

Un enfoque de inventarios para planear capacidad en redes de telecomunicaciones

Carlos Alberto Álvarez Herrera, Mauricio Cabrera Ríos
División de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, FIME-UANL
carlos@yalma.fime.uanl.mx, mauricio@yalma.fime.uanl.mx



RESUMEN

En una red de telecomunicaciones se planea, en general, el nivel de servicio que se desea brindar a los clientes dado un presupuesto anual y considerando un costo por tener capacidad instalada. Estas decisiones dependen además altamente de pronósticos de demanda. Las características de este problema en telecomunicaciones lo hacen muy parecido a un problema de control de inventarios. En este trabajo se investigan las similitudes de ambos problemas y se plantea cómo aprovecharlas para solucionar el problema original.

PALABRAS CLAVE

Inventarios, Telecomunicaciones, Optimización, Planeación de capacidad.

ABSTRACT

Planning in a telecommunications network is carried out, in general, to fulfill the demand of customers at a certain service level, given an annual budget and considering the cost of having installed capacity. Additionally, these decisions depend highly on demand predictions. The characteristics of this telecommunications problem make it very similar to an inventory control problem. In this work, the similarities of both problems are researched and the use of the inventory problem to solve the telecommunications problem is proposed.

KEYWORDS

Inventory Control, Telecommunications, Optimization, Capacity Planning

INTRODUCCIÓN

Una red de telecomunicaciones está formada por una serie de estaciones de trabajo, coordinadas por máquinas especiales, denominadas servidores, y por un conjunto variable de dispositivos autónomos, tales como routers y switches (figura 1). Cada dispositivo activo que interviene en la comunicación de forma autónoma se denomina nodo. Todos ellos se comunican entre sí directamente a través de redes de transporte de información.

Los sistemas de comunicación en red se basan en la arquitectura cliente-servidor, que es una forma específica de diseño de aplicaciones.¹ Así, el cliente es el ordenador que se encarga de efectuar una petición o solicitar un servicio, mientras que el servidor es el ordenador remoto que controla dichos servicios.

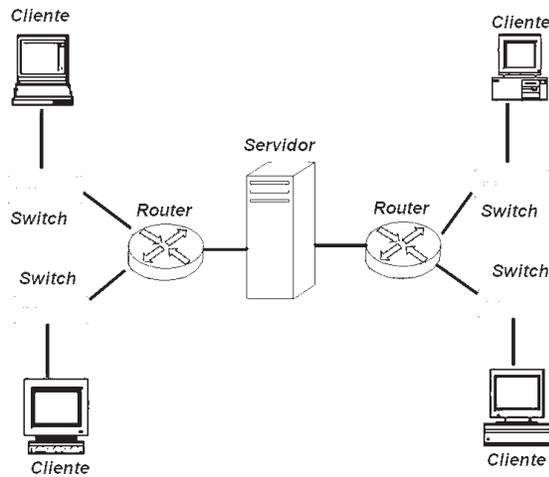


Fig. 1 Red de Telecomunicaciones basada en la arquitectura cliente-servidor.

Cada servicio solicitado por el cliente, es medido por medio de unidades de ancho de banda. Para que una red de telecomunicaciones pueda ejecutar los servicios de todos los clientes, debe contar con la capacidad suficiente disponible en términos de unidades de ancho de banda en sus nodos.

La importancia de la labor de planeación que se debe hacer para adquirir equipo que provea las unidades de ancho de banda necesarias, tomando como base un pronóstico de demanda y una capacidad inicial instalada es evidente. El balance importante está aquí en mantener un inventario mínimo de equipo que garantice un cierto nivel de servicio al cliente. En la figura 2 se muestran los datos iniciales del problema: un pronóstico de demanda para un año particular y la capacidad inicial.

