



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**REMATE DOBLE COMO MECANISMO DE
COORDINACIÓN DEL MERCADO DE
TRANSPORTE DE CARGA CON DEMANDA
ELÁSTICA.**

HUMBERTO SOLOVERA ROZAS

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:

RODRIGO GARRIDO HIDALGO

Santiago de Chile, Agosto, 2008

© 2008, Humberto Solovera Rozas

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado gracias al apoyo de la fundación de Ciencia y tecnología de Chile (FONDECYT) y la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El autor desea agradecer al profesor Rodrigo Garrido su ayuda y aporte a lo largo de todo el desarrollo del trabajo. A los profesores Francisco Martínez y Ricardo Giesen por sus importantes aportes y el tiempo dedicado. De forma especial, se agradece al profesor Mauricio Alamo por el tiempo dedicado a la corrección del borrador y las importantes observaciones que surgieron como producto de ésta.

TABLA DE CONTENIDOS.

AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDOS.	iv
ÍNDICE DE TABLAS.	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.	11
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	17
II.1. Terminología básica.....	17
II.2. El Mercado de Transporte.....	20
II.2.1. El transporte caminero de carga.....	22
II.2.2. La Situación de Estados Unidos.....	23
II.3. La Relación Despachador-Operador.....	25
II.4. El Problema del Operador.....	29
II.5. Enfoques usados para modelar el problema del operador.....	31
II.5.1. Teoría de Juegos.....	32
II.5.2. Teoría de la Racionalidad Limitada	34
II.6. Remates Combinatoriales	38
II.6.1. El problema de poner una oferta.....	39
II.6.2. El problema de elección del ganador	40
II.6.3. Aplicaciones.....	41
II.7. Software de ruteo de vehículos	43
III. REMATE DOBLE EN MERCADOS SPOT.....	45
III.1. Definición de variables	46
III.2. Supuestos básicos.....	47
III.3. Política de inventario EOQ	48
III.4. Operadores en el rol de participantes	50

III.5.	Despachadores en el Rol de participantes.....	53
III.6.	El Proceso de Licitación Doble.....	54
III.6.1.	Funcionamiento del mercado de carga.....	55
III.6.2.	Funcionamiento del mercado de capacidad	62
a.	Se ordena la diferencia entre el lote óptimo y las existencias.....	62
b.	Se ordena siempre el lote óptimo.....	65
IV.	SIMULACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.....	69
IV.1.	Aspectos básicos de la simulación	69
IV.1.1.	Configuración espacial.....	69
IV.1.2.	Parámetros de entrada.	70
IV.1.3.	Caso contraste.	71
IV.2.	El mercado de carga.....	71
IV.3.	El mercado de capacidad.....	76
IV.4.	Medidas de desempeño	79
IV.4.1.	Análisis del período Transiente.....	81
V.	RESULTADOS.....	84
V.1.	Comparación Reposición tipo 1-contraste, espacio unitario.....	85
V.2.	Comparación Reposición tipo 2-contraste, espacio unitario.....	88
V.3.	Comparación Reposición tipo1-Reposición tipo 2.	92
VI.	CONCLUSIONES.	96
VII.	EXTENSIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA.	101
	ANEXOS	105
	ANEXO 1: Elección del parámetro de escala de la distribución.	106
	ANEXO 2: Validación de Resultados obtenidos.	108
	Reposición tipo 1, espacio unitario.	108
	Reposición tipo 1, espacio rectangular.....	110
	Reposición tipo 2, espacio unitario.	112
	Reposición tipo 2, espacio rectangular.....	114

ANEXO 3: Resultados y análisis de cada una de las simulaciones.	116
Reposición tipo 1, espacio unitario.	116
Caso contraste, espacio unitario.	120
Reposición tipo 1, espacio rectangular.	124
Reposición tipo 2, espacio unitario.	127
Reposición tipo 2, espacio rectangular.	130

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla V-1. Equivalencias entre casos simulados y sus características.	84
Tabla V-2. Resultados contrastados.....	85
Tabla V-3. Comparación de costos unitarios.	86
Tabla V-4. Comparación de Retornos útiles.	87
Tabla V-5. Comparación de proporción de distancia vacías obtenidas.	87
Tabla V-6. Comparación de capacidad Ociosa.	88
Tabla V-7. Contraste de costos caso unitario tipo 2.....	89
Tabla V-8. Contraste de valores unitarios, espacio unitario tipo 2.	90
Tabla V-9. Contraste de retornos útiles, espacio unitario tipo 2.	90
Tabla V-10. Contraste de distancias sin carga, espacio unitario tipo 2.....	91
Tabla V-11. Contraste de capacidad ociosa, espacio unitario tipo 2.	91
Tabla V-12. Comparación de Ahorros en costo total, según tipo de reposición.....	92
Tabla V-13. Comparación de Ahorros en costos unitarios, según tipo de reposición.	93
Tabla V-14. Comparación de Proporción de retornos útiles, según tipo de reposición...	94
Tabla V-15. Comparación de Proporción de distancias vacías, según tipo de reposición.	94
Tabla V-16. Comparación de Proporción de capacidad ociosa, según tipo de reposición.	95

ÍNDICE DE FIGURAS.

Ilustración II-1: Principales puertos de USA	24
Ilustración II-2: Tipos de relación Despachador/Operador.....	26
Ilustración II-3: Esquema del proceso de licitación.....	35
Ilustración III-1: Relaciones existentes en el mercado.	45
Ilustración III-2. Nivel temporal de inventarios en presencia de EOQ.....	49
Ilustración III-3.Efecto de una orden anticipada EOQ (caso 1).....	62
Ilustración III-4.Función costo extra de inventario por orden anticipada (caso 1).	64
Ilustración III-5.Efecto de una orden anticipada EOQ (caso 2).....	66
Ilustración III-6. Descuento que hace atractiva la tarifa como función del tiempo.	68
Ilustración IV-1. Evolución de la variable "viajes en curso".....	82
Ilustración IV-2. Detalle de la etapa inicial.	82

RESUMEN.

La masificación de Internet ha marcado el desarrollo de las últimas décadas, incluyendo el mercado del transporte de carga. Los viajes han comenzado a negociarse en la red a través de remates donde los operadores de transporte ofrecen sus tarifas para adjudicarse el transporte de productos de distintas empresas. Hasta este momento se ha desarrollado mucho la teoría y la práctica de subastas simples y combinatoriales, las que han tenido excelentes resultados en el pasado.

En este trabajo se busca probar, que haciendo uso de mercados electrónicos, se pueden obtener ahorros considerables permitiendo que los operadores puedan ofrecer sus viajes vacíos de reposicionamiento, a tarifas sustancialmente menores. De esta manera, los despachadores asignarán su carga al operador que les ofrezca la tarifa más conveniente, mientras que estos rematarán sus viajes de reposicionamiento a tarifas menores a las de mercado, a la empresa que presente la mayor disposición al pago. Suponiendo que los despachadores tendrán demandas elásticas por transporte con respecto a la tarifa y trabajarán con políticas de inventario EOQ, utilizando simulación estocástica, se estudiaron dos posibles formas de reacción de estos, frente a descuentos ofrecidos por los operadores. En el primer caso se ordenará la diferencia entre la cantidad existente en inventario y la cantidad óptima calculada según EOQ y en el segundo caso se ordenará siempre la cantidad original. Ambos casos se contrastaron con un sistema donde sólo existía la posibilidad de rematar carga y los resultados se evaluaron en función de los costos totales del sistema, la proporción de viajes de retorno que se utilizó para transportar carga y las distancias que se recorrieron vacías.

Para una distribución espacial dentro de una celda unitaria cuadrada, se obtuvieron ahorros de 23% y 31% en los costos totales del sistema respectivamente, y se dio uso a cerca de un 10% más de los viajes de retorno. Gracias a una simulación con distribución espacial rectangular se pudo demostrar la importancia de las distancias entre ciudades a la hora de formular ofertas y descuentos, resultando estos últimos muy alejados de la realidad lo que impide poder compararlo con el otro caso estudiado.

ABSTRACT.

The growing use of the Internet has been one of the main facts that have influenced the development in the last decades. This fact has affected the freight transportation market, too. The loads has started to be trade on the web, trough auction sites, where the carriers can offers their best prices to get some freights.

Until now, all studies have been focused on simple or combinatorial auctions, with great results in the past.

This study seeks to demonstrate, that regardless of the existing auction marketplaces, it is possible to get some new savings trough the implementation of a new double auction marketplace, where the carriers can auction their backhaul trips at lower rates than the market ones. Thus, the shippers will assign their freights to the carrier that offers the lowest rate to move it, while the carriers will assign their empty movements to the shipper that shows the highest willingness to pay for the trip.

Assuming the shippers have elastic demand related to transportation rates and they work under an EOQ inventory model, using stochastic simulation, two different shippers' reactions ways for carriers' discounts are studied. In the first case the shipper orders the difference between the optimal lot size and the current quantity in inventory and in the second case it always orders the optimal lot size. Both cases were compared with a system where only the shipper can auction their loads. The results were evaluated trough the total system costs, the proportion of the total return trips used and the total empty distances.

For a unitary space, the double-auction system presents savings of 23% and 31% for the first and second case respectively. In both scenarios, there was a 10% increase in return trips usage. For a non-square and thin space, the system shows the importance of the distance between cities by the time of the construction of rates and discounts. In both cases, the discounts were very far from the real ones, what made the cases not valid to be compared.

I. INTRODUCCIÓN.

El fuerte proceso de globalización que se ha producido en el mundo, ha marcado el desarrollo de las últimas décadas. Las naciones han buscado abrir sus fronteras, tanto en lo comercial como en lo cultural y turístico. Cada nación ha podido (o ha intentado) aprovechar de la mejor manera sus ventajas comparativas. Las naciones más desarrolladas como Estados Unidos, Singapur y otros países asiáticos¹ han puesto un fuerte énfasis en la industria, especialmente tecnológica, mientras que los menos desarrollados se han enfocado en la agricultura y obtención de materias primas como minerales u otros.

Este mundo global se ha podido desarrollar gracias a diversos cambios y desarrollos que se han producido. La despolarización del mundo luego de la caída del muro de Berlín ha sido sumamente importante, ya que prácticamente han desaparecido las coaliciones políticas y los bloqueos. Las autoridades de las naciones han logrado entregar determinadas garantías de seguridad para el comercio internacional, a pesar de que los atentados terroristas de Nueva York, Madrid y Londres lograron por un momento frenar el crecimiento que se venía produciendo.

El gran desarrollo que se ha podido presenciar en los medios de transporte, comunicaciones y tecnologías de información (TIC) es otra importante condición que ha permitido el desarrollo de la globalización. Entre los avances en los medios de transporte sobresalen las sustanciales mejoras que se han desarrollado en la operación de terminales de carga y descarga, las que han permitido la construcción de barcos de mayor tamaño, permitiendo aprovechar economías de escala que fomentan el comercio internacional entre zonas muy distanciadas, como el caso de Asia y América. La

¹ La producción industrial, representa el 42,5% del PIB del año 2006 de Malasia, Singapur y Tailandia.

Fuente: Interlinks Consulting Group (ICG)

aparición y las posteriores facilidades de operación de los barcos llamados “*Post-Panamax*”, con capacidad de hasta 12.000 TEU’s², ha sido fundamental en este proceso ya que ellos permiten transportar grandes cantidades de productos.

Entre los avances observados dentro de las comunicaciones se puede mencionar el gran aporte que ha significado para el ruteo y seguimiento de vehículos comerciales, los sistemas de posicionamiento global (GPS), permitiendo a las empresas transportistas y despachadoras saber con exactitud y en tiempo real donde están sus embarques, si han sido despachados, entregados o si han sufrido algún percance. También es importante mencionar el desarrollo y masificación que ha experimentado la telefonía celular, permitiendo estar siempre comunicado independiente de la ubicación geográfica y usar también la telefonía celular como medio de localización

Entre los avances que han experimentado las comunicaciones, y que han permitido el desarrollo de la globalización, uno de los más importantes del último tiempo ha sido la aparición y posterior establecimiento que ha tenido Internet. Tanto para las personas como para las empresas, Internet ha cambiado la manera de hacer las cosas; el correo electrónico ha cambiado la forma de comunicación de las personas, desplazando al correo tradicional y al fax, pues es más rápido y confiable. Internet también ha revolucionado la forma de obtener información, facilitando y agilizando el acceso a ella de partes muy diversas y distantes geográficamente.

La irrupción de Internet también ha cambiado de manera dramática la forma de hacer negocios pues facilita y agiliza la relación cliente-empresa, permitiendo en ocasiones, saltarse pasos intermedios que han quedado ahora obsoletos. Destacable es el caso de *DELL Computers Inc.* que cambió su forma de distribución, evitando todo tipo de intermediarios y realizando ventas personalizadas a través de Internet, disminuyendo sus

² TEU: Twenty-feet Equivalent Unit. Unidad de medida que se aplica a los contenedores. 1 TEU equivale a una capacidad volumétrica de 33 m³ y sobre 28 toneladas de peso.

costos de existencias debido a la implementación de un sistema “*Make to order*” en el que se reducen de manera considerable los productos en inventario. El de DELL, es sólo un ejemplo de miles de sitios en la red donde se compran y venden todo tipo de productos.

Dentro de estos mercados electrónicos han surgido los sitios de remates o subastas, donde los precios no son determinados por el proveedor sino que a través del mecanismo tradicional de subastas. De esta forma, el mercado electrónico ha ido evolucionando, desde ser nada más que un medio de comunicación a través del cual viajan documentos y órdenes de compra, a ser hoy en día un mercado donde se transan más de los US\$2.6 trillones al año en negocios entre empresas (B2B) y más de US\$108 billones en negocios directos al consumidor (B2C) que se transaban el año 2003 en EUA (Mullaney et al, 2003).

En gran medida, el crecimiento de los negocios a través de Internet se debe a la aparición de mercados privados, los que además de tener todas las características antes mencionadas tienen la ventaja de ser seguros. Estos mercados consisten en agrupaciones de empresas, de distintos ámbitos, que son invitadas a participar del intercambio que en ellos se produce. Este punto es de gran importancia en el mercado de transporte ya que el daño causado a consecuencia de una orden que no pudo ser enviada en el debido momento, por una falla del operador que debía realizarla, puede ser de una magnitud importante para las empresas despachadoras de productos.

El transporte no ha quedado afuera de esta nueva manera de hacer negocios. Inserto en un mundo donde cada día se refuerza más la tendencia a los servicios externos (*outsourcing*) los viajes han comenzado a negociarse en la red. Ejemplo de este modelo basado en tecnología *web* son empresas como “Leanlogistic.com” o “Besttransport.com”, que funcionan como reguladores de mercados privados donde interactúan en tiempo real tanto empresas operadoras de transporte como despachadoras de productos, ofreciendo espacio y demandando el transporte de cargas respectivamente.

Su principal objetivo es coordinar en tiempo real oferta y demanda por transporte de diversos tipos de carga.

A través de los mercados electrónicos, el despachador –quien demanda el servicio de transporte- pone un requerimiento por flete y espera las ofertas de los operadores, donde quien tenga la mayor ventaja competitiva podrá darle una mejor cotización y adjudicarse así el viaje. Dado que a través de una cotización secuencial sería muy difícil obtener ofertas de todas las empresas del mercado en un tiempo reducido, este mecanismo también será beneficioso para el despachador. Los contratos se pueden acordar tanto para un flete puntual, como para una cantidad de fletes determinada a lo largo de un período de tiempo. Por lo general en el mercado del transporte los contratos son a largo plazo permitiendo a los operadores buscar economías de “alcance” o de ámbito³, pero otorgando menor flexibilidad a las empresas despachadoras frente a los permanentes cambios del medio, como precio de los combustibles, aparición de nuevas tecnologías u otros, lo que termina por afectar la eficiencia.

Otro componente fundamental de este mercado son los movimientos vacíos o de reposicionamiento, los que se producen a partir de la naturaleza aleatoria temporal y espacial de la demanda por transporte y constituyen una gran fuente de ineficiencia. Los mercados electrónicos constituyen una excelente oportunidad para reducir los movimientos vacíos y convertirlos en una fuente de ingreso para operadores, que disminuirían sus “tiempos muertos” y para los despachadores que podrán reducir sus costos aprovechando estos reposicionamientos para transportar productos a un precio inferior. Los mercados electrónicos simples, es decir, donde sólo despachadores rematan carga para ser transportada, han demostrado ser altamente convenientes. Prueba de ello es lo ocurrido en Estados Unidos donde hoy la mayoría de la carga se transa a través de ellos.

³ Economies of Scope. Ver sección II.2.

En esta investigación se estudian los posibles efectos de un sistema de coordinación oferta-demanda a través de un mercado electrónico de remate doble. La novedad de este mercado es que además de permitir el remate de carga por parte de los despachadores, permitirá también el remate de espacios libres por parte de los operadores como una manera de minimizar sus reposicionamientos vacíos.

Se supone una demanda elástica por transporte con respecto a la tarifa de modo de dar sentido al remate de espacios, pues lo que se busca es que los operadores, a través de los descuentos ofrecidos, sean capaces de incentivar a los despachadores a alterar sus patrones de abastecimiento para aprovechar las condiciones excepcionales. Se supone también, que las empresas que desean enviar la carga a otra localidad (despachadores) trabajan con una política de inventario de cantidad económica de pedidos (*EOQ*), dentro de la cual se considerarán dos casos. El primero consiste en modificar la cantidad a ordenar según las condiciones enfrentadas, por lo que la cantidad ordenada deberá ser calculada cada vez que se produzca una oportunidad. En el segundo caso, las empresas productoras no alteran su política de pedidos frente a los descuentos, es decir, la cantidad a ordenar permanecerá constante independiente de las condiciones del momento.

Ante la ausencia de herramientas teóricas sólidas, se simulan los dos casos antes mencionados, para una situación de múltiples orígenes y destinos, donde los despachadores seleccionarán a los operadores a través de un sistema de remate electrónico. En este mercado electrónico los operadores tendrán la posibilidad de adjudicarse el viaje durante un tiempo reducido, algo imposible en su ausencia. La selección de operadores, y posterior asignación de carga, se realiza exclusivamente en base al precio ofrecido por éstos, ya que se asume un mismo nivel de servicio para todos. Por último, en el caso de que un operador tenga que realizar un movimiento vacío desde el lugar donde se encuentra hacia un próximo origen, podrá recurrir también al mercado para buscar generar demanda por transporte, a un precio por él determinado, buscando así evitar estos movimientos vacíos. Para observar los beneficios que se

obtendrían por la implementación de un mercado de este tipo, estos escenarios se compararán luego con un mercado donde sólo existe la posibilidad de rematar carga.

En el estudio se consideran sólo remates secuenciales y no combinatoriales. Tampoco se considera el efecto del diseño de la red en la que se ubicarán los distintos puntos de oferta, demanda ni los depósitos de los operadores de transporte. La red usada será fuertemente conexas y las distancias consideradas serán siempre las lineales entre los 2 puntos en cuestión.

El texto está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se presenta una revisión de la bibliografía escrita. En el capítulo 3 se presentan y explican en detalle los modelos usados, sus posibles beneficios y costos. El capítulo 4 se explica el experimento llevado a cabo con todos sus *inputs*, *outputs* y otros elementos. El capítulo 5 presenta los principales resultados obtenidos de la simulación para luego en el capítulo 6 discutir las principales conclusiones que se pueden extraer del trabajo y presentar en el capítulo 7 posibles extensiones a este trabajo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

A fines de la década del 70, y luego de muchos años de presión, el congreso de los Estados Unidos de América acaba definitivamente con la regulación existente en ese entonces para las empresas de transporte caminero de carga. Esta regulación creada a comienzos del siglo XX por presiones de los empresarios ferroviarios, prácticamente prohibía el ingreso de nuevas empresas al mercado de transporte de carga interurbano a través de camiones en ese país. Las empresas que desearan ingresar al mercado debían inscribirse en los registros de la ICC (*Interstate Commerce Commission*) y no podían entrar en funcionamiento hasta que este organismo les autorizara, lo que a fines de los años 70 era casi imposible. Entre otros muchos requisitos, la regulación exigía a las empresas mantener un registro público de las tarifas ofrecidas por ellos a cada uno de sus clientes, las tarifas debían estar inscritas en el registro treinta días antes de llevarse a cabo el servicio, lo que en muchas ocasiones se prestó para competencia desleal y sólo terminó en un mercado ineficiente.

Luego de la desregulación, a fines de los 70 y comienzos de los 80, el transporte de carga comienza a ser un atractivo campo de investigación. Se comienzan a desarrollar muchos estudios acerca de la relación despachador-operador, políticas eficientes de manejo de inventarios, producción “*Just in Time*” y muchos otros temas relacionados con el transporte y la logística. Este capítulo presenta un resumen de lo publicado hasta el momento respecto de los temas más relevantes para este estudio. Se incluye al inicio una pequeña explicación de la terminología básica usada.

II.1. Terminología básica

Los dos actores principales del sistema de licitaciones de transporte de carga son los despachadores, embarcadores o *shippers*, en adelante despachadores, y los operadores o *carriers*, en adelante operadores. Los **despachadores**, son las empresas o particulares

demandantes de servicio de transporte, es decir, quienes desean enviar carga y los **operadores** son los oferentes o quienes transportarán la carga enviada por estas empresas.

Existen sitios Web dedicados a coordinar oferta y demanda, o si se prefiere, a operadores y despachadores. La principal finalidad de estos sitios, además de coordinar, es asegurar a sus clientes seriedad y responsabilidad a la hora de cumplir los contratos acordados a través de ellos. Por esto, sólo participarán en estos mercados agentes que tengan ciertos estándares de calidad asegurados. A estos sitios los llamaremos **mercados privados**. Song y Regan (2001) mencionan que también existen mercados públicos de coordinación (de libre acceso) los que a pesar de su corto tiempo de existencia ya han fracasado debido a que en muchos casos las empresas buscan un servicio más personalizado, y también a la incertidumbre frente a lo que pueda pasar una vez terminado el remate.

Llamaremos **remate** al proceso mediante el cual los operadores ofrecen tarifas para los envíos solicitados por los despachadores y **remate inverso**, al proceso mediante el cual los despachadores ofrecen tarifas para ocupar un viaje vacío ofertado por un determinado operador. Los remates se asignan exclusivamente basados en el precio ya que se asume que todos los participantes, operadores o despachadores, pertenecen al mercado privado, y por lo tanto, garantizan seriedad y un determinado nivel de servicio. Cuando el elemento que se desea rematar se puede subdividir, como por ejemplo un conjunto de fletes, existen dos maneras a través de las cuales plantear el remate: (i) a través de un **remate secuencial** donde los fletes se rematarán uno a uno de manera independiente y (ii) a través de un **remate combinatorial** donde se rematan todos los fletes a la vez y se entrega la libertad a los participantes para poner ofertas por el grupo que cada uno estime conveniente. El **rematador** será quien busque vender algo y los **participantes** serán los potenciales compradores.

Existen principalmente cuatro tipos de remates. Estos son: el remate Inglés, el remate Holandés, el remate de Primer Precio y el de Segundo Precio.

El **remate Inglés** consiste en que el vendedor comienza la licitación con el precio de reserva (el precio mínimo al que se venderá el objeto) y espera a que vayan subiendo los valores ofrecidos por el objeto. El remate termina cuando nadie desea aumentar la oferta y el objeto es adjudicado a quien haya hecho la oferta más alta. Para el contexto de este trabajo, tendríamos que hablar de un remate Inglés inverso ya que el punto de partida será la oferta más alta que irá disminuyendo a medida que se hagan las ofertas.

En el **remate Holandés** o remate a la holandesa, el vendedor fija un precio alto para comenzar y pregunta si alguien desea pagarlo, de no ser así, el mismo vendedor lo irá disminuyendo hasta que alguien quiera pagar el precio ofrecido o se alcance un precio mínimo bajo el cual no se esté dispuesto a vender el objeto. Por lo general, en este tipo de remates sólo será necesaria una oferta y en el caso que haya dos ofertas iguales se hará el paso inverso, es decir se elevará el precio hasta que uno de los dos ya no esté dispuesto a pagarlo para adjudicar el objeto o servicio a quien tenga una mayor disposición a pagar.

En los dos casos anteriores las ofertas son públicas por lo que se dan las condiciones para que exista interacción entre quienes están participando del proceso; así, las ofertas presentadas pueden influenciar futuras ofertas de competidores. Esto último no ocurre en los **remates de primer y segundo precio**, ya que estos son cerrados. En ellos, cada uno de los participantes entrega una oferta cerrada que será conocida únicamente por quién ha hecho la oferta y por el vendedor, disminuyendo la posibilidad de especulación u otros vicios que puedan afectar la eficiencia del proceso. Lo común es que se permita más de una oferta por participante, considerándose a la hora del recuento la última entregada. La diferencia entre los dos tipos mencionados es que en el remate de primer precio, el ganador será quien entregue la oferta más alta (o más baja en el caso inverso) si es que ha superado el precio de reserva (si es que existe). En el remate de segundo

precio, el ganador es también quien haya presentado la oferta más alta (o baja en el caso inverso), pero a diferencia del tipo anterior, el precio a pagar será aquel ofrecido por la segunda mejor oferta. La fortaleza de los remates de segundo precio radica en que, implícitamente, exige a los participantes ofrecer su verdadera disposición al pago pues ocultando parte de ella tendrán menor posibilidad de ganar, e igualmente, en caso de ganar el precio será menor a lo que realmente estaban dispuestos a pagar.

Figliozzi (2004) hace notar una equivalencia entre el remate Holandés y el de primer precio, pues en ambos el apostador será quien elige cuánto desea pagar por el objeto sin ningún tipo de influencia de los otros participantes. De la misma manera, en el remate de segundo precio y en el inglés el ganador pagará un precio fijado por otro. En el primero, esto se hace de forma explícita y en el segundo ocurre implícitamente pues la oferta ganadora necesariamente tendrá que ser mejor que la actual. El teorema de equivalencia de los tipos de remates, propuesto por Vickrey (1961), Ortega-Reichert (1968) y otros, plantea que para bienes privados, en promedio, el beneficio obtenido por rematadores y participantes en cualquiera de los cuatro tipos mencionados será el mismo.

II.2. El Mercado de Transporte

Los distintos medios de transporte se pueden clasificar según su grado de consolidación. Esto se refiere al acarreo de cargas de distinto tipo en un mismo vehículo y tiene la ventaja de reducir los costos unitarios pues ayuda a disminuir los costos fijos unitarios.

Existen tres tipos de consolidación. La consolidación de tiempo es aquella en que se espera en terminales hasta completar la capacidad. La consolidación de vehículos es aquella en que a través de múltiples paradas entre origen y destino se va completando la capacidad. Por último la consolidación en terminales, donde múltiples orígenes envían a un mismo destino común o punto común de re-destinación (*Hub*). Los tres tipos de consolidación disminuyen los costos unitarios de acarreo creando un *trade-off* entre el

costo unitario y el nivel de servicio esperado, en el primer caso el tiempo de tránsito aumenta debido a las esperas en terminales, en el segundo caso el tiempo de viaje aumenta debido a las múltiples paradas y en el tercero el tiempo crece debido a las operaciones de orden y redireccionamiento en terminales.

Los agentes de este mercado buscarán minimizar los costos, comprometiendo lo menos posible el nivel de servicio. Para lograr este objetivo se buscan explotar economías de escala, de alcance o de densidad.

Por lo general las funciones de costo de los operadores serán de la forma $C(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n)$, siendo X_i la carga correspondiente a la i -ésima línea servida por el operador. Existen economías de escala si:

$$C_A(\lambda X_1, \lambda X_2, \dots, \lambda X_i, \dots, \lambda X_n) < \lambda C_A(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n) \quad (\text{II-1})$$

Lo anterior significa que el costo crece en menor proporción que los factores, por lo que llevar más carga en las líneas servidas necesariamente disminuirá el costo unitario.

