

Unidad 19

- Caso 1: Reducción de los costos de logística en General Motors.

Reducción de los costos de logística en General Motors

Dennis E. Blumenfeld, Lawrence D. Burns,
Carlos F. Daganzo, Michael C. Frick
y Randolph W. Hall

La producción de automóviles y camiones en General Motors requiere la transportación de una amplia variedad de materiales, partes y componentes que provienen de 20 000 plantas proveedoras y que tienen como destino 160 plantas de General Motors. Para ayudar a reducir los costos de logística se desarrolló una herramienta para toma de decisiones llamada TRANSPART. En su aplicación inicial en Delco Electronics Division, esta herramienta identificó oportunidades de ahorro en costos logísticos del 26% (\$2.9 millones de dólares por año). Hoy, TRANSPART II —la versión comercial— se usa en más de 40 plantas de General Motors.

El origen de General Motors Corporation —conocida como GM— se remonta al año de 1897, cuando la empresa Olds Motors Vehicle produjo su primer automóvil. Diecinueve años después se fundó GM, formada por cuatro empresas de manufactura de automóviles, una firma comercializadora de camiones y una empresa exportadora. Hoy, GM es una de las corporaciones más grandes del mundo. En 1984, comercializó más de 40 modelos diferentes de vehículos, vendió 8.3 millones de automóviles y camiones en todo el mundo y obtuvo ganancias por \$80.5 miles de millones de dólares por ventas de vehículos.

Para producir un vehículo típico se deben fabricar y ensamblar aproximadamente 13 000 partes diferentes, cuyo tamaño y valor varían ampliamente. Para llevar a cabo esta operación, se requiere una producción masiva y una red de distribución gigantesca. En 1984, esta red consistía

Fuente: Blumenfeld, D.E., Burns, L. D., Daganzo, C. F., Frick, M. C. y Hall, R. W. (1987) *Interfaces*, 17(1), 26-47

© 1987 The Institute of Management Sciences, EE. UU.

en 20 000 plantas proveedoras, 133 plantas de partes GM, 31 plantas ensambladoras GM y 11 000 distribuidores en Estados Unidos y Canadá. El costo de fletes de GM en ese año fue de \$4.1 miles de millones de dólares, de los cuales cerca de 60% correspondió al transporte de material y el resto al transporte de vehículos terminados. Además, el inventario de GM fue va-luado en \$7.4 miles de millones de dólares (cerca de 70% en trabajos en proceso y el resto en vehículos terminados), siendo mucho de este inventario atribuible al transporte de vehículos y materiales. Las 164 plantas de GM están organizadas en 32 divisiones o centros de utilidades.

Dados el tamaño, la cobertura, la complejidad y los costos de la red productiva de GM, es indispensable que se tomen decisiones efectivas para el transporte de materiales y vehículos. A mediados y a finales de la década de 1970, varios factores aumentaron la importancia de esas decisiones:

- 1) era inminente la desregulación de la industria del transporte;
- 2) las tasas de interés y los costos de la energía se incrementaban rápidamente;
- 3) era inminente una recesión;
- 4) las presiones competitivas de la industria automotriz en el extranjero aumentaban; y
- 5) las estrategias de manufactura y transporte de justo a tiempo se estaban convirtiendo en opciones muy atractivas para la industria de Estados Unidos.

Para prepararse a enfrentar los retos del manejo de materiales que se avecinaban, en 1978 se formó un nuevo grupo de investigación en el GM Research Laboratory. La misión de este grupo era realizar investigaciones logísticas fundamentales que ofrecieran bases científicas mejoradas para la toma de decisiones logísticas de GM (es decir, decisiones que afectaban el flujo de materiales en la extensa red de producción de GM). Los autores de este capítulo fueron miembros de este grupo o sus consultores.

En 1981, Delco Electronics Division (actualmente Delco Electronics Corporation) enfrentó un problema en el transporte de sus productos que sirvió como el catalizador de los avances en la ciencia de la administración que aquí se informan. Delco diseña y fabrica una gran variedad de componentes para vehículos. En 1981, sus productos incluían:

- 1) Módulos de control electrónico producidos en Milwaukee, Wisconsin;
- 2) Radios producidos en Matamoros, México; y
- 3) Radios, bocinas, controles de calefactores y una variedad de pequeños productos de plástico y sensores electrónicos producidos en Kokomo, Indiana.

El tamaño pequeño y el alto valor de estos productos electrónicos, son un aspecto importante a considerar en la manera en que se transportan.

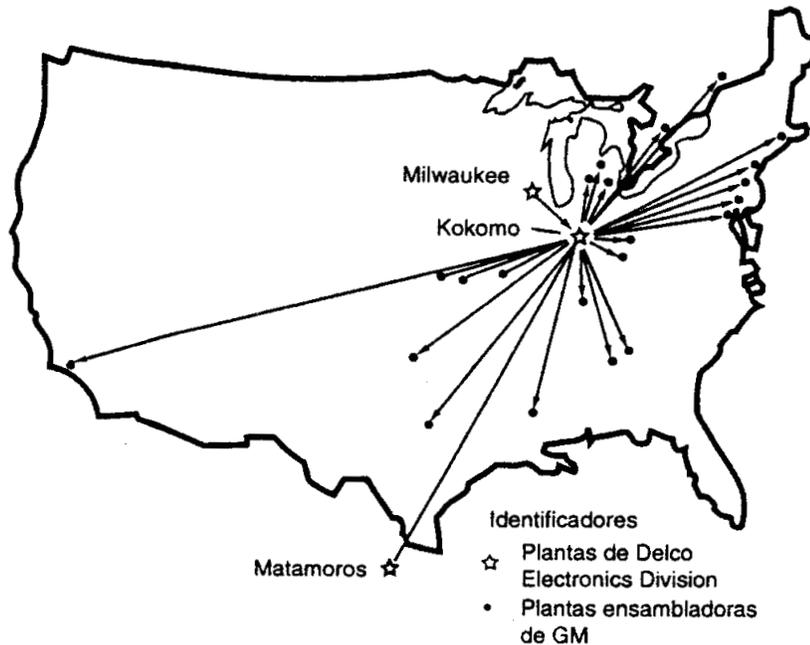


Figura 16.1 La red de distribución de los productos de Delco Electronics en 1981 con sus tres plantas (☆) que embarcaban a cerca de 30 plantas ensambladoras GM (●) a través del almacén de Kokomo.

La figura 16.1 describe la red de transporte de los productos Delco tal como existía en 1981. Los productos de Milwaukee y Matamoros eran enviados por camión a un almacén de Delco en Kokomo, que se consolidaban con los productos hechos en esa ciudad. La producción consolidada se transportaba por camión directamente a cerca de 30 plantas ensambladoras de vehículos en el norte de Estados Unidos. Los almacenes servían para combinar los embarques y guardar la producción.

En 1981, los costos de logística asociados con la red de transporte de los productos Delco se distribuían en varias organizaciones de GM. Específicamente, Delco incurría en los siguientes costos:

- 1) costos de inventario en sus tres plantas y en su almacén debido a los preparativos de carga;
- 2) costos de fletes y de inventarios en tránsito hacia los almacenes; y
- 3) costos de inventario en los almacenes debidos al tiempo de manejo en los almacenes.

Además, las plantas ensambladoras de GM incurrían en los siguientes costos:

- 1) costos de inventarios debidos a consumo de carga; y
- 2) costos de fletes e inventarios en tránsito desde los almacenes.

Delco, como todas las divisiones de GM, estaba poniendo atención en las formas de aumentar la calidad de sus productos y reducir los costos de producción. Como parte de este esfuerzo, el gerente de control de materiales de Delco, Jim Schneider, era el responsable de reducir los inventarios de productos terminados; reconocía que los inventarios tenían una función importante para que Delco ganara ventajas importantes en la eficiencia por costos de transporte inherente en los embarques grandes. Esto es especialmente importante para Delco, ya que sus productos son pequeños y valiosos.

Jim Schneider se dio cuenta que podría ser capaz de reducir los inventarios si los transportaba directamente de cada planta de Delco a cada planta ensambladora de GM; sin embargo, esto incrementaría sustancialmente los costos por fletes y también afectaría la distribución de los costos en que incurrían las diferentes organizaciones de GM. Aunque su responsabilidad era reducir los inventarios, concluyó que lo primero que se necesitaba era entender los intercambios entre los costos de inventarios y los costos de transporte sobre la base de una red amplia.

El 30 de junio de 1981, cuando Jim visitó al grupo de investigación de GM, su objetivo había evolucionado hacia uno de minimización de los costos corporativos combinados de inventarios y de transporte para todos los productos Delco que se embarcaban hacia las plantas ensambladoras de GM. Quería un instrumento analítico que le permitiera hacer una evaluación conveniente y rápida de las alternativas de la estrategia para el transporte de los productos Delco.

Se dedujo que varias de las otras divisiones de GM enfrentaban retos similares y que la situación de Delco era un caso especial de una nueva área importante de investigación genérica para GM. Vistas en retrospectiva, estas percepciones eran correctas.

Delco tenía una red compleja que no podía ser analizada apropiadamente con las técnicas normales de programación matemática. Dado el deseo de Jim por entender completamente los intercambios entre los costos y las ventajas del uso de técnicas de análisis simples y transparentes en situaciones prácticas, se concluyó que era necesario entender los fundamentos y que era la oportunidad para hacer contribuciones nuevas y originales en la investigación. El trabajo se enfocó hacia la reducción de los costos corporativos totales asociados al transporte de los productos Delco y a examinar el impacto que podían tener distintas estrategias en diferentes organizaciones de GM.

