

Decisiones para la distribución física de los productos: un enfoque cuantitativo

Dra. Pilar Felipe Valdés *

Distribución física es un término usualmente empleado para describir y sintetizar la extensa variedad de actividades relacionadas con el movimiento de los productos terminados, desde el final de su fabricación hasta el consumidor final, abarcando las funciones de transporte, almacenamiento y fraccionamiento. El diseño de un sistema de distribución física tiene como objetivo colocar el producto terminado en los lugares requeridos de la forma más efectiva y con el menor costo, requiriendo para ello la toma de decisiones en las áreas que abarca el sistema. En el trabajo se presentan algunos modelos cuantitativos que sirven de apoyo para la toma de decisiones en el diseño de los sistemas de distribución física, así como la experiencia de la autora en las aplicaciones concretas dentro de este campo.

Introducción

LA SEPARACIÓN geográfica entre compradores y vendedores así como la imposibilidad de situar las fábricas frente a los consumidores, hacen necesario el traslado de bienes y servicios desde su lugar de producción hasta el consumidor. Esta actividad se conoce con el nombre de distribución y es tan antigua como el comercio, aunque el estudio científico de esta resulta muy reciente.

Es en los últimos años que el estudio de la función de distribución ha ganado espacio a partir del desarrollo de herramientas analíticas que permiten abordar la solución de los cada vez más complejos problemas de decisión que surgen en

* Profesora titular del Departamento de Ciencias Empresariales de la Facultad de Economía, Universidad de La Habana.

esta área. En el estudio de los sistemas de distribución se encuentra presente tanto el enfoque logístico como el enfoque de *marketing*.

En el enfoque logístico la distribución aparece como una de las tres áreas que componen el sistema: aprovisionamiento, producción y distribución física. En el enfoque de *marketing* la distribución se enmarca dentro de las variables de la acción comercial de una empresa que presenta las siguientes características:

- Es una variable estratégica, es decir, modificable a largo plazo.
- Es una variable de gran importancia, ya que repercute decisivamente en el precio de venta final del producto o servicio del consumidor.
- Es una variable que hace difícil el control de los productos por la empresa que los fabrica, ya que los intermediarios que forman los canales de distribución se rigen por normas que en ocasiones resulta difícil cambiar por el productor.

La distribución como función de *marketing* se preocupa sobre todo de la elección del canal a emplear y de los aspectos logísticos o de distribución física de los productos.¹

En este contexto podemos señalar que el canal de distribución variará en función de la naturaleza de los productos de que se trate, influyendo también otros aspectos, como los hábitos de compra de los consumidores, la imagen que se desee del producto, etcétera.

Por otra parte, la distribución física abarca una extensa variedad de actividades relacionadas con el movimiento de los productos terminados desde el final de la fabricación hasta el consumidor, y que ocasionalmente incluye el traslado de materias primas desde las fuentes de suministro hasta la línea de producción. Algunos autores² plantean que la función de distribución abarca un conjunto de actividades, clasificándola en 5 grupos que pasamos a relacionar, destacando en particular las 3 primeras, señalando que cada una de ellas comprende un conjunto de tareas.

- Transporte y difusión de la producción.
- Diversificación o fraccionamiento.
- Almacenamiento.
- Servicios.
- Financiación.

Así el transporte implica carga y descarga del producto, seguros, fletes, etc. El fraccionamiento lleva consigo embalaje, manejo, proceso de pedidos, etc, mien-

¹ Ver Idelfonso Grande Esteban: *Dirección de Marketing. Fundamentos y software de aplicaciones*.

² Ver E. Díez de Castro y J. C. Fernández: *Distribución comercial*.

tras que el almacenamiento ocasiona la colocación de las mercancías, división en el almacén, gestión de stocks, etcétera. Transporte, fraccionamiento y almacenamiento conforman lo que se denomina distribución física, ya que el conjunto de actividades que comprenden suponen una acción física sobre el producto.

