

Técnicas de Optimización Colaborativa en Logística

Ricardo R. Palma

Centro de Estudios y Aplicaciones Logísticas
Maestría en Logística Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo
Ciudad Universitaria PC,5500 Mendoza, Argentina
rpalma@uncu.edu.ar

Resumen – El presente trabajo es el resultado de un estudio y posterior implementación de soluciones en el centro de distribución de cargas de una empresa local del rubro supermercado. La empresa basa su estrategia competitiva en dos pilares. El primero de ellos tiene base en los procedimientos de compras y el segundo en las operaciones. Respecto al segundo punto hemos trabajado con una técnica de Optimización Colaborativa que posterga la impresión de las ordenes de trabajo tratando de racionalizar la limitada capacidad de operación de los recursos existentes.

Palabras Clave – *Administración Operaciones, Explosión Combinatoria, Multiobjetivo Optimización*

I INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la empresa

Luego de los cambios que las empresas de Argentina debieron enfrentar posteriores al 2001, ha habido una sustancial variación en la forma y en los métodos que las empresas han tenido que desarrollar para adaptarse a un nuevo escenario. El rubro de los supermercados no escapa a esta generalidad y si bien la empresa familiar sobre la que este estudio se ha realizado, ha intentado con sus conocimientos explotar al máximo el uso de sus recursos, podemos afirmar, que resta un largo camino para poder afirmar que se está en el óptimo, sea cual sea la perspectiva desde la que se estudie el problema.

Podemos encontrar que entre las diez empresas que más facturan hoy en la Argentina hay dos del rubro supermercado, la empresa que tratamos, puede considerar a estas grandes cadenas como competidores peligrosos y tenaces. A pesar de ello, ha enfocado sus esfuerzos para competir en un mercado de consumidores de bajos recursos, con ello ha logrado un sostenido crecimiento en los dos últimos años; en parte gracias a la paulatina recuperación del poder adquisitivo del sector C de consumidores.

A diferencia de las grandes cadenas que concentran en pocas bocas de expendio gran volumen de venta, nuestra empresa tiene un elevado número de bocas de expendio distribuidas por varias provincias, con pequeños locales distribuidos por zonas residenciales. Entre los productos centrales de su estrategia competitiva están los no perecederos. Este tipo de estrategia complica fuertemente las operaciones en especial en lo referente a tráfico y almacenamiento.

Como resultado de un proceso de auditoría logística realizada por el CEAL se determinó que la empresa tenía oportunidades de mejoras en las áreas de transporte, trabajo que se desarrollo por medio de una gestión integral del tráfico y en los almacene. En esta presentación nos limitaremos al trabajo de área almacenes que fue el área que, según se estimó inicialmente, más oportunidades de mejoras presentaba.

1.2 Situación general de los almacenes.

La empresa cuenta con dos almacenes. Uno de la provincia de Córdoba y el otro en Mendoza. Desde este último abastece al 80% de sus bocas. La empresa ha desarrollado un sistema informático que opera el abastecimiento y los niveles de stock mediante una técnica llamada “pedido automático” . Básicamente consiste en indagar al momento de cerrar todas las cajas registradoras que es lo que se ha vendido en el día, consolidar los consumos de todas las bocas de expendio y pedir exactamente esas cantidades a los mayoristas. Los niveles actuales de inventarios en las bocas de expendio y en el centro de distribución de cargas se fijan mediante la formula de Wilson (4) (5) en base a los costos de almacenamiento (donde se imputa fundamentalmente el costo de deterioro y robo) y los costos de emisión.