Existen economías de alcance si:

$$C_A(X_1, X_2, \dots, X_n) < C_A(X_1, 0, \dots, 0) + C_B(0, X_2, \dots, 0) + \dots + C_B(0, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{II-2})$$

El costo que enfrenta una empresa al servir dos líneas simultáneamente, será menor a la suma de los costos que enfrentan dos empresas diferentes que sirven una línea cada una.

Finalmente, se está en presencia de una economía de densidad cuando el incremento en el volumen de despachos hacia una zona geográfica determinada conlleva a una disminución en los costos unitarios de acarreo. Este último concepto puede entenderse como una economía de alcance, llevada al extremo en una determinada zona. En el marco de este trabajo, la importancia de todo lo anterior radica en que el sistema buscará

aumentar la eficiencia del mercado de transporte a través del aprovechamiento de economías de escala, alcance y densidad.

II.2.1. El transporte caminero de carga

El transporte caminero de carga es el objeto principal de esta investigación por lo que a continuación se presentan algunas consideraciones acerca de éste.

Como cualquier otro medio de transporte, el transporte a través de camiones permite realizar consolidación. Comúnmente, se denomina LTL (*Less than Truck-Load*) a los fletes consolidados y TL (*Truck-Load*) a los no consolidados. Los viajes TL generalmente se llevan a cabo sobre rutas poco comunes y no pasan por terminales. Los LTL, casi siempre tienen pasadas por terminales para consolidar cargas, operan sobre rutas ya establecidas y son generalmente menores a 4.500 Kg. Se diferencian en que los operadores TL tienen menos salidas, mayor carga promedio y acarreo más largos que los LTL.

En ambos casos, pero principalmente en el caso TL existen momentos no pagados o tiempos muertos, como tiempos de carga/descarga, esperas y movimientos de reposicionamiento. Los operadores buscan reducir al máximo estos tiempos y ojala eliminarlos, lo que favorecería también a los despachadores, ya que estos tiempos influyen indirectamente también en la tarifa.

Es común que para el caso de fletes TL existan economías de alcance, especialmente si se logra la construcción de circuitos completamente cargados, ya sea entre 2 o más puntos, donde los tiempos muertos se reducen sólo a la operación en terminales. Para el caso LTL, generalmente existen economías de densidad, ya que como se dijo antes mientras mayor sea la carga promedio, menor será el costo unitario y un aumento en el volumen a transportar llevará a reducir los costos unitarios. Además, la economía de densidad considera generalmente una reducción en las distancias recorridas lo que lleva

a una disminución de costos aún mayor. Chen (2003) afirma que cuando alguna de estas dos situaciones se presenta, suelen ser significativas.

II.2.2. La Situación de Estados Unidos.

En la actualidad, Estados Unidos es el país que más ha desarrollado la asignación de carga a operadores mediante remates. Aunque esta investigación no buscará replicar este mercado, se cree necesario presentar algunos antecedentes del mismo.

Debido al establecimiento de puertos *Hub* en Estados Unidos y a la unificación de la carga a través de contenedores, el transporte caminero ha tomado una gran importancia. En un país con las características geográficas como las de éste último (una enorme superficie y costa en dos océanos), los camiones aparecen como la mejor solución en la mayoría de los casos debido a que presentan una mayor flexibilidad tanto en las rutas como en los tiempos de carga, descarga y despacho frente al transporte ferroviario.

Con la gran globalización y el fuerte crecimiento del comercio internacional la intermodalidad se ha tornado fundamental. Las empresas aprovechan las oportunidades de economía de escala que presentan los grandes barcos que transportan carga desde zonas lejanas a América o viceversa. Toda la recepción se lleva a cabo principalmente en los puertos más grandes del país. Estos son Los Ángeles y Long Beach en California, para el comercio con Asia; es decir Taiwán, China y Japón entre otros. A través de este puerto pasan principalmente productos electrónicos, juguetes y equipos de computación. Ambos puertos, en conjunto movieron casi nueve millones de TEU's el año 2004 (Freight in america, 2006). Houston es el puerto a través del cual se comercia principalmente el petróleo y sus derivados además de algunos otros productos como madera y minerales. Por esto, los principales orígenes y destinos son Venezuela, Irak, Arabia Saudita y los países de la costa atlántica de América del sur como Brasil y Argentina, además de México. Por Nueva York/ Nueva Jersey se mueve la carga que va o viene principalmente de Europa y algunas zonas asiáticas. El año 2004 pasaron

aproximadamente tres millones de TEU's (Freight in america, 2006). Por aquí entran principalmente muebles, productos plásticos, indumentaria de hombre, mujer y niños además de líquidos como cerveza y bebidas no alcohólicas. (Cámara de Comercio EUA en Argentina, 2007)



Ilustración II-1: Principales puertos de USA

Fuente: GraphicMaps.com

Como se puede ver en la Ilustración II-1, la distribución geográfica de los puertos sería buena si todos comerciaron los mismos artículos, desgraciadamente esto no se cumple lo que obliga a todos a cubrir la totalidad del territorio.

En Estados Unidos, en 1994, se gastaron US\$421 billones para transportar 3,5 trillones de toneladas para consumo local. Para el año 1999 el total de gastos logísticos, incluyendo los costos de acarreo, alcanzaron los US\$921 billones, aproximadamente un 10% de la economía Estadounidense. El aumento se explica por el aumento de algunos costos importantes como el petróleo, además del crecimiento de las cantidades transportadas. (Song y Regan, 2001).

Los costos logísticos han crecido enormemente y han obligado a buscar nuevas y más creativas soluciones, buscando lograr la máxima eficiencia.

II.3. La Relación Despachador-Operador

Históricamente las empresas productoras han tenido dos maneras de satisfacer su demanda: a través de flotas propias de o a través de la subcontratación de empresas de transporte. Con el paso de los años (y también debido a las condiciones que se han establecido durante el último tiempo) la gran mayoría de las empresas se han podido dar cuenta que resulta mucho más conveniente trabajar a través de la subcontratación y así dividir los costos fijos, amortizaciones y mantenciones entre varios agentes. A través de la subcontratación los despachadores estarán pagando únicamente por el tiempo en que usan el camión y no estarán pagando los tiempos muertos en que el camión está estacionado, depreciándose, a la espera de que aparezca algún viaje. A partir de esta última manera de satisfacer la demanda por transporte nace la relación entre operadores y despachadores. Esta relación es uno de los aspectos fundamentales de esta investigación por lo que a continuación se describen las formas que ésta ha tomado en los últimos tiempos y cuales son las principales problemáticas que se generan a partir de ella.

Como se muestra en la Ilustración II-2, la relación entre despachadores y operadores puede tener diversas formas entre los extremos mencionados anteriormente. Estas van desde una integración vertical con el uso de flotas privadas, hasta el uso exclusivo de mercados *spot* a través de algún tipo de *broker* o corredor, donde en muchos casos los despachadores no tendrán relación alguna con los operadores ya que todo será coordinado por un intermediario.

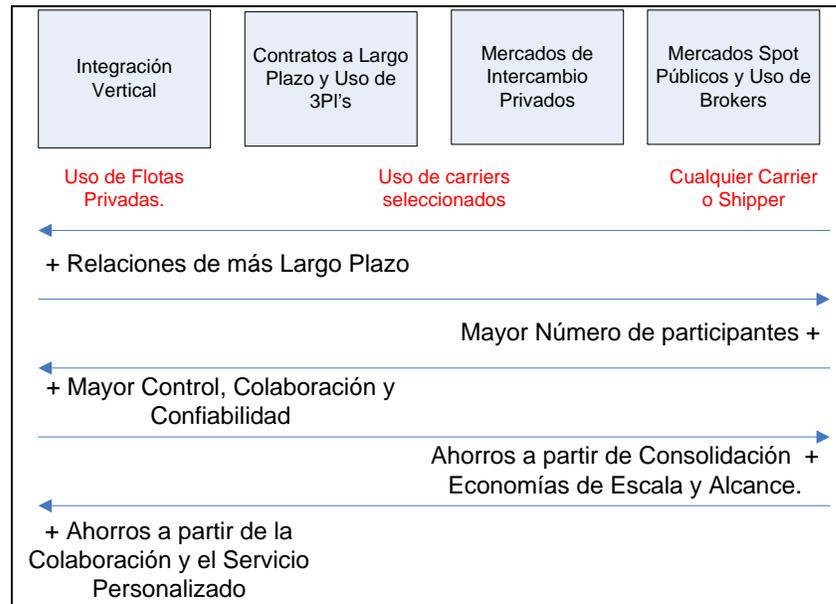


Ilustración II-2: Tipos de relación Despachador/Operador.

Fuente: Figliozzi, M.A, 2004

La complejidad actual del mercado ha llevado a muchas empresas a dedicarse a lo que ellas realmente saben hacer bien, que es producir, y delegar tanto sus movimientos de carga como otros temas logísticos a empresas especializadas (3PL, *Third party logistic*). En un principio estas empresas se dividían en aquellas que poseían flotas (*Asset-based*) y aquellas que no. Tradicionalmente, estos intermediarios podían dedicarse al proceso de consolidación de carga, a la selección de operadores y la negociación de tarifas o a todas. En muchos casos, desarrollaban sistemas de información que permitían administrar inventarios y las órdenes de sus clientes, pero sin el nivel de detalles que permiten las actuales tecnologías de información.

A medida que el mercado lo ha ido requiriendo, estas empresas intermediarias han ido evolucionando. En un principio fueron sólo intermediarias entre despachadores y operadores, pero hoy en día ya están a cargo de toda la operación logística de muchas empresas y su principal característica es que operan con altos niveles de tecnología.

Estos avances en tecnología de información y comunicaciones han sido los principales precursores del desarrollo de este nuevo tipo de agentes, quienes aprovechando el poder de Internet y los emergentes softwares han creado nuevos tipos de negocios que van desde la simple coordinación de carga y capacidad, hasta sofisticados intercambios a través de la red. Según Regan y Golob (1999), Internet y los emergentes mercados electrónicos han cambiado la forma de negociar los contratos, permitiendo que la oferta y demanda se emparejen dinámicamente a través de ellos, y que sus efectos e impactos están recién descubriéndose.

Tanta ha sido esta evolución, que según Song y Regan (2001), ya se habla de un nuevo tipo de intermediarios en el mercado de transporte de carga que han logrado diferenciarse de los tradicionales 3PL. A continuación se explican brevemente los cinco nuevos tipos de empresas que han aparecido en el último tiempo según Song y Regan (2001).

Mercados de carga en-línea. Son mercados electrónicos a través de Internet que entregan servicios de administración logística. Su finalidad apunta a coordinar demanda y capacidad, para reducir costos y dar una mejor utilización a los activos. Dentro de esta categoría pueden existir mercados *spot* (activos y pasivos), licitaciones e intercambios. En un mercado *spot pasivo*, los despachadores y operadores publican sus ofertas o requerimientos y la empresa cumple el rol de un boletín informativo, e incluso en algunos casos, existen formas de notificación para operadores y despachadores de lo que se está ofreciendo, dando a veces la opción de establecer criterios de selección pero nunca más que eso. En los *Mercados Activos* las cargas y capacidades se coordinan de manera automática. *Las Licitaciones* ofrecen a los clientes un espacio donde ver los servicios que se están rematando y poder poner una oferta por ellos. En los *Mercados de Intercambio* pueden coexistir mercados *Spot* y Licitaciones pero la empresa no puede ser un mero observador del proceso sino que debe ser un agente activo que aporte tanto en la creación de soluciones como en la búsqueda de mejores y más eficientes prácticas.

Proveedores de servicios de aplicación (ASP's). Un primer tipo de estos proveedores se dedican a desarrollar sofisticadas herramientas para la administración de la cadena de abastecimiento. El concepto es aprovechar las posibilidades de información que da Internet para optimizar los movimientos de la carga, integrar tarifas y verificar la trazabilidad de los productos, entre otras funciones logísticas, a través de la coordinación de sitios web. Un segundo tipo se dedica al desarrollo de herramientas con un menor grado de sofisticación, a un precio bastante menor también. Sus productos están orientados principalmente a empresas productoras de menor tamaño.

Sitios de compra en consolidación. Estos sitios dan la oportunidad a sus miembros, por lo general empresas operadoras de menor tamaño, de obtener a través de la unión de varias, un poder de negociación que difícilmente tendrían por separado. Se usan para la adquisición de equipamiento logístico, como también para la compra de repuestos a través de Internet.

“Infomediarios”. Son sólo proveedores de información. Su orientación es a la eficiencia del sistema y están presentes en operaciones portuarias de contenedores y pasajeros en la operación de vehículos comerciales.

“E-fulfillment”. Este tipo de intermediarios incluye aquellas empresas que entregan soporte web para el manejo de paquetes y cargas LTL generadas a través de mercados electrónicos.

Así, hoy en día existen diversas formas de intermediarios que han aparecido de acuerdo a las necesidades que ha ido presentando el mercado. Murphy y Poist (1998) mencionan que el fuerte crecimiento del comercio internacional ha llevado a los intermediarios a especializarse y hacer más eficientes las partes integrantes de los canales de distribución.

Song y Regan (2001) creen que estos nuevos tipos de intermediarios deberán traer grandes beneficios para los operadores de menor tamaño disminuyendo los costos de

acceder a los mercados privados y los costos administrativos, a través de los sistemas automáticos de coordinación y las nuevas formas de pago *on-line*.

El mayor problema que podría traer esta evolución, sería la disminución de los contratos a largo plazo y servicios menos personalizados, viéndose éstos más como un commodity que como un sistema complejo, haciendo a algunas empresas perder el tiempo y los recursos empleados en crear servicios “a la medida del cliente”. Muchos de los operadores temen también que con los nuevos sistemas que buscan la asignación óptima, sus márgenes actuales puedan disminuir.

II.4. El Problema del Operador

Dentro de la nueva manera de coordinar la oferta y demanda por transporte, los operadores cumplen un rol fundamental, pues son ellos, quienes en base a sus estimaciones de costos, determinarán las tarifas de los fletes. El problema del operador surge a la hora de realizar las ofertas dentro del proceso de remate, intentando maximizar el ingreso sujeto a decisiones estratégicas y restricciones operacionales.

Las restricciones operacionales se refieren a lo netamente técnico de la operación de empresas de transporte caminero de carga. Por otro lado, Figliozzi et al (2003) define las decisiones estratégicas como la inversión de recursos con el fin de aprender sobre los otros competidores o influenciarlos para mejorar sus resultados en futuros procesos. Según el mismo, estas decisiones pueden ser de dos tipos: identificadoras o emisoras de señales. Las primeras buscan identificar el comportamiento de algún competidor y las segundas buscan crear una imagen en la conciencia de los otros participantes. De todas formas, Cho et al (1987) afirma que no siempre se considerarán decisiones estratégicas en este tipo de procesos ya que también existen participantes que toman sus decisiones sólo sobre la base de su información privada y no serán influenciados en ningún caso por las decisiones ya tomadas por otros.

En ausencia de remates y de fuerte competencia no era necesario considerar las decisiones estratégicas en la cotización del viaje. Ésta sólo consistía en estimar el costo de realización, agregarle el margen propio de la empresa y eventualmente aplicar algún descuento (por ejemplo en caso que el destino del viaje sea una zona de alta demanda). Ahora, cuando los operadores son participantes de un proceso de remate, deberán hacer un esfuerzo mayor por estimar sus costos, buscando ofrecer una tarifa conveniente que les de oportunidades de adjudicarse el viaje sin incurrir en pérdidas. Para este fin, se deberán intentar explotar al máximo las ventajas competitivas que se puedan tener.

Figliozzi (2004) plantea la existencia de una recursividad muy difícil de romper a la hora de realizar una oferta ya que ésta dependerá fuertemente de la ubicación de la flota en ese momento, pero a la vez la futura ubicación de la flota va a depender también de las ofertas que se estén realizando actualmente. Esta característica dificulta mucho encontrar analíticamente un equilibrio. Por lo mismo, en esta investigación se usará un enfoque estocástico para modelar las decisiones de los operadores. En la siguiente sección se presentan algunos enfoques que se han usado en el pasado para modelar el comportamiento de los operadores (distintos al que se usa en este estudio).

Song y Regan (2003), en un estudio sobre remates combinatoriales, proponen calcular el monto a ofrecer a través de la siguiente expresión analítica:

$$b_{ij}^k = C_{ij}^k (1 + \rho^k) + C_{ji}^k \cdot \beta^j \quad (\text{II-3})$$

Donde:

b_{ij}^k : es el monto a ofrecer por el operador k.

C_{ij}^k : es el costo percibido por el operador k de realizar el viaje entre i y j.

ρ^k : es el margen exigido por el operador k.

α^j : es la probabilidad de no encontrar un viaje de retorno en el destino j .

La forma propuesta en (II-3) contempla de buena forma los elementos operacionales. Sin embargo si se desean incorporar también elementos estratégicos se deberán agregar más términos. Esta misma expresión servirá de base en este estudio para modelar la forma mediante la cual los operadores decidirán los montos a ofrecer en cada remate en que participen.

Según Krishna (2002), se han logrado encontrar estrategias óptimas de apuesta para remates simplificados, pero para el caso de múltiples unidades, el problema todavía es intratable.

II.5. Enfoques usados para modelar el problema del operador

Desde que se descubrió la potencial utilidad de las licitaciones secuenciales, han sido dos los principales enfoques a través de los cuales se ha intentado modelar el comportamiento de los operadores. Usando teoría de juegos se ha buscado encontrar un equilibrio en remates secuenciales. Por otro lado, a través de la teoría de Racionalidad Limitada⁵ se ha intentado relajar algunos supuestos de los modelos de teoría de juegos tradicionales que resultan poco reales. A continuación se presenta una breve explicación de estos dos enfoques.

⁵ Traducción de “Bounded Rationality”

II.5.1. Teoría de Juegos.

La teoría de juegos no-cooperativa busca estudiar el comportamiento de agentes en situaciones donde su comportamiento dependerá del comportamiento de sus oponentes. La finalidad de su aplicación al caso de las licitaciones es capturar las interacciones estratégicas, ya que reconoce que las decisiones de los participantes serán afectadas por la presencia de competidores. De esta forma se busca replicar el comportamiento en situaciones reales, en las cuales los operadores pueden actuar por iniciativa o como una reacción a una acción de sus oponentes.

La teoría de juegos supone que todos los jugadores son agentes racionales, es decir, actúan de manera de maximizar su utilidad representativa. Además asume de conocimiento común lo que todos los competidores deben saber y estar conscientes que es conocido por los otros agentes. Por último, se supone que todos los actores cooperadores en este caso toman un tiempo no significativo para evaluar todas las alternativas que se les puedan presentar.

Los operadores podrán tener costos privados, cuya magnitud exacta será desconocida por el resto, y costos comunes, los que serán iguales y conocidos para todos. Entre estos dos tipos de costos están los costos interdependientes, en los cuales existe dependencia entre las valoraciones hechas por los distintos operadores.

Figliozzi (2004) presenta el modelo SIPV (*Symmetric Independent Private Values Model*) presentado por Wolfstetter (1999) como un punto de partida para el uso de la teoría de juegos en la modelación de remates secuenciales para transporte de carga. Este modelo asume, principalmente, que se licita sólo un objeto indivisible, que existen varios competidores idénticos y neutros al riesgo. Se asume además que la valoración que los competidores tienen del objeto en cuestión no es conocida por sus competidores.

Bajo el supuesto que las valoraciones de los operadores (σ) son independientes e idénticamente distribuidas uniforme $[0,1]$, el modelo entrega funciones de oferta o apuesta ($b^*(\sigma)$) para un equilibrio simétrico de la forma:

$$b^*(\theta) = \left(1 - \frac{1}{n}\right)\theta \quad (\text{II-4})$$

$$b^*(\theta) = \theta \quad (\text{II-5})$$

La expresión (II-4) corresponde a la estrategia obtenida para remates a la holandesa y de primer precio, mientras que (II-5) es la expresión obtenida para remates a la inglesa o de segundo precio. Para ambos casos, se obtiene que el precio de equilibrio esperado a ofertar, para cualquier participante en el remate será igual a $\frac{n-1}{n+1}$. Esto se da, debido a que para el caso de remates a la holandesa y de primer precio (II-4), el valor esperado de la valoración privada (θ) será el mayor orden estadístico de la muestra de n valoraciones, mientras que para el caso de remates a la inglesa y de segundo precio (II-5) el valor esperado será el segundo mayor orden estadístico $\left(\frac{n-1}{n+1}\right)$.

Como se puede ver, a medida que el número de competidores crece, el precio esperado de equilibrio también crece y tiende a 1, que será la máxima valoración posible, por lo que la competencia beneficiará a los vendedores mientras que perjudicará a los compradores.

En general, modelar matemáticamente el comportamiento de los operadores en licitaciones de carga de camiones resulta poco factible. Para Rothkopf (2001), la complejidad se debe fundamentalmente a los supuestos necesarios para lograr un modelo apegado a la realidad (racionalidad, simetría y conocimientos comunes); a medida que

esos supuestos se relajan, la complejidad disminuye, a la vez que el modelo se aleja de la realidad.

II.5.2. Teoría de la Racionalidad Limitada

La teoría recién presentada, parte de la base que se cumplen los supuestos de racionalidad, tiempo despreciable para la evaluación de oferta, existencia de información común para todos, y simetría entre los participantes. Sin estas condiciones no es posible encontrar un equilibrio de Nash. Desafortunadamente, tanto en el mercado en estudio como en la mayoría de las situaciones reales, estos supuestos no se cumplen, por lo que lo anterior sólo representa una débil aproximación. Como ejemplo, se puede afirmar que en muchos casos los operadores no tomarán las mismas decisiones, incluso en presencia de la misma información y con el mismo nivel de conocimiento del mercado. Figliozi et al. (2003) da una representación esquematizada del proceso que permite ver las múltiples interacciones y la complejidad existente (ver Ilustración II-3). Se puede observar el origen de la diferencia en las ofertas que pueden colocar dos individuos con la misma información. El estado de la flota, las condiciones de la nueva demanda y la configuración del sistema a la hora del remate serán elementos ajenos al operador. Pero los objetivos de cada operador y el aprendizaje que él haya podido tener de procesos anteriores determinarán fuertemente la oferta colocada. Como éstos serán propios de cada operador y en muchos casos diferentes para todos, desembocarán necesariamente en ofertas distintas.

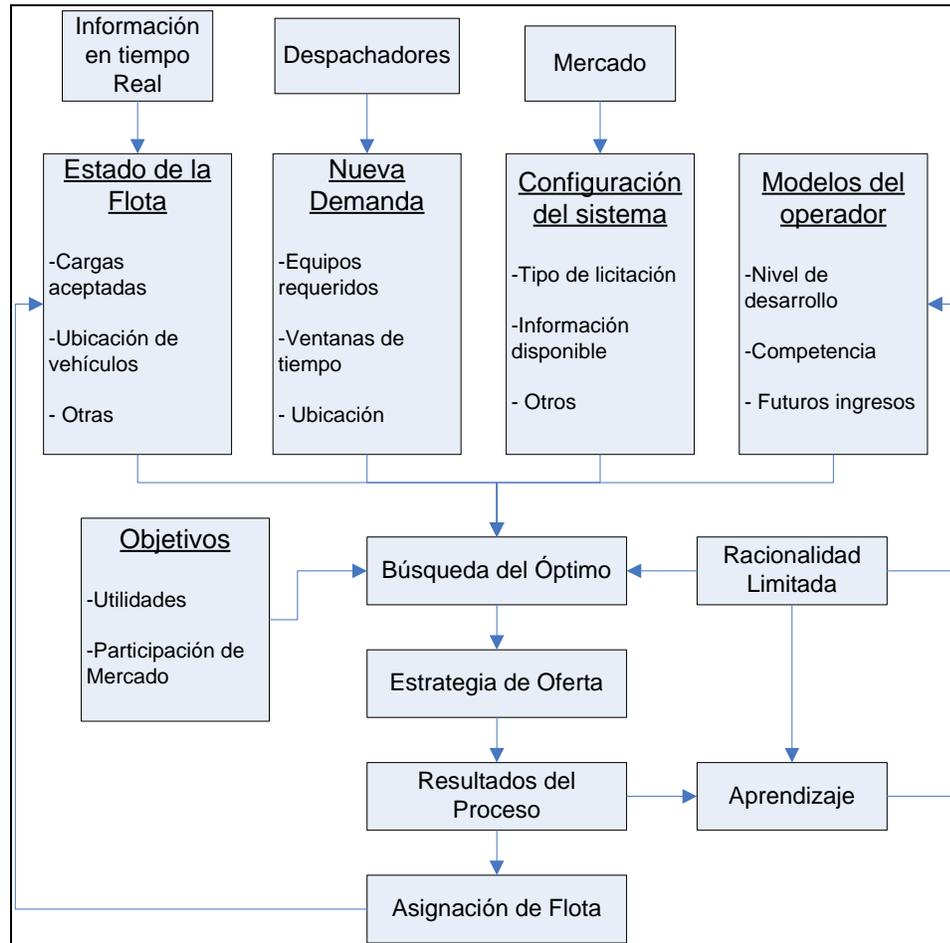


Ilustración II-3: Esquema del proceso de licitación.

Fuente: Figliozzi et al. 2003.

Herbert Simon (1956) plantea que en muchos casos los agentes económicos usan heurísticas en vez de una optimización formal para su toma de decisiones, debido a que la complejidad del problema hace que el tiempo necesario para evaluar todas las alternativas sea muy grande.

Para el caso de los operadores en licitaciones por carga, el supuesto de racionalidad (maximizar utilidad) implica que éstos deberán resolver un problema, que en muchos casos va más allá de lo que realmente son capaces.

Según Figliozzi et al (2003), la complejidad del proceso es tal, que en la mayoría de los casos los operadores no tienen ninguna noción del efecto que provocarán sus acciones en el comportamiento de los otros participantes, tanto en la actualidad como en el futuro. Si es necesario considerar que la repetida interacción entre los agentes participantes da la posibilidad de ir adquiriendo un conocimiento acerca de las estrategias usadas por el resto de los participantes, para luego a través de ellas, y con distinto grado de sofisticación, poder tener una idea de los efectos que provocará en el futuro alguna decisión que se tome en el presente.

Los mismos autores afirman que desde un punto de vista estratégico, las limitaciones cognitivas y computacionales se pueden evidenciar en cuatro áreas. La primera se refiere a la identificación, ya que los competidores tendrán limitaciones para descubrir los tipos de comportamiento que presenten sus adversarios. La segunda y tercera apuntan a las limitaciones para leer y enviar determinadas señales al resto de los concursantes; aunque se cuente con inmensos dispositivos de memoria, siempre existirán dificultades para retener hechos del pasado que permitan anticipar hechos del futuro. Finalmente, y aunque se pudiera contar con información perfecta, la capacidad de formular y resolver complejos problemas de optimización estocástica será siempre limitada.

El mismo artículo menciona la importancia de considerar el aprendizaje de los distintos actores a la hora de estudiar su comportamiento. Se propone modelar este aprendizaje a través de diferentes heurísticas como algoritmos genéticos, aprendizaje reforzado⁶(que considera la elección como un proceso puramente estocástico) o la regla “Tit for Tat”. Esta última ha sido considerada por bastantes autores luego que Axelrod (1984) estudiara distintas estrategias para resolver el dilema del prisionero, obteniendo los mejores resultados con ella. Este algoritmo considera 3 pasos:

⁶ Traducción de Reinforcement Learning.

1. El operador B calcula el promedio de las últimas T ofertas (\bar{a}), hechas por su competidor.
2. B calcula un factor $\alpha = \max \left\{ \frac{\bar{a}}{mc}, 1 \right\}$ donde mc es su costo marginal promedio en las últimas T licitaciones.
3. Finalmente el valor de su oferta será su costo marginal multiplicado por el factor α y su competidor hará lo mismo.