16.1 INVESTIGACIÓN

Los costos de transporte resultan de los cargos por fletes en el embarque de productos. Los costos por inventarios resultan de productos que esperan ser embarcados de las plantas de Delco, de productos en tránsito hacia

las plantas ensambladoras (se incluyen los productos en almacén) y de los productos que esperan ser utilizados en las plantas ensambladoras. El costo por manejo de materiales se incluye dentro del costo de llevar inventarios. Un modelo de los intercambios entre los costos de transporte y de inventarios en toda la red que usaba Delco para transportar sus productos fue la clave para la reducción de los costos.

16.2 VARIABLES DE DECISIÓN

Las estrategias de transporte se representan mediante dos tipos de variables de decisión:

- 1) tamaños de los embarques (o frecuencias) en las uniones de la red; y
- 2) las rutas en la red.

El tamaño de los embarques afecta el intercambio entre los costos de transporte e inventarios. El envío poco frecuente de embarques grandes por una vía reduce los costos de transporte por pieza ya que los costos fijos del embarque se distribuyen entre más artículos. Sin embargo, los embarques grandes aumentan los costos de inventarios por pieza ya que es más el tiempo que se consume para preparar y usar cargas de más piezas. Alternativamente, los embarques más pequeños y frecuentes generan un alto costo de transporte por pieza, pero reducen los costos de inventario por pieza debido a que se pueden preparar y usar cargas con más rapidez. Así, los costos de transporte y de inventarios están interrelacionados y existe una concesión entre ellos que depende del tamaño de los embarques (o de la frecuencia).

La ruta que se seleccione para cada embarque también afecta los costos de inventario y de transporte ya que determina la cantidad de material transportado por cada vía. Las rutas optativas de los embarques desde cada planta de Delco hasta cada planta ensambladora de GM pueden ser:

- 1) Hacer todos los embarques directos;
- 2) Hacer todos los transportes a través del almacén;
- 3) Hacer todos los embarques directos entre pares de plantas ensambladoras de Delco, transportando a través del almacén en otros embarques y usar una mezcla de estas dos opciones en otros casos; y
- 4) Entregar piezas desde una planta o almacén de Delco a varias plantas de ensamble con un mismo camión de carga.

Estas opciones generan distintas asignaciones de costos de transporte y de inventarios en las diferentes organizaciones de GM. Aunque para efec-

tos del estudio interesaba la reducción total de los costos corporativos, también había que considerar las implicaciones inherentes a la organización de cada una de esas opciones.

16.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE

El objetivo de la investigación era desarrollar un método que permitiera a Delco determinar los mejores tamaños y rutas de embarque (desde un punto de vista global). Para alcanzar este objetivo se tuvo que tener un mejor conocimiento de:

- 1) La manera en que los costos de transporte y de inventarios dependen de los tamaños de embarques y rutas;
- 2) Los intercambios entre los costos de transporte y de inventarios en una red compleja; y
- 3) La sensibilidad de los costos a las condiciones del sistema.

En la investigación, se trató de conservar la sencillez de los modelos hasta donde fuera posible. Se alcanzó este objetivo estudiando primero la red del tipo más simple para luego pasar en forma gradual a redes más complejas.

16.4 UNA SOLA VÍA, COMO BASE

El primer paso fue desarrollar un modelo para analizar los intercambios entre los costos de transporte e inventarios en una sola vía y examinar cómo dependen los costos del tamaño de los embarques. Se desarrollaron ecuaciones de los costos de transporte y de inventarios que reflejan la estructura de los cargos por fletes, la mezcla de artículos que constituyen las cargas, la capacidad de los camiones tanto en peso como en volumen y el inventario total en el sistema.

Los cargos por fletes se podían inferir de las tablas de tarifas que se aplican a cada planta de acuerdo con su ubicación específica, tipo de servicio y tamaño de embarques (en peso). Sin embargo, se encontró que los cargos por fletes podían ser estimados excepcionalmente bien mediante un parámetro que dependía sólo de la distancia. Al incorporar esta aproximación dentro de las ecuaciones, se obtuvo un tamaño óptimo de embarque (es decir, un tamaño de embarque que minimiza el costo total) y que podía determinarse como una solución al problema del tamaño económico del pedido (Arrow *et al.* 1958; Magee and Boodman 1967).

Se hicieron análisis de sensibilidad para ver cómo variaba el costo total alrededor del óptimo como una función del flujo de materiales (es decir, la demanda) en una vía. En las ecuaciones se consideró una demanda cons-

tante y el análisis de sensibilidad permitió estudiar el impacto en los costos de las fluctuaciones de la demanda.

16.5 REDES

El estudio de una sola vía sirvió de base para estudiar redes con varias vías. Se demostró que el tamaño óptimo de embarque en una vía aumenta con la raíz cuadrada del flujo. También se demostró que el costo mínimo total en una vía por unidad de tiempo aumenta con el flujo a una tasa decreciente hasta que hay suficiente flujo para justificar la carga de un camión completo, en cuyo punto el costo se incrementa linealmente (figura 16.2).

La forma cóncava de la función del costo de una vía por unidad de tiempo con respecto al flujo significa que el costo por pieza embarcada disminuye con el flujo. Como resultado de esta economía de escala, las decisiones sobre rutas y tamaños de embarques para todos los pares de plantas de ensamble de Delco están interrelacionadas. Esto significa que la

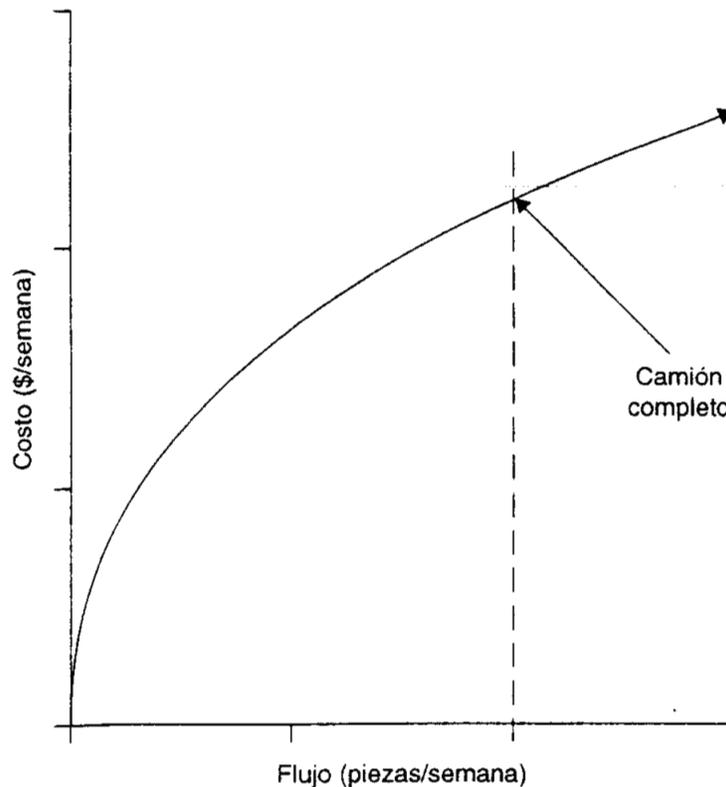


Figura 16.2 La relación cóncava entre el costo y el flujo en una vía que demuestra cómo el costo mínimo por semana aumenta con el flujo a una velocidad decreciente, hasta una carga de camión completo, aumentando linealmente después.

minimización del costo total de la red requiere la determinación simultánea de rutas y tamaños de embarque óptimos.

Debido a que el costo total de una vía no es una función convexa del flujo, las decisiones sobre las rutas no pueden ser evaluadas con técnicas normales de programación matemática. Este problema es muy complejo. Afortunadamente y debido a la concavidad, se pudo demostrar que sólo se tenían que considerar dos opciones de rutas para cada par de plantas de ensamble de Delco: transporte directo de productos o transporte de todos los productos a través del almacén. Las opciones de ruta que consistían en embarcar algunos productos en forma directa y otros a través de almacenes para el mismo par de plantas siempre son más costosas. Este potente principio de "todo o nada" se estudia en Newell (1980).

La selección de rutas por el principio de todo o nada simplificó sustancialmente el problema. Sin embargo, todavía quedaba un número enorme de opciones de rutas debido a que la decisión de transporte directo para un par de plantas de Delco afecta el flujo total a través de los almacenes y además afecta los costos y las decisiones de rutas para otros pares. En la red de Delco había 90 de tales pares de plantas (tres plantas de Delco y 30 plantas de ensamble). Sin contar las posibilidades de entrega planta por planta, había $2^{90} \approx 10^{27}$ opciones diferentes de rutas.

Intentar resolver el problema de combinaciones directamente hubiera requerido cálculos en gran escala, sin la garantía de encontrar una solución. Dado que se quería conservar el análisis simple y transparente y ofrecer resultados de manera oportuna, se buscó una técnica más simple. Se observó que si los tamaños de embarque eran fijos (en lugar de óptimos) en cada vía de entrada al almacén (es decir, de Milwaukee y Matamoros al almacén), el costo total por unidad de tiempo sería lineal con respecto al flujo. En consecuencia, se podía probar que, para tamaños fijos de embarques sobre vías de entrada, la red total de Delco podía ser dividida en subredes independientes, cada una de ellas con una sola planta ensambladora (figura 16.3) (ver en el apéndice la prueba formulada por Blumenfeld *et al.* 1985). Cada subred entonces se podía resolver fácilmente enumerando sólo cuatro opciones de ruta y usando los métodos descritos previamente de tamaño económico de pedido para determinar el tamaño óptimo de embarque en las vías que van hacia la planta de ensamble. Las cuatro opciones de ruta de cada subred de Delco son:

- 1) todas directas;
- 2) todas por almacén;
- 3) Milwaukee y Kokomo por almacén; y
- 4) Matamoros y Kokomo por almacén.