El sistema de distribución física va a estar integrado por un conjunto de recursos humanos, materiales y financieros propios o ajenos a la empresa, cuyo objetivo va a ser colocar el producto terminado en los puntos de venta de la forma más efectiva y con el menor costo posible.

Para ello se requiere tomar decisiones referidas a:

- El diseño del sistema de distribución.
- La localización de almacenes y puntos de venta.
- Los medios de transporte y rutas a utilizar.
- El nivel de inventario a mantener.
- La organización de almacenes y manejo de materiales.

Es precisamente el objetivo del trabajo presentar algunos modelos de optimización que sirven para apoyar cuantitativamente la toma de decisiones dentro del sistema de distribución física, transmitir la experiencia de la autora en las aplicaciones concretas de estos en la solución de problemas en nuestras empresas así como expresar lo que consideramos principales dificultades que impiden una mayor utilización de los métodos cuantitativos en la toma de decisiones.

Modelos de optimización para el diseño del sistema de distribución

Antes de pasar a exponer los modelos matemáticos abordaremos algunos elementos que deben ser tenidos en cuenta, ya que tienen una incidencia en las características de los modelos a emplear. Primeramente señalaremos que en la introducción solo planteamos los aspectos estrictamente físicos del problema de distribución, sin embargo, hay otros aspectos de índole comercial que deben ser definidos, como son: el establecer si el conjunto de elementos va a ser propio de la empresa o si se acudirán a intermediarios, los incentivos comerciales a ofrecer a estos, la elección entre diferentes alternativas de distribución y otros problemas similares.

Por otra parte, en el objetivo del sistema de distribución física aparecen dos subobjetivos en conflicto, ya que un buen servicio al cliente supone un costo elevado, en la medida en que aumente la cantidad de almacenes y puntos de venta se requerirán medios de transporte más rápidos. En este sentido Bueno, Duran y Cruz Roche indican que: "...un sistema de distribución es eficiente

cuando para un determinado costo ofrece el mayor nivel de servicio o cuando obtiene un determinado nivel de servicio con un coste mínimo”.³

La variable nivel de servicio es una variable compleja que puede medirse a través de múltiples indicadores. Es la empresa la que debe decidir el nivel de servicio que desea ofrecer a sus clientes.

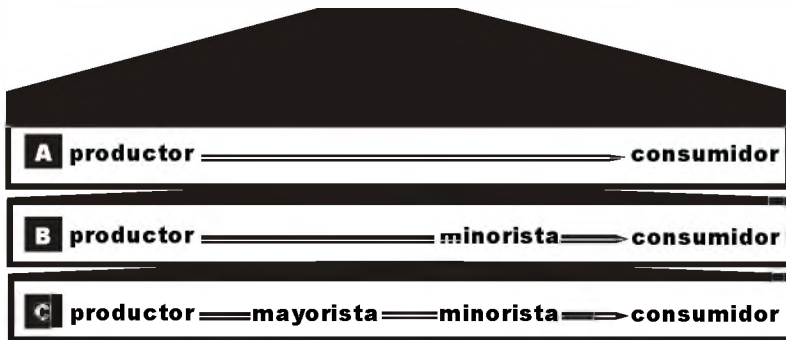
Respecto al costo del servicio este abarca el costo de transporte y seguros, los costos de almacenamiento y manejo de materiales, costo de productos deteriorados como consecuencia del transporte o del tiempo transcurrido.

Kotler⁴ propone solucionar el conflicto de objetivos entre el nivel de servicio y costo reduciendo la primera magnitud al concepto de costo de oportunidad, estableciendo como objetivo del sistema disminuir el costo total de distribución. Este planteamiento resulta de importancia pues con esta formulación se buscaría el diseño del sistema de distribución que proporcione el costo total mínimo.

Debe destacarse que el diseño del sistema viene restringido por el número de plantas de producción que tiene la empresa así como los mercados a donde se dirige, debiendo también tenerse en cuenta los canales de distribución.

