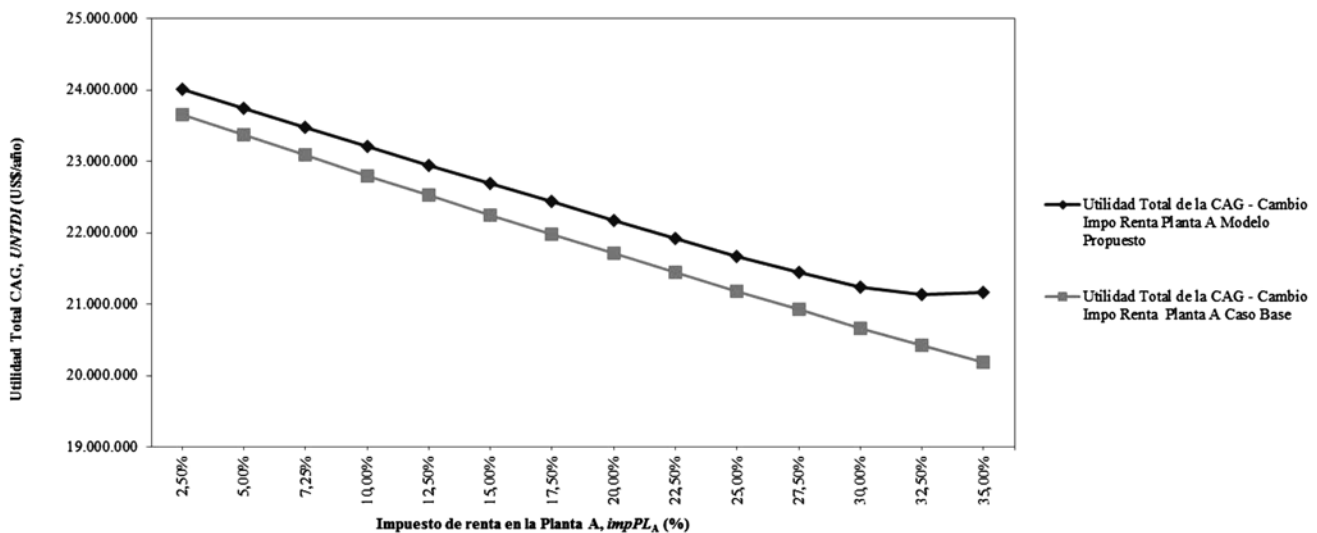


Fig. 3. Utilidad total de la CAG dada la modificación en la tasa de impuesto de renta corporativa de la planta A para el modelo base y propuesto (US\$ / año).

Por otra parte, se encontró que cuando el impuesto de renta en las plantas tiende a aumentar, se transfieren las unidades de producto terminado al PT más bajo permitido, aumentando la cantidad de flujo a través de los CDIs abiertos. Por el contrario, a medida que el impuesto de renta en las plantas disminuye, el modelo propuesto tiende a incrementar la exportación directa a los clientes (Ver Fig. 4). Las barras generadas representan la transferencia del

producto 4 (como ejemplo) entre un determinado CD y un CDI, siempre al mismo valor del PT, y para cada porcentaje del impuesto de renta. Donde no existen barras, significa que la demanda de los clientes es satisfecha directamente por las plantas y sus CDs asociados o, por el contrario, que no es rentable satisfacerla. Obsérvese sin embargo que, para todos los casos, el modelo propuesto sugiere la apertura del CDI No. 3, la cual sería una decisión clave en la CAG.