Éstas son las únicas opciones prácticas debido a que el almacén estaba junto a la planta de Kokomo.

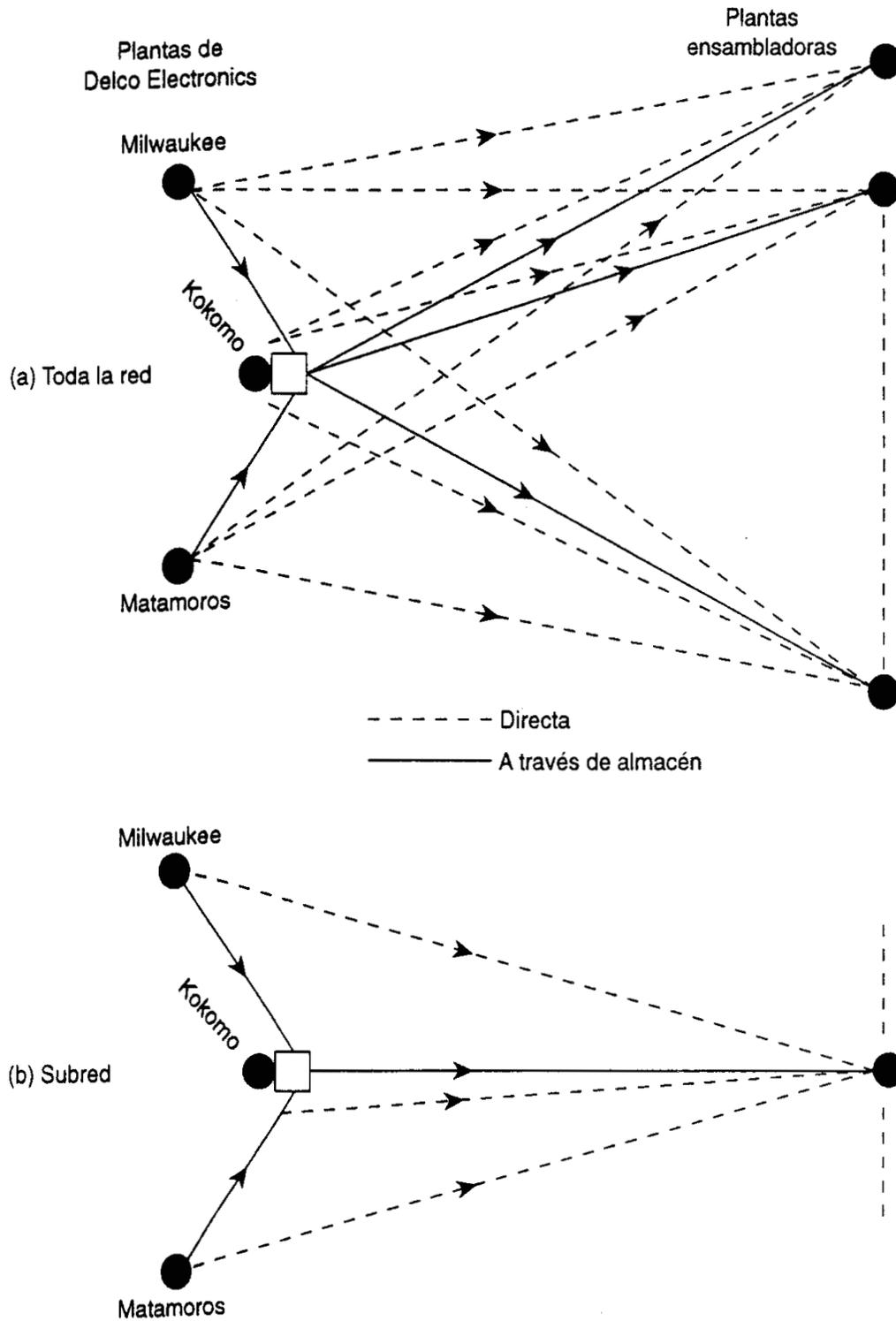


Figura 16.3 Una representación esquemática de la red de distribución de productos de Delco Electronics para la red completa y para una subred aislada con una planta ensambladora GM.

La estrategia óptima de embarque para toda la red Delco se identificó por:

- 1) la generación de una variedad de combinaciones con tamaños de embarque fijos en las vías de entrada,
- 2) la determinación de estrategias óptimas de transporte en todas las subredes para cada combinación de tamaño de embarque,
- 3) la suma de los costos mínimos resultantes en todas las subredes para cada combinación de tamaño de embarque, y
- 4) la selección de la combinación (y la estrategia óptima correspondiente en cada subred) que ofrezca el costo global mínimo.

Ya que había sólo dos vías de entrada, el número de combinaciones de tamaños de embarque a considerar era relativamente pequeño.

Este método de división hizo una nueva aportación a la teoría de optimización de redes. Permitía que la estrategia de embarque óptima (tamaños de embarque y rutas) se determinara con rapidez y facilidad para rutas opcionales que implicaban una combinación de embarques directos y por almacén. Esto se realizó usando sólo aritmética y cálculo básico.

Además de aplicarse a embarques directos o por almacén, la técnica también se aplicó a embarques dirigidos a varias plantas en el mismo transporte. Esto se hizo agrupando visualmente las plantas ensambladoras que estuvieran próximas unas de otras para formar regiones de distribución. Cada región de distribución se trató como una planta ensambladora con un flujo total de material igual al flujo combinado hacia las plantas ensambladoras de la región. El costo de transporte se calculó con base en el costo de transporte hacia la planta más cercana de la región, más los costos de la travesía entre las plantas de la región. Este costo adicional se estimó a partir de la distancia de viaje en cada ruta de distribución y el número de plantas en la región. Los embarques consistieron en una mezcla de productos (de acuerdo con la demanda) destinados a cada planta de ensamble.

Una vez descubierta la técnica de solución simple, se recurrió al lenguaje FORTRAN para desarrollar fácilmente un instrumento para la toma de decisiones en la red de Delco. A este instrumento se le llamó TRANSPART.

16.6 INSTRUMENTO PARA TOMA DE DECISIONES

El instrumento para toma de decisiones TRANSPART se desarrolló para que Delco examinara convenientemente el impacto en los costos corporativos totales de diferentes estrategias de transporte para sus productos.

Contiene el modelo para el análisis de los intercambios entre los costos de transporte y de inventarios y la técnica de solución para determinar el costo mínimo de toda la red.

TRANSPART requiere los siguientes datos de entrada:

- 1) valor, peso y densidad de cada producto;
- 2) demanda de cada producto por planta de ensamble;
- 3) cargos por flete en cada vía;
- 4) tiempo de traslado en cada vía;
- 5) tiempo de almacenamiento y manejo de material, y
- 6) cargos por llevar inventario.

Los valores de los productos son los precios que carga Delco a las plantas de ensamble y se necesitan para el cálculo de costos de inventario. Los pesos de los productos y las densidades (peso por unidad de volumen) se infieren de los datos de empaque y toman en cuenta las características de los contenedores para asegurar que los tamaños de embarque no excedan la capacidad de un camión (peso máximo o volumen).

Las demandas son las cantidades semanales requeridas de cada producto por cada planta de ensamble y se obtienen de los registros de los volúmenes de producción de las plantas de ensamble.

Delco fabrica aproximadamente 300 tipos diferentes de productos agrupados en 40 familias de piezas. Cada embarque de una planta de Delco a una planta ensambladora de GM generalmente contiene una variedad de productos. Para comprender apropiadamente esta mezcla se desarrolló la noción de **producto compuesto**. Un producto compuesto es una mezcla proporcional de todos los tipos de productos embarcados juntos en una vía. El valor de un producto compuesto es el promedio ponderado de los valores de los diferentes productos embarcados en esa vía. El peso y la densidad de un producto compuesto se determina de manera similar.

El cargo por fletes en una vía es lo que cuesta el transporte por camión en esa vía. Este cargo se consideró fijo en el modelo, independientemente del tamaño o peso de la carga. Esto se apoya en las tarifas de fletes reales y por el hecho que los gastos de una operación de acarreo son casi los mismos, se lleve o no carga durante el viaje. El cargo por flete se tomó de la tarifa por camión con carga completa disponible en los registros. Esto significa, por ejemplo, que los camiones cargados a media capacidad (para reducir costos de inventarios) generan un costo de transporte por pieza que es el doble de un embarque con camión completo.

El tiempo de traslado (días por embarque) se obtuvo de datos históricos de embarques por camión. Delco proporcionó una estimación del tiempo promedio de manejo de materiales en almacén. Como una primera aproximación, este tiempo se supuso independiente del flujo total de material a través del almacén.

El cargo por llevar inventarios refleja el costo de mantener los productos en inventario. Se expresa como un porcentaje del valor del producto por unidad de tiempo. Delco proporcionó una estimación de este porcentaje de su inventario de productos. Esta estimación refleja el costo de oportunidad del dinero y el costo por seguros, manejo de materiales, espacio de almacenamiento y obsolescencia.

El programa de FORTRAN que se escribió para TRANSPORT usa la técnica de solución por descomposición de redes descrita anteriormente para evaluar los costos de cada alternativa de estrategia de transporte. Este programa saca como resultado las rutas y los tamaños de embarque que minimizan los costos corporativos totales para la red de Delco. También saca un desglose de costos por vía. Esto permite que los costos por transporte de productos desde cada planta de Delco se contabilicen por separado e identificar cuáles costos son absorbidos por Delco y cuáles por otras divisiones de GM. Este impacto en la organización es importante al instrumentar los resultados. Finalmente, para cada vía, el programa analiza la sensibilidad del costo total a los cambios en los tamaños de embarque alrededor del tamaño óptimo. Esto es importante en la identificación de vías para las cuales ~~el tamaño de embarque tiene mayor influencia~~ en el costo.