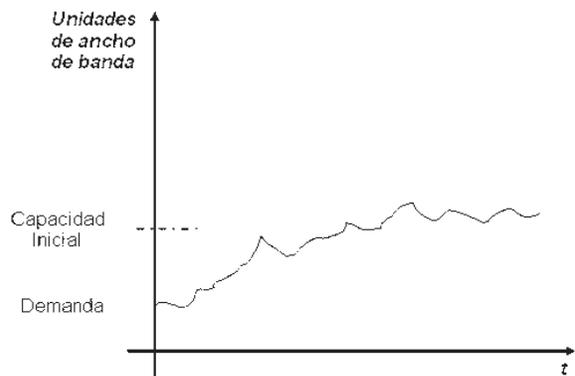


Fig. 2 Pronóstico de Demanda en una Red de Telecomunicaciones para un año específico.

OPTIMIZACIÓN EN UN PROBLEMA DE PLANEACIÓN DE CAPACIDAD PARA UNA RED DE TELECOMUNICACIONES

Al tratar el problema de planeación de capacidad en telecomunicaciones como un problema de optimización se busca encontrar las cantidades de equipo a pedir en el tiempo con el objetivo de minimizar el costo asociado con el inventario, y bajo la consideración de tratar de cumplir con ciertos niveles de demanda. Dado que los datos de la demanda provienen generalmente de un pronóstico, una práctica común es además definir un stock de seguridad para proteger contra las posibles fluctuaciones de la demanda real. Para resolver este problema por lo general se recurre a un modelo de programación matemática. El modelo resultante, sin embargo, puede volverse muy difícil de resolver al analizar una cantidad elevada de períodos,² pues la mayoría de los casos involucra variables binarias y enteras, definiendo así un problema combinatorio. Un modelo típico, y el cual tomaremos como base, se describe a continuación.

VARIABLES

x_i = Cantidad de unidades de ancho de banda que se comprarán en el mes i .

I_i = Cantidad de unidades de ancho de banda que se mantendrán en inventario en el mes i .

y_i = Variable Binaria, que toma el valor de:
 1 si se genera una orden de compra de equipo en el mes i
 0 si no se genera

C_i = Capacidad en unidades de ancho de banda que se tendrá en el mes i .

PARÁMETROS

a_i = Costo por unidad de ancho de banda pedida en el mes i .

b_i = Costo por unidad de ancho de banda que se mantiene en inventario en el mes i .

f_i = Costo por generar una orden de compra en el mes i

D_i = Demanda de unidades de ancho de banda en el mes i

C_0 = Capacidad en unidades de ancho de banda del mes 1. (Capacidad inicial)

M = Número muy grande positivo.

FUNCIÓN OBJETIVO

Minimizar Costo de Unidades pedidas + Costo de Unidades en Inventario + Costo de Generación de Orden de Compra

El problema resultante para un período de doce meses es, entonces:

Encontrar $x_i, y_i \quad i=1, 2, \dots$, para

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{i=1}^{12} a_i x_i + \sum_{i=1}^{12} b_i I_i + \sum_{i=1}^{12} f_i y_i$$

Sujeto a

$$\begin{aligned} C_1 &= C_0 \\ C_i + x_i - C_{i+1} &= 0 \quad i = 1, 2, \dots \\ C_i &\geq D_i \quad i = 2, 3, \dots \\ C_i - I_i &= D_i \quad i = 1, 2, \dots \\ x_i - M y_i &\leq 0 \quad i = 1, 2, \dots \\ y_i &\in \{0, 1\} \quad i = 1, 2, \dots \\ x_i &\in Z^+ \quad i = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (1)$$

En el trabajo que aquí se presenta, el objetivo es resolver el problema de planeación de capacidad para una red de telecomunicaciones, planteado aquí como un problema de programación matemática entera, bajo un enfoque distinto: la utilización de técnicas de control de inventarios. El uso de este enfoque puede resultar en análisis y soluciones generadas en poco tiempo a un costo computacional bajo, como

se muestra en el caso de estudio que se presenta más adelante. En el resto de este documento, primero se explicarán las similitudes entre el problema en telecomunicaciones y el problema de control de inventarios para después abordar algunas técnicas disponibles en el control de inventarios y, finalmente, presentar un caso de estudio real donde se pusieron en práctica las ideas aquí descritas.