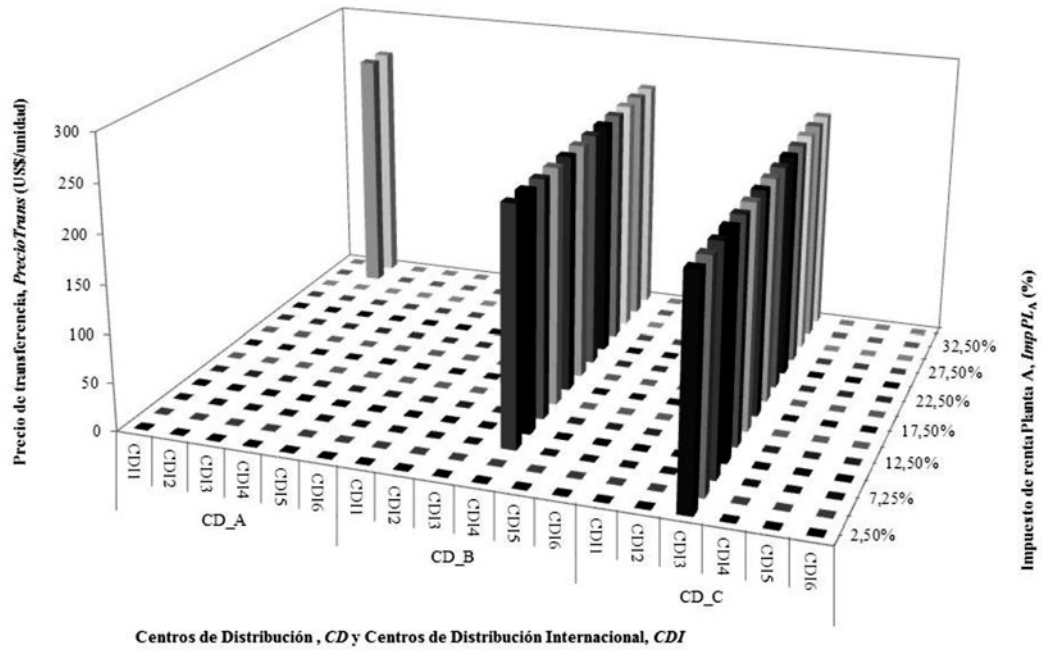


Fig. 4. Impacto de la tasa de renta corporativa (Planta A) sobre la apertura de CDIs.

A nivel macro, un cambio en la tasa de impuesto de renta corporativa en los países donde están las plantas desde un 35,0% hasta un 2,5% (hecho probable en la práctica ya que pueden existir zonas especiales dentro de los países con grandes beneficios tributarios), produjo un incremento en la utilidad neta total de la corporación de un 21,9%.

El número de CDIs abiertos tiende a disminuir a medida que se incrementa el impuesto de renta de los países donde están ubicados (Fig. 5). Sin embargo, para el CDI 3 existe un rango de la tasa de impuesto de renta corporativa (del 12,5 al 25,0%), donde se incrementa de 2 a 3 el número de CDIs abiertos, para luego volver a bajar. Esto sugiere que no siempre los resultados son intuitivos y que se hace necesaria la optimización.

