

Modelo de dimensionamiento del servicio *web hosting* dirigido a proveedores de la pequeña y mediana empresa colombiana

A capacity planning model for web hosting providers serving small- and medium-scale businesses in Colombia

**Olga Lucía
Ramírez Calero**

Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
olga.lucia.ramirez@gmail.com

**Jairo Humberto
Torres Acosta**

Universidad Distrital
Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
jatorres@udistrital.edu.co

Resumen

La administración y dimensionamiento de recursos de infraestructura de un servicio *web hosting*, que consiste en proveer alojamiento para que una página web funcione correctamente [21], se realiza con un alto costo en servidores de elevado tamaño y disponibilidad, mediante el monitoreo de indicadores del nivel de ocupación de la capacidad que establecen reactivamente necesidades de modificación de la misma, o de otra forma, mediante una infraestructura redundante que significa incrementar el número de componentes para garantizar la disponibilidad del servicio. En un servicio dirigido a pequeñas y medianas empresas, se requiere cumplir ciertos niveles de disponibilidad a bajo costo. El presente artículo contiene los resultados de una investigación acerca del diseño, desarrollo y validación de un modelo de optimización de capacidades para el dimensionamiento y selección de la mejor combinación de recursos de infraestructura (servidor, disco duro, memoria RAM y procesador) en el servicio *web hosting* dirigido a PYMES colombianas.

Palabras clave: Capacidades, dimensionamiento, investigación de operaciones, minería de datos, optimización, PYME, *web hosting*.

Abstract

Infrastructure resource management and capacity planning of a web hosting service, which consists on assigning shared resources of a computer server to run multiple websites [21], are achieved at a high cost in terms of large-scale high-availability servers. This is carried out by monitoring capacity indicators that reactively establish the capacity needs, or else, by using redundant IT infrastructure, which implies increasing the number of hardware components to ensure service availability. When providing services intended for small- and medium-scale businesses, it is necessary to meet certain availability requirements at low cost. This paper presents research results on the design, development and validation of a capacity optimization model that allows sizing and selecting the best combination of server infrastructure resources (hard disk, RAM and processor) in a web hosting service, intended for small- and medium-scale businesses in Colombia.

Key words: Capacity, data mining, operations, research, SBM, sizing, web hosting.





1 Introducción

La pequeña y mediana empresa (PYME) colombiana genera un impacto significativo en el dinamismo de su economía [11], lo cual unido al actual auge de los mercados electrónicos, hacen patente la necesidad de ofrecer sus servicios a través de Internet. No obstante, las PYMES colombianas presentan acceso limitado a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), como lo indican algunos estudios [6][12], dificultando así su participación en el mercado virtual de forma competitiva. La publicación de tales servicios requiere del diseño y puesta en marcha de una página Web y de la adquisición de un servicio de *web hosting*, el cual ha experimentado crecimientos del 10% en el año 2009 y del 9,1% en el 2010 situándose en 420 millones de euros, con una tendencia a la alza que permite estimar un incremento del mercado del 13% para el año 2011 [13].

Pese al crecimiento del servicio *web hosting*, se presentan en Colombia debilidades en su oferta debido principalmente a la inestabilidad de los proveedores y el sobredimensionamiento de la capacidad de recursos necesarios, lo que implica incurrir en altos costos de infraestructura tecnológica, o el sub-dimensionamiento que, en un sentido más amplio, implica baja cobertura, baja disponibilidad e insatisfacción del cliente [8][17][21].

La revisión sobre el estado del arte de trabajos relacionados con modelos de capacidad de recursos tecnológicos [1] [3] [5] [10] [15] [16] [17] [18][22] [23] [26][27], no evidenció un tratamiento específico de modelos matemáticos para optimización de la combinación de recursos e infraestructura tecnológica para garantizar la disponibilidad del servicio *web hosting* en los niveles acordados con el cliente. Actualmente, el dimensionamiento de la infraestructura tecnológica, se realiza mediante el monitoreo y seguimiento a indicadores sobre disponibilidad del servicio, que señalan el nivel de utilización de la capacidad y sus necesidades de su ampliación. En nuestra opinión se requiere trascender de la administración basada en el seguimiento de indicadores reactivos, hacia una gestión con base en planeación preventiva [9].