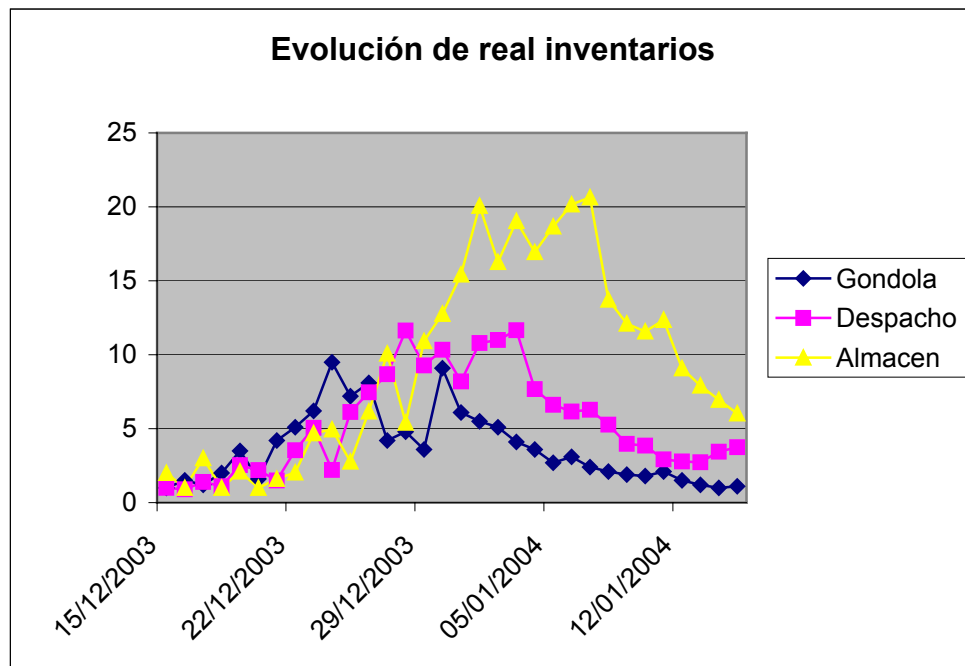
II El Sistema de Gestión

2.1 Criticas al modelo de Pedido Automático

El uso a lo largo del tiempo del sistema de pedido automático y la poca certeza que tenemos al imputar costos a las cuentas costos de almacenamiento y de emisión, sumado a los retardos que existen para el traslado de la información han motivado que la empresa caiga en una situación que indefectiblemente termina con elevados niveles de inventarios en los almacenes de los centros de distribución de carga. Pensemos por un momento que el modelo de Wilson (5) fue desarrollado en los años 20 y tenía en mente situaciones de mercados estables a largo plazo. No fue hasta pasados varios años de la crisis financiera de los 30 que el modelo tomo contacto con el ámbito universitario y en definitiva este fue uno de los factores que la empresa bajo estudio pudiese sobrellevar la crisis financiero del 2001. En la actualidad, el problema de los precios máximos para los productos claves de la canasta familiar, distorsiona aún más el problema de los costos asignados al modelo para determinar los puntos de reorden. Otro aspecto interesante a notar es que la empresa tiende a calificar o penalizar con valores muy altos los quiebre de inventario en góndola llegando al extremo de castigar al sistema de gestión del transporte con viajes de móviles con 20% de su capacidad de carga para, por ejemplo, reponer mercaderías en oferta de fin de semana.

Desde el punto de vista sistémico la empresa opera con tres centros o sub sistemas, el primero es las bocas de expendio, el segundo es el sistema de trafico y el tercero es el centro de distribución de

cargas. Cada uno de ellos opera como un elemento dinámico que introduce un retardo particular en el envío de su información de operaciones y a la vez tiene un retardo en la recepción de sus insumos productivos (llámense estos mercancías, combustibles para el transporte o sus propias ordenes de trabajo.



Naturaleza dinámica del problema

Fig. 1

En la figura 1 podemos observar la naturaleza dinámica del funcionamiento integral del sistema ante una demanda escalón generada el 23 de Diciembre de 2003. En la línea de diamantes se observa la evolución de las ventas. En línea de cuadrados se ve como evolucionaron los inventarios en el centro de distribución de cargas (paletas abiertas para picking) y por último la línea de triángulos muestra la evolución de las compras .

Como resultado de este operar la cada vez que la empresa detecta un incremento en la venta de algún ítem el sistema de pedido automático lanza las ordenes y cada eslabón de la cadena empuja los productos hacia la boca de expendio pero cada da uno intenta protegerse contra los quiebres. Para que no sea su eslabón el responsable trata de optimizar el funcionamiento de su área , consiguiendo lo que técnicamente se denomina un óptimo local distorsivo.

Cuando el consumo del ítem vuelve a los valores habituales, el sistema tiene una gran inercia que continúa empujando los productos hacia la boca de expendio lo que indefectiblemente termina en un

sobreinventario que solo puede ser solucionado vendiendo en los productos a precios inferiores a los costos.

III OPTIMIZACIÓN COLABORATIVA

De las distintas posibilidades que teníamos disponibles para conjugar las necesidades de cada sector de la empresa decidimos utilizar la metodología de optimización colaborativa (OC) que nos permite fijar niveles de inventario que permitan poner la empresa en un óptimo operativo global.