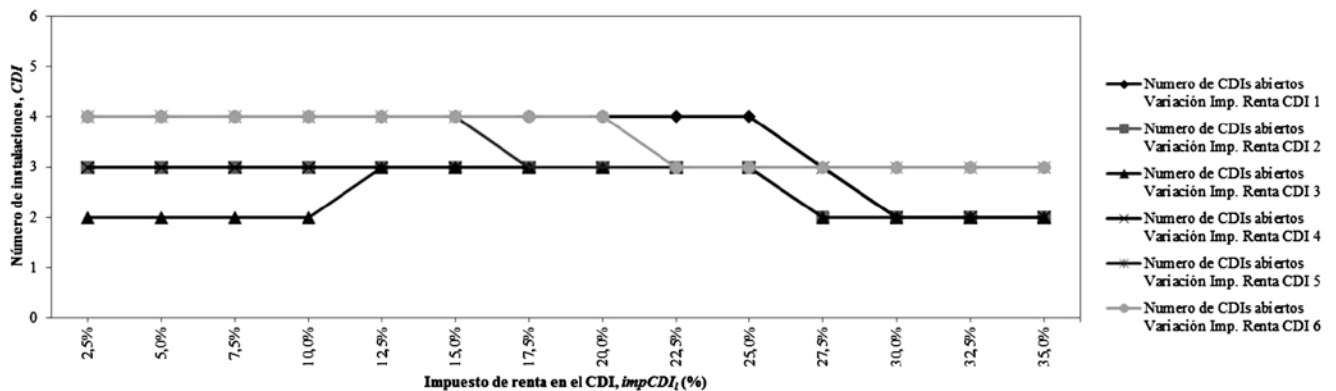


Fig. 5. Comportamiento del número de CDIs abiertos en función de las tasas de impuestos de renta en los países donde están ubicados.



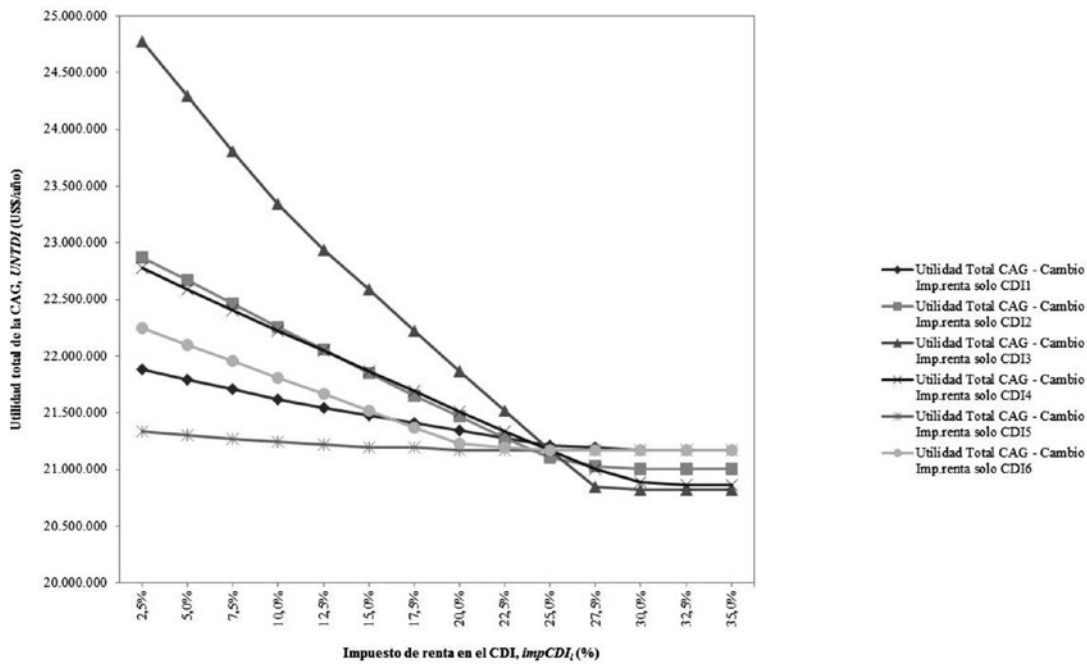


Fig. 6. Comportamiento de las utilidades anuales totales de la CAG dado el cambio de impuesto de renta en cada CDI (US\$).

Por otra parte, al aumentar la tasa de impuesto de renta, se presenta una tendencia de decrecimiento en la utilidad total, como es de esperarse. Sin embargo, el efecto de cada uno de los CDIs varía y por ello el análisis debe hacerse individualmente (Ver Fig. 6). Incluso cuando la tasa de impuesto de renta del país destino llega al 25%, aún es rentable abrir CDIs hasta una tasa del 35%, resultado representativo, porque no es fácil encontrar un país en el mundo con tasas de impuesto de renta corporativa superior a este valor, con la notable excepción de Japón. Cuando la tasa de impuesto llega al 25%, la utilidad neta total después de impuestos se estabiliza hasta un valor del 35%, ocasionando que muchos más productos sean enviados directamente desde la planta hacia los clientes finales concentrando la mayor utilidad en las plantas, pero sugiriendo igualmente la apertura de algunos de los CDIs.