El principal objetivo de esta investigación consiste en el diseño, desarrollo y validación de un modelo matemático basado en análisis de capacidades, para optimizar o por lo menos definir eficazmente y de manera anticipada el dimensionamiento y selección de la mejor combinación de recursos de infraestructura tecnológica, de manera que se pueda satisfacer la demanda de alojamiento y procesamiento de solicitudes de visitas a las páginas Web, en el servicio *web hosting* dirigido a las PYMES colombianas. Los parámetros para el dimensionamiento se delimitaron en torno a recursos de infraestructura de servidor, disco duro, memoria RAM y procesador. El artículo presenta una breve descripción del servicio *web hosting* y de las herramientas utilizadas para la administración de la capacidad. Continúa con un resumen del análisis de capacidades. Luego expone la metodología de desarrollo y validación del modelo matemático, los resultados y las conclusiones.

2 Marco teórico

2.1 Servicio *web hosting*

El servicio *web hosting*, debe proporcionar disponibilidad durante las 24 horas del día, capacidad para abastecer la demanda de solicitudes de visita a las páginas Web alojadas, una conexión rápida a internet y un espacio para almacenamiento de información que sea flexible a las necesidades de crecimiento.

En el caso de las PYMES colombianas se utiliza principalmente el servicio *sharedhosting*, *hosting* de tipo compartido, que consiste en alojar clientes de varios sitios en un mismo servidor, de forma económica y con adecuado rendimiento [3] [9].

Entre los principales recursos de infraestructura que componen el *hardware* de un servicio *sharedwebhosting* se encuentran el servidor, el disco duro, la memoria RAM, el procesador y la red con sus componentes como repetidores, *switches*, *bridges*, *routers* y *fiwalls* [5] [15] [16] [27]. En la actualidad, éstos recursos de infraestructura, son administrados mediante los mecanismos explicados a continuación, los cuales no se consideran dentro del desarrollo del modelo de dimensionamiento objeto del presente artículo, debido a que su instalación implica elevados costos para aumentar el número de componentes o una gestión reactiva ante necesidades de ampliación o reducción de capacidad [1] [16] [17] [18] [22] [27]:

- Redundancia: Aumentar o duplicar el número de componentes de hardware de la infraestructura. Incrementa de manera significativa los costos y gastos de la operación [6][10].
- Monitoreo de los niveles de servicio: Medición de los niveles a través de indicadores y señales de alerta que establecen reactivamente necesidades de ampliación o reducción de capacidad [6][16] [17] [18][22] [27]:
- Arquitectura de múltiples capas: Infraestructura en la que los requerimientos hechos por estaciones de trabajo, son transmitidos a servidores que se ocupan del desarrollo de una actividad específica correspondiente a cada una de las capas del modelo [6] [9] [19] [21] [22] [27].
- Esquema de *failover* y *cluster*: Instalación de servidores duplicados funcionando como pares redundantes, que actúan automáticamente en caso de falla de los principales [1] [6] [9][16] [17] [18] [19] [21][22][27].

2.2 Análisis de capacidades

El desarrollo del modelo matemático se aborda desde la perspectiva de la teoría de análisis y programación de capacidades de los medios de trabajo, que permite el diseño de modelos de optimización para la planeación de la capacidad en sistemas productivos. El modelo presentado aquí es una transferencia del dominio de capacidades en sistemas productivos al de capacidades de infraestructura en las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC), lo cual es el principal aporte del estudio.

La capacidad se define como la cantidad de producto o servicio que puede ser obtenido por una determinada unidad productiva, durante un cierto periodo de tiempo [7] [20]. Se destacan los siguientes tipos de capacidad:

- Capacidad instalada (C_i): Capacidad máxima de producción prevista con la construcción de máquinas, instalaciones y equipos, disminuida por las necesidades de mantenimiento y funcionamiento normal del medio de trabajo.
- Capacidad disponible (C_d): Capacidad instalada disminuida por los días no laborales del año, horas perdidas por ausentismos, organizacionales y por factores de fuerza mayor.
- Capacidad necesaria (C_n): Nivel de capacidad requerida en un periodo de tiempo.



Para el desarrollo del modelo, se tuvo en consideración el concepto de capacidad disponible (Cd) para calcular el número máximo de kilobytes que puede procesar un tipo de recurso de infraestructura, enmarcado en el contexto de programación lineal, la cual permite describir y optimizar una función objetivo sujeta a unas restricciones, asignando de la mejor manera posible recursos limitados entre actividades competitivas [7] [14].

3. Metodología

La metodología de la investigación presentada en este artículo, parte de la elaboración de una propuesta del modelo matemático, continúa con la validación del mismo mediante el análisis de datos de entrada y la estimación de parámetros, la solución y el análisis de datos salida, y finaliza con ajustes y calibraciones al modelo.