III.1 Descripción de la técnica OC

La técnica consiste en dejar que cada eslabón plantee sus propias ecuaciones de optimización y generar una instancia superior a ellos que imponga restricciones a los jacobianos de cada eslabón. La técnica propuesta por Brown & Koor Ref. [1] en 1995 es especialmente útil en este caso en que tenemos una familia de productos no perecederos del orden de 20.000 posiciones de inventario. Decidimos trabajar con familias de productos para no encontrarnos con el problema de explosión combinatoria.

III.2 Explicitación matemática de la OC

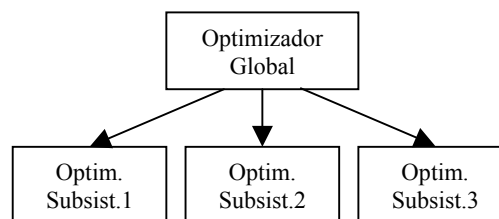


Fig. 2 Framework de OC

El marco en el que progresa la optimización tal como lo indicamos en el apartado anterior implica que cada sector inicia su optimización en base a variables que son comunes para su semántica sectorial pero sobre él opera un optimizador global que le impone restricciones a sus variables. Estas restricciones provienen de traducir los requerimientos de los otros eslabones. En términos generales el optimizador global debe ser capaz de generar su propia optimización en base a todas las restricciones que imponen los subsistemas. Muchas de las aplicaciones que se pueden encontrar en la bibliografía usan como variables conectoras a los costos o a los ingresos. En nuestro caso hemos preferido utilizar el tiempo como variable conectora. Esta es una vieja práctica en la logística y es bien conocido en el mundo de los negocios, aún cuando pocos parecen tener presente que el “el tiempo vale oro”.

En muchos casos la técnica, según lo expuesto por DeMiguel y Murray 2000 Ref [2] avanza rápidamente hacia el óptimo sin llegar a una explosión combinatoria, incluso es posible trabajar en

dominios no lineales a condición de que se traten espacios convexos. En nuestro caso hemos optado por trabajar a nivel de optimización global con una función cuadrática , nuestra función es del tipo

$$f(t, \$, \text{unidades invent.}) = [Z^{\wedge} - Z^*]^2 \quad (1)$$

que representa la diferencia cuadrática que dos eslabones imponen a la variable conectora Z.

III.2 Modelo matemático

2.1 Optimizador Global:

$$\min J_{\text{sys}}(Z^*) \quad \text{sujeto a: } J(I) = 0 \quad \text{para todo } i \quad (2)$$

$$\text{para } Z \text{ variando entre } Z^*_{\text{low}} < Z^* < Z^*_{\text{up}} \quad (\text{campo de regiones posibles}) \quad (3)$$

2.2 Optimizador local (i esimo sub sistema)

$$\min J_i(Z^*, Z^{\wedge}) = f(Z^*, Z^{\wedge}) \quad \text{sujeto a: } g(Z^{\wedge}, X_i) < 0 \quad (4)$$

$$h(Z^{\wedge}, X_i) < 0 \quad X_{\text{low}} < X < X_{\text{up}} \quad (5)$$

Donde :

Z^* es un vector de variables definidas por el optimizador global (conectoras)

Z^{\wedge} es un vector de variables utilizadas por el subsistema iésimo

X_i es un vector de variables definidas por el iésimo subsistema.

IV PUESTA EN PRACTICA

Con el modelo expuesto se desarrollaron algunas piezas de software que permitieron que la empresa capture la información necesaria del área operaciones y la vuelco a sus bases de datos. A pesar de lo completo que es el sistema informático con el que cuenta la empresa, jamás se habían contabilizado tiempo. Se habían llevado contabilidad de fondos, créditos, débitos, envases, litros de combustible, kilómetros; pero jamás tiempo.

Los datos recolectados se volcaron a un cuadro de mando integral y se comenzaron a emitir alertas tempranas cuando el accionar de un sector de operaciones se generaba resultados que apartaban de el optimo global a la empresa.

Se escribió una pieza de software especial desarrollada en GNU C inspirada en el código Juergen Ebert Ref. [3] . Según el autor esta rutina utilizada por varios años en IBM para resolución de problemas de programación lineal entera tiene una rápida convergencia y bajo costo computacional.

Posteriormente se compilo una librería dinámicamente cargable (dll) que es llamada desde un formulario de Visual Basic for applications invocada desde una hoja de calculo Excel.