16.7 RESULTADOS PARA DELCO ELECTRONICS

Los resultados de la investigación, el modelo de red, el programa de cómputo y los datos permitieron a Delco responder preguntas referentes a:

- 1) los intercambios entre los costos de transporte y de inventarios;
- 2) los costos asociados con las frecuencias de embarques y las rutas;
- 3) las diferencias en costo entre la ruta estratégica óptima (es decir la de costo mínimo) y las rutas que son más simples y más fáciles de manejar (por ejemplo, todos los embarques directos y todos los embarques por almacén);
- 4) la sensibilidad de los resultados a los cambios en parámetros críticos tales como tiempos de manejo de material en los almacenes, cargos por llevar inventarios y tarifas de fletes; y
- 5) el impacto de las diferentes estrategias de ruta en los costos de los productos de Delco en que incurrieron las diferentes organizaciones de GM (por ejemplo, plantas individuales de Delco, los almacenes y las plantas de ensamble GM).

Se considera que el hecho de ayudar a Delco a responder esas preguntas fue más importante que los ahorros inmediatos en dólares. Delco ya no

tenía que especular sobre los méritos de cada estrategia alternativa de transporte. En lugar de eso, podía evaluarlas objetivamente. También estaba en posibilidad de ajustar sus estrategias de transporte a los cambios de las condiciones (por ejemplo, en los costos de llevar inventarios, que cambian cuando cambian las tasas de interés). De hecho, se considera que Delco tuvo la oportunidad de reducir los costos de transporte de sus productos en 1981 principalmente porque las condiciones habían cambiado sustancialmente desde que la empresa decidió construir su almacén a fines de la década de 1970. Entre 1979 y 1981 se desreguló la industria del transporte y las tasas de interés aumentaron significativamente.

16.8 RESULTADOS CON UNA SOLA VÍA

Dado que se puso atención a los intercambios y se obtuvieron respuestas gráficas, la utilidad del trabajo y los méritos de varias estrategias se pueden ilustrar fácilmente. La figura 6.4, por ejemplo, se usó para demostrar el efecto del tamaño de embarque, en transportes directos entre la planta de Delco en Milwaukee, Wisconsin y la planta de ensamble de GM en Baltimore, Maryland. La figura 16.4 muestra la función de la cantidad económica de pedido que, gráficamente, resulta más ilustrativa. A primera vista uno puede ver que los costos de transporte y de inventarios

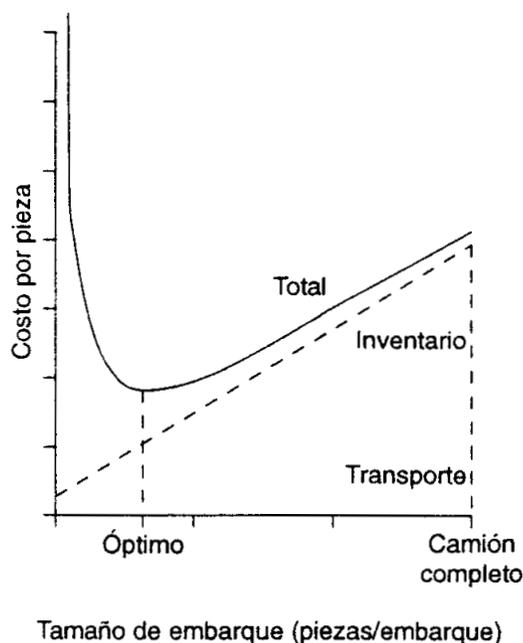


Figura 16.4 Relación del tamaño económico de pedido entre el costo y el tamaño de embarque en una vía que muestra el intercambio entre los costos de transporte y de inventarios por embarques desde la planta de Delco Electronics en Milwaukee hasta la planta ensambladora de GM en Baltimore.

deben administrarse juntos ya que si se manejan separados (por ejemplo, para minimizar los costos de transporte) se generarían costos totales radicalmente más altos. Se puede decir también que una gama amplia de tamaños de embarque dan por resultado costos cercanos al mínimo. Finalmente, se puede inferir el costo extra en que se incurre por hacer embarques directos en cantidades muy pequeñas para cumplir objetivos JIT. Tales representaciones gráficas de los intercambios fueron después muy importantes para la generalización del uso de los resultados de la investigación.

16.9 RESULTADOS PARA LA RED

La presentación gráfica de los intercambios también fue muy efectiva para evaluar toda la red de transporte de Delco (Figura 16.5). Los resultados se representan para embarques de carga completa, con rutas de transporte directo y con rutas de transporte por almacén, ya que estas estrategias son

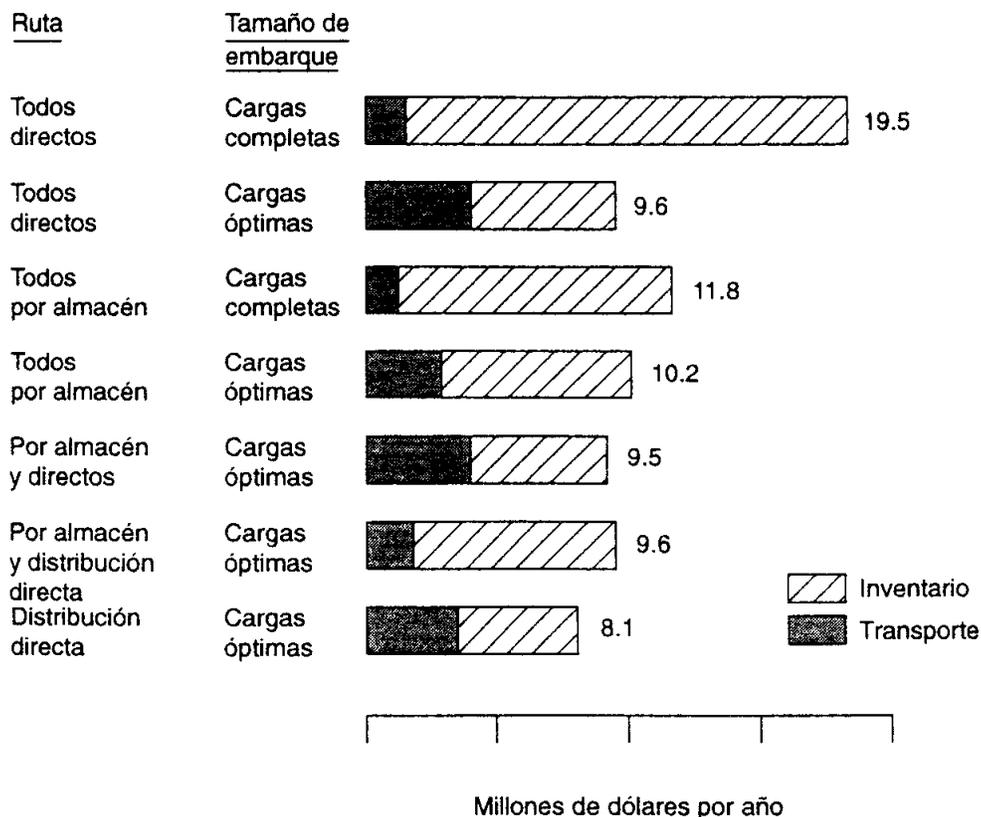


Figura 16.5 Intercambios entre los costos totales de transporte y los costos de inventario estimados para varias estrategias de transporte en toda la red de distribución de productos de Delco Electronics.

relativamente fáciles de controlar y de administrar. Los resultados también se presentan para tamaños de embarque con carga óptima, usando una combinación de rutas directas, por almacén y con distribución directa con un solo camión, puesto que Delco no tenía medios para evaluar estrategias más complejas antes de la investigación de referencia.

La figura 16.5 revela que:

- 1) Las decisiones de Delco respecto a tamaños de embarques y rutas estaban muy interrelacionadas. Como un ejemplo, todas las estrategias de transporte directo y por almacén dependían de la medida en que se usaran los tamaños óptimos de carga. El uso de tamaños óptimos de embarque no es tan importante para las estrategias de transportar todo por almacén, ya que la consolidación de flujos en las vías reduce la sensibilidad de los costos de la vía a los tamaños de embarque.
- 2) La mejor mezcla de transporte directo y de transporte por almacén (sin distribución a varias plantas por un solo camión) fue únicamente 1% menos costosa que la más simple de las estrategias de transportación directa. La mejor mezcla tenía un 56% de transportes directos.
- 3) La distribución a varias plantas por un solo camión fue significativamente menos costosa que las otras rutas de transporte consideradas. (Esta estrategia consideró nueve regiones de distribución basadas en la proximidad geográfica de las plantas ensambladoras de GM. Estas regiones variaban en tamaño de una a cinco plantas).

16.10 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En 1981, Delco estaba transportando todos sus embarques a través de almacén. Los métodos de contabilidad de costos de GM hacían difícil aislar los costos reales de transporte y de inventarios de los productos de Delco para un conjunto dado de condiciones. Por tanto, se tuvo que calcular una gama de ahorros potenciales. Se sabía que Delco transportaba cargas completas en algunas vías del almacén (no en todas). Así, un límite superior de los costos en 1981 era de \$11.8 millones de dólares por año (todas las cargas completas), y un límite inferior de \$10.2 millones de dólares por año (todas las cargas óptimas). Esto mostró ahorros potenciales del 21% al 31% (\$2.1 a \$3.7 millones de dólares por año) por distribución directa desde cada planta de Delco. La mejor estimación de los ahorros globales está en la mitad de esos dos límites, 26% o \$2.9 millones de dólares por año. Esta es la estimación de los ahorros corporativos totales, tomando en cuenta el impacto en los costos de las plantas de Delco y de las plantas ensambladoras de GM.

