

**EVALUACION DE LOS BENEFICIOS POTENCIALES DE LA RESOLUCION  
DE CONFLICTOS OPERACIONALES ENTRE DESPACHADORES  
Y TRANSPORTISTAS TERRESTRES \***

PATRICIO DONOSO\*\*

MARCOS SINGER\*\*

**ABSTRACT**

*The purpose of this article is to analyze the main operational causes of conflict between shippers and carriers, and to evaluate the opportunity of improvement. We classify these problems according to whether they are related to the operations at the distribution centers, the configuration of routes, the contract clauses and the size of the fleet. Based on a transportation cost model, we present expressions for estimating the potential savings upon resolving those problems. We simulate several improvements for four different types of companies: a grocery delivery service that operates throughout the city of Santiago, a soft-drink deliverer that uses electric vans for the downtown area, a tanker service that operates between two distant facilities, and a hauling operation with very large trucks in an open-pit mine. We derive a number of managerial guidelines that could be more effective than any other capital-intensive approach method.*

*Keywords: Freight, Transportation, Conflict*

*JEL Classification: L91, L81*

**RESUMEN**

*El propósito de este artículo es analizar las principales causas operacionales de conflicto entre despachadores y transportistas, y evaluar las oportunidades de mejoramiento asociadas. Clasificamos estos problemas de acuerdo a si están relacionados con la operación de los centros de distribución, la configuración de los recorridos, las cláusulas de los contratos y el tamaño de la flota. Basados en un modelo de costos de transporte, presentamos distintas expresiones que permiten estimar el ahorro potencial de resolver estos problemas. En una hoja de cálculo, simulamos diversas mejorías para cuatro tipos de empresas: el reparto de abarrotes dentro de una ciudad como Santiago de*

\* Reconocimientos: Esta investigación ha sido parcialmente financiada por FONDECYT, proyecto número 10270528.

\*\* Escuela de Administración, Pontificia Universidad Católica de Chile, Email: singer@faceapuc.cl, pdonoso@faceapuc.cl

*Chile, el reparto de bebidas gaseosas con furgones eléctricos en la zona céntrica de la ciudad, el transporte de larga distancia de combustible, y la operación de camiones de gran tamaño en una mina. Esta hoja de cálculo se puede descargar de Internet para que el lector realice sus propias simulaciones. De este análisis concluimos que un número de mejoras en la gestión pueden ser más efectivas que soluciones intensivas en capital.*

Diversas fábricas y mayoristas chilenos (en adelante “despachadores”) han decidido subcontratar sus necesidades de transporte a unidades independientes (en adelante “transportistas”). A pesar de que esta externalización tiene una serie de ventajas de costos y calidad del servicio reportadas por Hall y Racer (1995), varios despachadores han sufrido conflictos endémicos con sus transportistas, que en 1999 escalaron hasta una huelga nacional que duró tres días y que tuvo un costo social estimado de US\$150 millones diarios. Las negociaciones posteriores entre el gobierno y la Confederación Nacional de Dueños de Camiones (CNDC) derivaron en el encargo a nuestra Escuela de Administración de evaluar las principales causas operacionales de este conflicto. Este artículo presenta las conclusiones generales del proyecto, esperando que sean de ayuda para otros países que enfrentan dificultades similares.

La metodología empleada fue la simulación del ahorro potencial de la resolución de distintos problemas operacionales, utilizando para ello un modelo de costos de transporte. En muchos casos, estas mejoras deberían ser implementadas de manera mancomunada entre el despachador y el transportista, lo que es factible, dado que el negocio del transporte ha ido evolucionando desde una fórmula transaccional de corto plazo a relaciones contractuales de largo plazo (Crum y Allen, 1997). Nuestra aproximación difiere de la mayoría de los estudios teóricos realizados en el tema, que generalmente se enfocan en aspectos específicos. Por ejemplo, Sutcliffe y Board (1991) estiman los potenciales beneficios de un mejor diseño de ruta, desestimando un conjunto de otras oportunidades de mejoramiento. Nosotros, en cambio, estudiamos simultáneamente diversas líneas de acción, lo que puede ser especialmente útil para consultores y profesionales cuando se dispone de múltiples alternativas de mejoramiento operacional.

Un segundo objetivo de este estudio es proponer un marco conceptual para interpretar los hallazgos empíricos acerca de las decisiones que toman los diferentes actores del negocio del transporte. Por ejemplo, Golob y

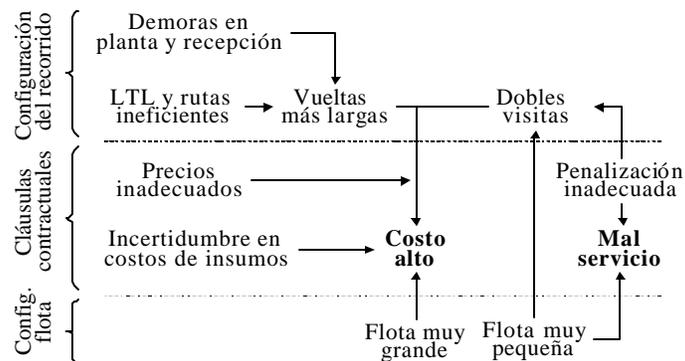
Regan (2003) reportan las condicionantes de la adopción de sistemas de planificación y programación de rutas, en tanto Ng *et al.* (1995) estudian las características de los despachadores y conductores que determinan la aceptación de Sistemas Avanzados de Información en Ruta (ATIS). Si bien las encuestas utilizadas en estas investigaciones entregan valiosa información, según Regan y Golob (1999), las respuestas son, a veces, contradictorias o desinformadas, de modo que un modelo cuantitativo puede contribuir a una mejor comprensión del éxito o fracaso de diferentes tecnologías. El principal inconveniente de nuestro enfoque ecléctico es que, siendo los problemas estudiados de diversa naturaleza, es imposible profundizar el análisis de cada uno de los modelos, lo cual será realizado en futuros trabajos.

El estudio está organizado de la siguiente forma: la sección I presenta distintos problemas operacionales que corresponden a los más frecuentemente tratados por la literatura académica, y conjetura una explicación cualitativa de sus relaciones causa-efecto. La sección II revisa un modelo de costos de transporte que soporta una serie de modelos relacionados con los problemas específicos que se desarrollan posteriormente. La sección III analiza las demoras en el centro de distribución, las consecuencias de cargas incompletas o *less than truckload* (LTL) y el diseño deficiente de las rutas. La sección IV examina tres problemas contractuales: la inadecuada determinación de tarifas; el riesgo de la no-indexación de las tarifas a los precios de los insumos, y los efectos de una penalización arbitraria por entregas fallidas. La sección V estudia el problema de tener flotas sobre o subdimensionadas, con respecto a las necesidades definidas por el despachador. La sección VI presenta cuatro casos de estudio: una flota que reparte abarrotes, una flota de pequeños furgones eléctricos que transportan bebidas gaseosas, una flota interurbana de camiones que acarrean combustible, y una flota de camiones de gran tamaño que operan en una mina a tajo abierto. Estos casos sirven como escenarios para medir, en la sección VII, cuánto deberían mejorar los parámetros de cada uno de los problemas operacionales descritos por los modelos, para reducir en un 1 por ciento los costos totales de transporte. Finalmente, la sección VIII clasifica las distintas mejoras de acuerdo a si están basadas en prácticas de gestión, en herramientas de *software*, o en infraestructura, concluyendo que las primeras pueden ser tan efectivas como las que son intensivas en capital. Este trabajo también resume algunas mejores prácticas de gestión, presentadas como lineamientos generales que pueden contribuir a que despachadores y transportistas alcancen acuerdos mutuamente beneficiosos.

## I. CAUSAS OPERACIONALES DE CONFLICTO

Los conflictos entre el transportista y el despachador se generan cuando la razón costo-calidad del servicio provisto por el primero no satisface los estándares requeridos por el segundo, o cuando el despachador impone condiciones dificultosas al transportista que no han sido previstas en el contrato. Las causas de estas situaciones son diversas: factores organizacionales o personales (Rinehart, 1989), el equilibrio de poderes en la industria del transporte (Taylor y Jackson, 2000), la asimetría en la información que favorece al transportista al momento de la contratación (Lim, 2000), la posibilidad de obtención de cuasi-rentas debido a la inversión específica realizada por las partes (Hubbard, 2001), etc. Independientemente de las causas de los problemas operacionales, éstos pueden clasificarse como vinculados a la configuración del recorrido, al diseño del contrato o a la composición de la flota, los que suponemos tienen la relación causa-efecto descrita en el Figura 1.