El canal de distribución constituye el camino que recorre un producto desde la fase de producción a la de adquisición y consumo. Este camino puede estar formado por un conjunto de empresas y personas denominados intermediarios, los cuales realizan la función de distribución. El tamaño del canal de distribución se mide por el número de intermediarios que forman el camino. A estos se les denomina también etapas del canal comercial.

Se pueden tener diferentes tamaños de canales como por ejemplo:



³ E. Bueno; J. Duran; I. Cruz Roche: *Economía de la Empresa. Análisis de las decisiones empresariales*.

⁴ Ver Rosario Garza y Caridad González: "Distribución física: Un enfoque multicriterio", en *Revista Logística Aplicada*.

De esta forma: A constituye un canal de cero etapa pues no tiene intermediarios, mientras que B indicará un canal de una etapa y C uno de dos etapas.

Los canales de distribución cortos son poco frecuentes. Se utilizan básicamente para la venta de bienes industriales. Los canales de distribución largos son utilizados para la venta de artículos de uso y consumo. El análisis del tamaño de los canales es importante ya que generalmente se considera que los canales de distribución cortos conducen a precios de venta reducidos para el consumidor, mientras que canales de distribución largos son sinónimos de precios elevados, aunque hay casos en que esto no se corresponde con la realidad.

Una decisión importante para la empresa es la selección del canal de distribución a emplear. Esta se presenta a una empresa fabricante en distintas situaciones: en primer lugar cuando nace la empresa que necesariamente ha de diseñar su distribución. En segundo lugar cuando lanza un nuevo producto o marca y cuando inicia su actividad en nuevos mercados. En tercer lugar hay que tener en cuenta que la distribución evoluciona con el paso del tiempo y puede hacer que canales idóneos en un determinado momento no lo sean en otro. Esto hace aconsejable mantener un sistema de revisión continua de los canales de distribución.

Para la elección del canal de distribución pueden emplearse técnicas cuantitativas pudiendo mencionarse las siguientes:

- El método de puntuación de criterios ponderados.
- El método de ordenación por preferencias jerárquicas.
- El método Electra.

Estos no constituyen métodos de optimización sino son fundamentalmente métodos matriciales.

Una vez que se configura el canal de distribución a utilizar y se definen las condiciones comerciales bajo las cuales va a operar, se plantea un problema que está relacionado con la circulación de los productos entre los centros de producción y los centros de consumo. El problema consiste entonces en determinar las cantidades a enviar desde cada centro de fabricación o distribución a los puntos de consumo, de forma que se satisfaga la demanda y se logre un costo de transportación y distribución total mínimo. Es precisamente en este punto en que pueden aplicarse modelos de optimización que permitan lograr el diseño óptimo del sistema de distribución.

El modelo más conocido y generalmente más utilizado para la solución de este problema es el llamado modelo clásico de transporte o modelo de Hitchcock, el cual formalizaremos de la forma siguiente:

Modelo clásico de transporte

Notación:

Subíndices

$i \rightarrow$ Orígenes $i=1..I$ $j \rightarrow$ Destinos $j=1..J$

Variables de decisión

$X_{ij} \rightarrow$ Unidades de producto a transportar desde el origen i hasta el destino j

Parámetros

$O_i \rightarrow$ Oferta del origen i

$D_j \rightarrow$ Demanda del destino j

$C_{ij} \rightarrow$ Costo unitario de transporte desde el origen i al destino j

El modelo tiene la siguiente expresión:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} X_{ij}$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = O_i \quad i=1..I \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = D_j \quad j=1..J \quad (1.2)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i=1..I \quad j=1..J$$

En el modelo las restricciones (1.1) son las llamadas restricciones de oferta y garantizan que la cantidad total de producto que puede enviar cada origen i debe ser igual a la cantidad de producto de que se dispone en este. Por otra parte las restricciones (1.2) son las llamadas restricciones de demanda, las cuales aseguran que la cantidad total de producto que recibe cada destino j sea igual a su demanda. Estos constituyen los dos tipos de restricciones básicas que están presentes en todo modelo de transporte.