ENFOQUE DE INVENTARIOS PARA UN PROBLEMA DE TELECOMUNICACIONES

Los inventarios, definidos de manera general, son aquellos artículos a la mano destinados para consumo. El control de inventarios está integrado por técnicas para determinar cuándo deben reabastecerse los inventarios actuales y cuánto debe reabastecerse.³ El objetivo del Control de Inventarios además de satisfacer las demandas de los clientes a un nivel predefinido, es de minimizar los costos. Es claro, sin embargo, que estos objetivos se encuentran en conflicto. Una curva de inventarios en el tiempo se muestra gráficamente en la figura 3.

El propósito principal en la industria de telecomunicaciones es brindar servicio a todos sus clientes, aumentando la capacidad cuando se requiera (figura 4). La capacidad en este contexto es la cantidad de unidades de ancho de banda disponible para dar servicio a los clientes. Similarmente, el propósito principal en el control de inventarios es adaptar la oferta a los diferentes niveles de la demanda sujeta al consumo de los clientes. El inventario, entonces,

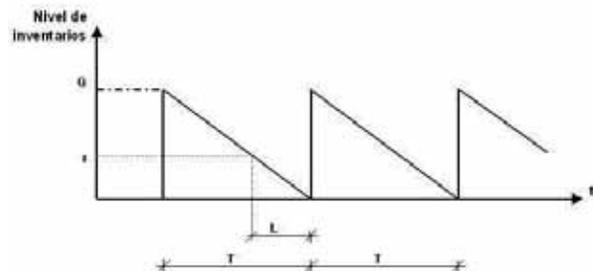


Fig. 3. Evolución de Inventario: Al inicio de un período de tiempo (T) se tiene un nivel de inventarios con una cantidad (Q) de artículos, conforme transcurre el tiempo el nivel de inventarios disminuye hasta llegar a un punto (r), el cual nos indica el momento en el que tenemos que reordenar el inventario, tomando en cuenta un tiempo guía (L) que va desde que se ordenan los artículos hasta que se tienen disponibles.

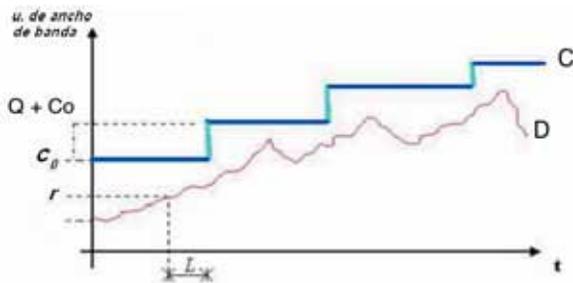


Fig 4. Evolución de la Demanda (D) y la Capacidad (C) en el tiempo para una Red de Telecomunicaciones: Se tiene una Capacidad inicial (C_0) con la cual se abastecerá la demanda, conforme transcurre el tiempo la demanda crece y se define un punto de reorden (r) en el cual se pedirá una cantidad (Q) de unidades de ancho de banda, tomando en cuenta un tiempo guía (L).

está dado por la diferencia matemática entre la cantidad de productos que se tienen disponibles para el consumo (oferta) y la cantidad de productos que los clientes consumen (demanda).

En telecomunicaciones, la diferencia matemática entre la capacidad instalada (oferta) y la utilización (demanda) determina la capacidad ociosa, y se traduce así en el nivel de inventarios de la red. Al graficar la evolución de la diferencia entre capacidad y demanda en el tiempo, obtenemos una gráfica muy similar a la de control de inventarios como se muestra en la figura 5. Con tales similitudes, es entonces posible utilizar la teoría de control de inventarios para dar solución al problema de planeación de capacidad en redes de telecomunicaciones.