FIGURA 1  
RELACION CAUSA-EFECTO DE LOS PROBLEMAS OPERACIONALES



Según Higginson (1993), la mayoría de los sistemas de tarificación depende del número de viajes de ida-y-vuelta (desde ahora, “vueltas”) realizados por los vehículos, de modo que las vueltas más largas significan una pérdida económica para los transportistas. La configuración de la vuelta puede perjudicar al transportista, si los vehículos pierden tiempo en las instalaciones del despachador (en adelante, la “planta”), o visitando a los receptores (en adelante, “clientes”) de los productos. Los viajes con cargas incompletas (LTL) pueden traducirse en un número excesivo de visitas para completar los volúmenes convenidos, mientras que las rutas mal configuradas aumentan la distancia recorrida, prolongando las vueltas en forma innecesaria. Las entregas fallidas obligan a de nuevo visitar a los clientes, disminuyendo con ello la capacidad efectiva de los vehículos. Tarifas-base inadecuadas hacen que la carga total transportada se desvíe del equilibrio de largo plazo, originando una pérdida económica para el despachador y el transportista. Las cláusulas de indexación de tarifas respecto del costo de los principales insumos garantizan una rentabilidad adecuada para el transportista. Si estas condiciones no son establecidas *a priori*, el empleado que interactúa con el transportista, a nombre del despachador, podría ser evaluado negativamente, si accede a cambios unilaterales, pues usualmente es evaluado en función de las tarifas pagadas en el mercado. Las penalizaciones por entregas fallidas son establecidas para incentivar al transportista a entregar la carga satisfactoriamente, por ejemplo, obligándolo a hacer una nueva visita por cuenta propia. Cuando no es posible determinar con precisión quién es el responsable de una entrega fallida, el transportista puede verse obligado a incurrir en un costo por errores cometidos por otros participantes en la cadena de despacho, perdiendo cualquier incentivo para mejorar la calidad de su desempeño. Por último, si la flota es más grande que la requerida por el despachador, los vehículos son subutilizados y el costo unitario aumenta, mientras que, si es demasiado pequeña, el transportista no podrá cumplir con los requerimientos operacionales y la cantidad de entregas fallidas tenderá a aumentar.

De acuerdo con un análisis de Cullinane y Toy (2000), de setenta y cinco fuentes científicas, los problemas citados afectan los principales atributos del negocio de transporte: costo/precio, velocidad, puntualidad, características de los bienes, servicio, distancia, capacidad, flexibilidad, pérdida/daño y frecuencia. Los efectos de los problemas de la Figura 1 en los atributos anteriores se describen en el Cuadro I.

**CUADRO I**  
**IMPACTO DE LOS PROBLEMAS EN LOS ATRIBUTOS DEL TRANSPORTE**

Problema	Atributos afectados	Motivo
Demoras en planta y recepción	Puntualidad, servicio	Las demoras producen incertidumbre, afectando la puntualidad de la entrega
LTL y rutas ineficientes	Distancia, velocidad Puntualidad Capacidad	Un mal diseño de rutas prolonga las vueltas Muchas visitas y malas rutas generan incertidumbre LTL inadecuadas y vueltas largas reducen la capacidad
Vueltas largas	Costo/precio Frecuencia, servicio	Las vueltas largas disminuyen la productividad Vueltas largas reducen la frecuencia de visita
Doble visita	Costo/precio Servicio	El doble trabajo aumenta costos El mal uso del tiempo genera molestias a los clientes
Incertidumbre en costo de insumos	Costo/precio	La aversión al riesgo del transportista genera una pérdida de bienestar que aumenta el costo del transporte
Penalizaciones inadecuadas	Pérdidas/daños Servicio	El transportista pierde el interés por mejorar La mala calidad de servicio genera molestias
Flota muy grande	Costo/precio	La capacidad ociosa aumenta el costo fijo
Flota muy pequeña	Puntualidad, servicio  Flexibilidad Capacidad, frecuencia	Los vehículos son sobre exigidos y no alcanzan a cumplir con las ventanas horarias de entrega  No existe capacidad de reacción ante contingencias Menor capacidad y visitas menos frecuentes que lo requerido

## II. UN MODELO DE COSTOS DE TRANSPORTE

Utilizando el modelo de Singer *et al.* (2002), cuantificamos los efectos de los problemas operacionales representados en la Figura I. El modelo incluye los principales componentes del costo de transporte identificados por Bartholdi y Gue (2000), omitiendo solamente los costos de manipulación por la clasificación y consolidación de la carga. A diferencia de otros modelos, **el nuestro considera los indicadores clave de desempeño** (KPI's, por *key performance indicators*) sólo para el transportista, y no la función de transporte como un todo. Otros estudios vinculan el costo del flete en el problema de producción-inventario (Lee *et al.*, 2003), en la relación comprador, vendedor (Toptal *et al.*, 2003), en flujo en redes (Gedeon *et al.* 1993), o en la calidad del servicio de carga (Brown, 1995). Aunque tales modelos pueden ser útiles, un enfoque específico en los KPI's del transportista permite analizar esta industria en sí misma, tal como lo hace Musso (2001).

El modelo que consideramos se basa en tres tipos de parámetros: comerciales, del vehículo y geográficos. Los parámetros comerciales, representa-

dos por una sola letra, son:

- D Demanda promedio por satisfacer, medida en unidades por mes.
- L Días al mes trabajados por cada vehículo.
- $s$  Desviación estándar de la demanda diaria, cuya distribución se asume  $N(\mu, s^2)$ , es decir, normal con un valor esperado  $\mu = D/L$  y varianza  $s^2$ .
- K Factor de seguridad para la capacidad de la flota.
- S Número promedio de unidades entregadas en cada visita.
- V Tiempo promedio de visita requerido para descargar, medido en horas.
- W Ventana promedio de tiempo que cada vehículo trabaja diariamente.
- U Utilización promedio de la capacidad vehículo, medida como porcentaje.
- P Tiempo promedio utilizado por el vehículo para cargar en la planta en cada vuelta.

Los parámetros de los vehículos, representados por siglas de dos letras, son:

- LC Capacidad de carga, medida según el número de unidades que el vehículo puede transportar en cada vuelta.
- VC Costo variable, que depende de la distancia recorrida e incluye combustible, aceite y neumáticos.
- IV Pérdida de valor de la inversión mensual, derivada del costo financiero y de la depreciación del vehículo.
- FC Costo fijo mensual por operar y administrar cada vehículo.

Por ahora U, P y VC se definen como parámetros fijos. Más adelante redefinimos estos parámetros como funciones más específicas. Los parámetros geográficos, designados por siglas de tres letras, son:

- DFL Distancia entre la planta y el primer cliente de cada vuelta, más la distancia desde el último cliente hasta la planta.
- DCR Distancia entre dos clientes consecutivos en la misma ruta de entrega.
- TSV Velocidad de desplazamiento del vehículo, que se supone es la misma a lo largo de toda la vuelta.

Como se muestra en el Apéndice I, estos parámetros permiten derivar el número promedio de clientes visitados, y con ello la distancia recorrida en cada vuelta. Esta distancia, multiplicada por el costo variable por kilómetro, permite obtener el costo variable por vuelta. Por otro lado, el tiempo promedio de cada vuelta define la proporción del costo fijo mensual que debe ser asignada a los productos despachados en dicha vuelta. Este costo es amplificado por un cierto factor para atender la demanda aleatoria con un determinado nivel de seguridad, todo lo cual genera el “costo tiempo” de la vuelta. El costo de la vuelta  $C_T$  se define como el costo variable de la vuelta más el costo derivado del tiempo utilizado. El costo unitario contable  $C_A$  se obtiene dividiendo el costo  $C_T$  por el número de unidades transportadas por vuelta.

El modelo podría ser probado empíricamente comparando sus resultados con los precios de mercado. Sin embargo, es probable que se observen desviaciones, debido a anomalías del mercado, informalidad, imprecisión de los datos, reembolsos, y otras consideraciones que no están capturadas por este modelo. Muchas de estas desviaciones pueden anularse agrupando las vueltas realizadas por un transportista específico, pues los contratos suelen ser negociados como paquetes que pueden incluir tanto vueltas rentables como deficitarias desde el punto de vista del transportista. En resumen, la falta de información confiable dificulta el diseño de modelos descriptivos precisos. Es por ello que en este trabajo adoptamos un enfoque normativo, dejando la validación empírica para futuras investigaciones.

### III. PROBLEMAS EN LA CONFIGURACION DEL RECORRIDO

Para calcular el efecto en costo de una configuración inadecuada de las vueltas, en primer lugar, nos enfocamos en el desempeño de la planta, definiendo:

- M Tiempo de ciclo promedio necesario para procesar cada vehículo en la planta.
- N Número máximo de vehículos que la planta es capaz de procesar simultáneamente sin aumentar M.
- $s_a$  Desviación estándar del tiempo entre el *arribo* de vehículos consecutivos.
- $s_s$  Desviación estándar del tiempo entre la *atención* de vehículos consecutivos.

El tiempo empleado en la planta puede ser expresado como  $P = M + Q$ , donde  $Q$  representa el tiempo promedio que cada vehículo espera en cola para ser atendido, el cual en el Apéndice II es aproximado a:

$$Q = \frac{s_a^2 + s_s^2}{3 \cdot \left( \frac{W \cdot L \cdot U \cdot LC}{D} - \frac{M}{N} \right)}$$

Las demoras producidas en la planta pueden ser reducidas, disminuyendo el tiempo de ciclo promedio  $M$ , por ejemplo, mejorando el *layout* (Bartholdi III y Gue, 2000). De forma alternativa, si se incrementa la capacidad  $N$ , la tasa de salidas aumenta, disminuyendo el tiempo en cola. Otra estrategia es controlar la varianza del tiempo  $s_s^2$  entre partidas consecutivas desde la planta. Esto puede lograrse especializando estaciones de trabajo para atenciones más largas o más cortas, tal como lo hacen algunos supermercados con las cajas destinadas a clientes con más o menos productos. Esto último es útil siempre y cuando la tasa general de atención no disminuya, lo que requiere poder transferir vehículos a estaciones desocupadas.