Como parte de la metodología y aporte a la comprensión del problema, la Figura 1 presenta el contexto del servicio *web hosting*, restricciones, variables de decisión, parámetros y proceso necesarios para la elaboración del modelo.

4. Desarrollo del modelo matemático

4.1 Planteamiento

La solución del problema busca determinar el número mínimo de recursos de infraestructura tipo servidor, disco duro, memoria RAM y procesador, necesario para abastecer la demanda de alojamiento y solicitudes de visita a páginas Web de los proveedores de servicios *web hosting* dirigido a PYMES colombianas. Se definieron un máximo de 32 unidades de procesamiento o núcleos de procesador por servidor, 4 GB de memoria y 8 discos duros de 500 GB. El tamaño de red o ancho de banda se considera un parámetro constante y se asume que el recurso de infraestructura no podrá procesar una mayor cantidad de kilobytes de los que puede procesar la red. Para el cálculo de la demanda, se da como supuesto que el conjunto de proveedores utilizados en la muestra para validación del modelo, desea alcanzar un porcentaje del 0,05% de participación en el mercado colombiano de alojamiento de páginas Web para PYMES.

La capacidad disponible de los recursos se reduce como resultado del almacenamiento y operación normal del sistema operativo y de la ejecución de tareas y aplicaciones básicas del servidor. La capacidad disponible del procesador se reduce en un 2%, la de la memoria RAM en 500 MB y la del disco duro en 20 GB.

El modelo considera máximo cinco (5) tipos diferentes de combinaciones de recursos de infraestructura, es decir, máximo cinco (5) tipos diferentes de servidores, con su(s) respectivo(s) disco(s) duro(s), memoria RAM y procesador(es). Cada combinación se realiza basada en el siguiente supuesto: el servidor tipo 1 ($j=1$) está conformado por los recursos de infraestructura j con estándar k tipo 1, el servidor tipo 2 ($j=2$) está conformado por los recursos de infraestructura j con estándar k tipo 2, y así sucesivamente hasta el servidor tipo 5 ($j=5$).

4.2 Desarrollo del modelo

Se diseñó un modelo de optimización que utiliza como técnica base la programación lineal entera y binaria, con una función objetivo que minimiza el número de recursos de infraestructura necesarios para abastecer la demanda de alojamiento y solicitudes de visita a las páginas Web, entendiéndose que al minimizar el número de recursos de infraestructura necesarios, se reducen sustancialmente los costos de procesamiento, debido que es menor la inversión en máquinas, mantenimiento, instalaciones y energía.

Según lo observado en el contexto del modelo presentado en la Figura 1, el servicio *web hosting* contiene elementos cuya magnitud se busca conocer para hallar la solución óptima del problema (variables de decisión), elementos que caracterizan el costo, el beneficio o el ritmo al cual se consume un recurso (parámetros), limitaciones que restringen el cumplimiento del objetivo (restricciones) y un objetivo claramente definido que corresponde al interés principal del decisor (función objetivo).

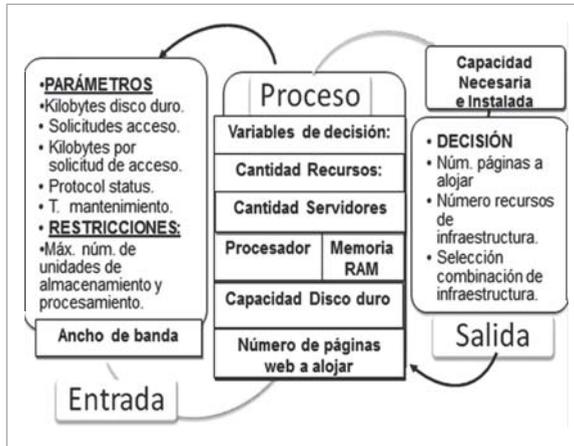


Figura 1. Contexto del servicio web hosting para el desarrollo del modelo matemático.

Un aporte complementario de este estudio y el punto de partida para el planteamiento del modelo, es la definición de una regla para el cálculo de capacidad disponible de los recursos de infraestructura tecnológica, como se describe en la siguiente sección.