Con base en los análisis anteriores, se evidencia la importancia de modelar la CAG para la toma de decisiones de apertura de CDIs. Los resultados del caso real analizado sugieren que deben realizarse extensos análisis de sensibilidad para llegar a la mejor configuración posible de la CAG, de tal forma que ésta sea lo más robusta posible ante posibles fluctuaciones de factores como los aranceles, los factores para el cálculo de los PT y los cambios en las tasas de impuesto de renta corporativas de los países donde opere la cadena.

## V. CONCLUSIONES

Se presentan dos modelos matemáticos para analizar el efecto que tiene la apertura de uno o más centros de distribución internacionales, en una empresa que inicialmente realiza despachos directos de exportación. Se encontró que existen oportunidades de incremento de las utilidades netas

después de impuestos de la CAG al abrir CDIs en otros países.

Los modelos diseñados pueden determinar los PT óptimos dentro de su intervalo legal. El modelo propuesto permite considerar flujos de productos a exportar a través del CDI, pero también deja la posibilidad de flujos directos desde las plantas hacia los clientes finales, convirtiéndose en una poderosa herramienta de decisión al considerar los múltiples aspectos del complejo problema bajo análisis.

El efecto de la variación de los límites inferior y superior de los PT puede ser significativo para los ingresos netos en las plantas, ya que existe un valor de quiebre en ellos para el cual es preferible que la planta envíe productos directamente al mercado y no a través del CDI que se haya abierto. No se encontró sin embargo, evidencia de que el efecto de esta variación sobre la utilidad neta total después de impuestos de la empresa fuera significativa, ya que el modelo re-optimiza y logra encontrar soluciones óptimas semejantes a la original.

Respecto de la variación de los aranceles, se pudo establecer que, si se parte de aranceles originales y se logra una disminución al 0% de los mismos para todos los productos a través de tratados de preferencias arancelarias o de Tratados de Libre Comercio, se puede aumentar significativamente la utilidad neta total después de impuestos de toda la corporación global. De nuevo, la aplicación sucesiva del modelo propuesto sobre diferentes valores de los parámetros de entrada, permite una rápida re-optimización del sistema e igualmente facilita el análisis para cada producto, discriminando así los que tienen o no preferencias arancelarias. Los resultados sugieren que el impacto de los aranceles puede ser más importante que el de los límites en los PT.

El principal impacto sobre la utilidad neta total después de impuestos de toda la corporación lo tienen las tasas de impuesto de renta corporativo de los países donde están ubicadas las plantas y los potenciales CDIs. Un aspecto notable es que el mejoramiento en la utilidad neta total después de impuestos se mantiene (comparando los resultados del modelo propuesto con los del modelo base) variando la tasa de impuesto de renta corporativa en cada planta desde un 2,5% hasta un 35%. Es decir, que los modelos sugieren siempre la apertura de al menos un CDI para cualquier valor de la tasa de impuesto de renta corporativa en las plantas dentro del rango mencionado. Entre mayor sea la tasa de impuesto de renta en la planta analizada, se abre un mayor número de CDIs, dado que no es rentable enviar flujos directos planta-clientes sino hacerlo a través de los CDIs, de tal forma que las utilidades se transfieran al país destino.

Finalmente, con base en la regla denominada SRL, no se encontró evidencia de un impacto significativo de los

costos de mantenimiento del inventario sobre el diseño de la CAG. Esto se debe principalmente a la suavización de estos costos a medida que aumenta el número de instalaciones donde es mantenido.