La configuración de cargas incompletas (LTL) y el diseño de la ruta influye en los costos, ya que si se recorren distancias más cortas, es posible realizar más vueltas al mes, aumentando con ello la productividad de la flota. También impacta el servicio brindado, pues le permite satisfacer más rápido las entregas y aumentar la frecuencia de visita a clientes. Nuestro modelo captura estas condiciones mediante el parámetro de distancia promedio entre clientes consecutivos, el que se puede minimizar gracias a sistemas de planeamiento de rutas (Sutcliffe y Board, 1991) y de programación de itinerarios (Golob y Regan, 2003), o adoptando tecnologías ATIS (Ng *et al.*, 1995): asesoría en ruta, información de caminos y tráfico, servicios en ruta y comunicación personal. Estos sistemas también pueden tener un efecto en el tiempo total  $P$  empleado en la planta; si los recorridos se configuran de modo descuidado, los vehículos pueden retornar a la planta simultáneamente, incrementando  $s_a^2$ . Para corregir este problema, los arribos deberían distribuirse en intervalos regulares, tal como lo sugieren Weintraub *et al.* (1996) en la operación de tala forestal.

#### IV. PROBLEMAS CONTRACTUALES

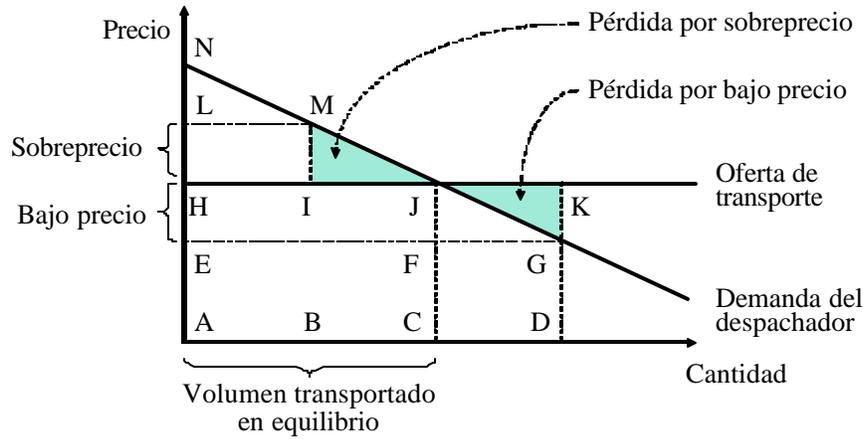
##### A. *Tarifificación inadecuada*

De acuerdo con la microeconomía clásica, la carga total transportada se determina en equilibrio por la intersección de las curvas de oferta y demanda, que es el punto de maximización del bienestar tanto para el despachador como para el transportista. En teoría, los transportistas con tarifas por encima del mercado no serán contratados, mientras que aquéllos con tarifas por debajo irán a la quiebra. Sin embargo, en el negocio del transporte surgen con frecuencia condiciones que pueden ocasionar una falla sistemática en la determinación de los precios (Hirshleifer, 2001): falta de información, número insuficiente de participantes y modelos de costos demasiado simplistas. Esta situación es problemática, ya que, si se pagan precios de transporte superiores al de equilibrio, podría perjudicarse la competitividad del despachador, mientras que la situación contraria impide obtener los beneficios descritos por Balakrishnan *et al.*, (2000) de una relación de largo plazo con el transportista. Para evaluar estos efectos definimos:

- $p$  Precio cobrado por el transportista por trasladar una unidad de producto.
- $h$  Elasticidad de la demanda por transporte, equivalente al cambio porcentual en la cantidad transportada dividido por el cambio porcentual en el precio  $p$ , de modo que  $h = (\Delta D/D)/(\Delta p/p)$ . Este valor no considera ningún efecto en la demanda por el producto final.

La Figura 2 describe la función de demanda por transporte, cuya pendiente depende de su elasticidad. La curva de oferta es representada por una línea horizontal a nivel del costo marginal de largo plazo  $C_A$ , coherente con los retornos de escala constantes reportados por Harmatuck (1991) y por Button (1993). Nótese que tanto la función de demanda como la de oferta pueden considerarse como determinísticas, ya que describen conductas de largo plazo en las cuales los múltiples *shocks* aleatorios tienden a anularse en el promedio.

FIGURA 2  
DEMANDA Y OFERTA DE TRANSPORTE



En la figura vemos que, en equilibrio, el excedente del despachador es equivalente al área H-J-N. Un sobreprecio a nivel de L reduce el volumen transportado a B. El excedente resultante para el despachador es L-M-N, en tanto el beneficio que transfiere el despachador al transportista es H-I-M-L, lo que origina una pérdida de bienestar total equivalente a I-J-M. Cuando los precios se encuentran por debajo del costo marginal de largo plazo, el volumen transportado aumenta a D, generando un costo para el transportista equivalente a A-D-K-H, mientras el beneficio para el despachador es igual a A-D-G-N. Si bien E-G-J-H es transferido desde el transportista al despachador, la pérdida total J-G-K puede transformarse en externalidades económicas, tales como accidentes, fallas técnicas o contaminación (Forckenbrock, 1999), o en un servicio de baja calidad para los clientes. En el Apéndice III hemos calculado cuál sería el sobreprecio del servicio de transporte para que la pérdida de bienestar del área I-J-M sea igual a 1 por ciento. Si el precio es  $(1 + \phi)$  veces el costo  $C_A$ , entonces reducir el precio a  $C_A$  ahorrará esa pérdida de 1 por ciento. Este sobreprecio  $\phi$  es:

$$\phi = \left( -\sqrt{1 - 200 \cdot ?} - 1 \right) / (100 \cdot ?)$$

Suponiendo que la elasticidad no varía cuando  $p < C_A$ , la pérdida del transportista J-G-K por bajo precio se obtiene a través de un cálculo similar. Siempre que haya información confiable, una fijación de precios inadecuada se puede corregir, estableciendo precios concordantes con modelos de costos validados. Una segunda alternativa es licitar el contrato entre varios transportistas no relacionados, lo que, según Bulow y Klemperer (1996), producirá mejores resultados para el despachador que una negociación uno a uno.

### *B. Incertidumbre en los precios de los insumos*

La incertidumbre que afecta a los precios de los insumos del transportista puede ocasionar una pérdida de bienestar, si éste es averso al riesgo. Para evaluar este efecto, definimos  $A$  como la variable aleatoria (v.a.) que mide la “posición de los activos” del transportista durante la vigencia del contrato (Kirkwood, 2004), la cual puede crecer (disminuir) debido a una reducción (aumento) en el costo unitario promedio  $C_A$ . Si un contrato anual es firmado en enero con un costo contable estimado de  $C_A$ , entonces para fines de diciembre  $A$  será 100 por ciento, si  $C_A$  no ha cambiado en absoluto. De lo contrario, si el costo promedio durante ese mismo año fue en realidad  $C_A^*$ , entonces la realización de  $A$  será  $C_A/C_A^*$ . En países como Chile la incertidumbre se asocia al tipo de cambio (pesos/dólar) y al precio del petróleo. Definimos la v.a.  $X$  como la disminución en el tipo de cambio promedio durante la vigencia del contrato, medida como porcentaje. Por consiguiente, un mayor valor de  $X$  implica que la moneda local ha ganado valor y, por lo tanto, la importación de repuestos o el recambio del camión serán más baratos en el futuro. Definimos la v.a.  $Y$  como la diferencia entre el precio del petróleo en el instante cero y su precio promedio durante la vigencia del contrato. Obsérvese que mayores valores de realización para las variables aleatorias  $X$  e  $Y$  implican también un mayor valor de realización de  $A$ . Se asume que  $X$  e  $Y$  tienen un valor esperado de  $E(X)=E(Y)=0$ , y su variabilidad está dada por:

$\sigma_X$	Desviación estándar de $X$ .
$\sigma_Y$	Desviación estándar de $Y$ .
$\sigma_{XY}$	Covarianza entre $X$ e $Y$ .

También se definen los siguientes parámetros:

- VC\* Costo variable sin incluir el combustible.  
 FU Combustible utilizado por distancia recorrida.  
 FP Precio del combustible.