Los autores presentan dos ejemplos numéricos con 2 y 3 competidores. en cada uno de estos experimentos se considera que siempre habrá al menos un competidor cuya estrategia será ofertar de acuerdo a su costo marginal mientras que el otro tendrá un factor que variará entre 0,5 y 1,5 que multiplicará su costo marginal. El primer experimento arrojó que el factor que maximiza el beneficio de ambos competidores es 1, o sea, la estrategia de apostar de acuerdo a costo marginal.

El segundo ejemplo presentado, que es el que realmente interesa, implementa una metodología de reforzamiento del aprendizaje. Esta metodología asume que la elección es un proceso puramente estocástico y que las probabilidades de elección serán proporcionales a los resultados obtenidos en el pasado. El resultado es muy satisfactorio ya que la probabilidad más alta se obtiene cuando el factor es 1, al igual que en el caso anterior.

Como la estrategia de costos marginales será un Equilibrio de Nash, cualquier intento de alguno de los competidores por modificar la situación, buscando un mayor beneficio, no podrá ser sino peor para el mismo. Esto no ocurre si se introdujera la metodología “*Tit for Tat*”, pues en este caso un agente con buen conocimiento podría llevar el comportamiento de sus competidores a una posición más favorable para él.

Ahora que ya se ha explicado el concepto de racionalidad limitada, y expuestos algunos resultados obtenidos a través de ella, hay que mencionar también que su introducción en el modelo de teoría de juegos trae serios problemas, pues considerar más de dos jugadores agrega mucha complejidad. Además, una vez que el supuesto de racionalidad se ha eliminado, muchas suposiciones parecen injustificadas con lo que aparecen muchas arbitrariedades. De ser estas consideradas, habrá que ver forma de incorporarlas adecuadamente dentro del contexto del problema de los operadores en remates secuenciales. (Figliozzi, 2004). Debido a la alta complejidad que esta metodología incorpora sin asegurar resultados de una calidad que justifiquen su uso, no será utilizada en este estudio.

II.6. Remates Combinatoriales

Un tipo de remate que ha adquirido especial importancia en el último tiempo han sido los denominados remates combinatoriales. La novedad que presenta este tipo en el mercado del transporte de carga es que los viajes no se rematan secuencialmente, sino que a través de paquetes de pares a servir durante un determinado período de tiempo. Por lo general este tipo de procesos implican contratos de más largo plazo y buscan facilitar la explotación de economías de alcance y reducción de movimientos vacíos para los operadores, que a su vez debería significar una disminución en las tarifas para las empresas despachadoras. Caplice (1996) examina la presencia de economías de alcance y concluye que tanto los procedimientos tradicionales como las licitaciones secuenciales no contribuyen a su existencia. Propone además que el uso de remates combinatoriales permite aprovechar sinergias existentes en ciertos conjuntos de pares origen-destino. En el mismo artículo estudia ciertos métodos para la construcción de paquetes de líneas que los despachadores puedan rematar como unidades indivisibles. Durante el último tiempo se han hecho aplicaciones de este tipo de licitaciones en los más diversos campos. Algunas de estas aplicaciones y sus resultados se presentan luego en la sección II.6.3.

Song y Regan (2003) afirman que los remates combinatoriales pueden ser aplicadas a cualquier asignación de recursos en que existan efectos de sustitución, complementariedad y en que los participantes del proceso puedan preferir hacer ofertas por paquetes de objetos más que por objetos individuales.

Esta nueva manera de rematar carga a transportar trae asociada un problema no trivial para el rematador, además del ya mencionado problema que tienen los participantes para decidir el monto a ofrecer que se agudiza en este caso. Estos dos nuevos problemas se detallan a continuación.

II.6.1. El problema de poner una oferta

La gran mayoría de los estudios que se han dedicado a los remates combinatoriales se han enfocado en el despachador, en cómo lograr un buen diseño del proceso para lograr buenos resultados y en cómo resolver el problema de la elección del ganador. En contraposición, Song y Regan (2003), creen que la situación que enfrentan los operadores es mucho más compleja que aquella enfrentada por los despachadores y presentan dos preguntas como base de su estudio: ¿cómo deben determinar el verdadero valor de un conjunto de objetos? , y ¿cuál debe ser la estrategia a seguir por un operador en un remate combinatorial? Los autores se enfocan en la primera pregunta asumiendo que el mecanismo garantizará que los otros participantes oferten de acuerdo a sus reales valoraciones.

Cuando se hable de remates combinatoriales, una línea será un par origen-destino cualquiera en el que exista demanda por transporte y un ciclo será un conjunto de líneas en el cual el primer origen coincida con el último destino.

Debido a la existencia de economías de alcance, el valor de una nueva línea a servir depende tanto de las líneas que se sirven actualmente como de la posibilidad que tenga el operador de adjudicarse algunas de las líneas que se están licitando.

Para encontrar el verdadero valor de las líneas los autores proponen resolver el siguiente SPP (*Set Partitioning Problem*):

$$\begin{aligned} \min \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{s.a. } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = 1 \quad \forall i \in U \cup V \\ x_j = 0, 1 \end{aligned}$$

Donde j es el índice de ciclos válidos, c_j es el costo del ciclo j , x_j indica si el ciclo pertenece a la asignación óptima y a_{ij} es una variable que toma el valor 1 cuando la línea i pertenece al ciclo j y 0 en otro caso.

La solución del problema entregará la asignación óptima de líneas. A partir de la solución encontrada se puede calcular el valor de las nuevas líneas en el ciclo óptimo con los ingresos provocados por las líneas actuales, el costo operacional del ciclo óptimo y la probabilidad de obtener en el futuro cargas para los movimientos vacíos del ciclo.

Este tipo de problema es de la clase NP-completo, por lo que no existirá un algoritmo que entregue la solución óptima en tiempo polinomial y sólo se podrá contar con una solución aproximada. Bramel y Simchi-Levi (1998) mostraron que para el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, muy similar al problema presentado, la solución al problema lineal relajado será muy cercana a la solución entera óptima para el problema original.

II.6.2. El problema de elección del ganador

A diferencia de los remates secuenciales simples, en que la mejor oferta se adjudica el remate, la elección del ganador en los remates combinatoriales representa el problema más difícil de resolver para quien está demandando el servicio.

Si se consideran subconjuntos de líneas fijos, la licitación podría considerarse un remate simple, estos paquetes podrían licitarse de manera secuencial si se deseara, y su análisis sería mucho más sencillo. Cuando se desea rematar múltiples unidades a la vez y que los competidores hagan sus ofertas en el subconjunto en el que están interesados, el análisis crece mucho en complejidad ya que se deberán analizar $2^N - 1$ situaciones para realizar una oferta.

Ockenfels y Kittsteiner (2006) plantean la existencia de un *trade-off* entre la simplicidad del proceso y su eficiencia. En la literatura existente, el problema ha sido tratado considerando el caso simple, ya que para el caso de múltiples unidades la complejidad es mucha.

Rothkopf et al. (1998), presenta una formulación equivalente al SPP (*Set Packing Problem*) y afirma que la accesibilidad del problema dependerá de la estructura de combinaciones permitidas más que de el número de ofertas recibidas. Además de esto, presentan varias estructuras en las que el problema es computacionalmente manejable. Vohra y de Vries (2001) presentan otras dos formulaciones y analizan las formulaciones anteriores a través de métodos exactos y aproximados.

El caso de múltiples unidades también ha sido estudiado por algunos autores que han usado métodos similares. Leyton-Brown et al (2000) y Gonen y Lehmann (2000) plantean un algoritmo combinado de búsqueda en profundidad y Branch-and-Bound; la diferencia entre ambos estudios radica en los métodos de acotamiento y orden usados.

II.6.3. Aplicaciones

Debido a la gran eficiencia que se ha demostrado que presentan los remates combinatoriales, múltiples han sido sus aplicaciones en el último tiempo.

Ledyard, Olson y Porter (2003), reportan la primera aplicación de remates combinatoriales con fines comerciales. La base de esta implementación es el artículo de

Banks, Ledyard y Porter (1989) “*Allocating uncertain and unresponsive resources: An experimental approach*” y se llevó a cabo en 1992 para *Sears Logistic Service (SLS)*. Las bases del concurso proponían dos conceptos fundamentales:

1. Los contratos tendrían una duración de tres años.
2. Todas aquellas empresas que se hubiesen adjudicado una o más líneas tendrían acceso en el futuro a líneas que estuviesen en concurso ya sea por SLS u otra empresa.

Para este caso se usó un complejo diseño de remate. El proceso consistía en una combinación de remates cerrados e iterativos. Se desarrolló en distintas rondas, en cada una de las cuales los interesados entregaban sus ofertas cerradas, donde sólo la empresa y cada proveedor conocían la oferta. Al finalizar cada ronda se daba a conocer la oferta ganadora que se debía superar en la siguiente ronda. Las rondas tenían un tiempo fijo y a medida que las ofertas iban convergiendo, las distintas líneas se iban asignando.

El proceso fue todo un éxito, y debido a los buenos resultados, durante el primer período se llevaron a cabo seis remates adicionales. Sólo el primer año se obtuvieron ahorros por US\$13 millones, lo que significó una reducción de costos de aproximadamente un 13%. Luego del primer período de tres años se estima que los ahorros fueron aproximadamente US\$84,7 millones.

Song y Regan (2003) presentan dos aplicaciones más. En 1994 se propuso a la comisión federal de comunicaciones de Estados Unidos (FCC) su uso para asignar los derechos espectrales. Ese año la oficina desechó la propuesta por considerar muy difícil su implementación, pero ocho años más tarde, en 2002, se licitaron los derechos de esta forma.

El año 2001, la empresa sueca Volvo llevó a cabo un proceso combinatorial para asignar los empaques de madera. Se licitaron 600 ítems agregados en 14 sub-conjuntos y

con la implementación del proceso lograron un ahorro de 7,1 millones de coronas suecas, además de disminuir el número de proveedores de 15 a solamente 6.

La experiencia muestra que cuando se desea rematar más de un producto, los remates combinatoriales entregan mejores resultados, aunque su complejidad hace difícil su diseño y estudio, lo que ha limitado su masificación.

II.7. Software de ruteo de vehículos

Ya se ha hecho alusión a que los avances en tecnologías de información y comunicaciones, principalmente la tecnología Web, han sido el gran catalizador del cambio que se viene produciendo desde hace algunos años en el mercado del transporte de carga. En esta sección se presentan el desarrollo que han experimentado los softwares de ruteo de vehículos comerciales, herramienta que ha ayudado mucho a la eficiencia del mercado.

Figliozi (2004), analiza tres tipos de *Dynamic Routing Vehicles* (DRV) que difieren en la forma en como afrontan el problema del ruteo a mínimo costo.

El primer tipo sólo considera el costo de un nuevo embarque como lo que significará el movimiento vacío que se debe agregar a la ruta programada. Además, cada uno de los vehículos de la empresa se considera como una flota aparte, los niveles de comunicación y coordinación se reducen al mínimo por lo que si cada camión hiciera una oferta independiente no alteraría el desarrollo del remate. Este tipo de enfoque no considera la naturaleza estocástica del problema.

El segundo tipo analizado, "*Static Fleet Optimal*" (SFO), es similar al anterior sólo que ahora se optimiza el ruteo a nivel de flota y no de vehículos, debido a esto se debe mantener una buena comunicación con un ente centralizado que coordine y actualice los costos extras en que se incurrirá al tener movimientos vacíos al final de alguna de las rutas que ya se están sirviendo. Debido a que tampoco considera la naturaleza

estocástica del problema, se asumen como omitidos los costos de oportunidad frente a futuros posibles viajes.

Por último, el tipo “*One step look ahead Fleet Optimal Opportunity Cost*” (1FOOC), considera el costo de oportunidad asumiendo que después de la licitación que se está llevando a cabo vendrá sólo una más (de ahí el nombre *1 step look ahead...*). Aunque no cubre todo el problema, sí considera la aleatoriedad de éste y da una fácil aproximación de la importancia del costo de oportunidad en un mercado competitivo.

Los autores llevan a cabo una simulación para distintos largos de ventanas de tiempo y distintas tasas de arribo de viajes. A través de ésta, se obtiene que los beneficios de usar un sistema del tipo SFO v/s el tipo I son mayores en todos los casos alcanzando hasta a un 45% más de utilidades para ventanas de tiempo largas y tasas de arribo medias.

Finalmente, no se encuentra evidencia para decir que los beneficios de contar con un DRV que considere costos de oportunidad, entregará mejores resultados que uno de tipo II (SFO). Si bien es cierto, entregó mejores resultados para la mayoría de los casos, no lo hizo para todos por lo que esto podría ser consecuencia de la tasa de llegada de viajes o del largo de las ventanas de tiempo.

III. REMATE DOBLE EN MERCADOS SPOT.

Los movimientos vacíos constituyen una parte importante del mercado del transporte de carga, debido a la aleatoriedad (tanto temporal como espacial) de la demanda por este servicio, además de los desbalances de flujos siempre existentes.

Los remates a través de Internet, como mecanismo de asignación de viajes, representan oportunidades únicas para todos los actores de este mercado. Para los operadores es una oportunidad de reducir los costos derivados de los movimientos vacíos y transformarlos en utilidades, a la vez que otorga a los despachadores la posibilidad de realizar envíos con tarifas sustancialmente menores a las de mercado. La Ilustración III-1 presenta las relaciones existentes en el mercado del transporte de carga.

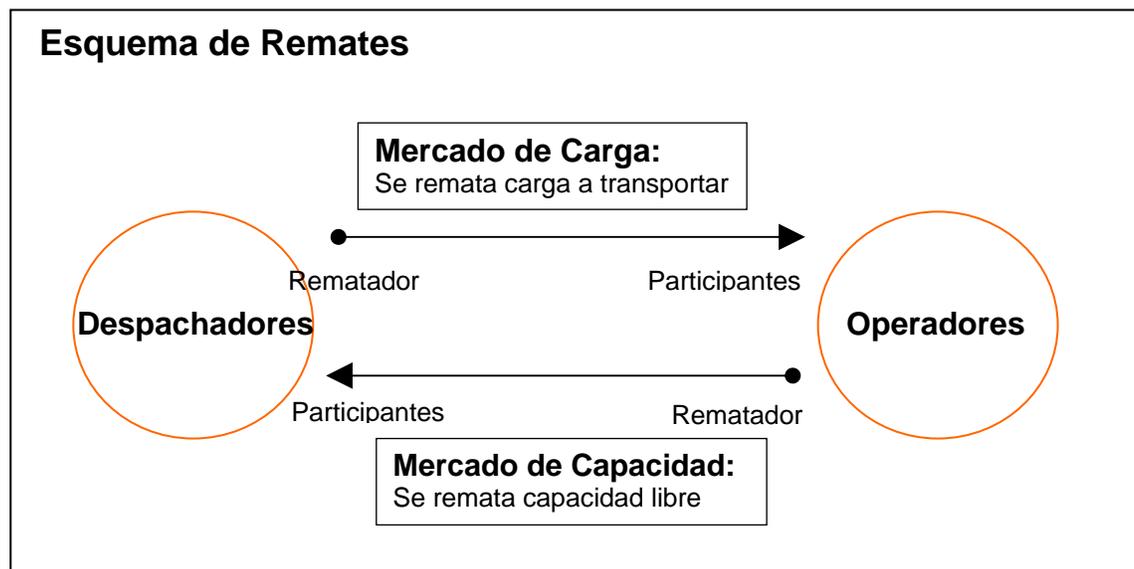


Ilustración III-1: Relaciones existentes en el mercado.

Fuente: Elaboración Propia

El principal objetivo de este estudio es demostrar que la disponibilidad de información en tiempo real para operadores y despachadores, mejorará la eficiencia del mercado posibilitando rematar capacidad ociosa, además de carga, en un mercado *spot*. Como se mencionó antes, la novedad que se presentará en este estudio es que además de permitir el remate de carga por parte de los despachadores como ya existe en la actualidad, permitirá también el remate de espacios libres por parte de los operadores como una manera de minimizar sus reposicionamientos vacíos.

III.1. Definición de variables

d_{ij}^s : Demanda temporal enfrentada por el despachador s en el par $i-j$.

h^s : El costo de mantención en inventario del despachador s .

Q_{ij}^s : Lote óptimo de abastecimiento del operador s en el par $i-j$.

f_{ij}^s : Frecuencia de abastecimiento del despachador s en el par $i-j$.

T_{ij}^s : Es el período de abastecimiento del despachador s en el par $i-j$; notar que

$$T_{ij}^s = \frac{1}{f_{ij}^s}, \quad \forall i, j, s$$

f_{ij}^m : Frecuencia de mercado para el par $i-j$.

α_k : Parámetro que representa las características específicas del operador k .

t_{ij}^* : Tarifa de mercado existente en el par $i-j$.

t_{ij}^{dsc} : Tarifa de descuento ofrecida para el par $i-j$ en el mercado de capacidad.

b_{ij}^k : Es el monto ofrecido por el operador k para servir el viaje en el par $i-j$.

C_{ij}^k : Es el costo directo de servir el par $i-j$ percibido por el operador k .

ρ^k : Es el margen de utilidad exigido por el operador k .

S : Conjunto de despachadores (empresas que demandan servicios de transporte).

K : Conjunto de operadores (empresas que ofrecen servicios de transporte).

III.2. Supuestos básicos

La demanda por transporte de los despachadores se considera elástica con respecto a las tarifas. Esta condición es esencial para el proceso en estudio, pues se busca que los despachadores tengan una política dinámica de transporte y manejo de inventario para poder analizar cómo se comporta el sistema frente a variaciones en la tarifa.

Los operadores existentes en el mercado cuentan con sólo un depósito que podrá estar ubicado en cualquier punto del espacio.

Los despachadores asignan sus viajes a un solo operador a través de remates secuenciales abiertos donde la elección del ganador se hace exclusivamente según el precio ofrecido, ya que se asume un mismo nivel de servicio para todos los competidores del proceso. De esta forma, el servicio de transportar carga se puede ver como un *commodity*.

Solamente se rematan viajes *spot*; todos los contratos a largo plazo entre operadores y despachadores existentes en el sistema no se negocian a través de remates. Estos contratos a largo plazo son fundamentales ya que, al aumentar la distribución espacial de los camiones contribuyen en la aparición de economías de alcance.

Se supondrá también que los despachadores operarán bajo una política de inventario con cantidad económica de pedido (*Economic order quantity –EOQ*). El uso de esta política permitirá el tratamiento matemático del problema en presencia de elementos no-lineales, entregando a su vez resultados muy cercanos al óptimo (Wilson, 1934).

La forma como los operadores estiman las tarifas de mercado para construir sus políticas óptimas de abastecimiento para un determinado intervalo de tiempo se modela a través de previsión miope (*myopic foresight*), metodología que se basa en el pasado y supone que todo se mantendrá sin mayores cambios.

La demanda final de los productos transportados se supone inelástica con respecto al precio final del bien. Este supuesto hará que cualquier cambio inesperado en la tarifa de los viajes se traspase en su totalidad al precio del bien final sin alterar la demanda enfrentada ni la correspondencia entre oferta y demanda. De esta manera, los resultados obtenidos de este estudio serán relativos pues cualquier alteración que sufran las tarifas de transporte hará que oferta y demanda se muevan junto a éstas impidiendo que tanto operadores como despachadores puedan quedar fuera de mercado.

III.3. Política de inventario EOQ

A continuación se presentan algunas expresiones que se obtienen a partir de esta política de inventarios y que serán usados más adelante. El fundamento del modelo EOQ es realizar el abastecimiento en lotes que minimicen el costo total de transporte. Éste se define de la siguiente manera:

$$CT_{ij}^s = \frac{t_{ij}^* \cdot d_{ij}^s}{Q_{ij}^s} + \frac{h^s \cdot Q_{ij}^s}{2}$$

Dado que CT_{ij}^s es convexa con Q_{ij}^s , si buscamos el lote que minimice el costo total debemos derivar la expresión anterior con respecto a Q_{ij}^s e igualar a cero. Haciendo lo

anterior obtenemos que $\frac{h^s}{2} = \frac{t_{ij}^* \cdot d_{ij}^s}{Q^2}$

De esta forma, el tamaño de lote que minimiza el costo total del despachador s será:

$$Q_{ij}^s = \sqrt{\frac{2 \cdot d_{ij}^s \cdot t_{ij}^*}{h^s}} \quad (\text{III-1})$$

Es importante destacar que el uso de una política *EOQ* hará que la demanda por transporte sea elástica con respecto a la tarifa, ya que los tiempos entre abastecimientos dependerán de esta última, y un cambio en ella, llevará necesariamente a cambios en la planificación de las empresas despachadoras.

La siguiente ilustración muestra la evolución del nivel de inventario de una empresa que opera con política *EOQ*.

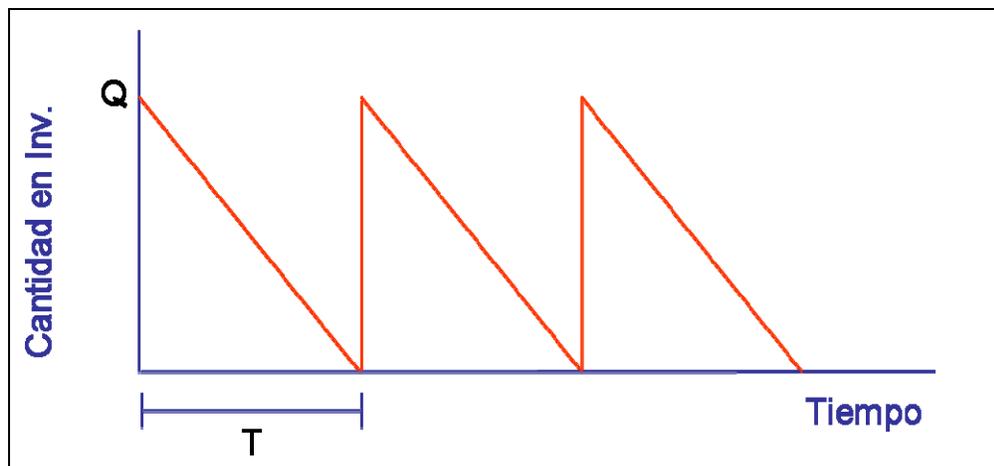


Ilustración III-2. Nivel temporal de inventarios en presencia de EOQ.

Fuente: Elaboración propia.

De la Ilustración III-2 se puede deducir una expresión para el período de abastecimiento (T_{ij}^s) en el par ij .

$$T_{ij}^s = \frac{Q_{ij}^s}{d_{ij}^s} \Rightarrow T_{ij}^s = \frac{1}{d_{ij}^s} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d_{ij}^s \cdot t_{ij}^*}{h^s}} \quad (\text{III-2})$$

$$T_{ij}^s = \sqrt{\frac{2 \cdot t_{ij}^*}{h^s \cdot d_{ij}^s}}$$

Como la frecuencia de abastecimiento de un despachador s en el par $i-j$ (f_{ij}^s) es el inverso del período, esta se puede expresar de la siguiente forma:

$$f_{ij}^s = \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}} \quad (\text{III-3})$$

La frecuencia de mercado o frecuencia total para un determinado par $i-j$ será la agregación de las frecuencias de todos los despachadores existentes en el par:

$$f_{ij}^m = \sum_{s \in S} f_{ij}^s = \sum_{s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}} \quad (\text{III-4})$$

Tanto operadores como despachadores deberán jugar el rol de rematadores y participantes según sea el caso correspondiente. Esta condición de dualidad es lo que se busca presentar con esta investigación y lo que da el nombre de remate doble al proceso de que es objeto este estudio. A continuación veremos el comportamiento de los agentes en ambas situaciones.

III.4. Operadores en el rol de participantes

Al operar el mercado de carga, serán los despachadores quienes deberán cumplir el rol de rematadores y los operadores los que cumplan el de participantes. En este estudio, se considera que cada vez que se remate un viaje, los operadores pondrán ofertas basándose en dos elementos fundamentales: (i) el costo directo de servir el viaje solicitado y (ii) el costo asociado a un posible reposicionamiento vacío. Este último depende tanto del costo directo de reposicionamiento en una ubicación deseada como también de la probabilidad de ganar algún contrato una vez finalizado el viaje por el cual se está haciendo la oferta. Elementos influyentes en la probabilidad de triunfo serán las características propias de cada operador, como su aversión al riesgo, el conocimiento que pueda tener sobre el funcionamiento del mercado y el nivel de tecnología (como software de ruteo dinámico y otros que le faciliten al operador la colocación de ofertas

eficientes). Estos elementos se representan en el modelo a través del parámetro α_k , que será único para cada operador y un elemento muy relevante en la probabilidad de triunfo del operador k .

Es razonable también asumir que la probabilidad de ganar un contrato en un par ij dependerá de la frecuencia demandada de viajes en ese par; mientras más viajes se realicen en el par, mayor será la probabilidad. Como se desprende de la expresión (III-3), la frecuencia demandada de viajes dependerá de la tarifa de mercado; una menor tarifa implicará una mayor frecuencia de viajes en el par, haciendo más pequeño el lote óptimo de abastecimiento (ver expresión III-1).

La interdependencia entre la frecuencia de viajes en una determinada línea y la probabilidad de triunfo en ésta misma puede representarse a través de una función logit. Esta función permite que la probabilidad de triunfo de los operadores dependa sólo de las diferencias entre las características propias de estos (representadas por el parámetro específico). De esta manera, la probabilidad del operador k , de adjudicarse una licitación en el par ij estará dada por:

$$P_{ij}^k = \frac{e^{\alpha_k \cdot f_{ij}^m}}{\sum_{\forall l \in K} e^{\alpha_l \cdot f_{ij}^m}} \cdot \delta_{ij} \quad \forall i, j, k \quad (\text{III-5})$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } f_{ij}^m > 0 \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad \forall i, j$$

La frecuencia será el parámetro que determinará la forma de la distribución; a mayor frecuencia se producirán cambios más fuertes en las probabilidades frente a pequeñas diferencias entre los competidores. La introducción de la variable δ_{ij} en la expresión representa la probabilidad de triunfo en un par donde no existirán viajes, lo que hará que ésta será 0 para todos los participantes independiente de sus características propias.

Como la frecuencia enfrentada por todos los operadores será la misma, e igual a la frecuencia de viajes en el par ij , la expresión (III-5) se puede reescribir de la siguiente forma:

$$P_{ij}^k = \frac{1}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot f_{ij}^m}} \cdot \delta_{ij} \quad \forall i, j, k \quad (\text{III-6})$$

En la expresión anterior se puede ver que manteniendo los parámetros específicos constantes, al aumentar la frecuencia total de viajes en el par (f_{ij}^m), aumentará la probabilidad de adjudicarse un viaje frente a operadores con parámetros específicos menores y disminuirá con respecto a aquellos con valores de α_k mayores. Debido a que el modelo trabaja en base a la diferencia de los parámetros específicos, no será importante el orden de magnitud de estos, sino más bien, las diferencias que existan entre ellos.

Reemplazando la expresión obtenida para la frecuencia de mercado (III-4), en la expresión de la probabilidad de triunfo (III-6) se puede expresar esta última, únicamente en función de parámetros propios de los despachadores involucrados en el par $i-j$ y del operador que está haciendo la oferta (k), de la siguiente manera:

$$P_{ij}^k = \frac{1}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}}} } \cdot \delta_{ij} \quad \forall i, j, k \quad (\text{III-7})$$

De esta forma, los operadores, deberán enfrentar un *Trade-off* entre las tarifas a ofrecer y la probabilidad de obtener futuros contratos, ya que ofrecer tarifas mayores los elevará las futuras tarifas de mercado, disminuyendo las probabilidades futuras pero obteniendo mayores beneficios hoy. En la teoría el parámetro específico (α^k), distinto

para cada operador, y que representará su capacidad histórica para adjudicarse remates no dependerá de la cantidad de remates en los que ha participado anteriormente sino que únicamente de los que ha ganado, lo que será, implícitamente, una relación a lo exitosas que puedan haber sido sus estrategias pasadas, para efectos de la simulación el parámetro será fijo y asignado aleatoriamente para cada operador. Es importante notar que esta probabilidad es un elemento fundamental a la hora de poner una oferta por lo que no podrá depender en ningún caso de elementos del remate en que se está participando.