Investigación adicional en esta área puede comprender el análisis multi-variado de los parámetros más importantes, es decir, las tasas de impuesto de renta corporativa, los PT y los aranceles. Esto puede combinarse con modelos estocásticos que consideren igualmente variaciones en las demandas de los productos y en otros parámetros de interés como los precios de venta de los productos. Algunas extensiones adicionales son, primero, la de permitir el flujo de productos entre CDIs, con lo que se generaría otro conjunto de PT a analizar y segundo, la posibilidad de considerar apertura o cierre de plantas manufactureras adicionalmente a los CDIs. Finalmente, se podrían considerar modelos dinámicos (multi-período) para sistemas donde la demanda tenga una clara naturaleza estacional.

#### APÉNDICE: CONJUNTO DE PARÁMETROS Y VARIABLES UTILIZADOS EN LA MODELACIÓN.

TABLA I - PARÁMETROS

$Precio_{mp}$	Precio de venta del producto terminado $p$ en la zona de mercado $m$ , [US\$ / Ton de $p$ ].
$costMP_{ir}$	Costo de compra del material $r$ desde el proveedor $i$ , [US\$ / Ton de $r$ ].
$costfijPL_j$	Costos fijos de operación en cada planta $j$ , [US\$ / año].
$costprodPL_{jp}$	Costos variables de producción del producto terminado $p$ en cada planta $j$ , [US\$ / Ton de $p$ ].
$impPL_j$	Tasa de impuesto de renta corporativo (%) en el país donde está ubicada la planta $j$ .
$costfijCD_k$	Costos fijos de operación de cada CD $k$ , [US\$ / año].
$costtrnsCDZONA_{km}$	Costo de transporte de productos terminados enviados desde cada CD $k$ hacia cada cliente $m$ , [US\$ / Ton de $p$ ].
$costmntInvCDn_{kp}$	Costo de mantenimiento del inventario de $p$ en cada CD $k$ si éste es descentralizado en $\lambda$ CDs, [US\$ / Ton de $p$ ]: $costmntInvCDn_{kp} = \frac{costmntinvcentPT_p}{\sqrt{\lambda}}$ $\forall p \square PRODUCTOS$ (como parámetro).
$costmntinvcentPT_p$	Costo de mantenimiento de inventario en la cadena de abastecimiento del producto terminado $p$ , si éste se consolida en un solo CD, [US\$ / Ton de $p$ ].
$costAperCDI_l$	Costo de apertura del CDI $l$ , [US\$] (se amortiza a 20 años).
$costfijCDI_l$	Costos fijos de operación de cada CDI $l$ , [US\$ / año].
$CosttrnsCDCDI_{kl}$	Costo de transporte de productos terminados enviados desde cada CD $k$ hacia el CDI $l$ , [US\$ / Ton de $p$ ].
$costtrnsCDIZONA_{lm}$	Costo de transporte de productos enviados desde cada CDI $l$ hacia cada cliente $m$ , [US\$ / Ton de $p$ ].
$Arancel_{kjp}$	Tasa arancelaria (%) del producto $p$ desde el CD $k$ hacia el CDI $l$ .
$impCDI_l$	Tasa de impuesto de renta corporativo (%) en el país donde está ubicado el CDI $l$ .
$PrecioTrans_{kjp}$	Precio de transferencia del producto $p$ enviado desde el CD $k$ hacia el CDI $l$ , [US\$ / Ton de $p$ ].