Los resultados eran para sentirse satisfecho. La distribución directa planta por planta, que se había vuelto atractiva debido a la desregulación

del transporte, ofreció ventajas significativas en la consolidación de los fletes sin un alto costo de inventarios y sin los costos adicionales del transporte a través de almacén. Sin embargo, antes de concluir que Delco debía distribuir planta por planta, se quiso entender mejor la sensibilidad de los resultados a los cambios en parámetros clave. Dos parámetros eran especialmente importantes: el costo de llevar inventarios y el tiempo de manejo de materiales en los almacenes.

El costo de llevar inventarios es difícil de estimar con precisión. Además del costo de oportunidad del capital, estos costos dependen de los costos de seguros, manejo, almacenamiento y obsolescencia de los inventarios que se mantienen. Además, debido a que las tasas de interés habían aumentado rápidamente los participantes estaban convencidos de que los costos de llevar inventarios iban a fluctuar constantemente.

Como se muestra en la figura 16.6, los ahorros potenciales asociados con la distribución directa planta por planta (con relación al caso base presentado previamente) varían del 21% al 28%, ya que los cargos de llevar inventarios se duplican del 15% al 30% por año. Así, existía una oportunidad de ahorro significativo en una amplia gama de estos cargos. Este

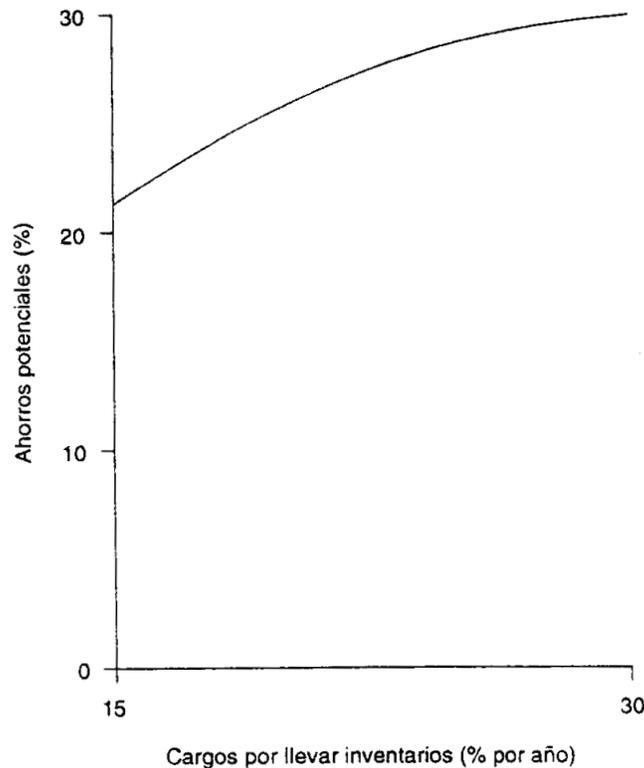
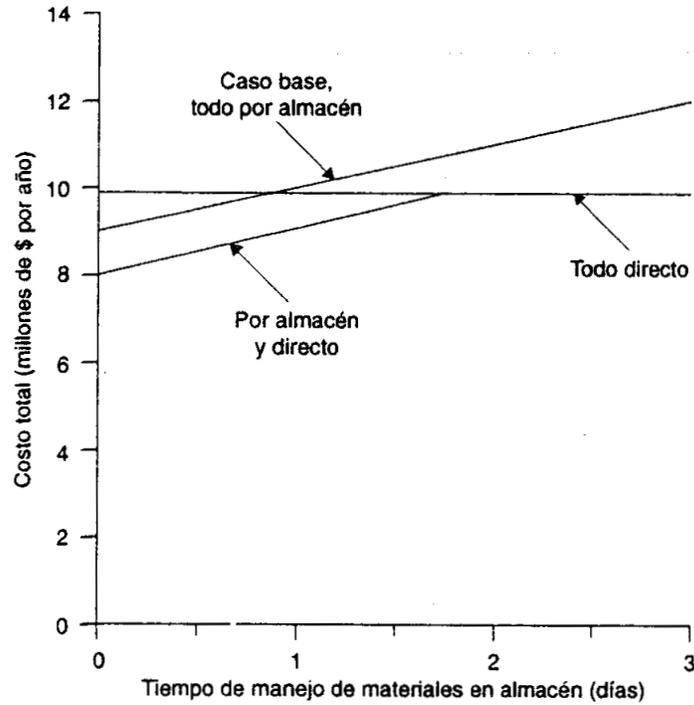
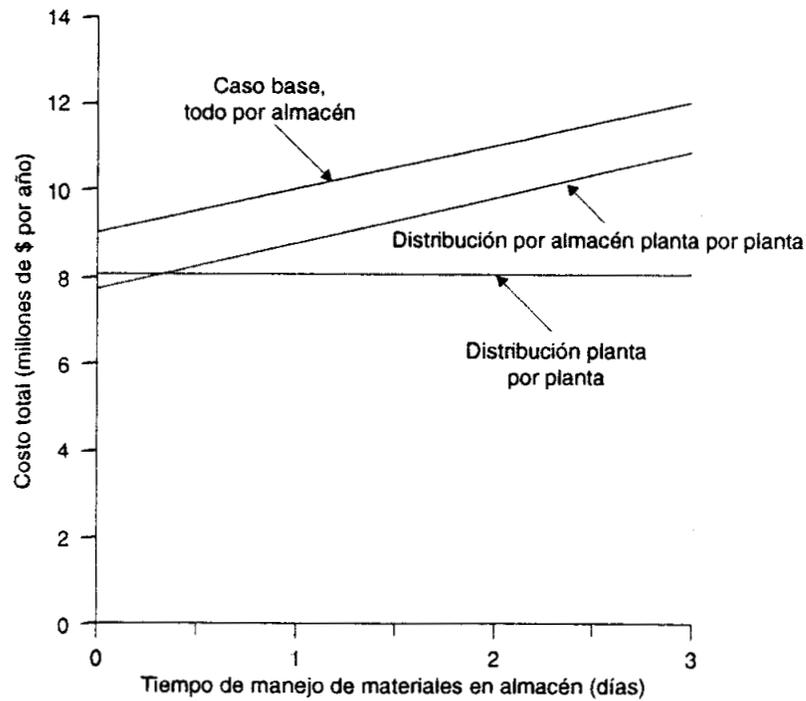


Figura 16.6 Ahorros potenciales en costos de las estrategias de distribución directa planta por planta que muestran una oportunidad de ahorros significativos en una gama amplia de cargos por llevar inventarios.



(a) Estrategias sin distribución directa planta por planta



(b) Estrategias de distribución directa planta por planta

Figura 16.7 El efecto del tiempo de manejo de materiales en almacén sobre el costo total de la red estimado con diferentes estrategias de embarque.

análisis de sensibilidad fue mucho más simple que las mediciones precisas de los cargos por llevar inventarios de los productos Delco y aumentó la confianza en los méritos de la distribución planta por planta.

El tiempo de manejo de materiales en los almacenes afectaba directamente a lo atractivo de las estrategias de transporte por medio de almacenes. La manera más efectiva en costo para reducir los costos de transporte de los productos Delco podía ser la realización de un esfuerzo para disminuir el tiempo de manejo de materiales.

La figura 16.7 ilustra la sensibilidad de los resultados al tiempo de manejo de materiales en los almacenes. La mejor estimación de Delco en 1981 era de dos días. La figura 16.7a se refiere a las estrategias sin distribución planta por planta y la figura 16.7b se refiere a las estrategias con distribución directa planta por planta.

De la figura 16.7a se puede deducir que, sin la distribución directa, la estrategia del caso base de transportar todo por almacén es menos costosa que la estrategia de transporte directo con cargas óptimas cuando el tiempo de manejo de materiales es inferior a medio día. Además, como era de esperarse, la estrategia de transporte directo y por almacén es siempre mejor que la de transporte todo directo o que la del caso base. La diferencia en costos aquí es de cerca de \$1.0 millón de dólares por año para tiempos de manejo que fluctuaban de cero a dos días. Finalmente, se concluyó que si se alcanzaba una reducción del tiempo de manejo de materiales de dos días a medio día se reducirían los costos del caso base en cerca de \$1.0 millón de dólares por año. ~~Ciertamente, hacer este esfuerzo era una estrategia viable para Delco.~~

La figura 16.7b muestra que la distribución planta por planta y la distribución a través de almacenes era menos costosa que la estrategia de transporte del caso base para todos los tiempos de manejo de materiales en almacén. También, que la distribución por medio de almacenes se hacía menos costosa cuando el tiempo de manejo de materiales bajaba a la mitad de un día. Otra vez, el intento de reducir el tiempo de manejo de materiales parecía ser una opción clave para Delco. Más importante todavía, la distribución planta por planta (aunque era más complicada que el transporte directo o por almacén), parecía ofrecer una oportunidad promisoría en una variedad amplia de condiciones.

Dado que la distribución planta por planta se veía promisoría, se decidió examinar su impacto en los productos transportados por cada planta de Delco. Se descubrió que el 66% de los ahorros totales se obtenían de los productos embarcados por la planta de Milwaukee. Estos productos eran sólo el 16% de los productos transportados por Delco. Esto indicó que podrían hacerse mayores ahorros cambiando únicamente las rutas de los productos transportados desde Milwaukee.