De la expresión III-7 se desprende también que la tarifa de mercado junto al costo de mantención en inventario son los principales elementos que determinarán las políticas de inventario y frecuencias óptimas de abastecimiento. Para efectos de la simulación supondremos que las empresas despachadoras planificarán estas últimas, sobre la base de las tarifas obtenidas en los procesos de licitación llevados a cabo para el par en cuestión durante un período de tiempo anterior.

III.5. Despachadores en el Rol de participantes

Una vez servidos sus contratos (tanto aquellos de largo plazo como aquellos adjudicados a través de licitaciones), cada operador dispondrá de camiones que estarán obligados a realizar viajes de retorno sin transportar carga alguna. En esos casos el operador intentará generar demanda ofreciendo su capacidad disponible a tarifas sustancialmente menores a las de mercado, incluso en algunos casos cobrando únicamente el costo marginal (costo extra por realizar el viaje con carga).

Dado que el despachador decide el momento y la cantidad a enviar, buscando minimizar el costo total de transporte e inventario, una baja en las tarifas de transporte podría gatillar un cambio en la política de abastecimiento, alterando también la demanda por transporte en el par ij como respuesta a las favorables condiciones del mercado del momento.

En el caso de producirse una orden más temprana de lo normal, el despachador estará incurriendo en un costo extra de inventario. Por esto, la tarifa de descuento ofrecida por el operador sólo será conveniente si la rebaja es mayor al costo total extra generado por el viaje. Esta condición se puede expresar como:

$$t_{ij}^* - t_{ij}^{dscnto} \geq C(\Delta Inv) \quad (III-8)$$

Si la rebaja ofrecida resulta atractiva para más de un despachador, se produce el proceso inverso de remate, es decir, el operador pondrá el espacio a disposición de quien tenga una mayor disposición al pago (basándose en sus respectivos beneficios). A diferencia del caso en que el despachador remata la carga, donde se busca reducir el precio del viaje partiendo de un precio “techo”, en este caso se busca elevar el valor ofrecido por el espacio vacío partiendo de un precio “base”.

Aunque la tarifa cobrada por la capacidad de un operador sea sólo el costo marginal incurrido, al producir un cambio en la política de inventario del despachador, en la dirección de aumentar la demanda en el par, el operador estará aumentando su probabilidad de obtener algún viaje en el futuro, disminuyendo con esto sus movimientos vacíos y los costos asociados a éstos. Es importante mencionar que el cambio en los patrones de abastecimiento será válido sólo para un ciclo, ya que la tarifa de descuento no puede ser considerada como una tarifa de mercado, pues nada asegura que ésta se vaya a mantener en el futuro, siendo lo más probable que esto no ocurra. De esta manera, un agente neutro al riesgo seguirá considerando la tarifa con que estimó el lote óptimo como la de mercado.

III.6. El Proceso de Licitación Doble

Una vez presentados los comportamientos de ambos agentes en los mercados que se busca modelar, podemos ver en más detalle sus respectivos funcionamientos.

III.6.1. Funcionamiento del mercado de carga

A continuación se presenta un análisis teórico del desarrollo de remates en el mercado de carga. Para ilustrar de forma sencilla el comportamiento de los despachadores en el rol de rematadores, se desarrolla primero el caso de un solo para Origen – Destino (O-D), para luego extenderlo al caso más general de múltiples pares O-D.

Siguiendo una lógica similar a la seguida por Song y Regan (2003), se considera que el costo de servir una línea para un operador cualquiera (k) dependerá de su costo directo y del costo de un posible reposicionamiento vacío. Para un observador externo al proceso, cada apuesta puede representarse como un proceso estocástico de acuerdo a la siguiente expresión:

$$b_{ij}^k = C_{ij}^k (1 + \rho^k) + C_{ji}^k (1 - P_{ji}^k) + \xi \quad \forall i, j; k \in K \quad (\text{III-9})$$

El margen de utilidad del operador (ρ^k) es un parámetro externo que representará el retorno exigido por la empresa de transportes para servir una determinada línea, P_{ji}^k es la probabilidad de que el operador k obtenga en el destino un contrato para el viaje de reposicionamiento luego de haber cumplido el contrato que se busca alcanzar, y ξ es un término estocástico, con media cero, que explicará posibles variaciones estratégicas. La parte determinística de (III-9), corresponde a la proposición de Song y Regan (2003), presentada en la revisión bibliográfica.

La expresión (III-7) representa la probabilidad de éxito, o de adjudicarse algún contrato en destino. La probabilidad de que esto no ocurra estará dada por:

$$\overline{P}_{ij}^k = 1 - P_{ij}^k = 1 - \frac{1}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h_s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}}} \cdot \delta_{ij} = \frac{\sum_{\forall l \in K, l \neq k} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h_s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}}}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h_s \cdot d_{ij}^s}{2 \cdot t_{ij}^*}}} \cdot \delta_{ij} \quad \forall k \in K \quad (\text{III-10})$$

Si se reemplaza (III-10) para el viaje de retorno ji en la oferta a realizarse (III-9), ésta quedará también en función, únicamente, de parámetros conocidos por el operador. De esta forma, la estrategia de oferta de un operador k , para un solo par O-D, será de la siguiente forma:

$$b_{ij}^k = C_{ij}^k (1 + \rho^k) + C_{ji}^k \left(\frac{\sum_{\forall l \in K, l \neq k} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ji}^s}{2 \cdot t_{ji}^*}}}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha_l - \alpha_k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ji}^s}{2 \cdot t_{ji}^*}}} \right) \cdot \delta_{ij} + \xi \quad \forall k \in K \quad (\text{III-11})$$

Es importante recordar que la tarifa de mercado usada en la probabilidad del viaje de reposicionamiento (t_{ji}^*), será el promedio de las obtenidas durante el último período para el par, la que a su vez dependió de las tarifas ganadoras y probabilidades de obtener algún retorno en algún otro destino. Por esto, para obtener el valor de la tarifa de retorno, se deberá evaluar (III-11) para los procesos de ida y vuelta. En síntesis:

$$t_{ji} = \min_{k \in K} \{b_{ji}^k\} \quad (\text{III-12})$$

Es importante poner énfasis en la diferencia temporal entre ambos lados de la expresión anterior. La tarifa de mercado, presentada al lado izquierdo corresponderá a un instante de tiempo posterior a las ofertas presentadas al lado derecho. La expresión III-

12 sólo dejará de cumplirse en presencia de una situación coyuntural extraordinaria, como podría ser una importante alza en alguno de los insumos de producción del sistema de transporte o un cambio en la demanda final enfrentada. En este caso, la tarifa o la demanda con que fue diseñada la política de abastecimiento se alejarán de la real por lo que los despachadores no estarán minimizando sus costos. Es importante mencionar que la demanda por transporte se considera como un factor de producción por lo que un cambio en las tarifas debiera ajustar la coordinación oferta-demanda a través de un alza en el precio final del bien transportado dentro del período de tiempo en que se produjo el cambio. Para los períodos siguientes, los despachadores afectados diseñarán su política de abastecimiento en base a las nuevas condiciones enfrentadas, modificando el lote óptimo de abastecimiento de manera tal de eliminar en gran medida el aumento ocurrido en el precio final del bien transportado.

Se puede afirmar que la realización de una oferta es el resultado de un evento “extremo” (máximo o mínimo). La oferta será el máximo valor que el operador podrá cobrar sin sacrificar sus posibilidades de adjudicarse la licitación, y a la vez, el menor valor que puede cobrar sin incurrir en pérdidas. Dada esta característica se cree adecuado considerar la distribución Gumbel para ξ .

Como el mínimo valor de un conjunto de variables con distribución Gumbel distribuirá también Gumbel, el valor esperado de la tarifa de mercado para el viaje de reposicionamiento será:

$$t_{ji}^* = \frac{1}{\phi} \ln \sum \exp(b_{ji}^k \cdot \phi) \quad (\text{III-13})$$

En III-13, donde b_{ji}^k será el valor esperado de la tarifa ofrecida (oferta) por el operador k , se repite la diferencia temporal antes mencionada. En ésta misma expresión ϕ es el parámetro de escala de la distribución Gumbel de ξ .

De las expresiones (III-12) y (III-13), se puede notar la interdependencia existente entre las tarifas ganadoras para los viajes de ida y los de retorno, ya que las ofertas por viajes de retorno (b_{ji}^k), dependerán de las tarifas por viajes de ida. Para los viajes de retorno, ocurrirá exactamente lo mismo, ahora de manera inversa. Esta recursividad existente, junto con la forma de la expresión analítica elegida para modelar las ofertas de los operadores, impide solucionar analíticamente el problema de determinación del precio. Si se desea encontrar un precio de equilibrio para un determinado par ij , éste se deberá buscar de manera iterativa sin ninguna seguridad de obtener resultados satisfactorios.

Supongamos ahora una red $G(N, A)$, donde N corresponde al conjunto de nodos y A al conjunto de arcos viales. La red ofrece múltiples pares origen – destino. La demanda en cada par es elástica a la tarifa y el patrón espacial de la demanda no dependerá del precio, es decir, el nivel de tarifas no modificará los orígenes y destinos de la carga, solamente los volúmenes y las frecuencias de abastecimiento. La red tendrá el efecto de posibilitar la explotación de economías de alcance en la provisión del servicio. Mientras más sean los pares O-D servidos por un determinado operador, mayor será la posibilidad de formar ciclos completos y de disminuir los viajes vacíos (y costos de reposicionamiento), permitiendo al operador realizar mejores ofertas para viajes que estén siendo rematados.

Como ya se mencionó, los remates serán secuenciales; es decir, los despachadores rematarán sus cargas para un determinado par ij de manera absolutamente independiente a otras posibles cargas que se puedan estar licitando en el mismo momento, ya sea para otro par o para el mismo. Similarmente, el precio al que los operadores podrán vender holguras de capacidad será independiente de la capacidad existente disponible para ser vendida. Por ejemplo, si un operador tiene un movimiento vacío de A a B y otro de C a D disponibles para ser vendidos con precios de descuento, el precio que se obtiene de vender ambas líneas en conjunto deberá ser la suma de los precios de servir ambas por separado, es decir no se ofrece un beneficio extra por el conjunto. Lo anterior, se debe a

que intentar buscar un comprador para el paquete de líneas será más difícil que hacerlo para ambas por separado. De esta manera se excluye la posibilidad de llevar a cabo remates combinatoriales, tema que va más allá del alcance de este estudio.

Considerando sólo remates secuenciales, el costo percibido por un operador para servir un determinado par ij será, al igual que antes, el costo directo del viaje más el costo de un supuesto reposicionamiento vacío del vehículo a la ubicación donde deberá servir el próximo viaje. Si el origen del próximo viaje es el destino del viaje actual, su costo de reposicionamiento será cero. De forma similar al caso de un único par O-D, la oferta efectuada por un operador para servir el par ij será ahora:

$$b_{ij}^k = C_{ij}^k(1 + \rho^k) + C_{j+}^k(1 - P_{j+}^k) + \xi^k \quad \forall i, j \in N; \forall k \in K. \quad (\text{III-14})$$

En (III-14), C_{j+}^k representa el costo de reposicionamiento desde el destino (j) a una nueva ubicación donde deberá cargar el próximo embarque conseguido y P_{j+}^k representará la probabilidad de conseguir un viaje desde j a cualquier otro nodo de la red, una vez finalizado el viaje en el par ij .

Al igual que en el caso anterior, la probabilidad de ganar un contrato en un determinado par será proporcional a la frecuencia de mercado en ese par.

Ahora, f_{j+}^m representará la suma de las frecuencias de mercado que comparten el nodo j como punto de inicio u origen. De igual manera que en (III-4), ésta se puede expresar de la siguiente forma:

$$f_{j+}^m = \sum_{\forall u \in N} f_{ju}^m = \sum_{\forall u \in N} \sum_{\forall s \in S} f_{ju}^s = \sum_{\forall u \in N} \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ju}^s}{2 \cdot t_{ju}^*}} \quad (\text{III-15})$$

Por otro lado, de acuerdo a la expresión (III-6), la probabilidad de ganar un viaje en un nodo o lugar específico será proporcional a la cantidad de viajes que tengan a este nodo como punto de inicio del viaje, por lo que la probabilidad de obtener algún contrato en el destino del viaje actual (j) se puede expresar como:

$$P_{j+}^k = \frac{1}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha^l - \alpha^k) \cdot f_{j+}}} \cdot \delta_{j+} \quad (\text{III-16})$$

Volviendo a (III-14), el costo de reposicionamiento que será el costo de mover el camión hacia una determinada ubicación ponderado por la probabilidad de no tener carga con que amortizar aquel movimiento (C_{j+}^k), fijo para el caso de un único par O-D (C_{ji}^k), ahora dejará de serlo. En el caso que no se origine ningún viaje en el destino actual, el vehículo deberá hacer un movimiento vacío en busca de carga, lo que a la hora del remate es incierto. A partir de la probabilidad de adjudicarse un contrato en un lugar u cualquiera, se puede calcular un valor esperado de lo que costará al operador el movimiento vacío:

$$C_{j+}^k = \sum_{\forall u \in N} C_{ju}^k \cdot P_{u+}^k = \sum_{\forall u \in N} \frac{C_{ju}^k}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha^l - \alpha^k) \cdot \sum_{\forall u \in N} \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_{ju}^s}{2t_{ju}}}}} \cdot \delta_{ju} \quad \forall j \in N, k \in K \quad (\text{III-17})$$

Es importante notar que en este caso no se incluye la variable δ en la expresión de la probabilidad, ya que deberá existir al menos un par con demanda por transporte en la red para que algún operador se plantee poner una oferta.

El valor esperado del costo de reposicionamiento nunca podrá ser cero ya que ningún costo podrá serlo, y como se mencionó anteriormente, ninguna de las probabilidades podrá serlo tampoco porque de ser así, nunca existirá el incentivo para poner una oferta.

En este momento el operador podrá decidir si resulta más conveniente para él buscar la posibilidad de ganar algún viaje en otro punto de la red o retornar sin carga a su depósito central. De esta forma, el costo de reposicionamiento se puede modelar como:

$$C_{j+}^k = \text{Min} \left\{ C_D, \sum_{\forall u \in N} C_{ju}^k \cdot P_{u+}^k \right\}$$

donde C_D representa el costo de retorno al depósito del operador.

Luego de reemplazar la expresión recién obtenida en la forma general de la estrategia de oferta (III-14), se obtienen las siguientes expresiones:

$$b_{ij}^k = \begin{cases} C_{ij}^k (1 + \rho^k) + C_D + \xi & \text{si } C_D < \sum_{\forall u \in N} C_{ju}^k \cdot P_{u+}^k \\ C_{ij}^k (1 + \rho^k) + \sum_{\forall u \in N} \frac{C_{ju}^k}{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha^l - \alpha^k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_u^s}{2^{t_{ju}}}}} } \cdot \left(\frac{\sum_{\forall l \neq k} e^{(\alpha^l - \alpha^k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_u^s}{2^{t_{ju}}}}} }{\sum_{\forall l \in K} e^{(\alpha^l - \alpha^k) \cdot \sum_{\forall s \in S} \sqrt{\frac{h^s \cdot d_u^s}{2^{t_{ju}}}}} } \right) \cdot \delta_{ju} + \xi & \text{e.o.c} \end{cases}$$

(III-20)

Es importante notar que la validez de la expresión obtenida para una estrategia óptima de oferta (III-20), supone que todos los participantes tienen información perfecta respecto de los costos de viaje, frecuencias de viajes entre pares y distintos parámetros de las funciones de demanda por productos de los despachadores. Las posibles faltas de información existentes se modelan en el a través de la componente estocástica ξ .

III.6.2. Funcionamiento del mercado de capacidad

De acuerdo con la condición (III-8), para que el descuento sea realmente atractivo para el despachador, el ahorro percibido deberá ser mayor al costo producido; es decir, que se obtenga un beneficio monetario real de llevar a cabo la orden anticipada.

Al enfrentar una tarifa de descuento, una empresa que opera bajo una política inventario *EOQ* debe decidir entre: (i) poner una orden por la diferencia entre el tamaño de lote óptimo y las existencias en el instante en que aparece el descuento, o (ii) poner una orden por un nuevo lote de tamaño óptimo. A continuación se presenta el análisis para estas dos alternativas.

a. Se ordena la diferencia entre el lote óptimo y las existencias

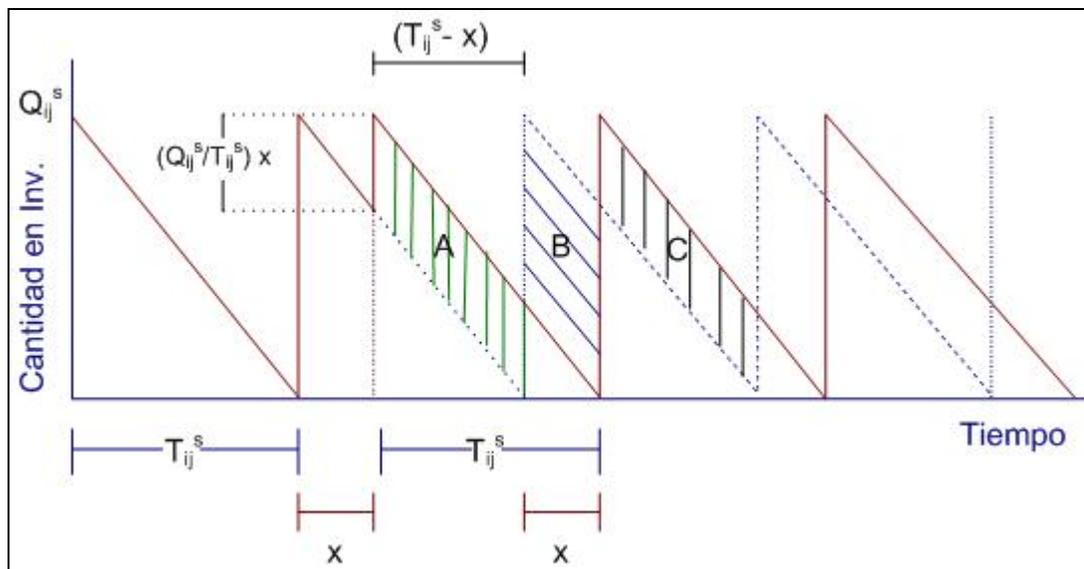


Ilustración III-3.Efecto de una orden anticipada EOQ (caso 1).

Fuente: Elaboración Propia

La Ilustración III-3 presenta el efecto que tendrá una orden anticipada, puesta x unidades de tiempo después de iniciado el segundo ciclo. Se puede ver también que luego de la alteración, la política seguirá funcionando como lo había hecho antes.

El área achurada A corresponde al costo extra de inventario que se dará como resultado de la orden puesta en forma anticipada. Para los siguiente ciclos se producirá un ahorro en la primera parte del ciclo antiguo (área achurada B) y un costo extra en la parte final (área achurada C), ambos de igual magnitud. El efecto de la orden anticipada en los siguientes ciclos es solamente un desplazamiento de ellos, este desplazamiento no será por un tiempo muy largo por lo que no será necesario considerar tasas de descuento a la hora de compararlos.

Una vez puesta la orden excepcional, habrá un extra de inventario igual a $d_{ij}^s \cdot x$ hasta $(T_{ij}^s - x)$ unidades de tiempo más adelante. El costo de este nivel extra de inventario será:

$$C(\Delta Inv(x)) = d_{ij}^s \cdot x \cdot (T_{ij}^s - x) \cdot h^s \quad (\text{III-21})$$

La función $C(\Delta Inv(x))$ es cóncava en el intervalo $[0, T_{ij}^s]$, y su máximo valor se dará para $x = T_{ij}^s / 2$; es decir, justo en la mitad del ciclo óptimo. La Ilustración III-4 muestra la gráfica de la función recién presentada.

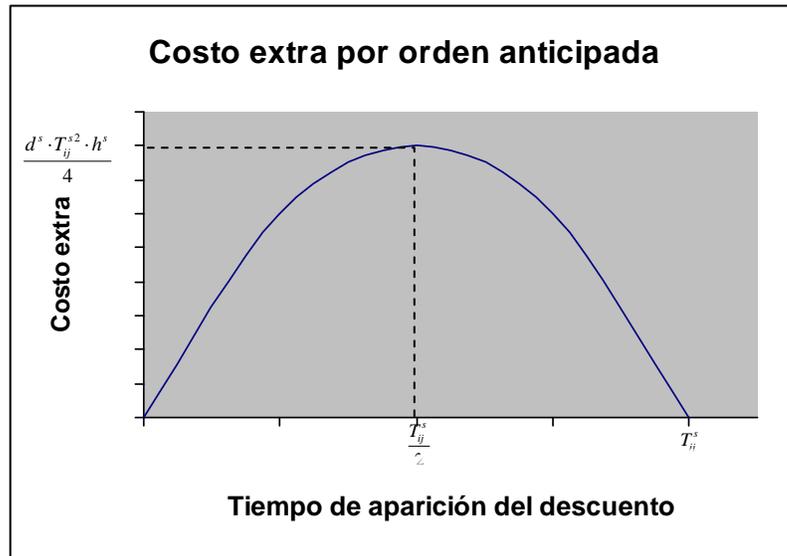


Ilustración III-4. Función costo extra de inventario por orden anticipada (caso 1).

Fuente: Elaboración Propia

Un elemento importante es que el costo extra de inventario será siempre nulo en los extremos del ciclo pues son los instantes de abastecimiento en la política original. Así, las ofertas llegadas en los extremos del ciclo sean más atractivas que aquellas que lo hagan cerca de la mitad. Un aumento en el valor de la constante $d_{ij}^s \cdot h_{ij}^s$ sólo acentuará aún más esta característica.

Según la Ilustración III-4, mientras más cerca de los extremos del ciclo aparezca la oferta, menor deberá ser el descuento ofrecido para que ésta sea atractiva. Si se reescribe la condición (III-8) en función del tiempo de aparición de la oferta se tiene que para que un determinado descuento Δt , el intervalo en que será atractiva una oferta vendrá dado por:

$$x^2 - T_{ij}^s x + \frac{\Delta t}{d_{ij}^s \cdot h_{ij}^s} \geq 0 \quad (\text{III-22})$$

De resolver la desigualdad (III-22) se obtiene que el intervalo de tiempo donde será atractiva la oferta esta dado por:

$$x \in \left[0, \frac{T}{2} - \sqrt{\frac{2 \cdot t_{ij}^{dscro} - t_{ij}^*}{2 \cdot d_{ij}^s \cdot h^s}} \right] \cup \left[\frac{T}{2} + \sqrt{\frac{2 \cdot t_{ij}^{dscro} - t_{ij}^*}{2 \cdot d_{ij}^s \cdot h^s}}, T \right] \quad (\text{III-23})$$

De (III-23) se concluye que: (i) para este tipo de abastecimiento un descuento mayor o igual al 50% de la tarifa de mercado ($t_{ij}^{dscro} \leq \frac{t_{ij}^*}{2}$) será atractivo en todo momento del ciclo y (ii) si el descuento es menor al 50 % existe una ventana disjunta de tiempo en que la oferta será efectiva; dicha ventana estará dividida en dos partes iguales ubicadas a ambos extremos del ciclo y simétricamente distantes del punto medio de éste.

b. Se ordena siempre el lote óptimo.

La Ilustración III-5 presenta gráficamente esta segunda estrategia. En ella, la cantidad extra de inventario producto de la orden anticipada será siempre igual al lote óptimo (Q_{ij}^s).

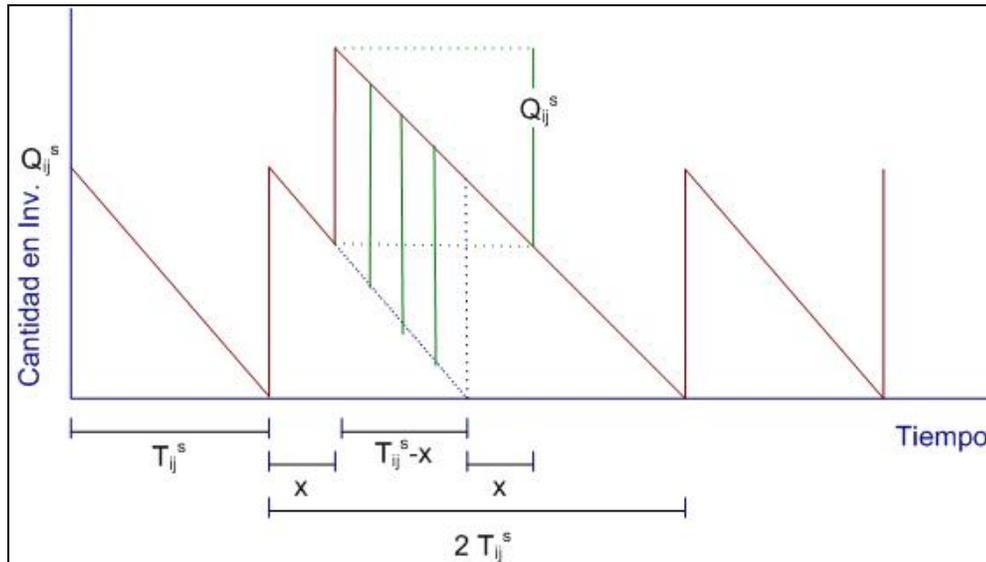


Ilustración III-5. Efecto de un orden anticipado EOQ (caso 2).

Fuente: Elaboración Propia.

Análogamente al caso anterior, el efecto de poner un orden anticipadamente en cualquier instante no tendrá incidencia en los ciclos posteriores, ya que el tiempo que tomará el nivel de inventario en retomar el nivel que tenía en el instante en que apareció la oferta será igual al tiempo entre abastecimientos.

De manera similar al caso anterior, podemos calcular ahora el costo extra de inventario producido por un orden anticipado que corresponderá al área achurada de la Ilustración III-5:

$$C(\Delta Inv(x)) = Q_{ij}^s \cdot h^s \cdot (T_{ij}^s - x) \quad (\text{III-24})$$

A diferencia del caso anterior, en este caso la función de costo extra será estrictamente decreciente en el intervalo $[0, T_{ij}^s]$. La Ilustración III-6 presenta gráficamente la función mencionada.

De esta forma, mientras más cerca del término del ciclo lleguen las tarifas de descuento, mayor será la probabilidad que esta sea atractiva para el despachador.

Si ahora se considera la tarifa de descuento ofrecida por el operador como una fracción del valor actual del flete (ω) usando las expresiones (III-8) y (III-24) podemos obtener la condición de generación de demanda en función del tiempo en que aparece la oferta (x) de la siguiente forma:

$$C\Delta Inv(x) \leq \omega \cdot t_{ij}^* \Rightarrow Q_{ij}^s \cdot h^s \cdot (T_{ij}^s - x) \leq \omega \cdot t_{ij}^* \quad (III-25)$$

$$\omega \geq 2\left(1 - \frac{x}{T_{ij}^s}\right) \quad \omega \in [0, 1]; x \in [0, T_{ij}^s]$$

De (III-25) se desprende que las tarifas posibles sólo serán atractivas de la mitad del ciclo en adelante, con un descuento del 100% de la tarifa de mercado en ese instante. Esto no es factible pues el operador estaría incurriendo en pérdidas iguales al costo extra por realizar el viaje cargado.