Por otra parte debe señalarse que el planteamiento del modelo ha sido realizado partiendo del supuesto de que la oferta total es igual a la demanda total, esto es, que existe una situación de equilibrio entre oferta y demanda. En la práctica esto no tiene que ser necesariamente así pues puede darse el caso de que la oferta total sea mayor o menor que la demanda total, situación que se conoce como de desequilibrio.

Para plantear el modelo en esos casos hay que realizar modificaciones en los signos de las restricciones de oferta y demanda, en dependencia de si la oferta total es mayor que la demanda total o si la oferta total es menor que la demanda total.

El modelo de transporte expuesto anteriormente parte del supuesto de que la distribución del producto se realiza en forma directa desde los centros de producción o distribución a las zonas de consumo. Sin embargo, en ocasiones puede resultar conveniente para el sistema de distribución que se diseñe el uso de almacenes intermedios. Esto nos conduce al llamado problema de transporte considerando una etapa intermedia, que algunos autores llaman problema de transbordo, pero que esta denominación puede introducir confusiones pues existe el llamado problema de transporte con transbordo con características similares a este, pero también con sus diferencias.

A continuación pasamos a exponer este tipo de modelo, formalizando primeramente a este.

Modelo de transporte con una etapa intermedia

Notación:

Se utiliza la misma que en el modelo de transporte clásico a la cual se le agrega:

k -> Almacén intermedio $k=1..K$

C_{ik} -> Costo unitario de transporte desde el origen i al almacén intermedio k

C_{kj} -> Costo unitario de transporte desde el almacén k al destino j

El modelo tiene la siguiente expresión:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{ik} X_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J C_{kj} X_{kj}$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} + \sum_{k=1}^K X_{ik} = O_i \quad i=1..I \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} + \sum_{k=1}^K X_{kj} = D_j \quad j=1..J \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} = \sum_{j=1}^J X_{kj} \quad k=1..K \quad (2.3)$$

$$X_{ij}, X_{ik}, X_{kj} \geq 0 \quad i=1..I \quad j=1..J \quad k=1..K$$

En este modelo las restricciones (2.1) constituyen las restricciones de oferta, las (2.2) son las restricciones de demanda, mientras que las (2.3) representan ecuaciones de balance para los almacenes intermedios. En este planteamiento no hemos incluido restricciones de capacidad para los almacenes intermedios. El considerarlas no supondría ninguna dificultad para el planteamiento del modelo.

Los modelos de optimización expuestos constituyen los modelos más sencillos y parten de que el sistema servirá para distribuir un solo producto e implícitamente que esta distribución se realiza mediante un solo medio de transporte sin que su capacidad represente una restricción.

Sin embargo, en la realidad, la transportación se puede realizar mediante diferentes medios de transporte, lo cual implicara diferentes costos de transportación. Y por otra parte en muchas ocasiones debe realizarse la transportación de diferentes productos empleando diferentes medios de transporte. Esto conduce a la necesidad de realizar un planteamiento generalizado del modelo de transporte, el cual pasamos a formalizar.

Modelo generalizado de transporte

Notación:

Subíndices

i-> Orígenes $i=1..I$ j-> Destinos $j=1..J$ p-> Productos $p=1..P$ t-> Medios de transporte $t=1..T$

Variables de decisión

X_{pijt} -> Unidades de producto p a enviar desde el origen i al destino j por el medio de transporte t

Parámetros

C_{pijt} -> Costo de transportar una unidad de producto p desde el origen i al destino j por el medio de transporte t

O_{pi} -> Oferta del producto p en el origen i

D_{pj} -> Demanda del producto p en el destino j

T_{pt} -> Cantidad de producto p que se puede transportar por el medio t

El modelo tiene la siguiente expresión:

$$\text{MIN } Z = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T C_{pijt} X_{pijt}$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T X_{pijt} = O_{ip} \quad i=1..I \quad p=1..P$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T X_{pijt} \leq D_{pj} \quad p=1..P \quad j=1..J$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{pijt} \leq T_{pt} \quad p=1..P \quad t=1..T$$

$$X_{pijt} \geq 0 \quad p=1..P \quad i=1..I \quad j=1..J \quad t=1..T$$

Obsérvese que en el modelo anterior se partió del supuesto de que existía desequilibrio, ya que la oferta total era menor que la demanda total. Dicho modelo también puede plantearse en situación de equilibrio o de desequilibrio, o sea, para el caso en que la oferta total sea mayor que la demanda total.