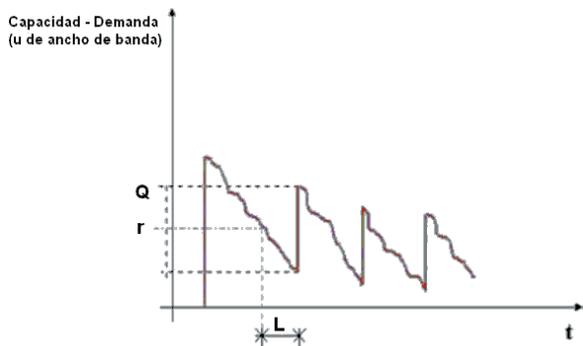


Fig. 5. Evolución de (Capacidad - Demanda) en el Tiempo: Se tiene un nivel de inventarios con una cantidad (Q) de unidades de ancho de banda, conforme transcurre el tiempo el nivel de inventarios disminuye hasta llegar a un punto (r), el cual nos indica el momento en el que tenemos que reordenar, tomando en cuenta un tiempo guía (L).

TÉCNICAS DE CONTROL DE INVENTARIOS

Existen muchas técnicas de control de Inventarios así como diversas maneras de clasificarlas. Dado que no es el objetivo de este trabajo describir todas las técnicas disponibles, en esta sección se describen brevemente algunas de ellas. Al lector interesado en mayores detalles se le refiere a ⁴.

Entre las técnicas más populares de control de inventarios se encuentra utilizar el modelo “*Economical Order Quantity*” (*EOQ*), algunas veces traducido como Inventarios de Pedidos Económicos. En este modelo, el inventario consta de un solo artículo y se abastece por lotes de tamaño óptimo con respecto al costo del inventario anual. Al tamaño óptimo del lote se le conoce precisamente como *EOQ*. Este modelo presupone una demanda determinística que ocurre a una tasa constante.⁴ El objetivo es determinar cuándo se deben generar órdenes de compra del tamaño del *EOQ* dado un tiempo guía conocido. Una variante de este Modelo es el modelo *EOQ con stock de seguridad (S)*, en el cual se le agrega una cantidad “*S*” de unidades en el primer pedido, comportándose exactamente igual que el modelo *EOQ* en los siguientes periodos.

Otra técnica de control de inventarios utiliza el *Modelo de Revisión Periódica*, en el que el inventario se revisa cada N periodos y el tamaño del pedido se determina mediante el nivel de inventario en ese momento. En este modelo se determina la frecuencia de revisión del inventario dados una demanda de tipo estocástica y un tiempo guía conocido. Otro ejemplo es el *Modelo de Nivel de Servicio*, en donde



el usuario establece un cierto nivel de servicio que quiere proveer a sus clientes dada una demanda estocástica. El nivel de inventario en este modelo se monitorea continuamente. El modelo determina el nivel de inventario en el cual se debe generar una orden (punto de reorden) de manera tal que exista un cierto nivel de garantía de no quedarse sin inventario durante el tiempo guía. Esta garantía está asociada con el nivel de servicio predefinido para el cliente. Una de las condiciones importantes para estos dos últimos modelos es que la demanda siga una distribución normal.

A continuación se presenta un caso de estudio real donde se aplican conceptos de control de inventarios para resolver el problema de planeación de capacidad en la industria de las telecomunicaciones.

CASO DE ESTUDIO

En este estudio se analizaron datos históricos de capacidad y demanda de 5 años en una red de telecomunicaciones. La capacidad inicial de la red es de 128 unidades y la demanda máxima durante los 5 años es de 709 unidades de ancho de banda para un periodo específico. Se utilizaron diversas técnicas de control de inventarios para determinar cómo se debía haber comprado equipo durante este período de 5 años con los resultados que se exponen a continuación. Durante todos los análisis se utilizó el tiempo guía conocido y prácticamente constante de 4 meses de un proveedor real.

Al utilizar el *modelo EOQ* el costo obtenido fue bajo, sin embargo los resultados no fueron favorables puesto que no se logró cumplir con la demanda en muchos de los periodos (figura 6). Las razones por las que este modelo no dio buenos resultados

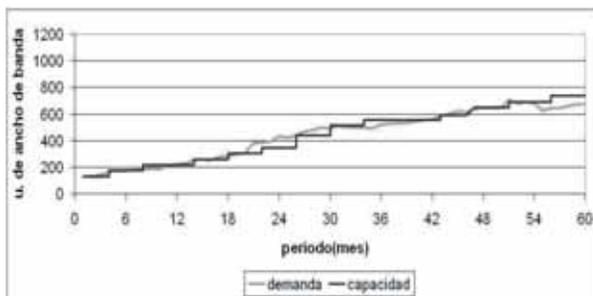


Fig. 6. Muestra la evolución de la demanda y la capacidad durante 5 años utilizando un modelo EOQ.

tienen que ver con los supuestos del modelo, pues en este problema la demanda no ocurre a una tasa constante.