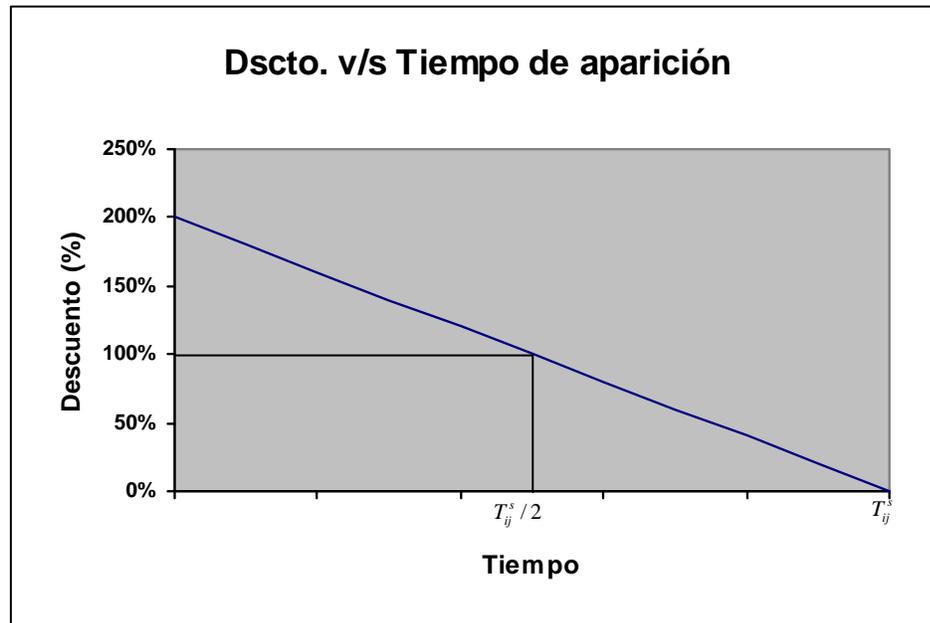


Ilustración III-6. Descuento que hace atractiva la tarifa como función del tiempo.

Fuente: Elaboración Propia.

La Ilustración III-6 presenta gráficamente los descuentos que harán atractiva la oferta dependiendo del tiempo en que ésta aparece. Es importante notar que lo que se presenta en la figura, son los descuentos a aplicar como proporción de la tarifa original, y no la tarifa resultante luego de aplicarse el descuento.

IV. SIMULACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO.

En este capítulo se busca representar el modelo teórico propuesto en el capítulo anterior a través de una simulación estocástica. El software utilizado fue la versión estudiantil de ARENA, a través de la interfaz con Visual Basic. Por tratarse de una versión estudiantil se debió restringir ciertos parámetros para evitar así las posibilidades de error. Estas restricciones se presentarán cuando corresponda.

El sistema simulado se compone principalmente de dos conjuntos de actores: despachadores y operadores. Estos dos conjuntos de actores se relacionan a través de dos mercados: carga y capacidad. A continuación se presenta una detallada descripción de estos y otros elementos importantes de la simulación.

IV.1. Aspectos básicos de la simulación

IV.1.1. Configuración espacial

Se usarán dos configuraciones espaciales distintas con el fin de estudiar si estas influyen en los resultados obtenidos. Nos referimos a configuración espacial a los dominios de cada una de las dos coordenadas que determinarán las ubicaciones de los puntos de oferta y demanda de la simulación. La primera configuración usada será una celda unitaria; es decir ambas coordenadas deberán estar en el rango $[0,1]$. Esta configuración se usará como un ejemplo de laboratorio. Luego, se simularán los mismos casos simulados en la configuración unitaria para una configuración rectangular alargada donde $x \in [0, 0,5]$, $y \in [0, 2]$. Esta configuración buscará reproducir la realidad geográfica de Chile y estudiar cómo afectará ésta los resultados antes obtenidos.

En cada simulación, el espacio en estudio se dividirá en celdas cuadradas de igual tamaño. El tamaño de las celdas se ingresa como parámetro y su funcionalidad adquiere

importancia en el momento en que los operadores busquen generar demanda porque podrán ofrecer su capacidad disponible no sólo a los despachadores de la misma ciudad en que se encuentra ubicado el camión sino también a todos los que se ubiquen en su vecindad más cercana dentro de la misma celda. De esta forma, se hace más realista el mercado y los movimientos vacíos que deban realizar los camiones en busca de la carga se podrán desprestigiar ya que solamente se podrán mover en la vecindad más próxima.

IV.1.2. Parámetros de entrada.

La simulación recibirá una serie de parámetros de entrada fijos que configurarán la simulación. Estos serán:

- Cantidad de ciudades.
- Cantidad de operadores.
- Cantidad de despachadores.
- Tamaño de las celdas espaciales.
- Número máximo de líneas contratadas a largo plazo por despachador.
- Período de actualización de políticas de inventario.
- Factores de conversión. Costos fijos por unidad de distancia, ellos son el factor de costo por viaje cargado, factor de costo por viaje vacío y factor que transforma la distancia a recorrer en el tiempo que se empleará en recorrerla.

Además habrá dos parámetros externos que variarán para algunas simulaciones de manera de estudiar el comportamiento del sistema frente a sus variaciones. Los dos parámetros externos variables que se usan son:

- Tamaño del espacio de simulación.

- Dominio del costo de mantención de existencias en inventario. Para éste, se considerarán tres niveles que serán 0,55%, 0,74% y 0,91% de la suma de los valores promedio del costo de carga y descarga. Los valores se deben a la calibración de los límites del dominio de este parámetro.

IV.1.3. Caso contraste.

Para estudiar los beneficios producidos por la existencia del mercado de capacidad y también observar la variación en la cantidad de viajes y las distancias recorridas sin carga se usará un caso contraste. Este será similar al antes mencionado, pero en él sólo existirá un mercado de carga, es decir, no existirá un mercado de carga. La única alternativa a los retornos vacíos será la adjudicación de algún remate en una localidad cercana.

IV.2. El mercado de carga.

El mercado de carga es donde las empresas despachadoras demandan el servicio de transporte de carga. Cada vez que, según la política de abastecimiento, corresponda realizar un reabastecimiento a alguno de sus puntos de demanda, la empresa pondrá una orden, que los operadores que tengan capacidad en ese instante estarán dispuestos a servir. Este mercado no representa ninguna novedad en lo que a asignación de viajes se refiere, puesto que en Estados Unidos muchas empresas ya lo usan de distintas formas para asignar sus cargas a transportar.

La carga en cuestión se asigna a través de un remate inverso cerrado de primer precio. Se adjudicará el viaje aquel operador que por sus condiciones en ese instante ofrezca la tarifa más baja. Se considera este tipo de remate pues se busca adjudicar los viajes al operador que presente la mayor ventaja sobre el resto, al precio máximo que esté dispuesto a pagar. Además se pretende evitar que exista información sobre los otros participantes del remate por lo que el remate deberá ser cerrado y no a la Inglesa.

Se asume que los postores o participantes de los remates presentarán ofertas que representan fielmente su disposición al pago (no habrá especulación) y los precios resultantes del remate serán la base de las políticas óptimas del próximo período.

No existe la posibilidad de esperar a algún operador por alguna condición más favorable, excepto en el caso en que no exista capacidad de camiones de ninguno de los operadores para realizar el viaje en el instante del remate. En el caso en que un único operador apueste en el proceso, éste se adjudicará la carga sin competir con nadie y al precio por éste ofrecido. En el proceso de remate está permitido a los operadores poner sólo una oferta. Con lo que se reduce la posibilidad de especulación en la realidad.

Cada operador tendrá un conjunto de características propias que lo distinguirá del resto, y por tanto cada uno tendrá ventajas competitivas en determinados momentos. A continuación se explica en detalle cada una de estas características.

Margen de utilidad(ρ): este valor corresponde al margen exigido sobre el costo directo por el operador a cada uno de sus viajes comerciales; no se consideran comerciales los viajes de retorno. La desaparición de esta componente de la tarifa forma parte de las rebajas ofrecidas en el mercado de capacidad. Su valor se asigna aleatoriamente al inicio de cada una de las réplicas⁷ y permanece constante a lo largo de ella. Esta variable tomará valores entre 5% y 20%.

Parámetro específico(α): este parámetro busca representar el conocimiento del mercado que pueda tener el operador, o dicho de otra forma, lo exitosas que han sido en el pasado sus estrategias de oferta en el mercado de carga. El valor de este parámetro cobra importancia a la hora de calcular la probabilidad de un retorno vacío. No será importante el orden de magnitud del parámetro sino más bien su diferencia con los

⁷ Se denomina réplica a cada una de las repeticiones de una simulación en la que sólo cambian los eventos que ocurren de manera aleatoria.

parámetros de los otros competidores. Por lo mismo, y buscando representar un mercado competitivo, el dominio en el que puede moverse el valor de α será reducido. Al igual que el margen de utilidad, el parámetro específico se asigna aleatoriamente al inicio de cada réplica en el dominio $[0,8 \ 1,3]$ y permanece constante durante toda la réplica.

Ubicación espacial: la ubicación del depósito central de cada operador se asigna aleatoriamente en cada una de las réplicas. Los depósitos podrán estar ubicados tanto dentro de las ciudades como fuera de ellas.

Tamaño de la flota: El tamaño de la flota de cada operador se fija aleatoriamente al inicio de cada réplica⁸. El dominio al que pertenece el tamaño de la flota de cada operador está entre 30 y 50 camiones.

Como ya se explicó en el capítulo anterior el precio ofrecido por el operador en el mercado de carga se calcula de la siguiente forma:

$$b_{ij}^k = C_{ij}^k (1 + \rho^k) + C_{j+}^k (1 - P_{j+}^k) + \xi^k \quad \forall i, j \in N; \forall k \in K. \quad (\text{IV-1})$$

Donde $C_{ij}^k = \text{dist}(U_{act}, i) \cdot \text{FactMV} + \text{dist}(i, j) \cdot \text{FactC}$

U_{act} es la ubicación actual del camión para el cual se formula la oferta, FactC es el factor de costo por unidad de distancia, FactMV es el factor de costo por unidad de distancia recorrida sin carga y ξ es la componente aleatoria.

⁸ El proceso de asignación sobredimensiona las flotas de cada operador debido a que cuando el sistema de remates se congestiona (el número de remates requeridos se acerca a la cantidad de camiones disponibles) la cantidad de entidades en el sistema crece de forma acelerada y con ello la posibilidad de error de la versión estudiantil del software usado.

La componente aleatoria (ξ) distribuirá Gumbel con parámetro de ubicación 0 y parámetro de escala 450. Se eligió el parámetro de escala de manera tal que la componente aleatoria influyera en el resultado de una pequeña proporción de los remates. Para el valor del parámetro de escala usado, la parte aleatoria de la oferta influirá en aproximadamente el 15,2% de los remates realizados. En el Anexo 1 se presenta la elección del parámetro.

Cada uno de los despachadores tendrá diferentes puntos de demanda dentro del conjunto de ciudades. Como los despachadores necesitan tener tarifas de mercado para construir sus políticas de abastecimiento, inicialmente éstas se asignan aleatoriamente dentro de un rango razonable hasta que el sistema entre en estado de régimen. Una vez finalizado el período transiente, se actualizan las tarifas para cada uno de los pares O-D dejando como tarifa de mercado, el promedio de las ofertas ganadoras en cada par durante el período de tiempo ya transcurrido. Esta actualización incluye también el período de abastecimiento. Una vez en estado de régimen, esta actualización se hará trimestralmente. Para la simulación se suponen meses de 28 días y cada tiempo de simulación se considera como un día de tiempo real.

Los puntos de demanda que servirá cada uno de los despachadores se asignan de forma aleatoria al inicio de cada réplica. Todas las ciudades tendrán una probabilidad del 60% de ser servidas por cada uno de los despachadores. Una ciudad podrá ser servida por más de uno y también no ser servida por ninguno. De esta asignación aleatoria dependerá el número de líneas a considerar en cada réplica, ya que las ubicaciones de los despachadores serán los orígenes de los viajes y las ciudades asignadas los destinos de los mismos.

Al igual que los operadores, cada uno de los despachadores tendrá un conjunto de características propias, las que cambiarán en cada una de las réplicas. A continuación se explican dichas características.

Factor de Carga y Descarga: este factor toma importancia en el mercado de capacidad ya que a través de él se calcula el precio de reserva para cada uno de los despachadores. Este valor es único para cada despachador ya que el costo de carga y descarga será diferente para cada tipo de carga (no será lo mismo cargar productos paletizados que productos a granel). Como una forma de simplificar la simulación se consideran el costo de carga y descarga iguales. Este costo se asigna aleatoriamente al inicio de cada réplica y el dominio en el que este valor habitará será entre 6300 y 6500 unidades monetarias.

Factor Consumo combustible: Se refiere al costo marginal variable, por unidad de distancia, percibido por el operador a la hora de realizar el viaje con carga en lugar de hacerlo vacío; incluye gasto en lubricantes, neumáticos y depreciación entre otros. La diferenciación de este valor para cada uno de los despachadores se puede entender a través de la densidad volumétrica de la carga a transportar. Si por ejemplo, un camión tiene una capacidad volumétrica de $2 m^3$ no requerirá la misma potencia para transportar una carga de densidad igual a $10 Kg/m^3$ que una de $200 Kg/m^3$, la de mayor densidad requerirá necesariamente un esfuerzo mayor del camión y por ende un mayor gasto de insumos por unidad de distancia. Para la simulación se supuso una zona de geografía poco accidentada (poco desnivel) ya que en el caso de un área con geografía accidentada este factor deberá depender también del par Origen-Destino que se vaya a servir. El dominio en que residirá esta característica será entre 5800 y 6000 unidades monetarias.

Costo de mantención en inventario: este valor se refiere al costo diario por mantener una unidad en inventario. Se usa principalmente en el mercado de capacidad para calcular el costo extra de mantención de existencias en que incurrirá el despachador por poner una orden de manera anticipada. El parámetro se asigna de forma aleatoria y su dominio variará para las distintas simulaciones ya que se buscará analizar como varían los beneficios obtenidos al variar el dominio de este parámetro.

Ubicación espacial: se asigna aleatoriamente a alguna de los puntos del espacio ya creados; no hay límite máximo de despachadores por punto.

En el mercado de carga, lo único que harán los despachadores será poner órdenes de remate por carga y asignarla al operador que le ofrezca la tarifa más conveniente. Las tarifas ganadoras se registran y son la base para la planificación de las políticas de inventario a usar en el siguiente período de tiempo.

IV.3. El mercado de capacidad

Este mercado representa la verdadera novedad del estudio presentado, por tanto, del desempeño de éste dependen fuertemente los resultados que se obtengan de la simulación.

Se accede a este mercado una vez que un camión ha llegado a un destino distinto al lugar donde se encuentra el depósito central del operador. Estando el camión en destino, puede optar por tres alternativas: (i) retornar a su depósito sin carga, (ii) ser reubicado a alguna localidad cercana para tomar un nuevo viaje u (iii) ofrecer una tarifa reducida. Es posible también que no sea necesario alterar ninguna política. Esto ocurrirá cuando un camión llegue a un punto de origen de viajes en el momento correspondiente a un reabastecimiento. En este caso, la empresa despachadora no recurrirá a ningún remate para asignar su carga, puesto que generalmente el precio ofrecido por el camión en espera de reposicionamiento será inferior a la tarifa de mercado (pues no deberá enfrentar la incertidumbre del reposicionamiento y no deberá llevar a cabo ningún movimiento vacío), y por tratarse de un viaje de retorno, tampoco se considerará el margen de utilidad (ρ).

El mercado funciona de la siguiente forma. El operador, dueño del camión, fija una tarifa reducida para la cual está dispuesto a transportar la carga de cada uno de los despachadores interesados. Es importante mencionar que dicha tarifa reducida o de descuento será distinta para cada uno de los despachadores pues la tarifa depende principalmente del costo de carga y descarga, del costo marginal proveniente de viajar con el camión cargado en vez de vacío y de la distancia total del viaje.

Las capacidades se rematan a través de un remate cerrado de segundo precio, es decir cada despachador hará su oferta y la capacidad existente se la adjudicará aquel que tenga mayor disposición al pago, pagando el valor ofrecido por la segunda mejor oferta. Se supone que los participantes o postores de los remates de capacidad no tendrán la posibilidad de especular, o sea, mostrarán su máxima disposición al pago la que será igual al costo extra de inventario que se genera a partir del uso de la oferta. Se elige este tipo de remate debido a que presenta una buena manera de asignar el valor del espacio disponible rematado, puesto que si se cobrara el precio de la mejor oferta, el despachador con mayor disposición al pago no obtendría beneficio alguno pues estaría pagando lo mismo que estaría ahorrando. De esta forma, cada despachador ofrecerá libremente el máximo que está dispuesto a pagar pues sabe que de adjudicarse el remate pagará menos que eso, significando la diferencia en muchos casos, un ahorro considerable.

Si por realizar el viaje, el operador deberá incurrir en un movimiento vacío para retornar a su depósito (g), es decir, la distancia solicitada es mayor a la distancia entre el origen y el depósito, se agrega a la tarifa de descuento un factor de movimiento vacío forzado que se pondera por la distancia vacía. De esta manera, la tarifa de descuento se determina de la siguiente forma:

$$t_{ij}^{Dscnto} = \begin{cases} 2 \cdot CaDes + dist(i, j) \cdot FactDC & \text{si } dist(i, j) \leq dist(i, g) \\ 2 \cdot CaDes + dist(i, j) \cdot FactDC + dist(j, g) \cdot FactMV & \text{e.o.c.} \end{cases}$$

(IV-2)

donde $CaDes$ representa el costo de carga y descarga del despachador, $FactDC$ es el costo extra del realizar el viaje cargado.

Una vez en el destino original, los camiones tendrán una ventana de tiempo propia de cada una de las empresas operadoras, en la que intentarán generar demanda; de no ser

capaces de hacerlo deberán retornar al depósito central sin carga. La ventana de tiempo se calcula en base a una cierta cantidad de intentos, entre cada uno de los intentos, cada camión esperará medio tiempo de simulación (un día) hasta completar el máximo admitido por la empresa. Esto tiene gran importancia debido al dinamismo del mercado, puesto que en un determinado momento el operador puede ser incapaz de ofrecer una tarifa de descuento atractiva para ningún despachador y medio día después la misma tarifa puede hacerse atractiva para muchos por la baja en el valor del costo extra por existencias en inventario. También podría darse que después de medio día de espera surja algún remate por carga en un punto cercano y el camión deba ser reubicado para servir este requerimiento.

Por su parte, ahora serán los despachadores quienes deban poner las ofertas a los operadores que tengan capacidad disponible. Una vez que el operador pone en el mercado su capacidad ociosa, el despachador analizará para cuál de sus posibles destinos le resulta más conveniente usar la oportunidad, esto lo hace a través de la diferencia entre el ahorro que obtendría producto de la nueva tarifa ofrecida y el costo extra por existencias generado a partir de la orden que planea poner. El costo extra de inventario siempre deberá ser mayor o igual a cero, puede darse que aparezca una tarifa de descuento en un momento en que un remate haya sido retrasado por falta de camiones disponibles, esto podría generar un costo extra negativo, pero este caso no se considera real ya que al momento correspondiente por política, el despachador ya ha puesto una orden por remate, la que no se puede retirar. El despachador no podrá nunca participar en los dos mercados simultáneamente para el mismo par O-D ya que en el caso de adjudicarse el remate del mercado de capacidad dejaría sin cumplimiento alguno de los remates en los cuales participaba.

Las líneas servidas por los despachadores tienen la opción de ser asignadas a largo plazo a un determinado operador a través de un contrato que durará por toda la réplica,

reajustando la tarifa acordada según vayan variando las condiciones del mercado. Estas asignaciones se hacen aleatoriamente para cada despachador y nunca se asignará a largo plazo un número mayor al 15% de los puntos servidos por éste. Las líneas asignadas a largo plazo no tienen la opción de modificar sus políticas de abastecimiento por repentinas ofertas de operadores a precios menores. La carga será transportada, si y sólo si, por el operador al que fueron asignadas al comienzo de la réplica. Por otro lado, los operadores tendrán la obligación de tener un stock de seguridad de camiones a lo largo de una determinada ventana de tiempo previa a los tiempos correspondientes a abastecimientos asignados a largo plazo. El fundamento de estas asignaciones a largo plazo es permitir la distribución en el espacio de los camiones de los distintos operadores, dando con esto la posibilidad de generar economías de alcance.

IV.4. Medidas de desempeño

Las medidas de desempeño que se usarán para calificar la eficiencia del sistema apuntan a evaluar los beneficios monetarios y los beneficios en cuanto al mejor uso de los recursos existentes. Las variables que se obtendrán como resultado de cada una de las réplicas son:

Costo total: Corresponde a la suma de todo el dinero gastado en transporte durante la réplica. Se entrega en unidades monetarias.

Costo total por exceso de inventario: El costo total por exceso de inventario será la suma de todos los costos por exceso de inventario incurridos por los despachadores a lo largo de cada una de las réplicas. Se entrega en unidades monetarias.

Ahorro total: Será la suma de todos los ahorros producidos durante cada una de las réplicas producto del aprovechamiento de las tarifas rebajadas por parte de los despachadores. Cada ahorro se calcula como la diferencia entre la tarifa de mercado para el par y la tarifa que realmente se paga por el viaje. Se entrega en unidades monetarias.

Porcentaje ahorrado: Representa el porcentaje del costo total que se ha ahorrado por la existencia del mercado de capacidad. Se calcula como la razón entre el ahorro obtenido y la suma entre el costo total observado y el ahorro obtenido, o sea, el costo resultante de no existir la posibilidad que los operadores ofrezcan su capacidad ociosa.

Valor de la unidad de distancia: Se calcula como la razón entre la cantidad de dinero gastado en cada uno de los tipos de asignación de fletes (rematados, generados y asignados) y la cantidad de unidades de distancia que efectivamente fueron asignadas de esa forma.

Razón entre el valor de la unidad de distancia remata y generada (G/R): Este indicador sirve para estudiar la magnitud de los descuentos ofrecidos en el mercado de capacidad por los operadores. Se calcula a partir de los valores de la unidad de distancia de fletes generados y rematados.

Viajes de retorno: Representa la cantidad de viajes totales para cada uno de los posibles tipos de retorno, es decir, si el camión retornó vacío, si fue reubicado a algún otro lugar o si logró generar demanda para regresar cargado.

Distancias: Representa lo mismo que el indicador anterior pero esta vez medido en unidades de distancia. Se incluyen también la cantidad de unidades rematadas para tener una idea de los órdenes de magnitud.

Participación de Mercado de los Operadores: Este indicador busca medir la competitividad del mercado. Se consideran la cantidad de viajes obtenidos en remates, aquellos que se obtuvieron como contratos a largo plazo y también considera la capacidad de generación del operador. La unidad de medida es la cantidad de viajes llevados a cabo, no las ganancias del operador. Para alguna réplica en particular podrá darse que la mayor cantidad de viajes la concentre un determinado operador, pero en promedio se espera que las participaciones sean similares. Se usará sólo en algunos casos para validar los resultados.

Porcentaje de utilización de flotas: Como es necesario que los operadores cuenten con flotas grandes para así evitar estados de congestión en el sistema que puedan producir errores en la versión estudiantil del software, cada una unidad de tiempo se mide la cantidad de camiones disponibles en ese instante en relación a la cantidad total de camiones existentes en el sistema, al final de cada réplica se entrega el valor promedio de todas las mediciones ocurridas durante ésta misma.

Tamaño del sistema simulado: No es una medida de desempeño propiamente tal, ya que únicamente dependerá de los parámetros de entrada y de la aleatoriedad agregada a cada una de las réplicas. Representa la cantidad de líneas existentes en el sistema simulado. Se llama línea a los pares Punto de Oferta-Punto de demanda, independiente de si tengan, o no, un origen o destino en común con alguna otra línea.

La gran mayoría de las variables de desempeño presentadas no aplican para el caso contraste, ya que ellas van generalmente apuntadas a estudiar el efecto del mercado de capacidad en el sistema simulado.

IV.4.1. Análisis del período Transiente

Para un correcto análisis de los resultados de la simulación es necesario eliminar el período transiente. Para esto, se observó detalladamente el comportamiento de una variable de control (“viajes en curso”) y se observó durante un tiempo que representaría 350 días en la realidad, registrando sus valores para cada unidad de tiempo. A continuación, se ilustran los resultados obtenidos de esta observación.

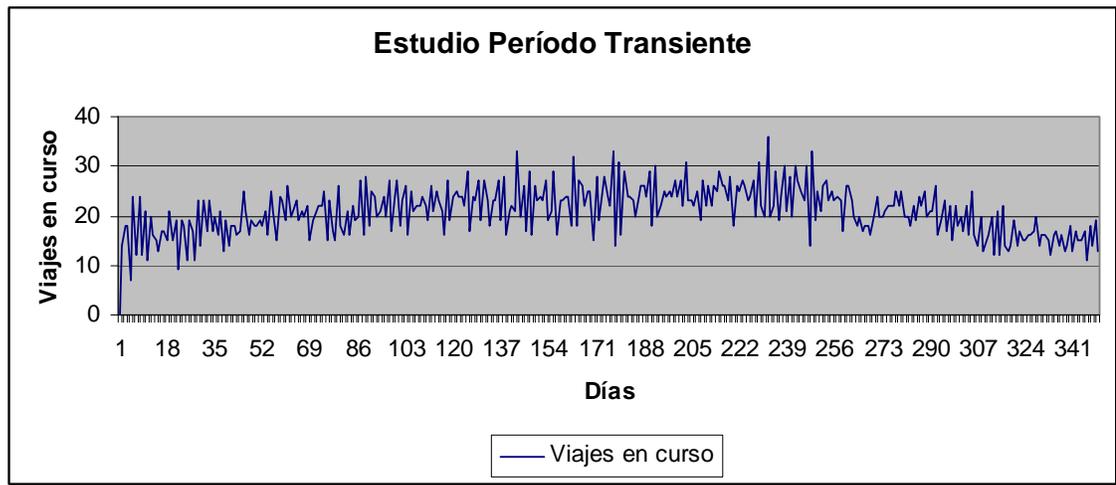


Ilustración IV-1. Evolución de la variable "viajes en curso".

La variable considerada se incrementa cada vez que un remate es exitoso y asigna una determinada carga a un determinado operador. También se incrementará cada vez que se origine un flete en el mercado de capacidad. La misma variable decrece cada vez que un viaje llega a su destino.

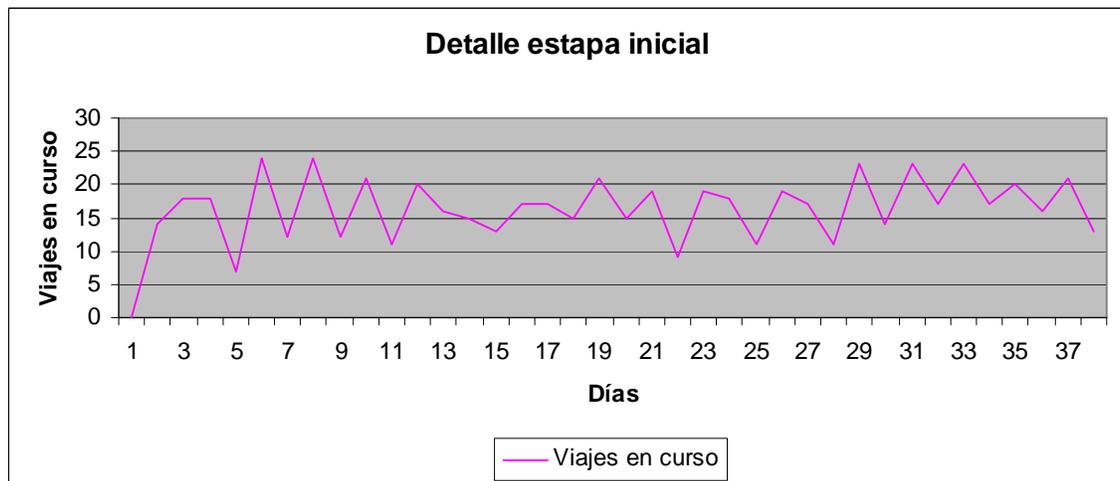


Ilustración IV-2. Detalle de la etapa inicial.