Por consiguiente, el costo variable es  $VC = FP \cdot FU + VC^*$ . La aversión al riesgo del transportista puede expresarse como una función de utilidad de múltiples atributos  $u_{X,Y}(A(X,Y))$ , que se desglosa, como muestra el Apéndice IV, en las funciones de utilidad de atributo único  $u_\beta$  y  $u_\gamma$  donde  $A^{X^*} = -IV \cdot (F \cdot T) / (L \cdot W) / (U \cdot LC) C_A$ ,  $A^{Y^*} = -FU \cdot ALT / (U \cdot LC) C_A$ , y  $\beta$  y  $\gamma$  son variables aleatorias con una distribución normal estándar. La función  $u_{X,Y}(A(X,Y))$  sería:

$$u_{X,Y}(A(X,Y)) = u_\beta(A^{Y^*} \cdot ((\sigma_Y^2 - \sigma_{XY}^2)^{1/2} / \sigma_X) \cdot \beta) + u_\gamma((A^{X^*} \cdot \sigma_X + A^{Y^*} \cdot (\sigma_{XY} / \sigma_X)) \cdot \gamma)$$

Según Pratt (1964), la pérdida de bienestar o premio por riesgo para una función de utilidad de atributo único  $u_Z$ , que depende de la v.a.  $Z$ , puede ser aproximada por  $\sigma_Z^2 \cdot (-u_Z''(E(Z)) / u_Z'(E(Z))) / 2$  cuando  $E(Z) = 1$ , donde  $(-u_Z'' / u_Z')$  se denomina función de aversión al riesgo. Dado que  $\sigma_\beta^2 = \sigma_\gamma^2 = 1$ , la pérdida de bienestar  $A_{\text{premio por riesgo}}$  para  $A$  es igual a:

$$A_{\text{premio por riesgo}} = ((-u'' / u') / 2) \cdot ((A^{Y^*})^2 \cdot (\sigma_Y^2 - (\sigma_{XY}^2 / \sigma_X^2)) + (A^{X^*} \cdot \sigma_X + A^{Y^*} \cdot (\sigma_{XY} / \sigma_X))^2)$$

Se define el costo de la incertidumbre  $C_U = C_A \cdot A_{\text{premio por riesgo}}$  como la pérdida de bienestar para el transportista ocasionada por la incertidumbre. Esta magnitud puede ser agregada al costo contable para calcular el costo total unitario  $C = C_A + C_U$ . Para reducir  $C_U$ , supongamos que el despachador indexa parcialmente el precio que paga al transportista a la realización de  $X$  e  $Y$ . Se define:

- $\rho$  Proporción del riesgo asumido por el transportista, de modo que  $(1 - \rho)$  es absorbido por el despachador.

Si  $\rho = 0$ , entonces el transportista no enfrenta ninguna incertidumbre derivada de  $X$  e  $Y$ , de manera que el único costo en que incurre es  $C_A$ . Suponiendo que el despachador tiene una actitud ante el riesgo idéntica a la del transportista, entonces la ganancia combinada de bienestar derivada de comprar el riesgo es igual a  $C_U \cdot (\rho^2 + (1 - \rho)^2)$ .

### C. Penalizaciones por entregas fallidas

Aunque se fije un precio o tarifa adecuada y se indexe su valor a las principales fuentes de incertidumbre, los ingresos del transportista pueden verse mermados, debido a penalizaciones que el despachador le impone por entregas fallidas. De acuerdo con Singer *et al.* (2003), la aparición de un error en cualquier canal de distribución es prácticamente inevitable, ya que la calidad proporcionada al consumidor final es un “bien común” para el despachador y el transportista: ambos sacan provecho de la calidad, pero preferirían que fuera la contraparte la que realice el esfuerzo por obtenerla. Para contrarrestar esta situación, se intenta penalizar a los agentes responsables de los errores logísticos, si bien determinar tal responsabilidad muchas veces requiere de una cuidadosa evaluación. Por ejemplo, si el transportista no llega a tiempo donde el cliente, ¿se debió a que el despachador le programó al vehículo una ruta ineficiente, o a que el transportista no pudo cumplir con una ruta razonable, debido a que su vehículo se encontraba en malas condiciones técnicas? Paradójicamente, es probable que aquellas situaciones definidas *a priori* como de responsabilidad del transportista sean en realidad originadas por despacho, ya que el transportista tiene la certeza de que será penalizado si incurre en ellas y, por consiguiente, hará su mejor esfuerzo por evitarlas. Por el contrario, es probable que situaciones definidas como de responsabilidad del despachador sean inducidas por el transportista, dado que este último sabe que de todas formas obtendrá su pago por la entrega fallida, y adicionalmente por la entrega efectiva. De este modo, la fijación de la responsabilidad es más complicada de lo que parece, y una evaluación negligente puede reducir el incentivo del transportista para mejorar su desempeño, ya que, en tal caso, percibirá las penalizaciones como inevitables.

Para cuantificar este efecto, modelamos la determinación de la responsabilidad de la falla utilizando el modelo de torneo de Lazear y Rozen (1981). Para simplificar, asumimos al igual que Hong *et al.* (1998) que la repetición de la visita al cliente es el único costo en que se incurre por una operación logística defectuosa, ignorando otros costos de la mala calidad identificados por Bemowski (1992). Definimos  $g \geq 0$  y  $h \geq 0$  como medidas del número y/o de la intensidad de los errores cometidos por el transportista y el despachador respectivamente. También definimos  $R$  y  $S$  como v.a. tales que los errores observados son  $g + R$  y  $h + S$ , de modo que el sistema

de monitoreo subestima o exagera los errores cometidos por los jugadores. Por cada entrega fallida debe determinarse quién es el culpable de acuerdo con el siguiente criterio: si  $g + R \geq h + S$  el transportista será el culpable y, en caso contrario, el despachador será responsable. Definimos  $c_{tr}(x)$  y  $c_{de}(x)$  como las funciones de costo que enfrentan el transportista y el despachador por cometer  $x$  errores, las que, según Gans (2002), son estrictamente decrecientes y convexas. Asumimos que  $R$  y  $S$  tienen una distribución normal  $N(0, \mathbf{s}_M^2)$ . El valor esperado de cero significa que las observaciones son no-sesgadas, en tanto la imprecisión en el monitoreo es medida por  $\mathbf{s}_M$ . Si  $c_{tr}(\cdot) = c_{de}(\cdot)$ , en el Apéndice V obtenemos:

$$-\frac{p}{2s_M \sqrt{p}} = \partial c_{tr}(g)/\partial g = \partial c_{de}(h)/\partial h$$

Este resultado señala que ambos agentes realizarán el mismo esfuerzo marginal por evitar los errores. También implica que, si la tarifa  $p$  es baja, se observará una actitud negligente en la entrega, lo que puede ocurrir cuando el despachador administra una flota privada y subestima el costo de transporte. Por esta razón, es beneficioso explicitar los precios de transferencia de la logística dentro de la organización. Además, se deduce que un menor  $\sigma_M$ , gracias a un buen sistema de monitoreo, inducirá un mayor esfuerzo para evitar errores. Como se anticipó en la sección II, redefinimos el parámetro de utilización como  $U = 1 - U_q^- - U_o^-$ , con:

- $U_q^-$  Pérdida en la utilización, debido a entregas fallidas ocasionadas por los errores  $g$  y  $h$  cometidos por el transportista y por el despachador. Se asume que  $U_q^- = \varepsilon \cdot (g + h)$  con  $\varepsilon > 0$  constante.
- $U_o^-$  Pérdida en la utilización, debido a otras razones, tales como incapacidad de combinar pedidos o la necesidad de acarrear *pallets* u otros contenedores.

Suponiendo que  $c_{tr}(z) = c_{de}(z) = 1/z$ , con  $z > 0$ ,  $g = h = (2\mathbf{s}_M p^{1/2}/p)^{1/2}$  y, por lo tanto,  $U_q^- = (2\varepsilon \cdot (2p^{1/2}/p)^{1/2}) \cdot \mathbf{s}_M^{1/2}$ . Cualquier mejora en el sistema de monitoreo puede ser estimada reduciendo  $\mathbf{s}_M$ , lo que disminuirá  $U_q^-$  y, por lo tanto, aumentará la capacidad del vehículo. Este mejoramiento depende de la precisión actual del monitoreo. Si no se efectúa monitoreo

alguno, la efectividad de las entregas se puede mejorar, diseñando simples planillas que determinen la responsabilidad respecto de los rechazos. Si el despachador ya utiliza este tipo de procedimiento, se puede aumentar su precisión delegando esta función a un tercero.

## V. PROBLEMAS DE CONFIGURACION DE LA FLOTA

Pueden ocurrir diversos problemas operacionales por una configuración inadecuada de la flota. Para medir tal efecto, se define:

$n$  Número de vehículos requeridos por el despachador dado el factor de seguridad  $K$ .

Nótese que  $n$  no necesariamente corresponde al tamaño óptimo de la flota, pues  $K$  es de origen exógeno. Este factor no puede ser derivado de nuestro modelo, ya que no sólo depende del costo, sino también de la estrategia de negocio del despachador, la calidad del servicio exigida por los clientes y otras consideraciones. Por tales razones, sólo podemos estimar el efecto en el costo que tiene desviarse de esta política, por tener demasiados o muy pocos vehículos. Un número de vehículos mayor a los requeridos  $n^+ > n$  aumentará la capacidad ociosa sobre el nivel deseado por el despachador, lo que implicará un incremento en el costo, calculado en el Apéndice VI, de:

$$\Delta C_{n^+} = (IV + FC + IC) \cdot (n^+ - n) / D.$$

Un número de vehículos menor a los requeridos puede disminuir el costo  $C$  de la vuelta, ya que se reduce la capacidad ociosa, pero también ocasiona una pérdida de efectividad, porque el transportista es incapaz de cumplir con las ventanas horarias de visita definidas por los clientes. Tal como se calcula en el Apéndice VI, el volumen de carga esperado que deja de entregarse cada día es  $s \cdot I(K)$ , donde  $I(K)$  es la *función de servicio* definida por Lambert y Stock (1993) para el cálculo del índice de cumplimiento (*fill rate*) para un factor  $K$ . Esta pérdida de capacidad no implica necesariamente una repetición de visitas, siempre y cuando el despachador reconozca que, por sobre un nivel dado, el transportista es incapaz de satisfacer la demanda por completo. Por el contrario, si la carga se despa-

cha de todas maneras, el aumento  $\Delta C_{n^-}$  en el costo de transporte originado por un número insuficiente de vehículos  $n^- < n$  puede ser estimado considerando que las entregas fallidas exigen una repetición del viaje. Si definimos  $U_n^-$  como la pérdida en la utilización promedio debida a  $n^-$ , se redefine el parámetro de utilización como  $U = 1 - (U_q^- + U_n^- - U_o^-)$ , donde del Apéndice VI:

$$U_n^- = \frac{I(((n^-/n) \cdot (m + K \cdot s) - m)/s) - I(K)}{D/L + s \cdot (I(((n^-/n) \cdot (m + K \cdot s) - m)/s) - I(K))}$$

La configuración de la flota puede ajustarse a los requerimientos del despachador, si se mantiene una información precisa acerca de los parámetros que definen  $n$ . Un enfoque de ensayo y error es también posible, si existe información confiable respecto a las entregas fallidas, y algún grado de flexibilidad para contratar y prescindir de los vehículos cuando sea necesario.