El resultado obtenido por esta técnica fue pedir un total de 608 unidades distribuidas en los 5 años, terminando con una capacidad final de 736 unidades y tuvo un costo total de \$1,415,676.93. Hubo 626 unidades de demanda que no se pudieron cumplir a lo largo de los 5 años. Para calcular el costo total se consideraron costos de \$1 por orden, \$ 2,328 por unidad de ancho de banda, \$104,000 por equipo, y \$1 por unidad de ancho de banda ociosa.

Después de aplicar el *Modelo EOQ con STOCK de Seguridad* en nuestro problema el costo obtenido fue aceptable pero tampoco se logró cumplir con la demanda en algunos de los períodos (figura 7) por las mismas razones expuestas en el caso anterior. Un mayor stock de seguridad habría salvado la situación en algunos casos, aunque no al principio de la serie. Por otro lado, un stock mayor habría afectado negativamente el costo de inventario anual. En este caso se intentó definir el stock de seguridad como la mayor cantidad de demanda no cubierta en el análisis anterior.

El resultado obtenido por esta técnica fue pedir un total de 717 unidades distribuidas en los 5 años terminando con una capacidad final de 845 unidades y tuvo un costo total de \$1,669,474.24 (bajo los mismos supuestos de costos que en el caso anterior). No se logró cumplir con 248 unidades de demanda a lo largo de los 5 años.

En cuanto al *Modelo de Revisión Periódica*,

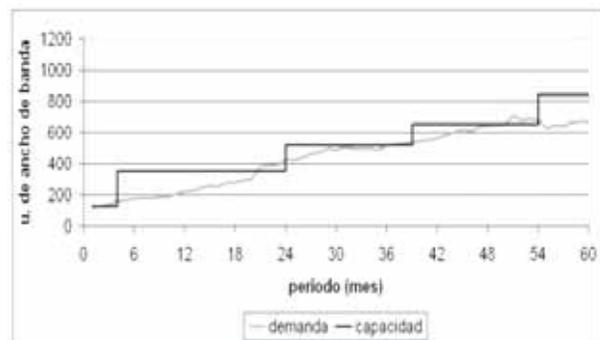


Fig. 7. Muestra la evolución de la demanda y la capacidad durante 5 años utilizando un modelo EOQ con "stock" de seguridad.

después del primer pedido éste satisfizo la demanda en todos los periodos (figura 8). El costo obtenido, sin embargo, fue muy alto debido a que el objetivo de esta técnica es garantizar el cumplimiento de la demanda.

El resultado obtenido por esta técnica fue pedir un total de 722 unidades distribuidas en los 5 años terminando con una capacidad final de 850 unidades, y tuvo un costo total fue de \$1,681,116.35. Solamente no se pudo cumplir con 18 unidades de demanda a lo largo de los 5 años: 4 unidades en el 2o. mes y 14 en el 3er. mes. Esto se debe a que en esos períodos el tiempo guía del primer pedido es de 4 meses, quedando sin protección inicial.

El siguiente modelo fue el *Modelo de Nivel de Servicio con un nivel* de seguridad de 80%. Con este modelo, después del primer pedido se cumplió con la demanda en todos los periodos (figura 9). El costo obtenido fue alto debido a que el objetivo de esta técnica es garantizar el cumplimiento de la demanda, sin embargo el costo varía dependiendo del nivel de

seguridad establecido por el usuario.

Con esta técnica, se pidieron un total de 952 unidades distribuidas en los 5 años terminando con una capacidad final de 1080 unidades y con un costo total fue de \$2,216,661.55. Al igual que la técnica anterior, no se cumplió con 18 unidades de demanda a lo largo de los 5 años: 4 unidades en el 2o. mes y 14 unidades en el 3er. mes. Las mismas razones que en el caso anterior explican este comportamiento.