TABLA II - VARIABLES

$flujoMP_{ijr}$	Flujo de materia prima $r$ suministrada por el proveedor $i$ a cada planta $j$ , [Ton de $r$ / año].
$flujoPTPLCD_{jkp}$	Flujo de producto $p$ enviado desde la planta $j$ hacia su respectivo CD $k$ , [Ton de $p$ / año].
$flujoPTCDZONA_{kmp}$	Flujo de producto terminado $p$ enviado desde cada CD $k$ hacia cada cliente $m$ , [Ton de $p$ / año].
$IPL_j$	Utilidad antes de impuestos de cada planta $j$ (junto a su CD asociado), [US\$ / año].
$CPL_j$	Pérdida antes de impuestos para cada planta $j$ y su CD asociado, [US\$ / año].
$CDI_{abrir_l}$	Variable Binaria igual a 1 si se abre el CDI $l$ , 0 de lo contrario.
$costmntInvCDn_{kp}$	Costo de mantenimiento del inventario del producto $p$ en cada CD $k$ cuando se descentraliza en $\lambda$ CDs, [US\$ / Ton de $p$ ] (como variable).
$costmntInvCDnCDIn_p$	$costmntInvCDnCDIn_p = \frac{costmntinvcentPT_p}{\sqrt{\lambda + \beta}}$ $\forall p \square PRODUCTOS$ Costo de mantenimiento del inventario de $p$ en cada CD y en cada CDI, si éste es descentralizado entre el total de centros de almacenamiento determinado por el modelo, [US\$ / Ton de $p$ ].
$flujoPTCDCDI_{klp}$	Flujo de producto terminado $p$ enviado desde el CD $k$ hacia el CDI $l$ , [Ton de $p$ / año].
$flujoPTCDIZONA_{lmp}$	Flujo de producto $p$ enviado desde el CDI $l$ hacia el cliente $m$ , [Ton de $p$ / año].
$flujoPTPrecTrans_{klp}$	Cantidad de dinero transferida desde el CD $k$ hacia el CDI $l$ por el envío del producto $p$ al precio de transferencia $PrecioTrans_{kjp}$ .
$ICDI_l$	Utilidad antes de Impuestos para cada CDI $l$ , [US\$ / año].
$CCDI_l$	Pérdida antes de Impuestos para cada CDI $l$ , [US\$ / año].

## REFERENCIAS

- [1] W. M Abdallah, *Critical Concerns in Transfer Pricing and Practice*. Westport: Praeger Publishers, Greenwood Publisher Group, Inc., 2004.
- [2] E. C. Rosenthal, "A game-theoretic approach to transfer pricing in a vertically integrated supply chain", *International Journal of Production Economics*, vol. 115, núm. 2, pp. 542-552, 2008.
- [3] T. Miller and R. de Matta, "A Global Supply Chain Profit Maximization and Transfer Pricing Model", *Journal of Business Logistics*, vol. 29, núm. 1, pp. 175-199, 2008.
- [4] P. Sikka and H. Willmott, "The dark side of transfer pricing: Its role in tax avoidance and wealth retentiveness", *Critical Perspective on Accounting*, vol. 21, pp. 342-356, 2010.
- [5] C. Canel and B. M. Khumawala, "Multi-period international facilities location: An algorithm and application", *International Journal of Production Research*, vol. 35, núm. 7, pp. 1891-1910, 1997.
- [6] G. Fandel and M. Stammen, "A general model for extended strategic supply chain management with emphasis on product life cycles including development and recycling", *International Journal of Production Economics*, vol. 89, núm. 3, pp. 293-308, 2004.
- [7] S. Y. Lakhali, "An operational profit sharing and transfer pricing model for network-manufacturing companies", *European Journal of Operational Research*, vol. 175, núm. 1, pp. 543-565, 2006.
- [8] N. L. Ulstein, M. Christiansen, R. Gronhaug, N. Magnussen, and M. M. Solomon, "Elkem Uses Optimization in Redesigning its Supply Chain", *Interfaces*, vol. 36, núm. 4, pp. 314-325, 2006.
- [9] B. Meijboom and B. Obel, "Tactical coordination in a multi-location and multi-stage operations structure: A model and a pharmaceutical company case", *Omega - The International Journal of Management Science*, vol. 35, núm. 3, pp. 258-273, 2007.
- [10] L. Nieckels, *Transfer Pricing in Multinational Firms: A Heuristic Programming Approach and a Case Study*. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- [11] C. J. Vidal and M. Goetschalckx, "A global supply chain model with transfer pricing and transportation cost allocation", *European Journal of Operational Research*, vol. 129, núm. 1, pp. 134-158, 2001.
- [12] W. Wilhelm, D. Liang, B. Rao, D. Warrier, X. Zhu, and S. Bulusu, "Design of international assembly systems and their supply chains under NAFTA", *Transportation Research Part E*, vol. 41, núm. 6, pp. 467-493, 2005.
- [13] F. Villegas and J. Ouenniche, "A general unconstrained model for transfer pricing in multinational supply chains", *European Journal of Operational Research*, vol. 187, núm. 3, pp. 829-856, 2008.
- [14] R. Hammami, Y. Frein, and A. B. Hadj-Alouane, "A strategic-tactical model for the supply chain design in the delocalization context: Mathematical formulation and a case study", *International Journal of Production Economics*, vol. 122, núm. 1, pp. 351-365, 2009.
- [15] S. Perron, P. Hansen, S. Le Dibagel, and M. Mladenovic, "Exact and heuristic solutions of the global supply chain problem with transfer pricing", *European Journal of Operational Research*, vol. 202, núm. 3, pp. 864-879, 2010.
- [16] C. J. Vidal y M. Goetschalckx, "Un Caso de Aplicación de Modelos Matemáticos para la Optimización de Cadenas de Abastecimiento en la Industria Manufacturera," Separata de la revista *Ingeniería y Competitividad: Innovación y Transferencia de Tecnología: Casos Prácticos* en la Facultad de Ingeniería, I. E. Ramos (compilador), Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, pp. 43-51, 2000.
- [17] R. H. Ballou, *Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the Supply Chain*, 5th ed., New Upper Saddle River, Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [18] K. L. Croxton and W. Zinn, "Inventory Considerations in Network Design", *Journal of Business Logistics*, vol. 26, núm. 1, pp. 149-168, 2005.