Los resultados precedentes dejaron en claro que Delco podía usar una variedad de estrategias para reducir sus costos de distribución de produc-

tos. Podían intentar cambiar las rutas de transporte, embarcar tamaños óptimos de carga, reducir el tiempo de manejo de materiales en almacén o renegociar las tarifas de fletes. Con ajustar sólo los tamaños de embarque y las rutas, los costos se podrían reducir en \$2.9 millones de dólares por año (26%). Todavía más importante, Delco estaba ahora en posición de evaluar objetivamente una amplia gama de estrategias bajo una gama amplia de condiciones. Por ejemplo, dado que las decisiones sobre rutas y tamaños de embarque son de corto plazo, el modelo puede aplicarse para responder rápidamente a fluctuaciones en la demanda, que son características en la industria automotriz.

16.11 EL IMPACTO EN DELCO ELECTRONICS

En abril de 1982, Delco empezó a aplicar el modelo por sí misma en la búsqueda de estrategias para reducir costos. Inicialmente, decidieron continuar con sus estrategias de transportar todo por almacén (pero con el uso de tamaños óptimos de embarque) y trataron de reducir el tiempo de manejo de materiales en almacén. Estas opciones ofrecieron ahorros inmediatos sin tener que ajustar rutas. Sin embargo, dada la aglomeración en el almacén, Delco concluyó que el tiempo de manejo de materiales no podía ser reducido significativamente sin reducir el flujo de materiales a través del almacén. Esto les dio un incentivo adicional para usar estrategias de rutas en lugar de utilizar sólo la de transportar todo por el almacén.

El siguiente paso de Delco fue empezar a hacer transportes directos desde Milwaukee, ya que era la planta que ofrecía los mejores ahorros en el cambio de rutas. Esto también redujo la aglomeración de los productos que se transportaban por almacén. Delco usó una combinación de transporte directo y distribución planta por planta desde Milwaukee, dependiendo de la proximidad de las plantas de ensamble. Continúan haciendo eso hasta ahora.

Desde 1982, Delco ha aplicado el modelo para hacer frente a varios cambios y explorar nuevas estrategias. Como ejemplo, han usado el modelo para determinar:

- 1) la mejor estrategia de transporte para un nuevo producto de Delco fabricado en Hillsdale, Michigan —el sistema de sonido Delco/Bose;
- 2) el mejor uso de las zonas de comercio internacional para productos embarcados desde México;
- 3) cuándo debe ser transportado por aire a lugares distantes el módulo de control electrónico;
- 4) si conviene usar transporte aéreo o marítimo para transportar productos desde Singapur;

- 5) los méritos de la combinación de productos Delco de Milwaukee con otros fletes de GM desde Milwaukee con rutas de recolección hacia las plantas de ensamble; y
- 6) la mejor ruta para transportar componentes de bocinas de un proveedor japonés.

16.12 LA INSTRUMENTACIÓN EN TODA LA CORPORACIÓN

El éxito obtenido en Delco motivó a instrumentar la investigación en toda la corporación. Se tenía la certeza que los resultados podían aplicarse en alguna forma en casi todo transporte de material hecho para las plantas de componentes y ensambladoras de GM. En esto se incluían oportunidades para cambiar los modos de transporte (camión, ferrocarril, mar, aire), para ajustar el tamaño de los embarques o para cambiar las rutas. Fue una tentativa muy atractiva y oportuna debido a la creciente aceptación de las estrategias de entrega justo a tiempo y al aumento de estrategias posibles propiciadas por la desregulación del transporte.

¿Cómo se podría diseminar el uso de los resultados en toda la corporación GM, de manera rápida, efectiva y eficiente? Se enviaron informes a todos los gerentes de GM encargados del transporte de materiales en los que se documentaba la investigación, los datos y el programa de computadora, así como los resultados que apoyaban la experiencia en Delco. También se invitó a los representantes de cada división de GM a un taller de un día. Esto propició el interés, pero no condujo a una instrumentación rápida en toda la corporación. Existieron varios impedimentos: 1) en la mayoría de las divisiones no tenían datos disponibles, 2) el programa de computadora escrito en lenguaje FORTRAN fue confeccionado para Delco y no era amigable con el usuario y 3) en los informes y en el taller se usaban fórmulas matemáticas de difícil aplicación para muchos de los usuarios potenciales.

Se necesitaba eliminar esos impedimentos. Una opción era trabajar en un nuevo sistema corporativo de información que brindara acceso a una computadora para requerir datos y con un programa general que pudiera aplicarse en todas las divisiones. Preocupaba que esto resultara muy costoso y tardado. Mientras se estaba buscando una alternativa a este enfoque centralista y vertical, surgió una idea de un usuario potencial, Jerry Spencer, asistente del gerente de tráfico en la planta de motores Chevrolet en Flint; había leído los informes y estaba buscando la forma de aplicar estos hallazgos sin tener que introducir manualmente los datos en las fórmulas. Empezó a experimentar con su computadora personal usando los resultados de la investigación para resolver los problemas que enfrentaban en la planta de motores.

Las computadoras personales apenas estaban llegando a GM. Cuando Jerry compartió su idea con nosotros, ¡se hizo la luz! Al principio no lo

reconocimos por completo, pero vista en retrospectiva, la idea de Jerry fue la llave que abrió la puerta para el desarrollo e instrumentación de un nuevo y atrayente sistema de apoyo para la toma de decisiones en GM. Se procedió a desarrollar un prototipo de herramienta amigable para toma de decisiones en una computadora personal IBM-XT que tenía las características básicas del modelo de Delco y presentaba soluciones gráficas. Tomó tres días hacer el prototipo, que se enfocaba a los intercambios de costos entre transporte e inventarios en el transporte directo.

Se desarrolló un prototipo más amigable con gráficas a colores que incorporaba varias opciones adicionales de análisis. Este segundo prototipo fue desarrollado por un analista de sistemas en aproximadamente tres meses.

En seguida, se realizaron pruebas piloto en cinco plantas GM. Por ese tiempo, GM había creado una nueva actividad de las ciencias de la administración —que llamó DTD, por las siglas en inglés de Decision Technology Division— de los sistemas electrónicos de datos. Su objetivo era generalizar el uso de instrumentos de análisis para toma de decisiones en toda la corporación GM.

La nueva división vio el instrumento como uno de varios que podrían construirse dentro de su organización. Greg Herrin, miembro de esa división, y Tom Matwiejczyk, que entonces trabajaba en operaciones logísticas de GM y ahora en el grupo de camiones y autobuses de GM, condujo la prueba piloto del prototipo para afinarlo y para asegurar que fuera útil en una variedad de situaciones.

La prueba piloto fue estimulante y útil. Las plantas GM aportaron sugerencias que hicieron al instrumento más fácil de usar y más general. La DTD finalizó los programas y ahora era evidente que TRANSPART era un producto valioso para un mercado más amplio. Las pruebas piloto también identificaron varias oportunidades de ahorro en las plantas involucradas. Greg Herrin y Bob Lawson de la DTD comercializaron el producto final a través de GM y dieron el soporte técnico para su uso.

Este producto, llamado TRANSPART II, se usa ahora en las 40 plantas GM y se está considerando su venta fuera de GM. Las siguientes citas describen la clase de efectos que tuvo:

Con la ayuda del sistema TRANSPART, GM de Canadá ahorró aproximadamente \$157 000 en la selección de transportistas en cuatro meses. Actualmente se estaba desarrollando un sistema de control de inventarios que se ajusta al concepto de “justo a tiempo”. El departamento de tráfico usa TRANSPART en todos sus análisis de transporte e inventarios. El sistema ha ayudado a terminar los estudios de transporte e inventarios de una manera más eficiente y oportuna.

Jeff Abbot, supervisor de GEEM y Servicios de Despacho, Departamento de Tráfico de Oshawa, GM of Canada.

Se conocían todas las variables de los costos de inventario desde hacía mucho tiempo, pero antes de TRANSPART nunca se tuvo la forma de considerar todas las variables al mismo tiempo para tomar decisiones respecto de los niveles de inventario. Se usó TRANSPART durante un período de 4 semanas para analizar los costos totales implicados en la fijación del nivel máximo de inventario en planta. Estudié mi propuesta de cambios conjuntamente con el área de control de producción, para asegurarme de era sensata. Los ajustes que se acordaron están ahorrando más de \$35 000 por año.

Wayne Starr, supervisor general de Administración de Inventarios, Pontiac Motor Division (ahora en Chevrolet-Pontiac Group of Canada).

TRANSPART fue una ayuda muy efectiva para hacer una comparación de estrategias de transporte por ferrocarril o por camión para el proyecto de vagonetas [Astro/Safari] en Baltimore. En logística, siempre nos habíamos preocupado por los costos de transporte y por las frecuencias de embarque. Encontrar una estrategia óptima que considerara los factores individualmente —más los costos de inventarios— es casi imposible sin una computadora. TRANSPART toma esta situación compleja y la maneja para el usuario. Se entrelaza con “justo a tiempo”, el nombre del juego en la actualidad. Una vez que se ve cómo ayuda TRANSPART, es obvio que se use. A la larga, queremos integrar a TRANSPART dentro del sistema global de programación de materiales. Ahora ese es un gran proyecto. TRANSPART es una causa triunfante ¡a la que nos uniremos inmediatamente!

Larry Lamon, Administrador en Jefe, oficina central de logística, GM Truck and Bus Operations.

Un ingrediente importante en la evolución rápida y con éxito de TRANSPART II fue el enfoque descentralizado para desarrollar e instrumentar el sistema que ofrecieron las computadoras personales. Este enfoque brindó a muchos usuarios la autonomía (tanto en sistemas de apoyo como de presupuesto) para aplicar herramientas propias en la tranquilidad de sus oficinas. En consecuencia, pueden asumir plena responsabilidad y créditos por el uso del instrumento. No necesitan pedir autorización ni esperar a que se les dé prioridad. Y no dependen de los resultados y programas de otros.