## VI. CASOS DE ESTUDIO

Para evaluar el efecto económico de los problemas descritos en la sección I, se ajustó el modelo de costos de transporte a distintas industrias y condiciones de transporte relevantes para Chile. En este documento presentamos sólo cuatro casos de estudio: las dos primeras empresas operan con vueltas LTL, mientras que las dos últimas operan con cargas completas (TL).

- a) Abarrotes: con una flota de  $n = 71$  camiones, de 8 *pallets* de capacidad, reparte mercaderías dentro de Santiago, ciudad de 5 millones de habitantes.
- b) Bebidas: con una flota de  $n = 14$  pequeños carros eléctricos, de 50 cajas de capacidad, reparte bebidas gaseosas en el área céntrica de Santiago.
- c) Combustible: con una flota de  $n = 11$  camiones, de 30 m<sup>3</sup> de capacidad, transporta diesel desde un puerto a una fábrica a 300 kilómetros.
- d) Faena minera: con una flota de  $n = 39$  camiones de 200 toneladas de capacidad transporta mineral desde una mina a tajo abierto a una planta concentradora.

En el Cuadro II se muestran los parámetros considerados en esta evaluación. La unidad de transporte para las compañías recién nombradas son 1 pallet, 50 cajas, 1 m<sup>3</sup> y 1 tonelada respectivamente. Las elasticidades se obtuvieron de Beuthe *et al.* (2001). Las desviaciones entre arribos  $s_a$  y partidas  $s_s$  se expresan como porcentajes de  $t_a$  y  $t_s$ , donde  $t_a$  es tiempo promedio entre dos llegadas consecutivas de vehículos a la planta y  $t_s$  es tiempo promedio entre servicio o partidas de dos vehículos consecutivos cuando la planta está trabajando a plena capacidad.

CUADRO II  
PRINCIPALES PARAMETROS DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Parámetro	Notación	Dimensión	Abarr.	Bebidas	Combust.	Miner.
Demanda	D	unidades/mes	25.000	50.000	14.000	9 MM
Días trabajados	L	días/mes	25	25	30	30
Desviación demanda	$\sigma/\mu$	porcentaje	10%	20%	5%	10%
Factor seguridad	K	veces $\sigma$	1,0	1,5	0,5	5,0
Carga entregada	S	unidades/visita	0,5	12,0	30,0	200
Tiempo visita	V	horas/visita	0,15	0,25	2,0	0,15
Ventana de operación	W	h./(camión día)	10	8	20	22
Elasticidad	$\eta$	adimensional	-0,14	-0,24	-4,01	-0,91
Capacidad de carga	LC	unidades/vuelta	8	50	30	200
Depreciación	IV	\$/camión mes)	501	371	1,300	35.942
Costo var. (sin comb.)	VC*	\$/km	0,2	0,5	0,3	4,0
Combustible utilizado	FU	litros/km	0,4	0,0	0,5	5,0
Costo fijo	FC	\$(camión mes)	1.200	1.000	1.800	20.000
Distancia desde la planta	DFL	km/vuelta	30	2	600	3,5
Distancia entre clientes	DCR	km/visita	2,0	0,5	-	-
Velocidad de desplaz.	TSV	km/hora	40	10	70	20
Tiempo en planta	M	horas/vuelta	0,35	0,40	2,00	0,02
Desviación arribo	$\sigma_a/\tau_a$	porcentaje	300%	100%	50%	150%
Capacidad planta	N	n° estaciones	7	3	2	2
Desviación salida	$\sigma_s/\tau_s$	porcentaje	200%	100%	50%	50%
Riesgo para la flota	$\rho$	porcentaje	100%	100%	100%	100%
Pérdida de U por calidad	$U_q^-$	porcentaje	5%	4%	-	-
Por otras razones	$U_o^-$	porcentaje	1%	1%	-	-

Se asume que el precio del combustible FP es 0,35 \$/litro. La incertidumbre del tipo de cambio y del precio de la gasolina observados en Chile, entre enero de 1998 y agosto de 2001, se mide como  $\sigma_x = 0,0355$ ,  $\sigma_y = 0,0775$  y  $\sigma_{xy} = 0,0002$ . Dado que el valor esperado de  $A$  es igual a 1, Kirkwood (2004) sugiere una función de aversión al riesgo ( $-u''/u'$ ) = 10 para un agente averso al riesgo, lo que significa que estará indiferente entre mantener  $C_A$  fijo o tener un 50 por ciento de probabilidad de disminuirlo en

1/10, y un 50 por ciento de probabilidad de aumentarlo en 1/20. Se asume que la tarifa  $p$  es igual al costo unitario  $C = C_A + C_U$ . Estos parámetros nos permiten estimar los índices promedio del Cuadro 3, calculados de la manera expresada en la sección 2

CUADRO III  
INDICES OPERACIONALES DEDUCIDOS PARA LOS CASOS DE ESTUDIO

Parámetro	Notación	Dimensión	Abarr.	Bebidas	Combust.	Miner.
Tiempo en cola	Q	minutos/vuelta	48,3	19,0	46,4	2,2
Vueltas por mes	D/(U·LC)	n°/(camión mes)	47	75	44	1.155
Distancia recorrida	ALT·D/(U·LC)	km/(camión mes)	2.714	261	26.318	4.043
Costo contable	$C_A$	\$/unidad	7,23	0,41	11,75	0,30
Costo de incertid.	$C_U$	\$/unidad	0,0417	0,0001	0,2572	0,0011
Costo unitario total	C	\$/unidad	7,27	0,412	12,01	0,301
Costo total	D·C	\$/mes	181.704	20.580	168.164	2,7 MM

Los resultados recién presentados y todos los cálculos por venir han sido desarrollados como macros en una hoja de cálculo. Para que el lector pueda efectuar sus propias simulaciones, ésta se puede bajar del sitio de Internet\* : [http://www.eadmpuc.cl/marcos\\_singer/evaluación\\_beneficios\\_transporte.xls](http://www.eadmpuc.cl/marcos_singer/evaluación_beneficios_transporte.xls)

## VII. UNA EVALUACION DE LAS MEJORAS OPERACIONALES

Las mejoras operacionales son evaluadas estimando el efecto que tiene la modificación del parámetro asignado a cada problema específico en el costo total. Para estandarizar el análisis, hemos buscado cuánto debe cambiar cada parámetro para reducir el costo de transporte en un 1 por ciento. Por ejemplo, de acuerdo con el Cuadro III, el costo de transporte de las empresas de abarrotos es de \$ 181.704 al mes. Según el Cuadro IV, si el tiempo de ciclo promedio  $M$  se reduce en un 3,7 por ciento, o la capacidad de la planta  $N$  se expande en un 4,7 por ciento, la empresa ahorraría \$ 1.817 al mes. Este cálculo se efectúa modificando sólo un parámetro a la vez; no obstante, en la práctica algunas mejoras operacionales benefician diversos aspectos simultáneamente, como en el caso de la heurística de Salhi y Rand (1993), que afecta el tamaño de la flota y también reduce las distancias recorridas. Desde un punto de vista intuitivo, variaciones pequeñas en un parámetro revelan que el respectivo problema tiene una contribución marginal relevante al costo, mientras que cambios mayores sugieren

\* Para su publicación debe solicitarse autorización a los autores.

que el problema es secundario, puesto que deben mejorarse drásticamente las condiciones para lograr producir un modesto impacto de un 1 por ciento en el costo total de transporte. Esta intuición es válida, asumiendo que todos los parámetros están en la frontera de posibilidades de la empresa, y que mejorar cada uno de ellos en un punto porcentual tiene un costo similar. Desde un punto de vista técnico, las mejoras deben ser calculadas evaluando el valor presente neto del proyecto en cuestión, considerando su costo de implementación, el calendario de ahorros, la tasa de descuento y los posibles efectos colaterales. Dado que tal información es específica para cada caso en estudio, nuestro análisis se atendrá al criterio intuitivo recién expuesto.