Cabe destacar que a partir de este modelo generalizado de transporte pueden presentarse en la práctica variantes de este, como son:

- Se debe transportar un único producto pero pueden utilizarse para ello varios medios de transporte.
- Se deben transportar varios productos pero se utilizara un solo medio de transporte que puede ser restrictivo o no.

Para plantear estas situaciones deberán realizarse las modificaciones necesarias al modelo generalizado de transporte a fin de adecuar este a las nuevas condiciones.

Un criterio que puede también ser utilizado para decidir la vinculación óptima fábricas-centros de consumo es el de minimizar el costo total de producción-transporte. Esto da origen a los llamados modelos de producción transporte, que se caracterizan por ser modelos de transporte en los cuales se le incluye en la función objetivo el costo de producción del producto o productos a transportar.

Modelo de optimización para la localización y dimensionamiento de almacenes

Otro de los problemas relacionados con el sistema de distribución es el de la localización y dimensionamiento de nuevos almacenes. Los modelos empleados en la actualidad para la decisión de localización de almacenes se pueden clasificar en: modelos geométricos, modelos de simulación, modelos heurísticos y modelos de optimización.

En este trabajo presentaremos un modelo de optimización para resolver el problema de la localización y dimensionamiento de los almacenes.

Este modelo permite determinar la cantidad de producto a transportar teniendo en cuenta los centros de producción, los almacenes intermedios y los centros de consumo, y además la solución nos debe indicar dónde ubicar el o los almacenes intermedios y la capacidad a instalar, teniendo como criterio económico el minimizar el costo total. Por sus características este es un modelo en entero mixto, ya que en su planteamiento habría variables de decisión continuas y binarias.

Su planteamiento matemático es el siguiente:

Notación

Subíndices

$i \rightarrow$ Orígenes $i=1..I$ $k \rightarrow$ Almacenes $k=1..K$ $j \rightarrow$ Destinos
 $j=1..J$

Variables de decisión

$X_{ij} \rightarrow$ Cantidad de producto a enviar del origen i al destino j
 $X_{ik} \rightarrow$ Cantidad de producto a enviar del origen i al almacén k
 $X_{kj} \rightarrow$ Cantidad de producto a enviar del almacén k al destino j
 $Y_k \rightarrow$ Variable binaria asociada al almacén k

Parámetros

$C_{ij} \rightarrow$ Costo unitario de transporte desde el origen i al destino j
 $C_{ik} \rightarrow$ Costo unitario de transporte desde el origen i al almacén k
 $C_{kj} \rightarrow$ Costo unitario de transporte desde el almacén k al destino j
 $C_k \rightarrow$ Costo fijo asociado al almacén k
 $O_i \rightarrow$ Oferta del producto en el origen i
 $D_j \rightarrow$ Demanda del producto en el destino j
 $G_k \rightarrow$ Capacidad mínima del almacén k
 $H_k \rightarrow$ Capacidad máxima del almacén k
El modelo tiene la siguiente expresión:

$$\text{MIN } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{ik} X_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J C_{kj} X_{kj} + \sum_{k=1}^K C_k Y_k$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} + \sum_{k=1}^K X_{ik} = O_i \quad i=1..I$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} + \sum_{k=1}^K X_{kj} \geq D_j \quad j=1..J$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} \geq G_k Y_k \quad k=1..K$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} \leq H_k Y_k \quad k=1..K$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ik} = \sum_{j=1}^J X_{kj} \quad k=1..K \quad (2.3)$$

$$X_{ij}, X_{ik}, X_{kj} \geq 0 \quad i=1..I \quad j=1..J \quad k=1..K$$

Los dos primeros tipos de restricciones del modelo corresponden respectivamente a las restricciones de Oferta y Demanda, los dos siguientes corresponden a las capacidades mínimas y máximas para cada almacén y el último tipo de restricción representa la condición de equilibrio entre lo que recibe y envía cada almacén.