16.13 REDES MÁS COMPLEJAS

También se presentó la oportunidad de ampliar la investigación para resolver problemas de redes más complejas. Esto incluía redes con muchas plantas proveedoras, varias terminales de consolidación (incluidos los almacenes) y muchas plantas de destino. También abarcaba la recolección

y la distribución directa planta por planta (es decir, recoger materiales de más de un proveedor para entregarlos a más de un destinatario por carga) en redes con cientos y hasta miles de proveedores y destinos.

La investigación sobre redes más complejas siguió dos trayectorias. La primera ampliaba el uso de las técnicas desarrolladas para Delco. Con esta extensión, se identifican rutas óptimas para redes con más de 1000 proveedores, por el orden de 30 destinatarios (o a la inversa) y una o más terminales de acopio. Las decisiones para seleccionar rutas en tales redes, son un problema de flujo con múltiples apoyos y a costo mínimo, con funciones de costo cóncavas (Zangwill, 1968). Esta clase importante de problemas ha recibido menos atención que el problema de flujo en redes con funciones lineales o convexas. El método de solución desarrollado aquí encuentra rutas óptimas presentadas en gráficas y es lo suficientemente eficiente para ser programado en una calculadora manual o en una computadora personal.

Este instrumento ampliado ha sido aplicado con éxito en la división GM de almacenamiento y distribución para identificar oportunidades de ahorros significativos. Esta división tiene una red de cerca de 1000 proveedores, siete centros de acopio y cerca de 40 centros de distribución. La aplicación implica la evaluación de rutas estratégicas para el transporte para partes de hojas metálicas desde uno de sus principales proveedores hacia sus centros de distribución. La técnica de descomposición de redes descrita previamente permitió que la evaluación se realizara apropiadamente sin necesitar información de otros proveedores. La división seleccionó esta técnica entre varias otras ya que era la única que tomaba en cuenta correctamente las economías de escala en los fletes y porque requería una cantidad mínima de datos.

La segunda trayectoria usó métodos de probabilidad geométrica para desarrollar fórmulas que ayudan a identificar estrategias óptimas de recolección y distribución cuando existen cientos e incluso miles de proveedores o destinos. Estos métodos se han publicado en Daganzo (1984a, 1984b, 1985), Burns *et al.* (1985) y Hall (1985). Se enfocan a la densidad espacial de proveedores y destinatarios y a la distribución de volúmenes de producción y de demanda, más que a datos precisos sobre cada ubicación individual. Esto simplifica el análisis de problemas logísticos, pues elimina la necesidad de especificar una red detallada y los flujos correspondientes. También da por resultado fórmulas que permiten entender claramente los intercambios de costos, más que técnicas de programación matemática que, en su búsqueda de la optimización, tienden a obscurecer los intercambios.

Las fórmulas para los costos de recolección y distribución son útiles para aplicaciones prácticas y requieren sólo estimaciones de unos pocos parámetros fácilmente mensurables. Por ejemplo, en 1983, las fórmulas de recolección se usaron para evaluar los transportes de un gran número de proveedores a un almacén de GM en Westland, Michigan. Esta aplicación identificó una oportunidad de ahorrar el 44% en costos de trans-

orte y de inventarios. Las fórmulas también han sido aplicadas en la planeación de transporte de materiales para la planta GM de Buick City en Flint, Michigan. Finalmente, las fórmulas de recolección se incorporaron a TRANSPART II.

16.14 RESUMEN DE LOS EFECTOS EN GENERAL MOTORS

La investigación, el desarrollo del instrumento para la toma de decisiones y la instrumentación que se describe aquí han tenido una gran cantidad de efectos en GM:

- 1) GM cuenta con un nuevo enfoque probado para el desarrollo e instrumentación de sistemas de apoyo para la toma de decisiones. Está descentralizado, agiliza los beneficios de la instrumentación y evita los costos por desarrollar sistemas de gran escala. Implica:
 - a) que se enfoque a modelos para toma de decisiones transparentes y simples que requieran pocos datos, que subrayen los intercambios y presenten los resultados en forma gráfica;
 - b) prototipos rápidos, hechos en computadoras personales, en los que participan los usuarios potenciales (para crear un sentimiento de posesión por parte del usuario);
 - c) pruebas piloto en situaciones reales para afinar con rapidez los prototipos y documentar los ahorros; y
 - d) difusión y distribución en toda la corporación de folletos descriptivos, manuales de usuarios (con ejemplos reales de las pruebas piloto) y diskettes.
- 2) GM tiene técnicas nuevas y simples para analizar y resolver problemas de redes grandes y complejas. Están basadas en la descomposición de una red en subredes más simples y usa fórmulas analíticas para evaluar estrategias de transporte. Las técnicas son una investigación original y una contribución a la teoría de redes que han sido publicadas en revistas especializadas en el tema. Se han usado en GM para reducir los costos de logística y planear las operaciones de logística, y permiten a GM resolver problemas de redes que no se habían resuelto antes.

GM puede ahora también resolver los objetivos conflictivos que se presentan en las redes de logística debido a las fronteras propias de la organización. Esto ocurre debido a que el transporte de materiales conlleva normalmente cambios de propiedad y los departamentos de tráfico y control de materiales la mayoría de las veces funcionan de manera independiente. Las técnicas ponen atención en las concesiones y ayudan a tender puentes entre las fronteras de la organización.
- 3) GM tiene un conocimiento mejor de las implicaciones en los costos de transporte y fletes de la manufactura con justo a tiempo. Las divisiones

de GM pueden ahora evaluar las estrategias de consolidación de cargas de transporte, como la recolección y la distribución planta por planta, como un medio para alcanzar los objetivos que se persiguen con JIT (es decir, cargas pequeñas con más frecuencia) sin cambiar las ubicaciones de los proveedores ni aumentar significativamente los costos de transporte y fletes.

- 4) Delco Electronics tiene un instrumento computarizado para evaluar estrategias de transporte de sus productos que usa con regularidad; le permite ajustar apropiadamente sus estrategias a los cambios en las condiciones y así evita que los costos se incrementen por esos cambios.
- 5) Delco Electronics ha instrumentado estrategias que le han significado reducciones en sus costos de un 26% (\$2.9 millones de dólares por año), están basadas en un análisis de sensibilidad amplio que se realizó con la ayuda de este instrumento.
- 6) GM tiene un instrumento nuevo (TRANSPART II) para toma de decisiones en computadoras personales, que actualmente se usa en más de 40 plantas y almacenes. Los ahorros que se han documentado por el uso de ese instrumento van de \$35 000 a \$500 000 dólares al año por aplicación.
- 7) La división de almacenamiento y distribución de GM puede ahora evaluar efectivamente las rutas estratégicas para el transporte de sus productos en su amplia red. La extensión del programa para análisis de grandes redes la está usando para considerar un mayor número de opciones de ruta que antes. Esta técnica es la única que la división encontró que usa pocos datos y capta economías de escala en los fletes.

Estos ejemplos demuestran el uso generalizado de las herramientas de las ciencias de la administración en la toma de decisiones logísticas en GM. Muchos ejecutivos están aplicando esas herramientas en su trabajo cotidiano de toma de decisiones, ya que son fáciles de usar y de entender. Además, las herramientas han mejorado la imagen de las ciencias de la administración en GM.

16.15 LECCIONES DE LAS CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

Como resultado de la experiencia que significó el desarrollo del trabajo descrito, los autores aprendieron varias lecciones de las ciencias de la administración, las cuales podrían aumentar las posibilidades de que los instrumentos para toma de decisiones se usen y se disminuya el tiempo de su instrumentación.

Primero, respecto de la investigación en las ciencias de la administración, la lección aprendida es que es valioso perseguir resultados que per-

mitan desarrollar modelos y principios simples para toma de decisiones. La formulación de modelos que están en función de pocos parámetros críticos con interpretaciones físicas claras ayudan a que estos instrumentos sean transparentes y útiles para los usuarios potenciales. La transparencia es importante debido a que quienes toman las decisiones con justa razón quieren entender la lógica que sustenta al instrumento.

Segundo, respecto al desarrollo de instrumentos para toma de decisiones generados a partir de métodos rigurosos de las ciencias de la administración, la lección aprendida es que hay más probabilidades que sean aceptados y se usen si no requieren que los usuarios tengan una alta especialización técnica. Tales instrumentos deben enfocarse hacia la cuantificación de los intercambios entre variables críticas, con una cantidad mínima de datos, que faciliten los análisis de sensibilidad y presenten gráficamente las gamas de soluciones. Deben ayudar en la evaluación de varias opciones y a conocer las implicaciones de decisiones prácticas diferentes de las óptimas. De esta forma, si por alguna razón no se puede aplicar la solución óptima, el usuario puede identificar opciones factibles y cercanas a las óptimas.

Tercero, con respecto a la instrumentación de las herramientas para toma de decisiones, la lección aprendida es que resulta imperativo que los usuarios sientan que esas herramientas son suyas. Un enfoque de descentralización para la instrumentación de las herramientas de toma de decisiones lo facilita, ya que libera a los usuarios de tener que aceptar los hallazgos de un grupo central. En lugar de eso, los estimula a generar sus propios hallazgos, los hace sentirse orgullosos de sus propias realizaciones y vigilan y llevan un registro de las implicaciones de sus propias decisiones.