CUADRO IV  
MEJORAS QUE AHORRAN UN 1 POR CIENTO DEL  
COSTO EN EL ESQUEMA LTL

Problema	Mejora Operacional	Parámetro	Abarr.	Bebidas	Ejemplo de una línea de acción
Demoras en planta	Acortar tiempo de ciclo en planta	M	-3,7%	-1,7%	Operaciones más rápidas por un mejor <i>layout</i>
	Aumentar capacidad de planta para procesar vehículos	N	4,7%	2,6%	Expandir la planta aumentando los muelles de carga
	Tiempos de ciclo en planta más regulares	$\sigma_s$	-35,5%	-11,4%	Líneas de trabajo especializadas en planta
LTL y rutas ineficientes	Arribos más regulares a planta por un mejor diseño de recorridos	$\sigma_a$	-5,9%	-5,5%	Evitar estandarizar el largo del recorrido con un software de despacho
	Acortar distancias entre clientes por mejores rutas	DCR	-3,7%	-9,7%	Uso de un software para diseño de rutas
	Menos visitas por un mismo volumen de carga	S	1,8%	1,8%	Descuentos por pedidos grandes
Precios inadecuados	Ajustar precios a costo marginal de largo plazo	p	31,3%	25%	Uso de modelos de costos de transporte
Precio de insumos incierto	Compartir incertidumbre de precio del petróleo y tipo de cambio	$\rho$	-50% (ahorros son solo 0,28%)	-50% (ahorros son solo 0,01%)	Tarifa variable que cubra parte de las variaciones de precios
Monitoreo impreciso	Mejorar sistema de monitoreo	$\sigma_M$	-57,8%	-57,6%	Mejor control de cargas que regresan a planta
Flota muy grande o muy pequeña	Reducir los vehículos si flota es muy grande	$n^+$	-1,6%	-1,1%	Uso de un modelo de configuración de flota
	Aumentar los vehículos si la flota es pequeña	$n^-$	6,1%	1,1%	

Como era de esperarse, las mejoras relativas a problemas vinculados a la planta cobran importancia cuando los vehículos realizan varias vueltas al día, mientras que los problemas derivados de viajes LTL y rutas ineficientes son relevantes sólo cuando los vehículos pasan la mayor parte del tiempo en ruta. Las tarifas inadecuadas tienen escasa relevancia, ya que casi no existen alternativas para transportar productos dentro de una ciudad. La incertidumbre sobre los costos de los insumos es irrelevante, porque los vehículos utilizados son relativamente baratos y gastan poco combustible. Para lograr un impacto real, el sistema de monitoreo debe ser mejorado en forma ostensible. Con respecto a la configuración de la flota, estimamos la cantidad en que debería crecer la flota desde su tamaño original  $n$ , si se quisiera lograr un aumento de 1 por ciento en el costo unitario originado en el incremento en la capacidad ociosa, y también en cuánto se debería reducir para aumentar el costo en ese mismo porcentaje por entregas fallidas. Encontramos que la pérdida económica por la capacidad ociosa, cuando hay un vehículo de más, sobrepasa claramente el costo de repetir visitas cuando la flota tiene un vehículo de menos. Por lo tanto, si el administrador de la flota es evaluado considerando sólo el costo efectivo de transporte, probablemente elegirá una “política segura” y tendrá menos vehículos que los requeridos.

En el Cuadro V se presentan algunas mejoras aplicables a los camiones con carga completa. Los parámetros relacionados con la planta son irrelevantes en el caso del transporte de combustible, ya que, como se muestra en el Cuadro III, cada camión visita la planta sólo 47 veces al mes. La sensibilidad-precio es importante, dado que este tipo de transporte puede ser reemplazado por oleoductos o por transporte ferroviario. El impacto del coeficiente de riesgo compartido  $\rho$  es significativo, debido al alto consumo de combustible. Recordando que en el caso base el transportista soporta el 100 por ciento del riesgo, basta con reducir esta cantidad a un 62,8 por ciento para disminuir el costo de transporte en 1 por ciento. En el caso de

la operación minera, los parámetros vinculados a la planta son críticos, pues cada camión realiza 1.155 vueltas al mes. También son importantes la velocidad y, dado que los camiones deben viajar cuesta arriba desde la mina para ser descargados, la potencia del motor.

**CUADRO V**  
**MEJORAS QUE AHORRAN UN 1 POR CIENTO DEL COSTO EN ESQUEMA**  
**DE CARGA COMPLETA**

Problema	Mejora operacional	Párame - tro	Combustible	Minerales	Ejemplo de línea de acción
Demora en la planta	Acortar tiempo de ciclo en planta	M	-18,3	-6,5%	Operaciones más rápidas por un mejor <i>layout</i> Expandir la planta aumentando los muelles de carga
	Aumentar capacidad de planta para procesar vehículos	N	100% (ahorro es sólo 0,2%)	9,6%	
Rutas ineficientes	Arribos más regulares a la planta	$\sigma_a$	-100% (ahorro es sólo 0,3%)	-8,8%	Uso de un software para el coordinar arribos Vehículos más potentes
	Vueltas más rápidas	TSV	9,3%	3,4%	
Tarifas inadecuadas	Ajustar precios a costo marginal de largo plazo	$p$	6,8%	13,8%	Uso de un modelo de costos de transporte
Precio de insumos incierto	Compartir incertidumbre de precio del petróleo y tipo de cambio	$\rho$	-37,2%	-50% (ahorro es sólo 0,18%)	Precios variable que cubran parte de variaciones de precios

## VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos revisado diversos problemas operacionales que originan conflictos entre despachadores y transportistas, y hemos propuesto un marco teórico de comparación de distintas alternativas de solución. El Cuadro VI clasifica las mejoras como prácticas de gestión, basadas en herramientas de software, o relacionadas con la infraestructura, y resume en qué medida debe ser modificado el parámetro correspondiente para lograr un ahorro de 1 por ciento en el costo de transporte. Se deduce que muchos problemas pueden resolverse a través de prácticas de gestión adecuadas, en lugar de invertir en infraestructura o herramientas de software.

Nuestras conclusiones deben interpretarse considerando las limitaciones descritas por Kleindorfer *et al.* (1998) para la técnica de simulación, que no

considera escenarios específicos, contingencias, excepciones, imprevistos, etc. Sin embargo, pueden sugerir mejores prácticas de aplicación general que, si bien pueden ser conocidas, no son siempre priorizadas de una manera objetiva y, por ello, no logran mejoras relevantes. Las siguientes pautas de acción para el despachador resumen las prácticas analizadas en este trabajo:

CUADRO VI  
RESUMEN DE MEJORAS OPERACIONALES DE ACUERDO  
A SU NATURALEZA

Mejoras	Ejemplo de línea de acción	Abarr.	Bebidas	Comb.	Miner.
Prácticas de gestión	Agrandar pedidos mediante descuentos	1,8%	1,8%	-	-
	Disminuir la flota si es muy grande	-1,6%	-1,1%	-	-
	Ajustar los precios a costos de largo plazo	31,3%	25%	6,8%	13,8%
	Compartir riesgo con precios variables	-	-	37,2%	-
	Mejorar control de devoluciones	-57,8%	-57,6%	-	-
Software y otros ATIS	Acortar distancia entre clientes	-3,7%	-9,7%	-	-
	Reducir varianza de tiempo entre arribos	-5,9%	-5,9%	-	-8,8%
Infraestructura	Aumentar flota si es muy pequeña	6,1%	1,1%	-	-
	Reducir tiempo de ciclo en planta	-3,7%	-1,7%	-18,3	-6,5%
	Ampliar la planta	4,7%	2,6%	-	9,6%
	Aumentar la velocidad de vehículos	-	-	9,3%	3,4%
	Reducir la variabilidad en la planta	-35,5%	-11,4%	-	-

- Evite el embotellamiento ocasionado por el retorno a la planta de muchos vehículos al mismo tiempo, por ejemplo, durante la hora de almuerzo.
- Reduzca los tiempos de ciclo en la planta y reduzca su variabilidad, especialmente cuando los vehículos retornan frecuentemente a la planta.
- En caso de tener recorridos LTL, consolide las entregas para así reducir el número de visitas. Una manera de lograr la consolidación es transfiriendo a los clientes parte de los ahorros, en la forma de descuentos por cantidad.
- Mejore el trazado de las rutas, especialmente en el caso de entregas de rango mediano y con varias visitas.
- Al calcular el costo de transporte, considere tanto la distancia como el tiempo de la vuelta. Use ambas dimensiones para evaluar mejoras potenciales.
- Evite pagar tarifas mucho más altas que el costo unitario, pues ello produce una pérdida de competitividad.

- Evite pagar tarifas mucho más bajas que el costo unitario, situación que se puede traducir en externalidades negativas como accidentes o fallas técnicas.
- Defina políticas de riesgo compartido. Por ejemplo, haga que la tarifa dependa del precio del dólar, si el transportista utiliza vehículos caros, o del precio del combustible, si los recorridos son largos.
- Evalúe la responsabilidad de entregas fallidas y penalice al transportista o al despachador según corresponda. Hágalo cuidadosamente, pues muchas de las situaciones definidas *a priori* como de responsabilidad del transportista son, en realidad, de responsabilidad del despachador, y viceversa.
- Si la flota corresponde a una unidad interna del despachador, explicita y asigne el costo de transporte para evitar actitudes negligentes respecto de la repetición de entregas.
- Si los administradores de la flota son evaluados sólo considerando el costo, defina índices de servicio para evitar que se reduzca el número de vehículos por debajo del nivel de servicio definido por la empresa.
- Evalúe si la potencia del motor es capaz de lograr la velocidad óptima cuando el vehículo está cargado, sobre todo en el caso del transporte cuesta arriba.