4.2.1 Capacidad disponible

Considerando que el servicio *web hosting* opera de manera automatizada a través de máquinas o recursos de infraestructura, para el cálculo de la capacidad se tuvo en cuenta el número de kilobytes que puede procesar y/o almacenar el recurso tipo j , reducidos por el porcentaje de tiempo requerido para el mantenimiento preventivo de las máquinas y el porcentaje de tiempo que el servicio no se encuentra disponible por otros factores diferentes a mantenimiento preventivo (*protocol status*), es decir,

$$C_{disjk} = [KB_{jk} * P * 1 (1 - u_j) - g_{jk}] \tag{1}$$

Donde:



KB_{jk} = Número máximo de kilobytes que puede procesar el recurso de infraestructura tipo j , con el estándar de tamaño tipo k .

P = Porcentaje de solicitudes que no han sido rechazadas por el servidor. En consecuencia, el parámetro *protocol status* corresponde al número de solicitudes que han sido rechazadas por el servidor.

g_{jk} = Consumo normal del recurso tipo j con el estándar tipo k (en kilobytes), que reduce la capacidad disponible como resultado de la operación normal del sistema operativo y de la ejecución de tareas básicas del procesador.

u_j : Porcentaje de tiempo necesario para mantenimiento preventivo del recurso de infraestructura tipo j .

Obsérvese que para todo el modelo:

$j = 1, 2, 3, 4$ (Tipo de recurso de infraestructura: 1. Disco duro, 2. Memoria RAM, 3. Procesador, 4. Servidor).

$k = 1, 2, \dots, s$ (Tamaño del recurso en unidades de kilobytes).

4.2.2 Forma general del modelo

Optimizar $f(X_{jk}; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, s)$

$$= \text{Min} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s X_{jk} \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^s C_{\text{disp } 1k} * X_{1k} - \sum_{i=1}^m a_i * Y_i \geq 0 \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^s C_{\text{disp } jk} * X_{jk} - \sum_{i=1}^m b_{ij} * D_i * Y_i \geq 0 \quad (4)$$

$$W_1 \leq Y_1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} * D_i * Y_i \leq \sum_{k=1}^s h_k * X_{4k} * Z_k \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^s Z_k = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^s X_{jk} \geq 1 \quad (8)$$

$$C_{\text{disp } 1k} * X_{1k} \leq 8 * 500 \text{ Mb} * X_{4k} \quad (9)$$

$$C_{\text{disp } 2k} * X_{2k} \leq 500 \text{ Mb} * X_{4k} \quad (10)$$

$$C_{\text{disp } 3k} * X_{3k} \leq 32 * C_{\text{disp } 3k} * X_{4k} \quad (11)$$

$$X_{jk} \geq X_{4k} \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n u_j * X_{jk} \leq T_{manj} \tag{13}$$

$$X_{jk}, Y_i \geq 0 \tag{14}$$

$$X_{jk}, Y_i \text{ Enteras} \tag{15}$$

$$Z_k = 0 \text{ ó } 1 \tag{16}$$

Cada una de las restricciones corresponde a:

- (3) Capacidad de almacenamiento en el disco duro.
- (4) Capacidad de procesamiento y almacenamiento en la memoria RAM.
- (5) Demanda del número de páginas web.
- (6) El número de kilobytes procesados por solicitud de acceso, debe ser menor al ancho de banda.
- (7) Solamente se puede seleccionar un tipo de ancho de banda.
- (8) Se debe seleccionar al menos un recurso de infraestructura tipo j con el estándar de tamaño k.
- (9) Solamente se permiten ocho (8) discos duros de 500 Mb por servidor.
- (10) Solamente se permiten 500 Mb de memoria RAM por servidor.
- (11) Solamente se permiten 32 unidades o núcleos de procesamiento por servidor.
- (12) Debe seleccionarse al menos un recurso de infraestructura j tipo k, por cada servidor tipo k que sea seleccionado.
- (13) Tiempo máximo permitido para mantenimiento del recurso tipo j.
- (14) No negatividad de las variables.
- (15) Variables enteras.
- (16) Variable binaria.

Se asumieron los siguientes subíndices para los parámetros y variables:

$\forall j = 1,2,3,4$ (Tipo de recurso de infraestructura: 1. Disco duro, 2. Memoria RAM, 3. Procesador, 4. Servidor).

$\forall k = 1,2,\dots,s$ (Tamaño del recurso en unidades de kilobytes).

$\forall i = 1,2,\dots,m$ (Tipo de conjuntos de páginas Web alojadas en el servicio *web hosting*, obtenido a partir de la segmentación del comportamiento de visitas a las mismas. Para mayor detalle, ver la sección 5).

4.2.3 Parámetros

h: Ancho de banda.

D_i : Número de solicitudes de acceso a la página Web tipo i.