Cuarto, con respecto al desarrollo de este tipo de herramientas y su instrumentación, la lección es que las computadoras personales son un medio poderoso. Pueden reducir el tiempo del desarrollo de sistemas, reducir los costos y aumentar las posibilidades de que se usen las herramientas.

Finalmente, con respecto a las ciencias de la administración en general, la lección que dejó este proyecto es que nunca se debe olvidar que quienes toman las decisiones son las personas, no los modelos ni las computadoras. Los científicos de la administración deben poner mucha atención y ver en los usuarios su principal recurso. Este fue ciertamente el caso, como se aprecia por las contribuciones de Jim Schneider y Jerry Spencer. La buena voluntad de Jim y su habilidad para comunicar los retos a los que se enfrentaba Delco fueron determinantes para definir los objetivos de la investigación. La iniciativa de Jerry y la visión que tuvo al proponer que TRANSPART se programara en una computadora personal fue la llave que permitió la instrumentación de TRANSPART en toda la corporación.

En resumen, la experiencia ganada durante el trabajo de reducción de costos de logística en General Motors dejó varias lecciones para la aplicación con éxito de las ciencias de la administración. Estas lecciones no son sólo para nuestra propia experiencia. Refuerzan las lecciones que otros han aprendido en el pasado, y al reflexionar sobre ellas aumenta la probabilidad de que los esfuerzos futuros en las ciencias de la administración tengan impactos significativos en la práctica.

16.16 RECONOCIMIENTOS

Los logros descritos aquí no hubieran sido posibles sin la contribución de un gran equipo. Claramente, Jim Schneider y Jerry Spencer tuvieron una participación importante. Además, de acuerdo con el momento en que aportaron sus contribuciones, mencionaremos a:

- 1) Don Collins, Bob Costello, Tom Endres y Brian Plante, de Delco Electronics Division;
- 2) Frank Babel, Greg Herrin, Bob Lawson y John Lucas, de DTD sistemas electrónicos de datos.
- 3) Jerry Bodrie, Don Griffin y Tom Matwiejczyk, de operaciones logísticas de GM.
- 4) John Martin y Ray Taylor, de la división de ensamble de GM.
- 5) Dave Hansen, de la división de almacenamiento y distribución de GM.
- 6) David Diltz, Tom Morrisey, Dick Rothery y Bill Spreitzer, de los laboratorios de investigación de GM.

Finalmente, los más importantes son los usuarios de las herramientas descritas aquí. Sus contribuciones durante este trabajo garantizaron la aceptación de las herramientas presentadas.

16.17 APÉNDICE: PRUEBA QUE EL MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE REDES IDENTIFICA LA ESTRATEGIA ÓPTIMA DE TRANSPORTE

Considere una red de dos orígenes y muchos destinos y una subred correspondiente a uno de los destinos (fig. 16.8).

Sea:

D = destino en una subred,

C_D^{DIR} = costo por unidad de tiempo en una vía directa a D ,

C^{IN} = costo por unidad de tiempo en una vía de entrada al almacén,

C_D^{OUT} = costo por unidad de tiempo en una vía de salida del almacén hacia D ,

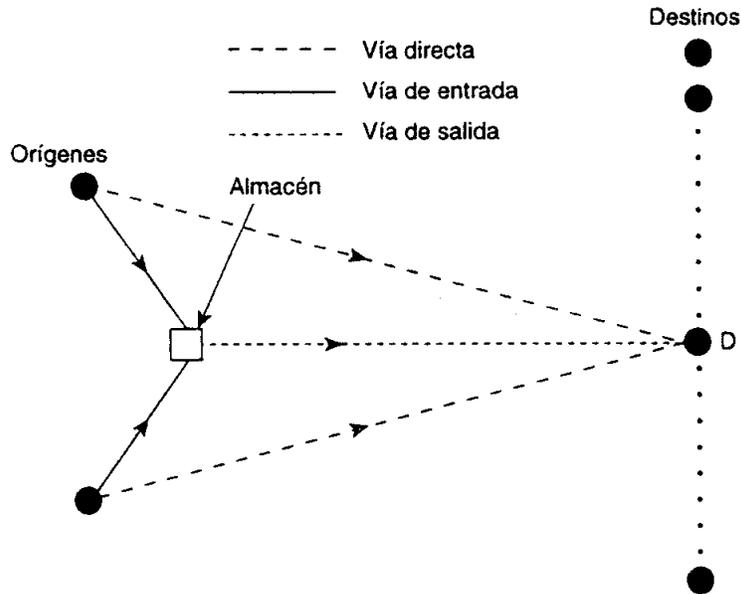


Figura 16.8 Vías de subred para estrategias de transporte directo y por almacén.

C_D^{SUB} = costo por unidad de tiempo en la subred, y
 C^{TOT} = costo por unidad de tiempo en toda la red.

La subred en la figura 16.8 consiste en dos vías de entrada, dos vías directas y una vía de salida. El costo por unidad de tiempo en todas las conexiones a D es:

$$\sum_1^2 C^{IN} + \sum_1^2 C_D^{DIR} + C_D^{OUT}, \tag{1}$$

donde \sum_1^2 es la suma de todos los costos sobre las dos vías. (La ecuación (1) supone que C_D^{OUT} incluye los costos de inventario debidos al tiempo de manejo de materiales en almacén.)

Las vías directas y de salida son diferentes para cada destino, pero las dos vías de salida son comunes a las subredes para todos los destinos.

Por tanto, C^{TOT} está dado por:

$$C^{TOT} = \sum_1^2 C^{IN} + \sum_D \left[\sum_1^2 C_D^{DIR} + C_D^{OUT} \right] \tag{2}$$

donde \sum_D es la suma sobre todos los destinos.

Considere una vía de entrada. El costo por pieza, C , en esta vía es (Blumenfeld *et al.* 1985):

$$C = PR \left(\frac{V}{Q} + T \right) + \frac{F}{V}, \quad (3)$$

donde P , V , Q , T y F son: el valor de la pieza, el tamaño del embarque, el flujo, el tiempo de traslado y la tarifa de fletes, respectivamente, en esta vía y R es el cargo por llevar inventarios. El costo por unidad de tiempo en esta vía es:

$$C^{IN} = QC \quad (4)$$

$$= PRV + PRTQ + \frac{F}{V} Q \quad (5)$$

Para un valor fijo de V , este costo es lineal en el flujo Q .

El flujo Q en esta vía está compuesto por la demanda de piezas en todos los destinos que reciben esas piezas a través del almacén. Por tanto, si hacemos que q_D sea la demanda a través del almacén al destino D ,

$$Q = \sum_D q_D, \quad (6)$$

y

$$C^{IN} = PRV + PRT \sum_D q_D + \frac{F}{V} \sum_D q_D \quad (7)$$

De aquí que, para un valor fijo de V ,

$$C^{IN} = PRV + \sum_D \left(PRT q_D + \frac{F}{V} Q_D \right) \quad (8)$$

$$= \text{Constante} + \sum_D C_D^{IN} \quad (9)$$

donde C_D^{IN} es el costo sobre la vía de entrada atribuible a D . Por tanto,

$$\begin{aligned} C^{TOT} &= \sum_1^2 \left[\text{Constante} + \sum_D C_D^{IN} \right] \\ &+ \sum_D \left[\sum_1^2 C_D^{DIR} + C_D^{OUT} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

= Constante

$$+ \sum_D \left[\sum_1^2 C_D^{IN} \sum_1^2 C_D^{DIR} + C_D^{OUT} \right] \quad (11)$$

$$= \text{Constante} + \sum_D C_D^{SUB} \quad (12)$$

Así, para embarques de tamaños fijos en las dos vías de entrada, C^{TOT} es la suma de una constante y los costos de subred. Por consiguiente, se puede minimizar si los costos son expresados en su mínimo sobre la subred para cada destino por separado.

16.17 REFERENCIAS

- Arrow, K. J., Karlin, S. y Scarf, H. *Studies in the Mathematical Theory of Inventory and Production*, Stanford University Press, Stanford, California.
- Blumenfeld, D. E., Burns, L. D., Diltz, J. D. y Daganzo, C. F. (1985) Análisis de los intercambios entre los costos de transporte, inventario y producción en las redes de embarque, *Transportation Research*, **19B**(5), 361-80.
- Burns, L. D., Hall, R. W., Blumenfeld, D. E. y Daganzo, C. F. (1985) Estrategias de distribución que minimizan los costos de transporte e inventario, *Operations Research*, **33**(3), 469-90.
- Daganzo, C. F. (1984a) La longitud de los viajes en zonas de diferentes formas, *Transportation Research*, **18B**(2), 135-45.
- Daganzo C. F. (1984b). La distancia recorrida para visitar N puntos con el máximo de paradas C por vehículo: Un modelo analítico y una aplicación, *Transportation Science*, **18**(4), 331-50.
- Daganzo, C. F. (1985) Suministro a un solo lugar desde fuentes heterogéneas, *Transportation Research*, **19B**(5), 409-19.
- Hall, R. W. (1984) *Principles for routing freight through transportation terminals*, General Motors Research Laboratories, Research Publication GMR-4772.
- Hall, R. W. (1985) Determinación de la frecuencia de despacho de vehículos cuando la frecuencia de los embarques difiere entre los proveedores, *Transportation Research*, **19B**(5), 421-31. 4517, por publicarse en *Transportation Research*.
- Magee, J. F. y Boodman, D. M. (1967) *Production Planning and Inventory Control*, McGraw Hill, New York.
- Newell G. F. *Traffic Flow on Transportation Networks*, Colección MIT Press sobre estudios de transporte, núm. 5, Cambridge Massachusetts.
- Zangwill, W. I. (1968). Flujos de costos cóncavos mínimos en ciertas redes, *Management Science*, **14**(7), 429-50.