Modelos para la selección de rutas

Dentro de los problemas de decisión relacionados con el sistema de distribución adquiere también importancia relevante el referido a la selección de las rutas de distribución. El problema de planificar o diseñar las rutas de distribución consiste en definir la estrategia de movimiento de cada vehículo del centro (o centros) distribuidor(es), a fin de satisfacer la demanda de los clientes, teniendo en cuenta un conjunto dado de restricciones.

Los modelos cuantitativos que pueden utilizarse para la solución de esta problemática pueden clasificarse en: modelos que tienen en cuenta orígenes y destinos diferentes y aquellos en los cuales se tiene en cuenta que la ruta comienza y termina en el mismo punto.

Para la solución del primer caso se pueden utilizar los algoritmos de Ford, Floyd, Bellman-Kalaba y el método de la matriz. Para la solución del segundo caso pueden utilizarse, entre los más conocidos, el algoritmo de barrido y los métodos de Lemaire, Clark y Wright, el de Ferguson, etc. Actualmente comienzan a emplearse técnicas multicriterio para la solución de estos problemas.⁵

Modelos para las decisiones de inventarios

Los inventarios surgen en el canal logístico porque normalmente permiten reducir los costos de alguna otra actividad empresarial. Así se crea como un amortiguador para suavizar y reducir los costos de producción. En relación con las ventas permiten llegar a un equilibrio entre la disponibilidad del producto y la racionalización del servicio de transporte. En el canal producción distribución se constituyen como previsión ante la incertidumbre de la oferta y la demanda y como forma de minimizar los costos de producción, de transporte y otros costos. Resumiendo, los inventarios existen porque representan la mejor alternativa económica para satisfacer los objetivos de servicio al cliente.

⁵ Ver Rosario Garza y Caridad González: *Ob.cit.*

En relación con la administración de inventarios existen dos cuestiones básicas:

- ◆ Una relacionada con el nivel de servicio al cliente (mercancía correcta, en cantidad suficiente en el lugar correcto y en el momento adecuado).
- ◆ Otra relacionada con el costo de ordenar y conservar el inventario.

El objetivo central de la administración de inventarios es alcanzar niveles satisfactorios de servicio al cliente, manteniendo costos de inventario dentro de límites razonables. En esta dirección el problema del decisor es lograr un balance adecuado en el nivel de inventario que evite excesos o déficits. Las decisiones fundamentales que se deben tomar están relacionadas con el tamaño del pedido (cuánto ordenar) y cuándo se deben realizar los pedidos (cuándo ordenar).

La utilización de métodos cuantitativos para la toma de decisiones en relación con los inventarios se remonta a la primera década del presente siglo, cuando en 1915 F. W. Harris desarrolló el tan conocido modelo del lote económico o modelo EOQ, el cual constituye el resultado fundamental y más importante alcanzado en el uso de modelos cuantitativos en esta área, ya que representa las relaciones clave que son vitales para el control apropiado de inventarios. A partir de este modelo se han desarrollado otros modelos que se adaptan a distintos sistemas de inventario tanto para demanda determinista como probabilista, y que se ajustan tanto a sistemas de inventario que utilizan una política de revisión continua como de revisión periódica.

Las ventajas de la aplicación de este tipo de modelos está más que demostrada. La principal dificultad que se presenta en su aplicación práctica está relacionada con la determinación de los costos que se requieren para su implementación.