**Daniel Bonilla Navia** nació en la ciudad de Cali, Colombia el 20 de Julio de 1988. Cursó la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad del Valle, Cali, Colombia graduándose en el año 2012. Entre sus campos de interés está la optimización de cadenas de abastecimiento, la logística y la gestión de proyectos. El Ingeniero Bonilla pertenece al grupo de Investigación de Logística y Producción de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.



**Christian Julián Tamayo Duque** nació en Cali, Colombia el 24 de Marzo de 1987. Se graduó de Ingeniero Industrial en la Universidad del Valle, Cali, Colombia en 2012. Entre sus campos de interés está la optimización de cadenas de abastecimiento, la logística, los sistemas de control de inventarios y la gestión de proyectos. El Ingeniero Tamayo pertenece al grupo de Investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle, Cali, Colombia.



**Carlos Julio Vidal Holguín** nació en Cali, Colombia, el 7 de Diciembre de 1958. Se graduó de ingeniero mecánico en la Universidad del Valle, Cali, Colombia en 1983. En la misma universidad obtuvo su título de magister en ingeniería industrial y de sistemas en 1990. Posteriormente, obtuvo su título de Ph.D. in Industrial Engineering en el Georgia Institute of Technology de Atlanta, Estados Unidos en 1998.

Ha ejercido profesionalmente como Profesor Titular en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, Sede Meléndez, Calle 13 100-00, por más de 26 años. Igualmente, ha sido instructor y consultor del Latin American Logistics Center, Atlanta, Estados Unidos por más de 12 años. Es Director del grupo de investigación en Logística y Producción de la Universidad del Valle. Entre sus campos de interés está la optimización de cadenas de abastecimiento, la logística, los sistemas de control de inventarios y la investigación de operaciones aplicada.

El Dr. Vidal pertenece al Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), al Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) y al Institute of Industrial Engineers (IIE). Obtuvo el tercer puesto del Premio Pritsker otorgado por el IIE a las mejores disertaciones doctorales de 1998 y fue galardonado en 2010 como Profesor Distinguido por la Universidad del Valle.