Como se puede apreciar en la Ilustración IV-2, a partir del tiempo de simulación número 5 (lo que representa 5 días), el sistema entra en estado de régimen, ya que en los tiempos anteriores la variable sufre fuertes variaciones y por lo general los valores se alejan del valor promedio. A partir del tiempo 6, la variable comienza a fluctuar con variaciones aceptables y sin *peaks* desproporcionados. Por lo que se concluyó que el período transiente corresponde a los primeros 5 días.

V. RESULTADOS.

Este capítulo presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las simulaciones antes descritas. La presentación de resultados se dividirá principalmente según la forma en que se pondrán las órdenes de abastecimiento. Es importante recordar los dos tipos considerados. En el primer caso se ordena la diferencia entre el lote óptimo y la cantidad existente en inventario mientras que en el segundo caso se ordenará siempre el lote óptimo independiente de la cantidad de existencias en inventario.

Serán usados tres valores para la razón entre el costo de mantención en inventario y la suma de los costos de carga, descarga y gasto extra de combustible para cada uno de las dos tipos de posturas de órdenes simuladas. La Tabla V-1 muestra dichos valores

Tabla V-1. Equivalencias entre casos simulados y sus características.

CASO	RAZÓN (EXISTENCIAS / (CARGA+EXTRA COMB.))
1	0,55%
2	0,74%
3	0,91%

Sólo se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones hechas usando una configuración espacial unitaria ya que los resultados obtenidos al usar la configuración espacial rectangular presentaron tarifas de descuento muy bajas (descuentos de hasta el 70%) en el mercado de capacidad lo que invalida cualquier conclusión hecha a partir de ellos ya que la situación se aleja mucho de la realidad.

En el ANEXO 2 se encuentran algunas validaciones hechas a los resultados. El ANEXO 3 muestra en detalle los resultados de cada una de las simulaciones realizadas.

V.1. Comparación Reposición tipo 1-contraste, espacio unitario.

La Tabla V-2 muestra el costo total obtenido de cada una de las simulaciones realizadas. Se muestra también el contraste para cada uno de los casos y el ahorro que se obtiene producto de la implementación del remate doble.

Tabla V-2. Resultados contrastados.

Tipo de remate	COSTO TOTAL (UNIDADES MONETARIAS)			
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Promedio
Simple	133.289.148	145.588.658	164.890.859	147.922.889
Doble	100.860.144	111.740.421	127.769.432	113.456.666
Ahorro (%)	24,33%	23,25%	22,51%	23,36%

Como se puede apreciar, los ahorros totales obtenidos por la aparición del mercado de capacidad serán cercanos a un 23% en promedio.

Cabe destacar la importancia del costo de mantención de existencias. Mientras más bajo sea este, menor será la frecuencia de viajes de abastecimiento (ciclos más largos) y mayor será la probabilidad de que aparezca una oferta atractiva. Al ser más difícil la generación de demanda por parte de los operadores, más camiones retornarán al depósito sin carga y menos se alterarán las políticas de abastecimiento de manera positiva para el sistema en general.

Tabla V-3. Comparación de costos unitarios.

	CASO1		CASO 2		CASO 3	
Tipo de remate	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)
Simple	46.349	41.764	44.398	41.276	43.644	40.456
Doble	32.106	30.378	31.673	31.024	31.744	31.045
Ahorro (%)	30,73%	27,26%	28,66%	24,84%	27,27%	23,26%

Los costos unitarios explican en parte los ahorros obtenidos. La diferencia entre los valores de los ahorros de costos unitarios y los ahorros totales se explican principalmente por la mayor cantidad de viajes que se llevarán a cabo en presencia del mercado de capacidad. En caso que ambos sistemas contaran con la misma cantidad de viajes realizados, el ahorro obtenido sería cercano al promedio de los ahorros de cada uno de los tipos de viajes ponderados por la proporción del total de viajes que representan. Las letras entre paréntesis para cada uno de los casos señalan el tipo de valor al que hace referencia: (R) indica las unidades de distancia rematadas y (A) las asignadas.

El mayor ahorro presentado por el costo unitario de las unidades de distancia rematadas se debe al mayor dinamismo y la mayor competencia existente para este tipo de viajes, hay que recordar que el valor de los viajes asignados a largo plazo se fija al inicio de cada período en base a los resultados obtenidos antes para el par Origen-Destino en el cual se realizará el viaje, y no sufre ningún cambio hasta el próximo período.

Tabla V-4. Comparación de Retornos útiles.

	% DE RETORNOS ÚTILES		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	48,92%	50,97%	53,33%
Doble	61,03%	61,55%	61,13%

La proporción de retornos utilizados en ausencia del mercado de capacidad será menor en alrededor de un 10% a los retornos utilizados en presencia de éste.

Mientras en ausencia de mercado de capacidad, a medida que aumenta el costo de mantención en inventario aumenta también la proporción de retornos útiles, en presencia de éste, la proporción se mantiene prácticamente constante. Hay que recordar que al aumentar la frecuencia total de viajes aumentará también la cantidad de éstos, por esto mismo, la distancia total vacía aumentará en ambos casos. Si bien, para el caso simple la proporción aumenta, la tasa de crecimiento será menor a la tasa de crecimiento de los viajes. La baja variación de la proporción en el sistema de remate doble, significa la optimización del sistema, es decir, que será difícil hacer útiles más allá del 60% de los viajes de retorno.

Tabla V-5. Comparación de proporción de distancia vacías obtenidas.

	(VACÍOS OBTENIDOS/ VACÍOS TOTALES)		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	46,02%	44,00%	41,87%
Doble	43,09%	42,90%	43,53%

Al igual que lo ocurrido con los viajes de retorno, la proporción de vacíos obtenidos para el caso doble se mantiene prácticamente constante, mientras que para el caso simple irá en aumento en la medida en que aumenten las frecuencias de abastecimiento.

Tabla V-6. Comparación de capacidad Ociosa.

	CAPACIDAD OCIOSA (%)		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	87,75	85,92	84,41
Doble	49,10	47,19	45,90

La menor capacidad ociosa resultante en el caso doble indica el provecho que se da a las economías de alcance. Los valores presentados en la Tabla V-6 representan el valor promedio observado de capacidad sin uso en cada instante de tiempo de las simulaciones efectuadas. Así, podemos decir que en el caso simple cerca del 85% de los camiones disponibles en el sistema, estuvieron en el depósito la mayoría del tiempo, en cambio para el otro caso, en promedio, había el doble de camiones repartidos por el espacio de simulación la mayor parte del tiempo. Sólo el 47% de los camiones estuvo disponible la mayor parte del tiempo en el caso de remate doble.

V.2. Comparación Reposición tipo 2-contraste, espacio unitario.

La Tabla V-7 nos muestra el contraste de costos totales de las simulaciones realizadas.

Tabla V-7. Contraste de costos caso unitario tipo 2.

	COSTO TOTAL			
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Promedio
Simple	133.289.148	145.588.658	164.890.859	147.922.889
Doble	89.503.747	100.848.628	113.315.699	101.222.691
Ahorro (%)	32,85%	30,73%	31,28%	31,62%

Los ahorros obtenidos para cada uno de los costos de mantención en inventario usados son bastante considerables; en promedio casi un tercio del costo total.

Como se puede ver en la Tabla V-7, a medida que crecen las frecuencias (crecen los costos de mantención en inventario) lo hacen también los costos totales debido a la mayor cantidad de viajes que ocurren en la simulación.

Los ahorros provenientes del aprovechamiento de oportunidades de generación constituían cerca de un 1% por lo que el 30% restante se deberá al aprovechamiento de la posición de los camiones. Hay que mencionar que esta división de los ahorros no es estrictamente así ya que al ahorro atribuido al mercado de capacidad, se produce sobre las mejores tarifas ya obtenidas por el uso de éste en comparación al caso en que sólo hay un mercado de carga. Otra fuente de beneficios será el mejor uso de las frecuencias por las condiciones más estrictas de generación. Como se mencionó en el capítulo anterior, cuando se use una reposición del tipo 2, las ofertas de los operadores por generar demanda sólo serán atractivas en una pequeña porción del ciclo de abastecimiento, para este caso, en que los descuentos fueron cercanos al 30%, sólo serán atractivas las ofertas que se presenten en la última doceava parte del ciclo, por esto mismo no se abusa de la generación y se usa cuando los ahorros son realmente significativos.

Tabla V-8. Contraste de valores unitarios, espacio unitario tipo 2.

	CASO1		CASO 2		CASO 3	
	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)
Simple	46.349	41.764	44.398	41.276	43.644	40.456
Doble	31.705	30.469	31.666	30.733	31.262	29.020
Ahorro (%)	31,60%	27,04%	28,68%	25,54%	28,37%	28,27%

Otra señal del buen uso dado al reparto de los camiones en el espacio se presenta a través de los ahorros en las tarifas unitarias. Los verdaderamente importantes en este caso son los correspondientes a las tarifas obtenidas de remates en el mercado de carga, pues las asignadas son casi independientes de cualquier otro factor del sistema. Aunque los ahorros disminuyen a medida que crece el costo de mantención de existencias la disminución no es muy grande y sus valores nunca bajarán del 28%.

Tabla V-9. Contraste de retornos útiles, espacio unitario tipo 2.

	PORCENTAJE DE RETORNOS ÚTILES		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	48,92%	50,97%	53,33%
Doble	57,28%	62,33%	60,35%

En la Tabla V-9 se puede apreciar el mejor uso de los viajes de retorno que se da en presencia del mercado de capacidad. Si se plantea la existencia de un valor límite de la proporción de viajes de retorno usados, cercano al 65%, podemos ver que por lo general, los sistemas simulados en que se incluyó un mercado de capacidad y que tengan resultados razonables, se acercarán bastante a este valor.

Tabla V-10. Contraste de distancias sin carga, espacio unitario tipo 2.

	VACÍOS OBTENIDOS/ VACÍOS TOTALES		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	46,02%	44,00%	41,87%
Doble	45,23%	41,16%	41,61%

Según se puede ver, la presencia de un mercado de capacidad hará que las distancias recorridas sin carga sean mayormente recorridas para ir a recoger una carga ya adjudicada, esto porque en todos los casos la proporción de vacíos obligados, es decir la proporción complementaria a los vacíos obtenidos, será mayor al 50%.

Tabla V-11. Contraste de capacidad ociosa, espacio unitario tipo 2.

	CAPACIDAD OCIOSA (%)		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Simple	87,75	85,92	84,41
Doble	52,72	49,41	47,99

El mayor uso dado a los camiones en la simulación que considera un sistema doble de remate nos indica que los mismos estarán más repartidos por el espacio y no centralizados en los depósitos. Debido a esto, la probabilidad de encontrar un camión en un sitio cercano al punto de inicio de un viaje que se planea realizar, será mayor por lo que se estaría presentando una especie de economía de alcance.

V.3. Comparación Reposición tipo1-Reposición tipo 2.

Finalmente, se presenta una comparación entre los resultados obtenidos para los dos tipos posibles de reposición en un espacio unitario, ya que para ambos casos los resultados obtenidos para un espacio rectangular distaban de una posible situación real.

Tabla V-12. Comparación de Ahorros en costo total, según tipo de reposición.

TIPO DE REPOSICIÓN	AHORRO EN COSTO TOTAL (%)			PROMEDIO
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	
1	24,33%	23,25%	22,51%	23,36%
2	32,85%	30,73%	31,28%	31,62%
Diferencia	8,52%	7,48%	8,77%	8,26%

Se puede apreciar que a través del reposicionamiento que considera siempre ordenar el tamaño de lote óptimo, se obtendrán ahorros mayores en un 8,26% que para el tipo de reposición que considera ordenar únicamente la diferencia entre el lote óptimo y la cantidad existente en inventario. Hay que recordar que el costo total se verá influido fuertemente por la cantidad de viajes que se realicen en la simulación por lo que una de las razones del mayor costo obtenido para el primer tipo de reposicionamiento será la mayor cantidad de tiempo que un descuento será atractivo para la generación de un viaje fuera de la política establecida. Por el contrario, el segundo tipo de reabastecimiento será más exigente con las ofertas por los que la capacidad de generación de los operadores será menor, y a la vez, tendrá implícita una optimización de los viajes contratados fuera de la planificación original de abastecimiento.

En la Tabla V-13, se puede notar que las diferencias en el costo total no se deberán a las tarifas unitarias, ya que para los viajes asignados a largo plazo y rematados las tarifas serán muy similares en ambos casos.

Tabla V-13.Comparación de Ahorros en costos unitarios, según tipo de reposición.

TIPO DE REPOSICIÓN	AHORRO EN COSTOS UNITARIOS (%)					
	Caso1		Caso 2		Caso 3	
	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(A)
1	30,73%	27,26%	28,66%	24,84%	27,27%	23,26%
2	31,60%	27,04%	28,68%	25,54%	28,37%	28,27%
Diferencia	0,86%	-0,22%	0,02%	0,71%	1,10%	5,01%

Con respecto a lo anterior, hay que recordar que no se permite la consolidación de carga en la simulación, por lo que a los despachadores les costará lo mismo un viaje con el camión usando toda su capacidad, que uno con sólo el 1% de ella. Por esto la planificación óptima para el primer caso no será aprovechar todos los descuentos posibles sino esperar por aquellos que signifiquen el mayor ahorro a través del uso de casi la totalidad de la capacidad del camión, aun cuando puedan aparecer ofertas por transportar pequeñas cantidades que signifiquen ahorros en el costo total de abastecimiento. Para este caso, podría ser útil una segunda evaluación en base al costo unitario de transporte.

Si existiese la posibilidad de tener un pequeño conocimiento acerca de las políticas de otros despachadores, se podrían evaluar a la luz de los costos unitarios de transporte distintas alternativas de viaje optando por la que ofrezca un costo menor. Una alternativa para el primer tipo de abastecimiento sería restringir la proporción del ciclo donde será atractivo un descuento o exigir un costo unitario mínimo, con la finalidad de aprovechar las ofertas que sean realmente convenientes y así reducir, aún más, los costos totales de operación.

Tabla V-14.Comparación de Proporción de retornos útiles, según tipo de reposición.

TIPO DE REPOSICIÓN	PORCENTAJE DE RETORNOS ÚTILES			PROMEDIO
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	
1	61,03%	61,55%	61,13%	61,23%
2	57,28%	62,33%	60,35%	59,98%
Diferencia	-3,75%	0,78%	-0,79%	-1,25%

El uso dado a los viajes de retorno será similar en ambos casos pues los dos sistemas cuentan con mercado de carga y capacidad.

Tabla V-15.Comparación de Proporción de distancias vacías, según tipo de reposición.

TIPO DE REPOSICIÓN	VACÍOS OBTENIDOS/ VACÍOS TOTALES			PROMEDIO
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	
1	43,09%	42,90%	43,53%	43,17%
2	45,23%	41,16%	41,61%	42,67%
Diferencia	2,15%	-1,74%	-1,92%	-0,50%

Nuevamente, la proporción de distancias vacías producidas por el mercado de capacidad serán similares en ambos casos, tanto así, que en promedio su diferencia será inferior al 1%.

Tabla V-16. Comparación de Proporción de capacidad ociosa, según tipo de reposición.

TIPO DE REPOSICIÓN	CAPACIDAD OCIOSA (%)			PROMEDIO
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	
1	49,10	47,19	45,90	47,40
2	52,72	49,41	47,99	50,04
Diferencia	3,62	2,22	2,09	2,64

La Tabla IV-16 , nos muestra que debido a la mayor cantidad de viajes totales del primer tipo de reposición, la proporción de flota ociosa será menor en este caso. De todas formas, las diferencias para ambos casos no son muy altas; en promedio un 2,6%.

VI. CONCLUSIONES.

Luego de simular la existencia de un mercado de capacidad que busca aprovechar posibles viajes de retorno vacíos para despachadores que operan con políticas de inventario *EOQ*, y por lo tanto, presentan una demanda por transporte elástica con respecto a la tarifa que operan, se puede concluir lo siguiente:

Se pudo comprobar para ambos tipos de reabastecimiento, que bajo los supuestos de una política de inventario *EOQ*, y asumiendo una demanda elástica por transporte, la longitud de la ventana de tiempo, en la que una oferta puesta por un operador será atractiva, dependerá del descuento ofrecido por éste. Cuando se ordena la diferencia entre el lote óptimo y la cantidad en inventario, la ventana de tiempo estará dividida en dos partes de igual duración, en los extremos de ciclo. Estas dos partes se encontrarán distanciadas simétricamente con respecto a la mitad del ciclo. Para descuentos iguales o superiores al 50% de la tarifa de mercado, ambas mitades se unirán y la oferta será atractiva a lo largo de todo el ciclo. Cuando se ordena el lote óptimo, esta ventana de tiempo se encontrará ubicada al final del ciclo y su longitud máxima teórica será igual al 50% de éste. El descuento mínimo para considerar la oferta será igual a la tarifa de mercado.

Considerando los casos simulados en espacios unitarios, para el primer tipo de reposición se obtuvo un ahorro máximo del 11% con descuentos cercanos al 35% y para el segundo tipo se llegó a obtener un ahorro máximo de 3,5% con el mismo descuento. El mayor ahorro presentado para el tipo 1 se debe a la mayor frecuencia real existente, lo que a su vez se deberá al mayor tiempo en que las ofertas de los operadores serán atractivas.

Se puede concluir también que un aumento en el costo de mantención de existencias en inventario hará crecer las frecuencias reales de reposicionamiento no sólo por la disminución de los tiempos de ciclo, sino también por la mayor cantidad de camiones

repartidos en el espacio que buscarán hacer uso de su posición espacial para evitar algún posible viaje de reposicionamiento sin carga.

Para el primer tipo de abastecimiento se obtuvo un ahorro promedio de un 23,4%. Este ahorro tenderá a disminuir a medida que aumenta el costo de mantención de unidades en inventario. El ahorro obtenido en este caso por el aprovechamiento de viajes imprevistos que alteraban la planificación original de abastecimiento, fue de 2,4% en promedio lo que demuestra que el mayor ahorro se produce por la aparición de economías de alcance donde los operadores dan uso a trayectos antes vacíos.

Para el segundo tipo de abastecimiento se obtuvo, en promedio, un ahorro del 31,6% en comparación a un caso sin mercado de capacidad. Para este caso, el uso de ofertas especiales entregó un ahorro promedio cercano al 1%.

Al ordenar siempre el lote óptimo se obtendrá un ahorro mayor, pero a la vez habrá un menor aprovechamiento de las tarifas de descuento que aparecerán en este mismo mercado. Esto se deberá a que la ventana de tiempo en que las ofertas serán atractivas, será mucho menor, lo que limitará la utilización de éstas.

La mayor distribución de camiones en el espacio generó una disminución de las tarifas unitarias obtenidas en el mercado de carga (*spot*) cercana al 30% en ambos casos. Como estas tarifas determinan de alguna manera las tarifas relevantes a la hora de establecer contratos a largo plazo, los valores de éstos presentaron una reducción cercana al 26%. Por otro lado, se demostró que la existencia de un mercado de capacidad no influirá en las tasas de variación de los ahorros frente a cambios en el valor del costo de mantención de existencias en inventario.

Al observar las cantidades de viajes vacíos en los casos en que existe un mercado de capacidad, se puede observar que la presencia de éste hará más eficiente el uso a estos viajes ya que se reduce la cantidad de viajes y las distancias recorridas sin carga.

Para ambos tipos de abastecimiento se dio uso a cerca del 60% de los viajes de retornos. Bajo el primer tipo de reposición se aprovechó, en promedio, un 1,25% más de los viajes de retorno que para el caso en que siempre se ordena el lote óptimo.

En presencia del mercado de capacidad, los viajes de retorno vacíos se reducen cerca del 21% en promedio para el primer tipo de abastecimiento y cerca del 18% para el segundo tipo. En cuanto a las distancias recorridas sin carga, estas se reducen cerca del 12% y 19% respectivamente.

El valor del costo de mantención en inventario no resultó relevante en la proporción de viajes de retorno sin carga.

Si se decide ordenar el lote óptimo siempre, en promedio, un 42,6% del total de las distancias recorridas sin carga corresponderá a viajes de retorno, la proporción restante corresponderá a movimientos estratégicos que se realizan para ir en busca de un viaje ya adjudicado. Para el abastecimiento tipo 1 un 43,2% de las distancias vacías corresponderán a viajes de retorno.

Se da un mayor uso a las flotas en los casos en que existe un mercado de capacidad, este mayor uso se debe a que las frecuencias reales del sistema son mayores en presencia de dicho mercado. El mayor uso de la flota estará estrechamente relacionado con los ahorros obtenidos por uso de tarifas de descuento ya que al haber más camiones esparcidos por el espacio, mayor será la probabilidad de evitar retornos vacíos.

La configuración espacial determinará fuertemente los resultados obtenidos. Al simularse los mismos sistemas que se simularon en el espacio unitario, para un espacio con distancias mayores, resultó que los descuentos ofrecidos por los operadores para generar demanda fueron irreales, alcanzando en algunos casos hasta el 70% de la tarifa de mercado. Para estos casos, en presencia de un mercado de capacidad, se dio uso a una proporción cercana al 65% de los viajes de retorno. A partir de esto, se presenta este 65% de retornos utilizados como un valor límite para la proporción de viajes de retorno

utilizados ya que de ninguna forma se podrán presentar descuentos mayores. Este valor no será mayor ya que en muchos casos los puntos de demanda no compartirán la ubicación espacial con despachadores que puedan aprovechar los viajes de retorno y, si a esta condición se agrega una ubicación aislada, tampoco habrán muchas posibilidades para reubicar el camión pues se encontrará en una posición desfavorable en comparación con otros camiones de la flota.

VII. EXTENSIONES

Los altos descuentos obtenidos al simular una configuración espacial rectangular se deben a la forma de la función que determina tanto el costo directo de servir un par como el valor de un posible reposicionamiento vacío donde la distancia a recorrer tiene una ponderación muy elevada. A la hora de presentar un descuento sobre la tarifa, se eliminan el margen exigido por el operador y el valor esperado del costo de reposicionamiento. Al aumentar las distancias de viajes, el peso de este costo pasa a representar una parte importante del costo total. Como extensión a este estudio, se propone modelar la función de oferta de los operadores de manera tal que permita ver el efecto de incorporar un mercado de capacidad en configuraciones espaciales con distancias mayores a las existentes en una unitaria cuadrada.

Otra posible extensión a este estudio, es incluir la posibilidad de llevar a cabo no sólo remates secuenciales sino también remates combinatoriales en los casos en que resulte más conveniente. También podría resultar muy interesante incluir algunos criterios que restringieran la aceptación de ofertas por parte de los despachadores en el mercado de capacidad introduciendo algunos temas de planificación estratégica que apunten a llevar a cabo sólo aquellas ofertas que son realmente convenientes, una restricción propuesta es, como se mencionó más atrás, un nivel umbral de costo unitario de transporte sobre el cual se comiencen a aceptar las ofertas.

Una última extensión que podría entregar importantes conclusiones es la influencia de la topología de la red en los resultados obtenidos, se propone comparar el desempeño del sistema en redes fuertemente conexas, como por ejemplo alguna del tipo *Manhattan*, frente a los de una que presente localidades aisladas.

BIBLIOGRAFÍA.

Axelrod, R. (1984). "The evolution of cooperation". *Basic Books. New York, USA.*

Bramel, J. y Simchi-Levi, D. (1998). "On the Effectiveness of set covering formulations for the vehicle routing problem with time windows". *Technical Report, Dept of Industrial Engineering and Management Science, Northwestern University.*

Cámara de comercio de los estados unidos en la república argentina, (2007). Estadísticas. <http://www.amchamar.com.ar>.

Campodónico, H (2001). "El impacto económico del alza de los precios internacionales del petróleo". *Revista de la Facultad de Ciencias económicas, Número 18, Universidad de San Marcos. Lima, Perú.*

Caplice, C (1996). "An optimization based Bidding Process: A new framework for Shipper- Carrier relationship" *Ph.D. Thesis. Dep. Of civil and environmental engineering. MIT Cambridge, USA.*

Centro de estudios de las finanzas públicas. Cámara de diputados México, (2007). "Informe semanal sobre el precio del petróleo". http://www.cefp.gob.mx/portal_archivos/petroldiario.pdf.

Chen, X. (2003). "Transportation service procurement using combinatorial auctions". *Engineering System Division. Master of engineering in Logistic Thesis. MIT Cambridge, USA.*

Cho, I. K. y Kreps, D. (1987). "Signaling games and stable equilibria" *Quarterly Journal of Economics, Vol. 102.*

Departamento de transporte EUA, (2006). "Freight in America"

De Vries, S. y Vohra, R. V. (2001). "Combinatorial Auction: A Survey", Discussion Papers 1296, Northwestern University, Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science.

Figliozi, M.A, Mahmassani, H.S. y Jaillet, P. (2003). "Modeling carrier behavior in Sequential auction transportation market". *10th International Conference of Travel Behavior Research*.

Figliozi, M.A. (2004). "Performance and Analysis of spot truck-load procurement markets using sequential auctions". *Ph.D Thesis School of engineering University of Maryland College Park*.

Gonen R. y Lehmann, D. (2000), "Optimal Solutions for Multi-Unit Combinatorial Auctions: Branch and Bound Heuristics", *ACM Conference on Electronic Commerce*.

Harris, M. y Raviv, A. (1981) "Allocation Mechanisms and the Design of Auctions", *Econometrica*, 49(6), pp. 1477-99.

Holt, Ch. (1979) "Uncertainty and the Bidding for Incentive Contracts" *America Economic*, 69(4), pp. 697-705.

Krishna, V. (2002), "Auction Theory". *Academic Press, San Diego, USA*.

Ledyard, J.O, Olson, M., Porter, D (2002), "The first use of a combined-value auction for transportation services", *Interfaces*, V32, 4-12.

Leyton-Brown, K., Shoham Y. y Tennenholtz, M. (2000). "An Algorithm for Multi-Unit Combinatorial Auctions", *National Conference on Artificial Intelligence*.

Mcafee, R. y Mcmillan, J. (1987). "Auctions and Bidding", *Journal of Economic Literature*, V25, No.2 pp 699-738.

Mullaney T., Green H., Arndt M., Hof R., Himelstein L., (2003), "The E-BIZ Surprise", *Business Week Magazine*

Murphy, P.R. y Poist, R.F. (1998). "Third-party logistic usage: an assessment proposition based on previous research". *Transportation Journal*, 37, 26 - 35.

Myerson, R. (1981) "Optimal Auction Design", *Mathematics Operations Research*, 6(1), pp. 58-73.

Ockenfels, A. y Kittsteiner, T. (2006). "On the design of simple multi-units online auctions"

Ortega-Reichert, A. (1968) "Models for Competitive Bidding Under Uncertainty." Unpublished PhD thesis. Dept. of Operations Research, Stanford.

Regan, A.C. y Golob, T (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*, Vol. 38, N 3.

Riley, J y Samuelson, W. (1981). "Optimal Auctions", *America Economic* 71(3), pp. 381-92.

Rothkopf, M, Pekec, A. Y Harstad, R (1998) “Computationally Manageable Combinational Auctions”

Management Science, Vol. 44, N. 8, pp. 1131-1147.

Rothkopf, M. (2001), “An elementary introduction to auctions”, *Interfaces*, V31, 83-96

Simon, H (1956), “A behavioral model of rational choice”, *Quarterly Journal of Economics*, V.69, pp. 99-118.

Song, J.J. y Regan, A.C. (2001). “Transition or transformation?. Emerging freight transportation intermediaries”. *Multimodal and Marine Freight Transportation Issues*, 1-5.

Song, J.J. y Regan, A.C. (2003). “Combinatorial Auctions for Transportation Service Procurement: The Carrier Perspective”. *TRB 2003 annual meeting*.

Vickrey, W. (1961) “Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders,” *J. Finance*, 16(1), pp. 8-37.