Experiencias en la aplicación de modelos para el sistema de distribución física

Debemos primeramente destacar que los modelos de distribución en general son los modelos que más aplicación han tenido, no solo por el tipo de problema que resuelven, sino porque resultan muy sencillos desde el punto de vista matemático, existiendo programas eficientes para su solución por medios computacionales que admiten cientos de variables y restricciones.

Sin embargo, para su aplicación práctica la limitante fundamental esta dada en la determinación de los costos. La estructura del modelo implica la necesidad de tener los costos desglosados por origen y destino en el caso más simple, hasta llegar a necesitarlos por origen, destino, producto y medio de transporte en el caso más complejo. En muchas ocasiones en nuestras empresas no se cuenta con esa información en forma directa. Esto significa que normalmente para la apli-

cación práctica de estos modelos se requiere un trabajo previo para la determinación de los costos en la forma requerida.

Otra característica que tienen estos modelos es su tamaño en términos de variables y restricciones. Lo común es que los modelos tengan cientos y hasta miles de variables y cientos de restricciones. Actualmente esto no constituye limitante, puesto que existen paquetes computacionales que admiten esas dimensiones. El mayor trabajo se presenta a la hora de introducir los datos concretos en el paquete computacional seleccionado. Si el modelo es muy grande se pueden introducir errores en los datos que pueden conducir a soluciones no factibles, de ahí que en estos casos se requiere un fuerte trabajo de validación de la información contenida en el modelo.

La aplicación de modelos para la selección de las rutas en ocasiones se complica por la necesidad de determinar en primer lugar el criterio económico a utilizar y en segundo lugar, por la cantidad de información que se requiere compilar para su aplicación.

Como experiencia práctica de la aplicación de estos modelos podemos señalar entre otros los siguientes trabajos de investigación:

- ◆ Transportación óptima de carne y pollo en la Ciudad de La Habana.
- ◆ Aplicación de modelos de optimización en el transporte de materias primas para piensos.
- ◆ Modelos de transporte para el acopio de leche fresca en provincia Habana.
- ◆ Distribución óptima de alcohol y kerosén.
- ◆ Modelos de inventario para productos seleccionados en el almacén de la Empresa de Servicios Gastronómicos.
- ◆ Modelos de inventario y transportación de productos en almacenes portuarios.

La experiencia práctica alcanzada en la realización de estos y otros trabajos de investigación en este campo nos permitió corroborar los significativos ahorros en términos de costo que permiten la aplicación de los resultados que proporcionan estos tipos de modelos.

Sin embargo, es necesario destacar que aun cuando en términos generales se reconocen las ventajas que proporciona el uso de métodos cuantitativos para la toma de decisiones, en nuestra opinión, la aplicación de estas técnicas aún no constituye una práctica común en la gestión de nuestras empresas. Las causas pueden ser diversas entre las cuales se pueden mencionar:

- El desconocimiento que en ocasiones se tiene de los tipos de problemas que se pueden resolver con estos métodos.
- El criterio de que los modelos son muy “complicados” de entender y construir, y que se pueden buscar otros procedimientos para la solución de los problemas.
- La dinámica de la toma de decisiones en la gestión de las empresas y el “retardo” relativo de la solución de los modelos.

Realmente lograr una aplicación sistemática de los métodos cuantitativos enfrenta un conjunto de dificultades, puesto que implica en primer lugar un cambio en la mentalidad y forma de enfocar la toma de decisiones en la gestión de las empresas, además de los problemas relacionados con la captación y adecuación de la información para conformar los datos de partida que alimentan a los modelos y la necesidad de contar con un personal capacitado para ejecutar de una manera sistemática estas tareas. En los últimos años la creación de los llamados sistemas de apoyo a la decisión que se vienen desarrollando en algunas empresas, donde pueden integrarse, junto a otro tipo de información relevante para la toma de decisiones, modelos cuantitativos, contribuirán sin dudas a lograr un uso sistemático de estas técnicas en la toma de decisiones.