IV.1 Post optimización.

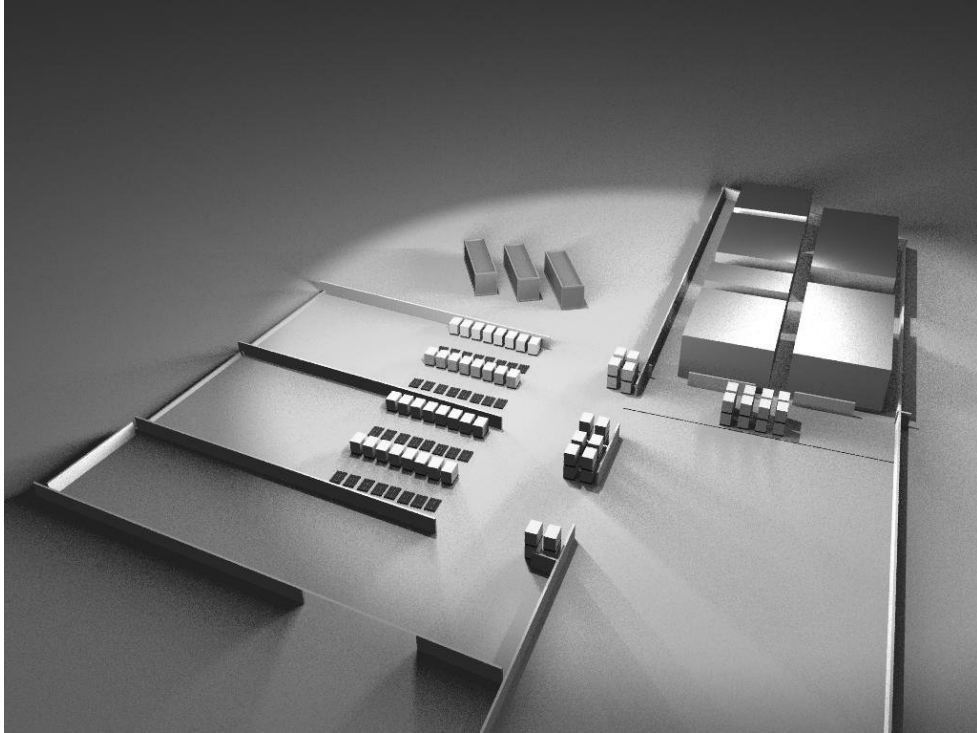
Basados en los datos obtenidos de la OC se determinaron los niveles de inventarios necesarios para la operación. Se realizo un modelo en 3d que muestra como debería lucir el almacén central y se comparó con fotografías del mismo.

IV.2 Localización de familias de productos

El almacén del centro de distribución de cargas tiene cuatro naves, de las cuales una es utilizada como pulmón para descargar paletas (pallets). Este sector tiene una gran dinamica y se ha observado que cometer errores en este sector desencadena una serie de retrasos que pueden hacer fracasar toda la operación.

Se estableció una ecuación de costo de operación para cada posición en el piso del almacén basada en el producto de la distancia a la zona de picking multiplicado por el numero de pedidos que se llevan de un determinado ítem.

Se elaboró una matriz en la que en filas se señaló el ítem y en columnas la posición en el piso del pulmón. Cada elemento $c(i,j)$ representa el costo de poner en la posición i el producto j .



El objetivo es minimizar el jacobiano

$$J(i,j) = \sum A(i,j) C(i,j) \quad (6)$$

Sujeto a las restricciones expresadas por una matriz de asignación en la que las filas y columnas son las mismas que en la matriz anterior pero los valores son solo uno y ceros.

$A(i,j)$ Matriz de asignación.

En esta segunda matriz un uno en una posición i,j indica que el producto i debe colocarse en la posición j del pulmón.

Las restricciones que imponemos tienen que ver con que la suma de los valores de cada fila de la matriz a sean iguales a uno (restricción del tipo “un lugar para cada cosa”) y que la suma de los valores de cada columna sean igual a uno (restricción del tipo “cada cosa en su lugar”).

$$\min \sum C(i,j) * A(i,j) \quad \text{para } i=1\dots n \quad j=1\dots m \quad (7)$$

donde i implica familia de productos y j posiciones en el almacén

sujeto a las restricciones :

$$\sum A(1,j) = 1 \quad \text{para } j=1\dots m$$

$$\Sigma A(2,j) = 1 \quad \text{para } j=1\dots m$$

...