Wilson, R.H. (1934), “A scientific routine for stock control”, *Harvard Business Review*,, N. 8, pp. 116-128.

Wolfstetter, E. (1999), “Topics in microeconomics: industrial organizations, auctions and incentives”, *Cambridge University Press, USA*.

ANEXOS

ANEXO 1: Elección del parámetro de escala de la distribución.

El parámetro de escala de la distribución Gumbel usada para modelar el comportamiento de los operadores a la hora de realizar una oferta por un determinado viaje se calibró de manera tal que tuviera influencia en el resultado de los procesos, pero que no fuera preponderante en ellos, evitando así que los remates por carga fueran procesos puramente aleatorios.

Primero que nada, se estudiaron las diferencias entre la oferta ganadora y las restantes a través de una simulación reducida de 20 réplicas. La distribución de las diferencias obtenidas se presenta en la Ilustración A. 1.

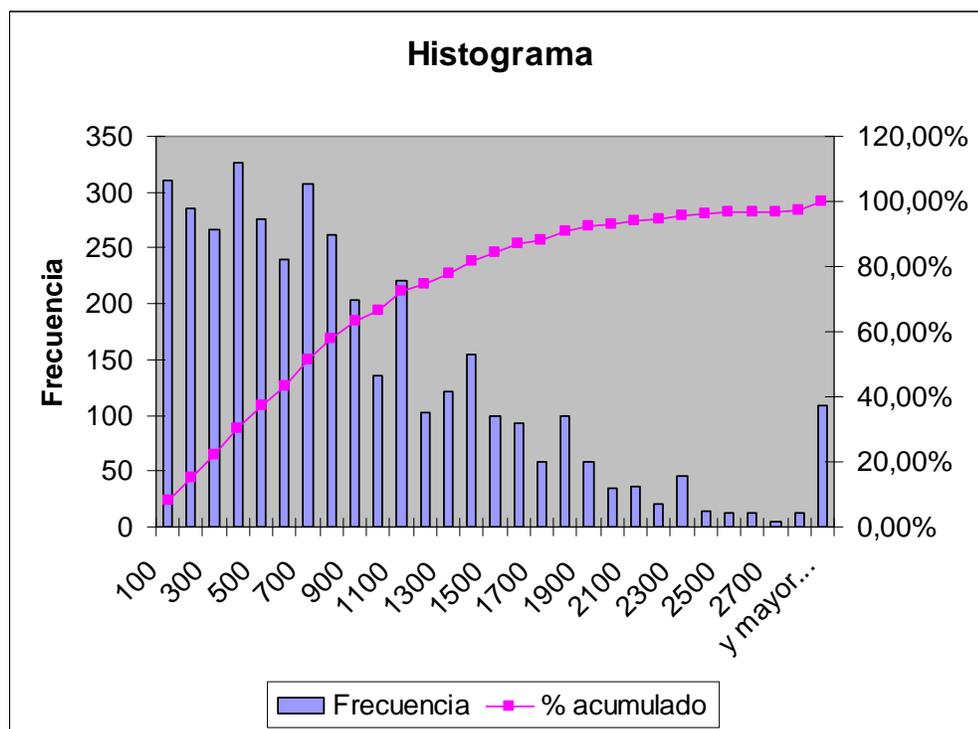


Ilustración A. 1. Distribución de las diferencias entre la oferta ganadora y el resto.

En base al histograma anterior, se estableció un rango de valores para el parámetro. Los valores se probaron con el fin de ver cuantos remates cambiaban sus resultados al introducir la componente aleatoria. Los resultados obtenidos de esta inspección se presentan en la Tabla A. 1.

Tabla A. 1. Variación del resultado de los remates según parámetro de escala.

Factor	Cambio (%)
450	15,2
500	16,5
550	17,7

Finalmente, el factor elegido fue 450 que alteró el 15,2% de los remates estudiados.

ANEXO 2: Validación de Resultados obtenidos.

Reposición tipo 1, espacio unitario.

A continuación, y a modo de validación se ilustran las relaciones entre los ahorros obtenidos en cada una de las réplicas, de cada uno de los casos simulados, y la proporción de la tarifa de mercado, que representa la tarifa de descuento obtenida en el mercado de capacidad.

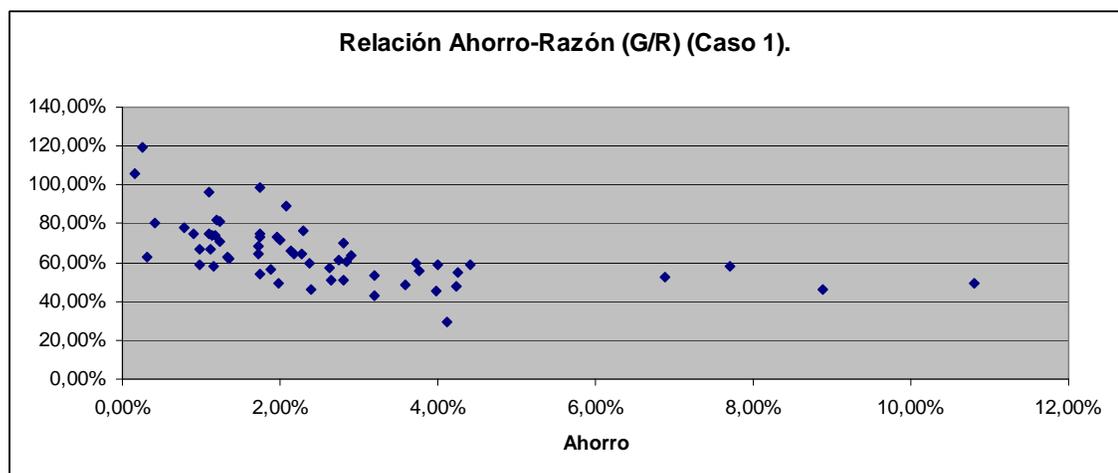


Ilustración A. 2. Relación Ahorro- Razón (G/R), Caso 1.

Es clara la relación inversa entre ambos índices, algunos puntos que pueden parecer extremos se decidieron dejar para considerar completamente la variabilidad introducida al sistema, sólo se eliminaron aquellas observaciones que representaban casos poco reales.

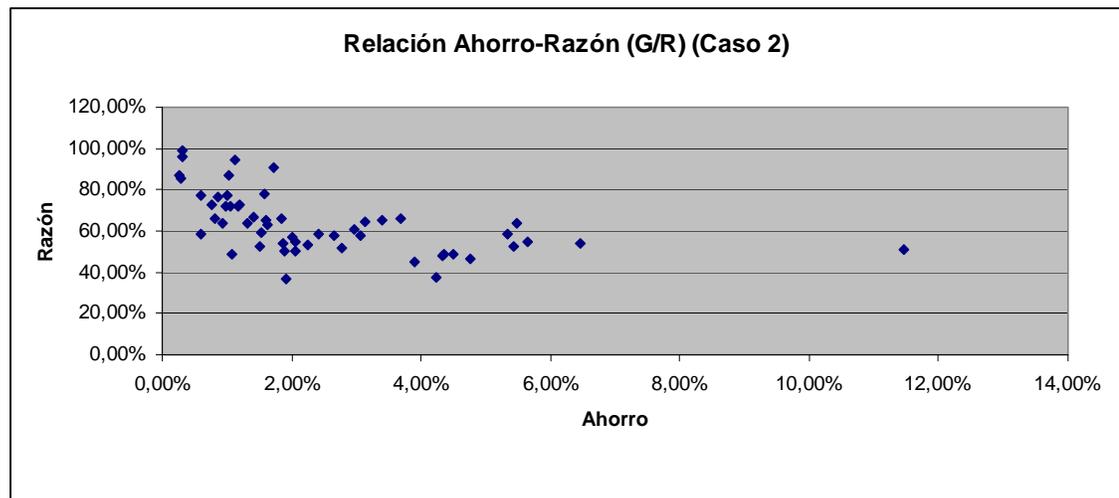


Ilustración A. 3. Relación Ahorro- Razón (G/R). Caso 2.

En la Ilustración A. 3, se puede observar la variabilidad obtenida. Como ejemplo, se puede mencionar que para un descuento cercano al 50% se obtienen ahorros cercanos a un 12% y otros cercanos a un 1%.

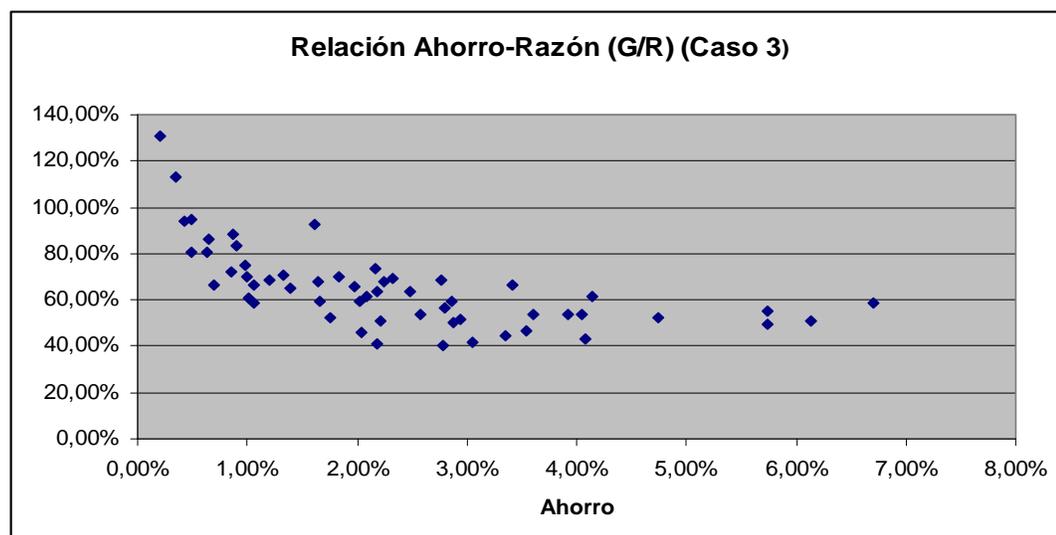


Ilustración A. 4. Relación Ahorro- Razón (G/R). Caso 3.

Reposición tipo 1, espacio rectangular.

En las 3 figuras a continuación se puede ver que para cada una de las simulaciones, la relación entre la razón promedio de la réplica y el ahorro obtenido en ésta, será de forma similar a los presentados para el caso unitario, es decir, será también una relación inversa como sería de esperarse. Puede llamar la atención la poca cantidad de observaciones. Esto se debe a los grandes descuentos ofrecidos durante la simulación, los que lograron en muchos casos generar tales cantidades de demanda que excedió los límites de la versión usada del software.

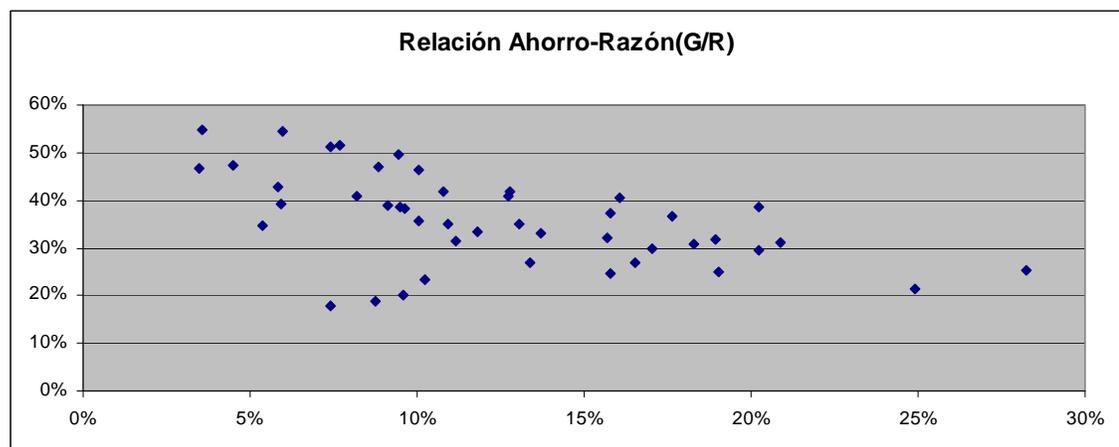


Ilustración A. 5. Relación Ahorro-Razón (G/R), Espacio rectangular, Caso 1.

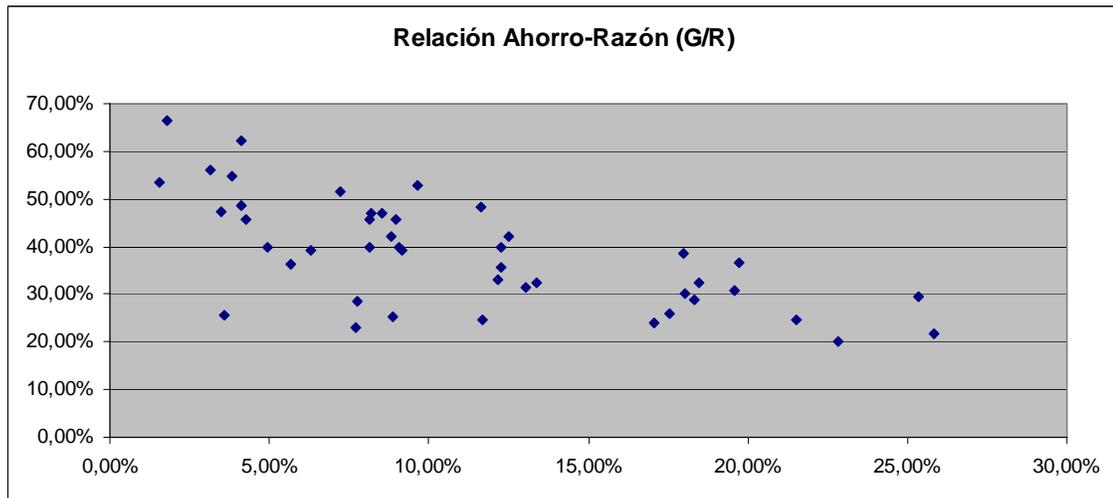


Ilustración A. 6. Relación Ahorro-Razón (G/R), Espacio rectangular, Caso 2.

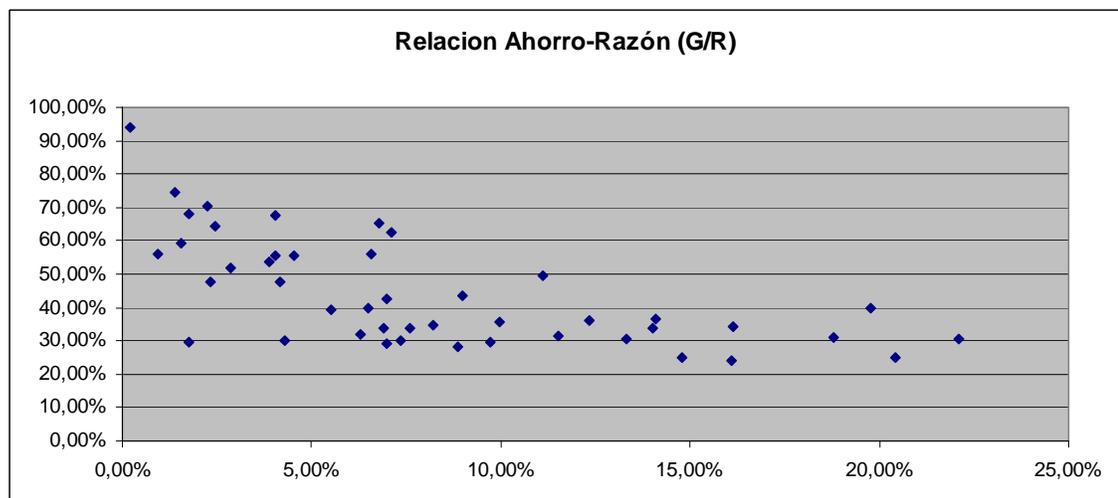


Ilustración A. 7. Relación Ahorro-Razón (G/R), Espacio rectangular, Caso 3.

Aunque las tres Ilustraciones presentan patrones similares, será la Ilustración A. 7, la que presente el más similar a los casos obtenidos para el espacio unitario.

Reposición tipo 2, espacio unitario.

. A continuación se ilustra la relación entre las tarifas resultantes y los ahorros obtenidos para cada uno de los casos, aplicando el segundo tipo de reposición.

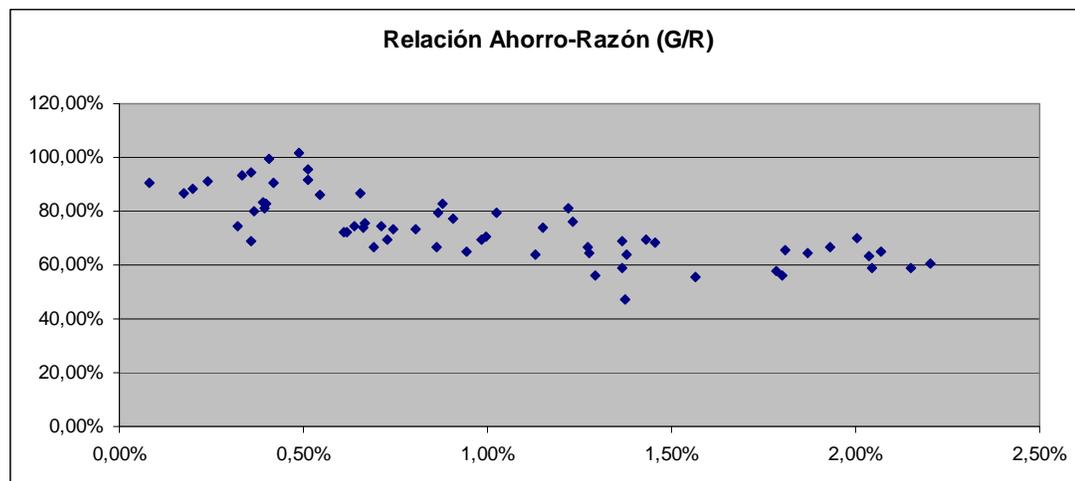


Ilustración A. 8. Relación Ahorro-razón (G/R), Caso 1.

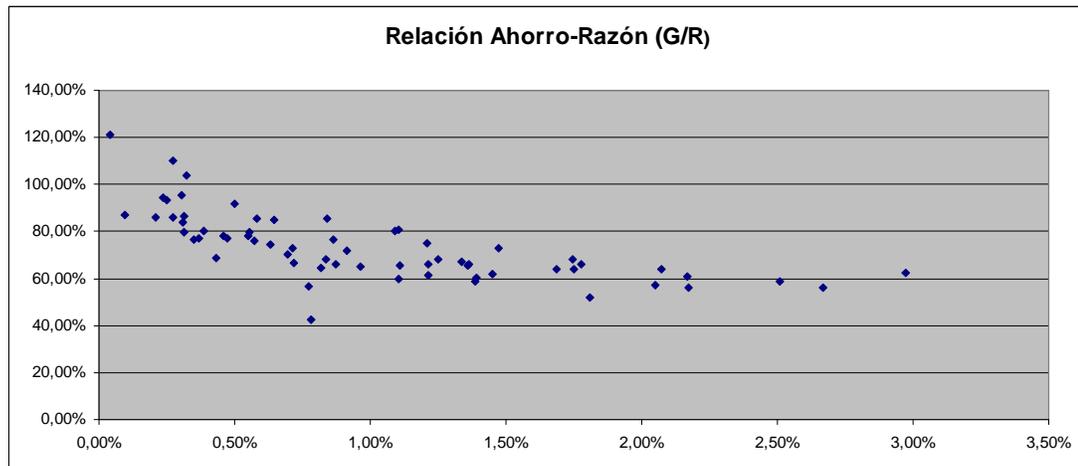


Ilustración A. 9. Relación Ahorro- Razón (G/R), Caso 2.

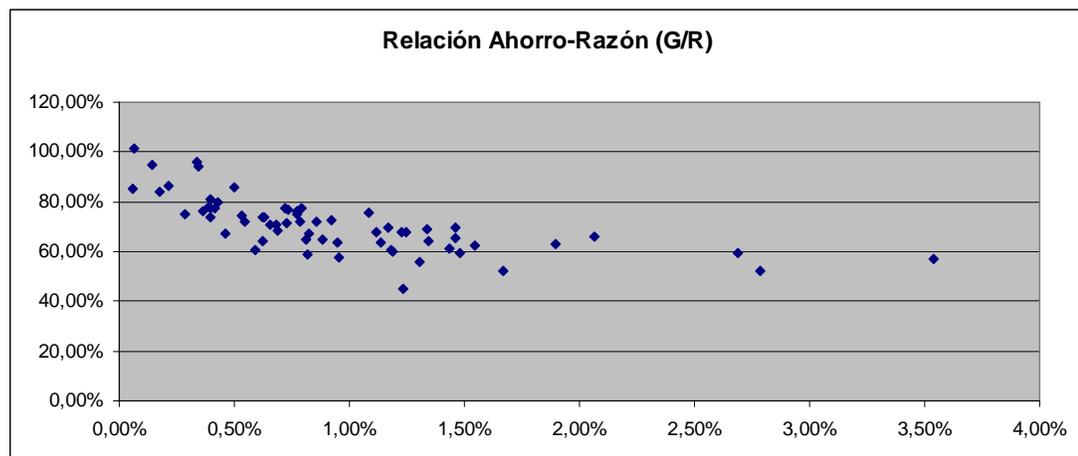


Ilustración A. 10. Relación Ahorro- Razón (G/R), Caso 3.

Las figuras no presentan ninguna novedad en cuanto a la relación existente. Lo que llama la atención de las tres figuras es la poca cantidad de observaciones con descuentos mayores al 40%, lo que muestra una gran variabilidad de los ahorros obtenidos para cada uno de los descuentos ofrecidos, hay que recordar que cada punto de las figuras representa los resultados obtenidos, en promedio, para una réplica de la simulación.

Reposición tipo 2, espacio rectangular.

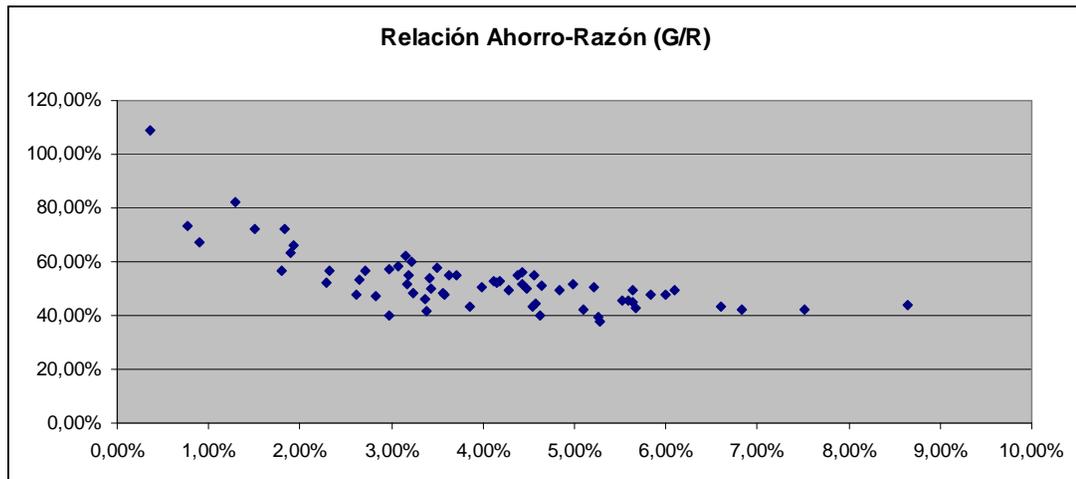


Ilustración A. 11. Relación Ahorro-Razón (G/R), Caso 1.

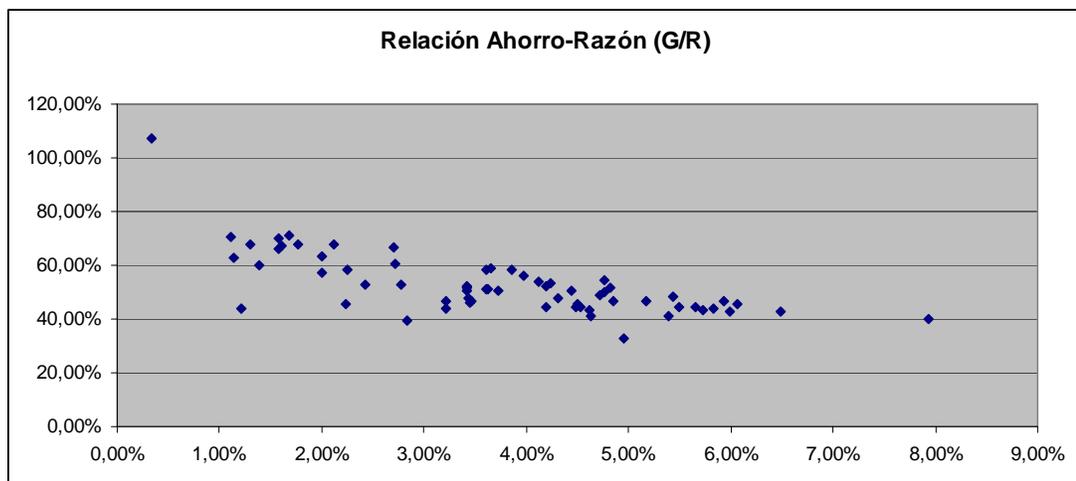


Ilustración A. 12. Relación Ahorro-Razón (G/R), Caso 2.

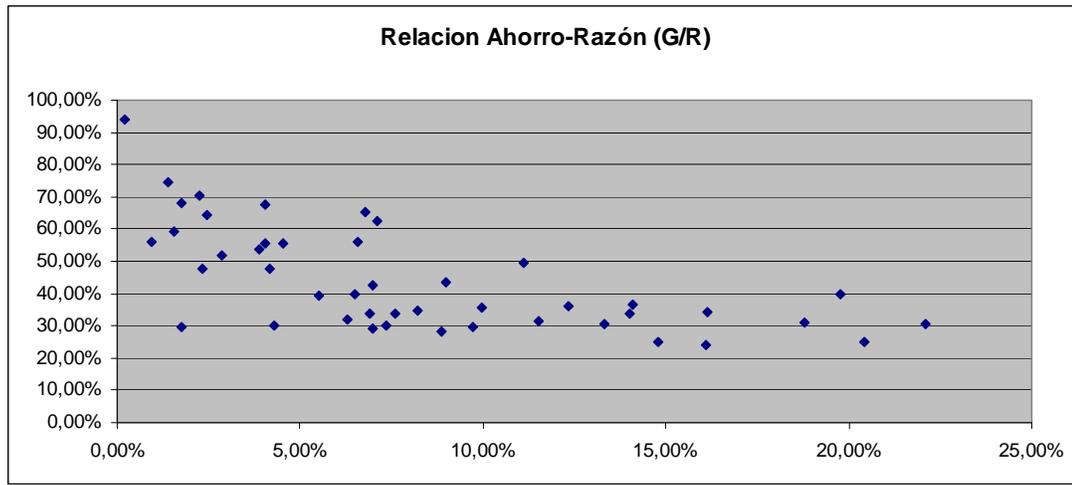


Ilustración A. 13. Relación Ahorro-Razón (G/R), Caso 3.

Aunque los descuentos sean irreales, se mantiene la relación inversa entre ambas variables, lo cual valida en cierta medida los resultados.

A diferencia de los casos antes presentados, ahora la mayor cantidad de observaciones se concentran bajo el 60%, lo que representa descuentos mayores al 40 %. En las ilustraciones anteriores, se vuelve a ver gran variabilidad en los ahorros resultantes de cada uno de los descuentos ofrecidos por los operadores en el mercado de capacidad.

ANEXO 3: Resultados y análisis de cada una de las simulaciones.

Reposición tipo 1, espacio unitario.