Conclusiones

La distribución física abarca una extensa variedad de actividades relacionadas con el movimiento de los productos terminados desde el final de la fabricación hasta que llega al consumidor, y que puede incluir el traslado de materias primas desde las fuentes de suministro hasta la línea de producción. Resulta particularmente importante para las empresas definir el sistema de distribución física de sus productos. Decisiones de particular importancia en este marco están referidas a la vinculación de fábricas o centros de distribución con sus centros de consumo, localización de almacenes y puntos de ventas, medios de transporte y rutas a utilizar, niveles de inventario a mantener, organización de almacenes, manejo de materiales, etcétera.

En el diseño del sistema de distribución debe emplearse como criterio económico la minimización del costo, siendo necesario como información de partida la definición del canal de distribución a emplear.

Para el diseño del sistema de distribución física pueden ser empleados modelos de optimización que van desde el modelo más sencillo, conocido por modelo clásico o de Hitchkoch, hasta el llamado modelo generalizado y sus variantes, para el caso en que la distribución a establecer sea de forma directa, o sea, fábrica o centro de distribución a centros de consumo.

También pueden emplearse modelos que consideren almacenes intermedios ya existentes, siendo también posible resolver, mediante modelos de optimización, otro problema relativo al sistema de distribución física, referido a la localización y dimensionamiento de nuevos almacenes.

Los modelos de transporte para la distribución física de la producción en general son modelos sencillos desde el punto de vista matemático y potencialmente de bastante aplicación. Su principal dificultad para las aplicaciones prácticas es la determinación de los costos, en la forma requerida por los modelos, información que, en muchos casos, no se dispone de esa forma en las empresas por lo que se requiere de un trabajo previo para determinarlos. Esta misma situación presentan los modelos que permiten la selección de las rutas y los modelos de inventarios.

Los resultados obtenidos en las aplicaciones prácticas realizadas demuestran que el uso de los modelos cuantitativos para el diseño de sistemas de distribución física permiten obtener ahorros significativos de costo, y constituyen un apoyo cuantitativo para la toma de decisiones en esta área de mucha importancia para las empresas.

Aun cuando no se ha logrado una aplicación sistemática del uso de métodos cuantitativos para la toma de decisiones en los problemas de la distribución física, consideramos que existen condiciones para lograr un uso sistemático de estas técnicas.

Bibliografía

- Ballou, R: *Logística empresarial*. Editorial Díaz de Santos S. A., España, 1991.
- Bueno, E.; Duran, J. y Cruz Roche, I.: *Economía de la empresa. Análisis de las decisiones empresariales*. Ediciones Pirámide S.A., Madrid, 1989.
- Bueno, E; Duran, J; Cruz Roche, I: *Economía de la Empresa. Análisis de las Decisiones Empresariales*. Ediciones Pirámide S. A., Madrid, 1989.
- Cruz Roche, I: *Fundamentos de Marketing*. Editorial Ariel, España, 1990.
- Diez de Castro, E; Fernández, J. C.: *Distribución comercial*. Editora McGraw-Hill Interamericana de España S.A., 1993.
- Garza, Rosario y González, Caridad: “Distribución física: Un enfoque multicriterio”, en *Revista Logística Aplicada*. No. 3/98.
- Grande Esteban, Idelfonso: *Dirección de Marketing. Fundamentos y software de aplicaciones*. Editora McGraw-Hill Interamericana de España S.A., 1992.
- _____: *Dirección de Marketing. Fundamentos y software de aplicaciones*. Editora McGraw-Hill Interamericana de España S.A., 1992.
- Knudsen, José; Ayala, Pedro; Crespón, Roberto; Bofill Arturo: “La planificación logística del transporte”, en *Revista Logística Aplicada*. No. 5/99.
- Kotler, P.: *Dirección de Marketing*. 7ma. edición.
- Villalba, D.; Jerez, M.: *Sistemas de optimización para la planificación y toma de decisiones*. Ediciones Pirámide S. A., Madrid, 1990.