En este caso particular en el cual el objetivo principal de la industria de telecomunicaciones es planear la capacidad de su red de tal forma que siempre se cumpla la demanda y garantizar un nivel de seguridad en las unidades de ancho de banda disponibles durante el tiempo guía, la técnica de inventarios que mejor se ajusta a los objetivos y características de este problema es la del Modelo de Nivel de Servicio. Aunque el supuesto de normalidad no se cumple en este caso, observamos que la solución actuó satisfactoriamente ante las fluctuaciones. Este aspecto requerirá mayor estudio para determinar el impacto real de la violación de normalidad.

La instauración de estos métodos fue fácilmente codificable en Excel y se obtuvieron las soluciones de los problemas de manera inmediata. El mismo problema de planeación resuelto por programación matemática entera habría excedido la capacidad del software de optimización básico incluido en Excel.

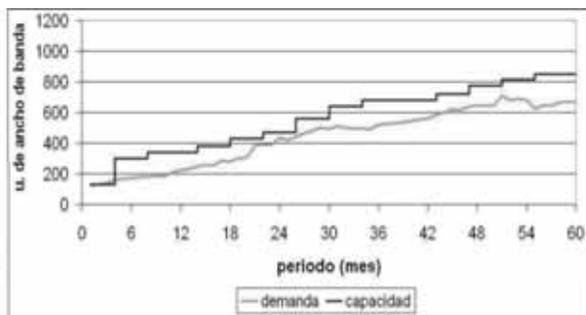


Fig. 8. Muestra la evolución de la demanda y la capacidad durante 5 años utilizando un modelo de Revisión Periódica.

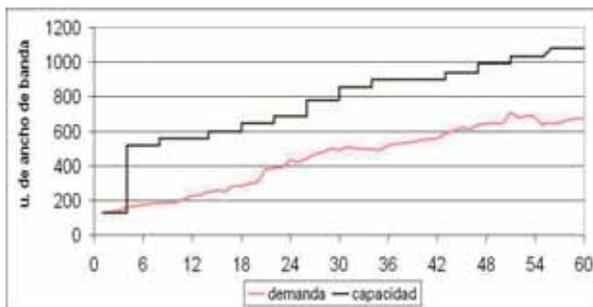


Fig. 9. Muestra la evolución de la demanda y la capacidad durante 5 años utilizando un modelo de Nivel de Servicio de 80%.



CONCLUSIÓN

En este trabajo se demostró cómo utilizar un enfoque de control de inventarios para un problema de planeación de capacidad en redes de telecomunicaciones. Tal enfoque resultó en soluciones que se pueden generar de manera muy eficiente. Se pudo observar que las técnicas de control de inventarios, específicamente los modelos de nivel de servicio, proveen una manera sencilla de lidiar con la volatilidad de los pronósticos. En comparación, añadir aspectos estocásticos a un modelo matemático entero habría hecho al problema aún más difícil de resolver.

Otro punto importante es que las técnicas de control de inventarios fueron fácilmente instaurables en hojas de cálculo de MS Excel. Esto implica que no se necesitaría invertir en paquetería computacional especializada, facilitando así la distribución y el uso de los modelos en una compañía.

Los resultados subrayan la importancia de establecer símiles entre problemas de distintas

áreas para capitalizar en las técnicas de solución correspondientes, y por supuesto, apuntan a favor del trabajo interdisciplinario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Spragins, Hammond and Pawlikowski, Telecommunications, Protocols and Design, 105pp-113pp, Editorial Addison-Wesley, 1992, California.
2. Andrew Coyle, "An Algorithm for Capacity Expansion in Local Access Networks", 12pp, 1996, 869pp-939pp University of Auckland, New Zeland.
3. Daniel Solow and Kamlesh Mathur, Investigación de Operaciones, 637pp-699, Editorial Prentice Hall, 1996, Mexico.
4. Wayne L. Winston, Operation Research, Applications and Algoritms, 869pp-939pp, Editorial Duxbury, 1994, Third edition, Belmont, California