En esta sección se presentarán los valores promedio de cada una de las variables de desempeño antes mencionadas para todas las simulaciones realizadas.

Tabla A. 2. Comparación de costos totales, espacio unitario tipo 1.

Caso	Costo	Extra Inv.	\$/U.Dist(R)	\$/U.Dist(G)	\$/U.Dist(A)	Ahorro	Dscto. Promedio
1	100.860.144	2.284.677	32.106	20.727	30.378	2,55%	34,90%
2	111.740.421	2.541.014	31.673	19.971	31.024	2,46%	36,49%
3	127.769.432	2.780.553	31.744	20.452	31.045	2,32%	34,95%

Las columnas 4, 5 y 6 de las tablas que presentan costos, corresponden a los valores unitarios por unidad de distancia, ya sean generados (G), rematados (R) o asignados (A). La columna 7 corresponde al ahorro porcentual obtenido únicamente por efecto de la diferencia entre la tarifa de mercado correspondiente al par y la tarifa obtenida como resultado del mercado de capacidad. La columna 8 será la proporción de las tarifas promedio obtenidas del mercado de carga y el de capacidad, esta razón nos presenta el valor promedio de los descuentos aplicados sobre las tarifas de mercado. Si se observa la Tabla A.2, se puede apreciar que únicamente por la aparición de tarifas más convenientes en el mercado de capacidad, que permiten la alteración de las políticas establecidas de abastecimiento, se consigue un ahorro cercano al 2,4%. Por lo tanto, la porción restante del ahorro se puede atribuir a la explotación de las economías de alcance.

De la Tabla A. 2 se desprende que aunque permanezcan prácticamente constantes los descuentos ofrecidos, el ahorro relativo disminuirá a medida que el costo de mantención en inventario crece. Esto ocurre pues al ser más caro poner una orden anticipada, los despachadores estarán dispuestos a pagar, cada vez, valores más cercanos al precio de reserva lo que hará aumentar el costo total de transporte y disminuir los ahorros relativos. Por otro lado, el aumento del costo de mantención en inventario hará disminuir el tamaño del lote óptimo a ordenar, lo que frente a una demanda constante, hará crecer la frecuencia de viajes y con ella el costo total en magnitudes mayores a los ahorros obtenidos.

La diferencia entre las tasas de decrecimiento del ahorro y crecimiento del costo, siendo mayor esta última, nos indica que los beneficios reales obtenidos por la implementación del mercado de capacidad serán mayores.

Al disminuir el costo de mantención en inventario se debería facilitar la generación de demanda en el mercado de capacidad puesto que será más barato mantener una unidad extra en inventario. A esto se agrega que su disminución llevará también a un crecimiento en el ciclo de abastecimiento, y aunque relativamente dentro de un ciclo, el tiempo en el que el valor de una oferta será atractivo se mantendrá constante, en términos reales, que es lo realmente importante en este caso, el tiempo crecerá y con él la probabilidad de que aparezca una oferta conveniente.

Tabla A. 3. Comparación de asignación de viajes en destino.

CASO	GENERADOS	VACIOS	REUBICADOS	%VACIOS	% ÚTILES
1	1.354	2.617	2.765	38,85%	61,15%
2	1.441	2.810	3.137	38,03%	61,97%
3	1.661	3.238	3.674	37,77%	62,23%

Se consideran viajes útiles tanto a los que lograron generar demanda para regresar al depósito con carga como a aquellos en que los camiones fueron reubicados para servir otro cliente en un origen diferente.

En la Tabla A. 3 se puede apreciar que una vez en destino, en la mayoría de los casos se dará utilidad a los camiones. La proporción de viajes útiles se puede considerar constante.

Tabla A. 4. Comparación de distancias totales según caso.

CASO	REMATADOS	GENERADOS	VACÍOS OBLIGADOS	VACÍOS OBTENIDOS	ASIGNADOS	RAZÓN VAC. (OBT/TOTAL)
1	2.259	989	1.568	1.240	327	43,09%
2	2.585	1.078	1.760	1.353	350	42,90%
3	2.902	1.247	1.922	1.522	422	43,53%

En la Tabla A. 4 se hace diferencia entre las distancias recorridas sin carga, en busca de algún viaje (vacíos obligados) y aquellas que se debieron recorrer sin carga debido a que el operador fue incapaz de generar demanda en el destino (vacíos obtenidos). Es satisfactorio observar que la mayoría se debió a movimientos estratégicos por lo que el funcionamiento del mercado de capacidad cumplió su objetivo. Esto se confirma con el porcentaje de retornos útiles presentado en la Tabla A. 3.

En las dos tablas anteriores, se puede ver también que a medida que el costo de mantención en inventario va aumentando, aumentan también el número de viajes y la cantidad total de distancias recorridas para todos los tipos. Este aumento se explica a través de la disminución de los largos de los ciclos de abastecimiento debidos al alza en el costo de mantención en inventario.

Tabla A. 5. Uso de Flotas según Caso.

CASO	FLOTA TOTAL	CAPACIDAD OCIOSA (%)
1	160,6	49,10
2	158,4	47,19
3	159,7	45,90

La alta capacidad ociosa, en todos los casos, se debe a que para evitar la congestión en el sistema, se asignaron las flotas sobredimensionadas a todos los operadores. La razón de esto es que cuando el sistema se congestiona el número de entidades en él crece muy rápido y puede causar un error en la versión del software.

Puede verse que a medida que se reducen los ciclos de abastecimiento, la capacidad ociosa disminuye también.

Tabla A. 6. Participación de Mercado de Operadores por Caso.

Caso	%MERCADO DE OPERADORES			
	1	2	3	4
1	20,26	23,42	30,98	26,61
2	23,31	31,19	21,50	25,39
3	24,11	30,74	18,07	28,52

La Tabla A. 6 confirma la competitividad del mercado simulado. Aquí se presentan las participaciones promedio de todas las réplicas de cada simulación, y podemos ver que la mayor desviación respecto del 25% ideal, será de sólo 7 puntos.

Caso contraste, espacio unitario.

Como ya se explicó anteriormente, el caso contraste sólo cuenta con un mercado de carga por lo que los retornos podrán únicamente reubicarse para cumplir algún compromiso ya adquirido o bien retornar al depósito sin carga.

Tabla A. 7. Comparación de Costos totales en contraste, tipo 1.

Caso	Costo	\$/U.dist(R)	\$/U.dist(A)
1	133.289.148	46.349	41.764
2	145.588.658	44.398	41.276
3	164.890.859	43.644	40.456

En la tabla anterior se puede apreciar claramente como a medida que aumenta el costo de mantención en inventario, aumenta también el costo total de transporte del sistema, y a la vez, se reducen las tarifas unitarias de transporte. El aumento en el costo se produce debido al crecimiento de la cantidad de viajes, que aunque son más baratos son mayores en cantidad. Otro elemento que se puede extraer de la Tabla A.7, es como influye inversamente la variación de las frecuencias en el costo unitario de transporte en el caso de los remates. Esto se ve en la tercera columna de la tabla donde a medida que crece el costo de mantención de existencias, lo que lleva a que haya un mayor frecuencia de viajes, disminuye el costo unitario de viajes que se han asignado a través del mercado de carga.

Tabla A. 8. Comparación de uso de retornos en destino, Contraste, tipo 1.

CASO	VACIOS	REUBICADOS	%ÚTILES
1	3.088	2.979	49,09%
2	3.451	3.599	51,05%
3	3.774	4.278	53,13%

Es posible notar que, aunque en términos relativos la proporción de viajes útiles crece a medida que lo hace también la frecuencia, lo hará a una tasa menor a la que crecerán los viajes totales por lo que en términos reales la cantidad de retornos vacíos crecerá en ausencia de un mercado de capacidad, a medida que lo haga la frecuencia de viajes.

Según la Tabla A. 8, los viajes totales crecerán en aproximadamente un 15% entre cada uno de los casos mientras la proporción de retornos utilizados lo hará a una tasa cercana al 2,5%.

Tabla A. 9. Comparación de distancias recorridas, Contraste tipo1.

CASO	REMATADOS	ASIGNADOS	VACÍOS OBLIGADOS	VACÍOS OBTENIDOS	RAZÓN VAC. (OBT/TOTAL)
1	2.498	447	1.701	1.437	46,02%
2	2.844	503	2.012	1.565	44,00%
3	3.298	559	2.350	1.674	41,87%

La Tabla recién presentada muestra la importancia de las distancias que recorren los camiones vacíos para ir en busca de un viaje adjudicado en el mercado de carga. Como se vio en la Tabla A. 8, la cantidad de viajes sin carga será cada vez mayor en términos reales, y a pesar de esto, la proporción de distancias recorridas sin carga producto de

retornos no reubicados disminuirá a medida que crezcan las frecuencias de abastecimiento.

Tabla A. 10. Comparación de uso de flotas, contraste tipo 1.

CASO	FLOTA TOTAL	CAPACIDAD OCIOSA (%)
1	162,2	87,75
2	157,6	85,92
3	160,9	84,41

Se puede apreciar una disminución en la capacidad ociosa promedio de la simulación producto del aumento de las frecuencias de abastecimiento.

Esto ilustra de mejor forma la funcionalidad del mercado de capacidad, ya que el crecimiento de las frecuencias se podría haber traducido en un mejor uso de los retornos como forma de “amortiguar” este efecto, y no necesariamente en el incremento de camiones en uso, que en un mercado funcionando a capacidad, significaría introducir más vehículos al sistema.

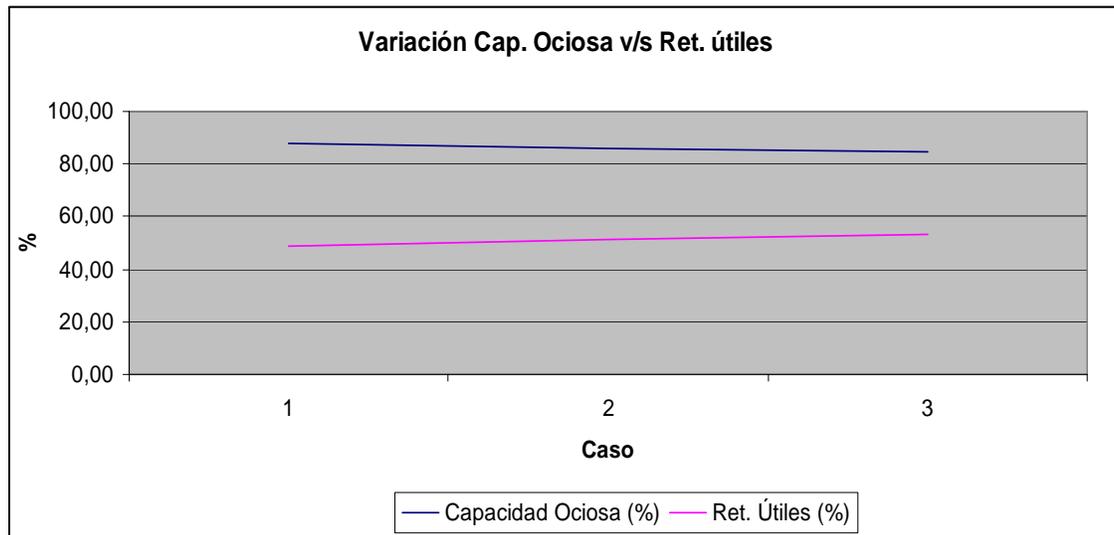


Ilustración A. 14 Evolución Cap. ociosa de flota y retornos útiles, contraste tipo 1.

La Ilustración A. 14 muestra como ambos índices varían de manera similar al aumentar las frecuencias de abastecimiento. El aumento en el uso de la flota demuestra que la mayoría de los viajes son del tipo ida-vuelta, esto último hace difícil la explotación de posibles economías de alcance, cosa que llevaría a los operadores a ofrecer tarifas más convenientes, tanto para los despachadores como para ellos mismos, y de paso hacer que todo el mercado funcione de manera más eficiente.

Tabla A. 11. Comparación de Participaciones de Mercado, contraste tipo 1.

Caso	%MERCADO DE OPERADORES			
	1	2	3	4
1	21,29	22,63	25,85	30,22
2	22,83	24,99	27,77	24,41
3	22,45	26,10	25,83	25,62

Al igual que en el caso de remate doble, la tabla anterior nos permite ver que el mercado de los operadores es competitivo en promedio, algo que de todas formas favorecerá a todos los agentes participantes.

Tabla A. 12. Intervalos de Confianza al 95%, caso contraste.

Al 95%	% Ret. útiles		Costo Total	
CASO	L. Inferior	L. Superior	L. Inferior	L. Superior
1	46,72%	51,11%	129.301.035	137.277.260
2	48,56%	53,38%	141.028.022	150.149.295
3	50,68%	55,98%	159.021.945	170.759.774

Reposición tipo 1, espacio rectangular.

A continuación, se presentan los resultados obtenidas para las simulaciones realizadas en un espacio rectangular delgado, con exactamente el mismo número de celdas y de las mismas dimensiones que el caso anterior, la única diferencia será la forma en que se ubican en el espacio.

Tabla A. 13. Comparación de costos totales en el espacio rectangular.

Caso	Costo	Extra inv.	\$/U.dist(R)	\$/U.dist(G)	\$/U.dist(A)	Ahorro	Dscto. Promedio
1	133.426.142	9.775.744	31.878	11.435	27.170	12,36%	64,00%
2	146.241.107	9.415.887	31.734	12.110	26.137	11,07%	61,49%
3	145.128.699	8.353.008	30.763	13.444	29.186	8,16%	55,78%

Lo más llamativo de la Tabla A. 13 es la magnitud de los ahorros obtenidos en el costo total de transporte. Estos valores son consistentes con la razón promedio entre las tarifas unitarias para viajes generados y rematados.

La nueva configuración espacial aplicada al sistema será la razón de los bajos valores de la razón promedio entre las tarifas unitarias.

Es importante recordar que las tarifas ofrecidas por los operadores en el mercado de carga se compondrán de tres partes: una determinística ($C^k(1 + \rho^k)$) que corresponderá al costo directo de realizar el viaje más un margen exigido, una probabilística ($C_R^k(1 - P_R^k)$), que representará el valor esperado del costo de un posible reposicionamiento vacío y finalmente una parte aleatoria pura (ξ^k) que busca explicar posible cambios en la tarifa ofrecida que no tengan explicación a través de las dos partes antes mencionadas. Cuando un operador ofrece una tarifa de descuento, de la primera parte no incluirá el margen, tampoco incluirá la segunda parte pues al tratarse de un viaje de retorno el valor esperado del costo de retorno será cero, la parte aleatoria tampoco se incluye. Los factores de la simulación fueron calibrados de manera tal que en el caso unitario los descuentos ofrecidos en el mercado de capacidad, fuesen cercanos al 35 %, o visto de otro modo, que el costo directo de realizar el viaje (sin considerar el margen) representara el 65% del valor ofrecido. Al crecer las distancias por el cambio en la configuración espacial, crecerá también el valor esperado para el costo de un reposicionamiento vacío y por tanto el peso relativo de la parte probabilística de la oferta, lo que llevará a descuentos mayores a los obtenidos en el caso del espacio unitario y cuyos valores carecen de aplicación práctica. En el capítulo III, se demostró que para el caso simulado, descuentos en la tarifa superiores al 50% harán que una oferta sea atractiva en todo momento para el despachador que la recibe, por esto mismo para los tres casos recién presentados, las ofertas realizadas por los operadores fueron en promedio mayores al 50%, lo que generó una alta frecuencia de viajes y a la vez un alto costo total.

Debido a que los descuentos resultantes del sistema simulado resultan ser inaplicables en la realidad, sólo se presentarán a continuación el resto de los resultados obtenidos y no se buscará establecer comparaciones con los otros casos simulados. Tampoco se

consideró muy útil alterar los parámetros de entrada para buscar que los descuentos se acercarán a la realidad, de haberse hecho esto, toda comparación con los otros casos simulados no habría tenido validez alguna.

Tabla A. 14. Comparación de retornos para espacio rectangular, tipo 1.

CASO	GENERADOS	VACÍOS	REUBICADOS	%VACÍOS	% ÚTILES
1	3.694	2.578	1.679	33,51%	66,49%
2	4.095	2.847	2.077	33,27%	66,73%
3	3.332	3.223	2.538	36,71%	63,29%

Los porcentajes obtenidos para los casos 1 y 2, de acuerdo a lo que ya se dijo, indican la existencia de un posible valor límite para la proporción de retornos útiles cercan al 65% de los viajes. Para el caso unitario estos valores se mantenían casi constantes y cercanos al 60% independiente del costo de mantención en inventario, ahora, en los casos mencionados, donde la gran mayoría de las ofertas serán atractivas no se supera el 67%.

Tabla A. 15. Comparación de distancias para espacio rectangular, tipo 1.

Caso	Rematados	Generados	Vacíos obligados	Vacíos obtenidos	Asignados	Razón vac. (obt/total)
1	2.213	4.685	1.620	1.903	489	53,22%
2	2.535	5.001	1.957	1.944	542	48,37%
3	2.797	4.054	2.095	2.237	522	50,41%

Aunque el costo de mantención en inventario cambiará, las condiciones generales permanecerán prácticamente constantes, por esto, las medidas de desempeño que se

presentan en la tabla, no variarán considerablemente a excepción de las distancias rematadas que lo harán por los aumentos en la frecuencia de los viajes.

Tabla A. 16. Comparación de uso de flotas para espacio rectangular, caso 1.

CASO	FLOTA TOTAL	CAPACIDAD OCIOSA (%)
1	161,1	41,67
2	161,5	42,56
3	161,2	42,09

Tanto la cantidad de camiones totales usados en la simulación como la proporción de capacidad ociosa serán similares en los 3 casos. La baja cantidad de camiones estacionados en los depósitos con respecto a los otros casos en que se simuló el sistema de remate doble muestran un indicio de que debido a las mayores distancias, habrá mas camiones repartidos en el espacio, por lo que de ser posible la situación simulada, se podrían aprovechar las ubicaciones de los camiones para obtener rebajas considerables en las tarifas ofrecidas por los operadores.

Tabla A. 17. Intervalos de confianza al 95%. Rep. Tipo 1, espacio unitario.

Al 95%	% Ret. útiles		Costo Total		% Ahorro	
	L. Inferior	L. Superior	L. Inferior	L. Superior	L. Inferior	L. Superior
1	57,53%	64,52%	95.842.511	105.877.778	2,03%	3,07%
2	58,36%	64,73%	105.366.261	118.114.581	1,91%	3,00%
3	57,43%	64,83%	119.215.156	136.323.707	1,92%	2,72%

Reposición tipo 2, espacio unitario.

En este caso, la generación de demanda será más exigente en cuanto al descuento en las tarifas ya que ahora se ordenará el lote óptimo completo y no lo consumido hasta el

momento como en el caso anterior. Por esto mismo, la cantidad de unidades extra en inventario, producto de una alteración a la política establecida, tenderá a ser mayor lo que hará que la importancia del valor del costo de mantención en inventario sea mayor a la que tenía en el caso anterior.

Tabla A. 18. Comparación de costos totales, espacio unitario.

Caso	Costo	Extra inv.	\$/U.dist(R)	\$/U.dist(G)	\$/U.dist(A)	Ahorro	Dscto. Promedio
1	89.503.747	1.199.385	31.705	23.319	30.469	1,00%	26,05%
2	100.848.628	1.383.715	31.666	23.130	30.733	1,00%	26,52%
3	113.315.699	1.429.844	31.262	21.980	29.020	0,94%	29,29%

La tabla anterior, presenta la comparación de los costos totales y unitarios para el caso en que se simula una política de reposición tipo 2 en un espacio unitario. En ella, se puede apreciar que a medida que sube el costo de mantención en inventario, y aumenta también la frecuencia total de viajes, el costo total de transporte del sistema crecerá por este aumento en la frecuencia, algo razonable pues se realizan más viajes y se gasta más en transporte.

El aumento del costo de mantención de existencias hará que el costo total de mantención de unidades extra crezca junto con él. Por el contrario, los costos unitarios de transporte, salvo el correspondiente a viajes asignados que permanece constante, disminuirá a medida que crezca la frecuencia total de viajes.

Los descuentos ofrecidos por los operadores permanecerán casi constantes al igual que los ahorros obtenidos por concepto de modificaciones a la política de inventarios

Tabla A. 19.Comparación de retornos, espacio unitario, tipo 2.

CASO	GENERADOS	VACÍOS	REUBICADOS	%VACIOS	% ÚTILES
1	544	2.481	2.809	42,72%	57,28%
2	582	2.486	3.591	37,67%	62,33%
3	626	2.870	3.855	39,65%	60,35%

En la Tabla A. 19, se puede apreciar que a medida que aumenta la frecuencia de viajes, aumentan también los viajes generados y reubicados. Por otro lado los retornos vacíos presentan variaciones menores a los otros tipos de retorno por lo que el porcentaje de viajes útiles crecerá al aumentar el costo de mantención de existencias por el aumento en las frecuencias. Como para este tipo de reposición aumenta la dificultad para generar demanda por parte de los operadores, la parte más importante de la proporción de retornos útiles será responsabilidad de las reubicaciones, lo que nos da un buen indicio del aprovechamiento de las economías de alcance, pues disminuirá la proporción de movimientos vacíos de los ciclos de los camiones.

Tabla A. 20.Comparación de distancias, espacio unitario, tipo 2.

Caso	Rematados	Generados	Vacíos obligados	Vacíos obtenidos	Asignados	Razón vac. (obt/total)
1	2.255	386	1.465	1.233	324	45,23%
2	2.556	426	1.629	1.173	371	41,16%
3	2.944	467	1.923	1.385	428	41,61%

Con respecto a las distancias, se puede ver que todas tendrán crecimientos similares. De todos modos, el crecimiento de las distancias cubiertas sin carga, producto del mercado de capacidad, será más “suave” que el de las distancias vacías obligadas, por lo

que la proporción de distancias vacías obtenidas, irá decreciendo a medida que crecen las frecuencias de abastecimiento.

Tabla A. 21.Comparación del uso de flotas, espacio unitario, tipo 2.

CASO	FLOTA TOTAL	CAPACIDAD OCIOSA (%)
1	159,6	52,72
2	160,9	49,41
3	158,8	47,99

Con respecto a las flotas totales, podemos ver que las cantidades permanecerán casi constantes.

La disminución de la capacidad ociosa a la vez que aumenta el costo de mantención de existencias, se debe al crecimiento de las frecuencias. Este crecimiento obliga al mayor uso de camiones ya que como se puede ver en la Tabla A. 19, la proporción de retornos utilizados se acerca al valor que antes se consideró como límite.

Tabla A. 22.Intervalos de Confianza al 95%. Rep tipo 2, espacio unitario.

CASO	% Ret. útiles		Costo Total		% Ahorro	
	L. Inferior	L. Superior	L. Inferior	L. Superior	L. Inferior	L. Superior
1	54,02%	60,53%	86.390.549	92.616.944	0,85%	1,14%
2	59,20%	65,45%	95.822.458	105.874.798	0,83%	1,16%
3	56,71%	63,98%	108.158.049	118.473.349	0,78%	1,09%

Reposición tipo 2, espacio rectangular.

En este caso, se buscará estudiar el comportamiento del sistema cuando se usa un sistema de reposición tipo 2 en un espacio rectangular delgado (2 x 0,5), hay que

recordar que tanto la cantidad de celdas consideradas, como sus dimensiones, serán las mismas que en el caso unitario, la única variación la experimenta la distribución espacial de éstas.

Tabla A. 23. Comparación de costos, espacio rectangular tipo 2.

Caso	Costo	Extra inv.	\$/U.dist(R)	\$/U.dist(G)	\$/U.dist(A)	Ahorro	Dscto Promedio
1	93.622.892	6.510.437	31.389	16.469	27.506	3,93%	47,29%
2	107.105.344	6.902.620	31.124	16.317	26.719	3,69%	47,33%
3	120.743.531	8.461.991	31.239	16.199	26.658	4,05%	47,76%

Al igual que lo ocurrido para el caso rectangular con reposición tipo 1, se puede ver que los descuentos ofrecidos por los operadores serán muy altos, lo que llevará a que el caso se aleje de la realidad.

No se puede apreciar una clara relación entre las variaciones del costo de mantención de existencias, ahorros y descuentos. Entre los casos 1 y 2 se observa una relación inversa con los ahorros y directa con los descuentos, la situación se invierte completamente entre los casos 2 y 3. Esta extraña situación se piensa que será producida debido a que al aparecer descuentos tan altos, los resultados pasarán a depender en gran medida de las condiciones particulares de cada una de las simulaciones, por lo que para este caso sólo se presentarán los resultados obtenidos. Al igual que para la simulación del caso rectangular con reposición tipo 1, no se buscará explicar en detalle los resultados obtenidos ni tampoco entrar en comparaciones con otros casos simulados, pues no tendría sentido comparar éstos con un caso irreal.

Los costos totales irán aumentando a medida que aumenten las frecuencias de viajes, este aumento se debe únicamente a esta causa ya que los valores unitarios de viajes, generados y rematados, presentarán valores similares para todos los casos.

El costo total por unidades extra en inventario sufrirá un leve aumento entre los casos 1 y 2, este aumento será mucho mayor entre los casos 2 y 3. Como algo similar ocurre con los costos totales, a la vez que el valor de la unidad de distancia generada disminuye y el de la unidad rematada permanece prácticamente constante, se piensa que estos cambios serán causados por un fuerte aumento de las frecuencias reales de abastecimiento. Al hablar de frecuencias reales se hace referencia a las frecuencias teóricas de la planificación *EOQ* más la frecuencia de viajes generados en destino.

Tabla A. 24. Comparación de retornos, espacio rectangular tipo 2.

CASO	GENERADOS	VACÍOS	REUBICADOS	%VACÍOS	% ÚTILES
1	1.186	2.293	1.672	44,24%	55,76%
2	1.328	2.376	2.318	39,70%	60,30%
3	1.549	2.370	2.620	36,37%	63,63%

El aumento de frecuencia entre los casos 1 y 2 parece ser absorbido completamente por los viajes útiles, mientras los retornos vacíos presentan un pequeño crecimiento. Los retornos útiles crecerán, ambos, de forma similar, y en mayor medida que los retornos vacíos. Por esto mismo, el crecimiento de la proporción de viajes útiles será considerable entre estos dos casos.

Entre los casos 2 y 3, la cantidad de viajes generados tendrá un incremento porcentual menor al de los viajes reubicados. Los retornos vacíos presentan un crecimiento despreciable por lo que la proporción de viajes útiles crece nuevamente.

Tabla A. 25. Comparación de distancias, espacio rectangular tipo 2.

Caso	Rematados	Generados	Vacíos obligados	Vacíos obtenidos	Asignados	Razón vac. (obt/total)
1	2.005	1.334	1.307	1.360	386	49,86%
2	2.281	1.507	1.490	1.475	528	49,43%
3	2.564	1.768	1.593	1.549	545	48,67%

Como se mencionó para la Tabla A.25, las distancias vacías ocasionadas a partir de viajes de retornos, casi no varían frente a los aumentos de los costos de mantención en inventario. De forma similar a las distancias sin carga obtenidas, variarán también las distancias vacías obligadas, por lo que la proporción de distancias que se recorren sin carga producto del mercado de capacidad permanece sin casi sin variaciones.

Tabla A. 26. Comparación de uso de flotas, espacio rectangular tipo 2.

CASO	FLOTA TOTAL	CAPACIDAD OCIOSA (%)
1	160,7	55,63
2	160,0	58,85
3	159,8	51,10

La cantidad total de camiones, en cada uno de los sistemas, será casi la misma. Con respecto a la capacidad ociosa obtenida para cada uno de los casos, y al igual que muchos de los resultados presentados para este caso particular, carece de lógica. Entre los casos 1 y 2, en que las frecuencias de viajes aumentan, se esperaría que la capacidad porcentual ociosa disminuyera o se mantuviera, nunca que subiera, y menos en la cantidad que los hace.