Así de simples, estos lineamientos muchas veces son ignorados o desatendidos. Por lo tanto, esperamos que una apropiada divulgación de estas conclusiones ayude a que despachadores y transportistas implementen esquemas de trabajo mutuamente beneficiosos.

## APENDICE

## I. Expresiones del costo de transporte

El número promedio de clientes visitados en cada recorrido es igual a  $(U \cdot LC)/S$ , de modo que si el número es 1 la operación es de carga completa (TL), si es mayor que 1, es un servicio de carga incompleta (LTL). Definiendo, ALT es la distancia geográfica media de una vuelta:

$$ALT = DFL + \left( \frac{U \cdot LC}{S} - 1 \right) \cdot DCR$$

El tiempo de duración de cada vuelta es:

$$T = \frac{DFL}{TSV} + \frac{U \cdot LC}{S} \cdot V + \left( \frac{U \cdot LC}{S} - 1 \right) \cdot \frac{DCR}{TSV} + P = \frac{ALT}{TSV} + \frac{U \cdot LC \cdot V}{S} + P$$

Definimos  $F = (\mu + K \cdot S)/\mu$  como un factor de exceso de capacidad para la flota, que satisface la demanda estocástica con un factor de seguridad K. Dado que  $T/(L \cdot W)$  es la duración de una vuelta en meses, cada vehículo debe destinar un promedio de  $(F \cdot T)/(L \cdot W)$  de tiempo en cada vuelta. Por ejemplo, si  $F = 1,5$  y un recorrido o vuelta dura en promedio  $T/(L \cdot W) = 1/12$  meses = 2 días, el tiempo promedio comprometido por un vehículo es  $1,5 \cdot 2$  días = 3 días, para absorber los máximos aleatorios de la demanda. El costo del recorrido  $C_T$  se define como el costo de la vuelta más el costo en tiempo del recorrido:

$$C_T = VC \cdot ALT + (IV + FC) + IC \left( \frac{F \cdot T}{L \cdot W} \right)$$

El costo unitario contable  $C_A$  se obtiene dividiendo  $C_T$  por el número de unidades transportadas por recorrido, de manera que  $C_A = C_T/(U \cdot LC)$ .

## II. Aproximación del tiempo de espera promedio en la planta

Para encontrar una aproximación de  $Q$ , suponemos un comportamiento de estado estacionario. Definimos  $t_a$  como el tiempo promedio entre el *arribo* de dos vehículos a la planta. Recordemos que la demanda diaria promedio es  $m = D/L$ , y que en cada vuelta se transportan  $U \cdot LC$  productos, entonces  $(D/L)/(U \cdot LC)$  camiones deben detenerse en la planta durante la ventana de tiempo  $W$ , de modo que  $t_a = W/((D/L)/(U \cdot LC))$ . Definimos  $t_s$  como el tiempo promedio entre el *servicio* o salida de dos vehículos, cuando la planta está operando a plena capacidad. De la ley de Little, sabemos que  $t_s = M/N$ . El tiempo promedio de una cola,  $Q$ , se estima usando el límite superior de Kingman (1970) para una cola G/G/1:

$$Q = \frac{s_a^2 + s_s^2}{3 \cdot (t_a - t_s)} = \frac{s_a^2 + s_s^2}{3 \cdot \left( \frac{W \cdot L \cdot U \cdot LC}{D} - \frac{M}{N} \right)}$$

## III. Sobreprecio que produce una pérdida de un 1 por ciento

Si  $p > C_A$  una disminución de precio de  $p$  a  $C_A$  genera un aumento de la demanda  $D$  de  $\Delta D = h \cdot (C_A - p) \cdot D/p$ . El área I-J-M de la Figura 2 es igual a  $1/2 \cdot (p - C_A) \cdot h \cdot (C_A - p) \cdot D/p$ . Para que la pérdida de bienestar sea igual a 1 por ciento del costo total,  $p$  debe satisfacer la condición:

$$C_A \cdot D/100 = 1/2 \cdot (p - C_A) \cdot h \cdot (C_A - p) \cdot D/p$$

Reemplazando  $p$  por  $(1 + \phi) \cdot C_A$ , se obtiene el sobreprecio  $\phi$  como la raíz positiva de la ecuación anterior:  $f = (-\sqrt{1 - 200 \cdot ?} - 1)/(100 \cdot ?)$

#### IV. Rentabilidad incierta

A fin de expresar  $A$  como función de  $X$  e  $Y$ , se obtiene  $A^{X} = (-\Delta C_A / \Delta X) / C_A = -IV \cdot (F \cdot T) / (L \cdot W) / (U \cdot LC) / C_A$  y  $A^{Y} = (-\Delta C_A / \Delta Y) / C_A = -FU \cdot ALT / (U \cdot LC) / C_A$ . Por lo tanto,  $A$  es una función creciente de  $A^{X} \cdot X + A^{Y} \cdot Y$ . Esta utilidad multiatributo no se puede separar como  $u(A) = u(A^{X} \cdot X) + u(A^{Y} \cdot Y)$ , puesto que  $X$  e  $Y$  están correlacionadas (Fishburn, 1989). Así, supongamos que  $X$  es igual a la combinación lineal  $a\alpha + b\gamma$ , y que  $Y$  se puede expresar como  $c\beta + d\gamma$ , donde  $a, b, c$  y  $d$  son constantes y  $\alpha, \beta$  y  $\gamma$  son v.a. independientes con una distribución normal estándar  $N(0, 1)$ . Entonces, se debe cumplir que:

$$\begin{aligned}\sigma_X^2 &= E((a\alpha + b\gamma)^2) = a^2 + b^2 \\ \sigma_Y^2 &= E((c\beta + d\gamma)^2) = c^2 + d^2 \\ \sigma_{XY} &= E((a\alpha + b\gamma) \cdot (c\beta + d\gamma)) = bd\end{aligned}$$

Suponiendo que  $\sigma_Y > \sigma_X > 0$  y  $\sigma_Y \cdot \sigma_X \geq \sigma_{XY} \geq 0$ , definimos  $a = 0$ , por lo que una solución del sistema es:  $b = \sigma_X$ ,  $d = \sigma_{XY} / \sigma_X$ ,  $c = \sqrt{\sigma_Y^2 - \sigma_{XY}^2} / \sigma_X^2$ . Dado que  $\beta$  y  $\gamma$  son variables aleatorias independientes, existen funciones de utilidad  $u_\beta$  y  $u_\gamma$  tales que:

$$\begin{aligned}u(A) &= u(A^{X} \cdot X + A^{Y} \cdot Y) = u(A^{X} \cdot (a\alpha + b\gamma) + A^{Y} \cdot (c\beta + d \cdot \gamma)) \\ &= u(A^{Y} \cdot c \cdot \beta + A^{X} \cdot b + A^{Y} \cdot d \cdot \gamma) = u_\beta(A^{Y} \cdot c \cdot \beta) + u_\gamma((A^{X} \cdot b + A^{Y} \cdot d) \cdot \gamma).\end{aligned}$$

#### V. Penalizaciones como modelos de torneo

Recordemos que  $p$  y  $C$  son la tarifa y el costo del transporte. El pago esperado del transportista  $E_{tr}(g, h)$  y del despachador  $E_{de}(g, h)$  es:

$$\begin{aligned}E_{tr}(g, h) &= (p - C) \cdot P(\text{falla del despachador}) - C \cdot P(\text{falla del transportista}) - c_{tr}(g), \\ E_{de}(g, h) &= p \cdot P(\text{falla del despachador}) - c_{de}(h).\end{aligned}$$

Definimos  $F_R(\cdot)$  y  $F_S(\cdot)$  como las funciones de distribución acumulada de las variables aleatorias  $R$  y  $S$ , y  $f_R(\cdot)$  y  $f_S(\cdot)$  como sus respectivas funciones de densidad. Con ello:

$$\begin{aligned}
 P(\text{falla del despachador}) &= P(g + R < h + S) \\
 &= P(R < h - g + S) = \int_{\forall S} F_R(h - g + S/S = s) \cdot f_S(s) ds
 \end{aligned}$$

Como  $c_{tr}(g)$  y  $c_{de}(h)$  son estrictamente decrecientes y convexas, se puede obtener la función de mejor respuesta para cada jugador usando la condición de primer orden  $\partial E_{tr}(g,h)/\partial g = 0$  y  $\partial E_{de}(g,h)/\partial h = 0$ :

$$\begin{aligned}
 -p \int_{\forall S} f_R(h - g + s) \cdot f_S(s) ds &= \partial c_{tr}(g)/\partial g, \\
 -p \int_{\forall S} f_R(h - g + s) \cdot f_S(s) ds &= \partial c_{de}(h)/\partial h.
 \end{aligned}$$

El equilibrio de Nash  $(g^*, h^*)$  se obtiene de la intersección entre las funciones de mejor respuesta. Recordando que  $R$  y  $S$  tienen distribución normal  $N(0, \sigma_M^2)$  y que  $c_{tr}(\cdot) = c_{de}(\cdot)$ , el equilibrio es simétrico y por ello  $h^* - g^* = 0$ , y por lo tanto:

$$-\frac{p}{2\sigma_M \sqrt{p}} = \partial c_{tr}(g)/\partial g = \partial c_{de}(h)/\partial h.$$

## VI. Costo de configuración de la flota

Teniendo en cuenta que  $(F \cdot T)/(L \cdot W)$  representa la duración de cada vuelta, medida en meses, más el tiempo adicional de seguridad, debido a variabilidad de la demanda, y que  $D/(U \cdot LC)$  es el número de vueltas que deben hacerse para satisfacer la demanda,  $n$  debe cumplir con la siguiente condición:

$$n = \left( \frac{F \cdot T}{L \cdot W} \right) \cdot \left( \frac{D}{U \cdot LC} \right)$$

Como se dijo en la sección VI,  $n$  no es necesariamente el tamaño óptimo de la flota, ya que  $F = (\mu + K \cdot s)/\mu$  es una función de un factor arbitrario de seguridad  $K$ . Para calcular el incremento del costo  $\Delta C_{n^+}$ , insertamos en la fórmula del costo de tiempo de viaje  $n^+$  y la expresión de  $n$ .