...

$$\Sigma A(n,j) = 1 \quad \text{para } j=1\dots m$$

y las restricciones

$$\Sigma A(i,1) = 1 \quad \text{para } i=1\dots n$$

$$\Sigma A(i,2) = 1 \quad \text{para } i=1\dots n$$

...

...

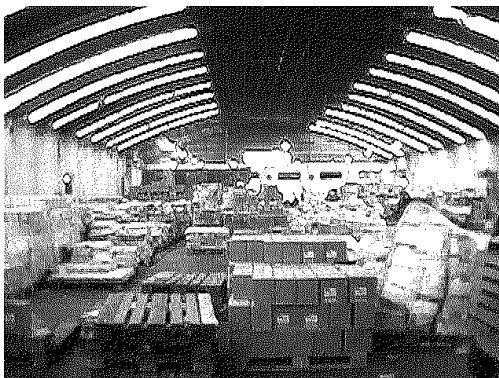
$$\Sigma A(i,j) = 1 \quad \text{para } i=1\dots n$$

5 ASPECTOS PRÁCTICOS DE LA IMPELMENTACIÓN Y CONCLUSIONES



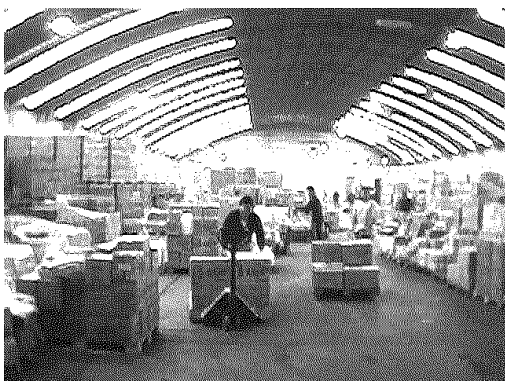
Vista parcial de la nave 2 antes de comenzar las operaciones (7:00 hs).

Se puede observar con el sistema informático con pedido automático ha anticipado el envío de preparación de pedidos y durante la noche los autoelevadores han movido los pallets a la nave de preparación de pedidos desde el pulmón de descarga.



Vista de la misma nave a las 8:45 hs

Picking bloqueado, imposibilidad de operar con medios mecánicos. Los operadores de picking tienen ordenes de armado de pedido iniciadas con demoras por falta de algún ítem. Los medios mecánicos tienen órdenes de carga, descarga y movimientos internos sin cumplir. La flota de transporte de camiones está en tránsito en su totalidad.



Vista de la operación de picking luego de la implementación. El sistema informático libera en forma individual las ordenes de trabajo asegurando la disponibilidad de mercancías , operadores, autoelevadores y camiones de la flota. La flota de camiones está en tránsito con el 45 % de los vehículos. El retraso de picking optimiza la variable local bultos despachados.

El uso de la optimización colaborativa logra mejorar el comportamiento global de la compañía haciendo mínimo el nivel de inventario en el almacén de recepción y zona de preparación de pedido. Dejando aceptables niveles de inventario en góndola se optimiza la variable local del gerente de sucursal. En tanto que la variable que necesita optimizar el gerente de flota es la vinculada con el costo operativo, que es grandemente influenciado por el costo de los combustibles. La optimización colaborativa ha usado como optimizador global el tiempo. El objetivo de cada sub sistema está en general expresado en otras dimensiones tales como el costo de operación , horas hombres empleadas o kilómetros recorridos. Las restricciones que un sub sistema impone al optimizador global son transferidas a los sistemas adyacentes y de este modo se obtienen parámetros que indican que nivel de actividad debería llevarse para que como un todo la empresa satisfaga los requerimientos de sus capacidades operativas y logren arribar a un óptimo operativo.

VI REFERENCIAS

- [1] V. Koor y J. Brown, Multiobjective Optimimization based on Collaborative Optimización. Institute for Computer Applications in Science and Engineering (ICASE)- Research paper
- [2] V, DeMiguel & W. Murray, An Analysis of Collaborative Optimization Methods, <http://faculty.london.edu/avmiguel/papers.html>
- [3] Juergen Ebert lp_solve development community www.geocities.com/lpsolve (Unesco FSF / GNU)
*
- [4] Harris, F. W. Operations Cost (Factory Management Series), Chicago: Shaw (1915).
- [5] Wilson, R. H. "A Scientific Routine for Stock Control" Harvard Business Review, 13, 116-128 (1934).