El incremento del costo  $\Delta C_{n^+}$  se obtiene del supuesto de que la demanda diaria tiene distribución normal  $N(D/L, s^2)$  y de que la capacidad de la flota es  $D/L + K \cdot s$ . El valor esperado de la carga que la flota no es capaz de transportar cada día es:

$$\int_{D/L+K \cdot s}^{\infty} \left( \frac{e^{-(x-D/L)^2/2s^2}}{\sqrt{2ps^2}} \cdot (x - (D/L + K \cdot s)) \right) dx = s \cdot \int_{K \cdot s}^{\infty} \left( \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2p}} \cdot (x - K \cdot s) \right) dx = s \cdot I(K).$$

Menos vehículos definen un nuevo factor de seguridad  $K'$  con  $(n^-/n) \cdot (\mu + K \cdot s) = (\mu + K' \cdot s)$ , tal que  $K' = ((n^-/n) \cdot (\mu + K \cdot s) - \mu)/s$ . El aumento esperado de la demanda no satisfecha es  $\mu^- = s \cdot (I(K') - I(K))$ , que ocasiona una reducción de la utilización de vehículos, ya que deben transportar productos que habrán de regresar a la planta.

## BIBLIOGRAFIA

- Balakrishnan, A., Natarajan, H.P. y Pangburn, M.S., (2000). "Optimizing Delivery Fees for a Network of Distributors", *Manufacturing & Service Operations Management* 2, 297-316.
- Bartholdi III, J.J. y Gue, K.R., (2000). "Reducing Labor Costs in an LTL Crossdocking Terminal", *Operations Research* 48, 823-832.
- Beuthe, M., Jourquin, B., Geerts, J.F. y Koul a Ndjang' Ha, C., (2001). "Freight Transportation Demand Elasticities: a geographic multimodal transportation network analysis", *Transportation Research Part E* 37, 253-266.
- Bemowski, K., (1992). "The Quality Glossary", *Quality Progress* 25, 18-29.
- Brown, D.G., (1995). "Internal Dynamics of Inventory-Theoretic Models for Microeconomic Transportation Applications", *Logistics and Transportation Review* 31, 253-279.
- Bulow, J., Klemperer, P., (1996). "Actions versus Negotiations", *The American Economic Review* 86, 180-194.
- Button, K.J., (1993). *Transport Economics* (2nd ed. University Press, Cambridge, UK.), 74-75.
- Crum, M.R. y Allen, B.J., (1997). "A Longitudinal Assessment of Motor Carrier-Shipper Relationship Trends, 1990 vs. 1996", *Transportation Journal* 37, 5-17.
- Cullinane, K. y Toy, N., (2000). "Identifying Influential Attributes in Freight Route/Mode Choice Decisions: a content analysis", *Transportation Research Part E* 36, 41-53.
- Fishburn, P.C., (1989). "Foundations of Decision Analysis: Along the way", *Management Science* 35, 387-405.
- Forkenbrock, D.J., (1999). "External Costs of Intercity Truck Freight Transportation", *Transportation Research A* 33, 505-526.

- Gans, N., (2002). "Customer Loyalty and Supplier Quality Competition", *Management Science* 48, 207-221.
- Gedeon, C., Florian, M. y Crainic, Tg, (1993). "Determining Origin-Destination Matrices and Optimal Multiproduct Flows for Freight Transportation over Multimodal Networks", *Transportation Research Part B-Methodological* 27, 351-368.
- Golob, T.F., Regan, A.C. (2003). "Traffic Congestion and Trucking Managers' Use of Automated Routing and Scheduling", *Transportation Research Part E* 39, 61-78.
- Hall, W., y Racer, M. (1995). "Transportation with Common Carrier and Private Fleets: System Assignment and Shipment Frequency Optimisation", *IIE Transactions* 27, 217-225.
- Harmatuck, D.J., (1991) "Economies of scale and scope in the motor carrier industry", *Journal of Transport Economics and Policy* 25, 135-151.
- Higginson, J.K. (1993). "Modelling Shipper Costs in Physical Distribution Analysis", *Transportation Research A* 27, 113-124.
- Hirshleifer, D. (2001). "Investor Psychology and Asset Pricing", *The Journal of Finance* 56, 1533-1597
- Hong, S.H., Kim, S.B., Kwon, H.M. y Lee, M.K. (1998). "Economic Design of Screening Procedures when the Rejected Items Are Reprocessed", *European Journal of Operational Research* 108, 65-73.
- Hubbard, T.N. (2001). "Contractual Form and Market Thickness in Trucking", *Rand Journal of Economics*, 32, 369-386.
- Kingman, J.F.C. (1970). "Inequalities in the Theory of Queues", *Journal of the Royal Statistical Society B* 32, 102-110.
- Kirkwood, C.W. (2004). "Approximating Risk Aversion in Decision Analysis Applications", *Decision Analysis* 1, 55-72.
- Kleindorfer, G.B., O'Neill, L. y Ganeshan, R. (1998). "Validation in Simulation: Various positions in the philosophy of science", *Management Science* 44, 1087-1099.
- Lambert, D.M. y Stock, J.R. (1993). Strategic Logistic Management Irwin Homewood Irwin Homewood IL, 420-423.
- Lazear, E. y Rozen, S. (1981) . "Rank-Order Tournaments as Optimum Labor Contract", *Journal of Political Economy* 54, 841-864.
- Lee, W.S., Kim, C.H. y Sox, C.R. (2003). "A Dynamic Production and Transportation Model with Heterogeneous Vehicle Types", *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice* 10, 420-426.
- Lim, W.S. (2000). "A Lemons Market? An Incentive Scheme to Induce Truth-Telling in Third Party Logistics Providers", *European Journal of Operational Research* 125, 519-525.
- Musso, A. (2001). "SOFTICE - Survey on Freight Transport Including a Cost Comparison for Europe", *Transportation Research Record* 27-34.
- Ng, L., Wessels, R.L., Do, D., Mannering, F. y Barfield, W. (1995). "Statistical Analysis of Commercial Driver and Dispatcher Requirements for Advanced Traveller Information Systems", *Transportation Research* 3C, 353-369.
- Pratt, J.W. (1964). "Risk Aversion in the Small and In the Large", *Econometrica* 32, 122-136.
- Regan, A.C., Golob T.F. (1999). "Freight Operators' Perceptions of Congestion Problems and the Application of Advanced Technologies: Results from a 1998 Survey of 1200 Companies Operating in California", *Transportation Journal* 38, 57-67.
- Rinehart, L.M. (1989). "Organizational and Personal Factors Influencing the Negotiation of Motor Carrier Contracts: A survey of shippers and motor carriers", *Transportation Journal* 29, 4-14.
- Salhi, S., y Rand, G.K. (1993). "Incorporating Vehicle Routing into the Vehicle Fleet Composition Problem", *European Journal of Operational Research* 66, 313-330.
- Singer, M., Donoso, P. y Jara S. (2002). "Fleet Configuration Subject to Stochastic Demand: an Application in the Distribution of Liquefied Petroleum Gas", *Journal of the Operations*

- Research Society* 53, 961-971.
- Singer, M., Donoso, P. y Traverso, P. (2003). "Quality Strategies in Supply Chain Alliances of Disposable Items", *Omega* 31, 499-509.
- Sutcliffe, C., Board, J. (1991). "The Ex-Ante Benefits of Solving Vehicle Routing Problems", *Journal of the Operations Research Society* 42, 135-143.
- Taylor, J.C., Jackson, G.C. (2000). "Conflict, Power and Evolution in the Intermodal Transportation Industry's Channel of Distribution", *Transportation Journal* 39, 5-17.
- Toptal, A., Cetinkaya, S. y Lee, C.Y. (2003). "The Buyer-Vendor Coordination Problem: Modeling Inbound and Outbound Cargo Capacity and Costs", *IIE Transactions* 35, 987-1002.
- Weintraub, A., Epstein R., Morales R., Serón J. y Traverso P. (1996). "A Truck Scheduling System Improves Efficiency in the Forest Industries", *Interfaces* 26, 1-12.