W_i : Demanda mínima de páginas Web alojadas en el *hosting* por unidad de tiempo.



a_i : Número de kilobytes usados del disco duro por página Web tipo i por unidad de tiempo.

b_{ij} : Número de kilobytes procesados por solicitud de acceso a la página Web tipo i en el recurso de infraestructura tipo j por unidad de tiempo.

C_{disj} : Capacidad disponible del recurso de infraestructura tipo j en unidades de kilobytes.

e_j : Máximo número de unidades de almacenamiento o procesamiento permitidas por recurso de infraestructura tipo j .

T_{manj} : Tiempo máximo de mantenimiento permitido para el recurso de infraestructura tipo j .

P: Porcentaje de solicitudes no defectuosas según el *protocol status*.

4.2.4 Variables de decisión

X_{jk} : Número de máquinas o recursos de infraestructura tipo j , con tamaño estándar tipo k .

Y_i : Número de páginas web tipo i a alojar en el *hosting*.

Z_k : Variable binaria que indica si se selecciona o no el ancho de banda con el estándar tipo k .

5. Validación del modelo

Para la validación del modelo y estimación de parámetros, se tomó una población de setecientos treinta y cinco (735) páginas Web con aproximadamente cincuenta (50) millones de registros de solicitudes de acceso o visitas a las páginas, las cuales se encuentran alojadas en un servicio *web hosting* dirigido a PYMES colombianas. De dicha población, se seleccionó una muestra probabilística de cuarenta y dos (42) páginas web que contenían 3.199.600 registros de solicitudes de acceso. Debido al alto volumen de información, dentro del análisis de datos de entrada para la estimación de parámetros se utilizaron técnicas de minería de datos.

Se realizaron los siguientes análisis utilizando los datos de entrada:

1. Determinación del tamaño de la muestra probabilística, de páginas Web a seleccionar como unidades experimentales, a partir la población de 735 páginas web.
2. Estadística descriptiva y análisis exploratorio de datos de los parámetros a_i , D_i y b_{ij} definidos anteriormente, comparado por tipo de página web, con el fin de establecer si las medias diferían para cada página o conjuntos de páginas Web, y determinar si se debían establecer segmentos de páginas sobre los cuales realizar de manera independiente la estimación de parámetros y el análisis de comportamiento de los datos.
3. Segmentación de las unidades experimentales, es decir, definición de conjuntos homogéneos de páginas Web, de acuerdo con el resultado obtenido en el inciso anterior.
4. Estadística descriptiva y análisis exploratorio para conocer el comportamiento de los datos, por segmentos o conjuntos de páginas Web.
5. Estimación de parámetros a partir de las estadísticas descriptivas y cálculo de los intervalos de confianza de los mismos, con el fin de realizar un análisis de sensibilidad

del modelo, utilizando como datos de entrada la media, el límite máximo y mínimo del intervalo de cada parámetro.

6. Aplicación del modelo matemático, generación de resultados y análisis de sensibilidad de los mismos bajo los escenarios del comportamiento medio, máximo y mínimo de los parámetros.
7. Análisis de resultados.

5.1 Análisis de datos de entrada

Para determinar el tamaño de la muestra, se utilizó una ecuación de muestra probabilística tomada de Hernández Sampieri [22].

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} \quad (17)$$

$$n' = \frac{s^2}{V^2} \quad (18)$$

$$s^2 = p(1 - p) \quad (19)$$

$$V^2 = se^2 \quad (20)$$

Donde:

p: Probabilidad de que la media de la muestra \bar{X} estime el valor real de la media de la población μ .

s^2 : Varianza de la muestra expresada como la probabilidad de ocurrencia de \bar{X} .

se^2 : Error estándar del tamaño de la muestra determinado por el investigador.

V^2 : Varianza de la población. Corresponde al cuadrado del error estándar.

N: Tamaño de la población.

n' : Tamaño de la muestra sin ajustar.

n: Tamaño de la muestra ajustada.

Se seleccionó como p, el valor de 0,99, es decir un 99% de probabilidad de que la media de la muestra estime el valor real de la media de la población. Por lo tanto, el error de estimación de la media de la población corresponde a 1%. Como error de estimación del tamaño de la muestra se seleccionó un 1,5% de error.

El tamaño de muestra obtenido fue de cuarenta y dos (42) páginas Web; para la selección de la misma se definió como unidad de análisis la variable D_p , multiplicado por la variable b_{ij} . La muestra seleccionada correspondió a las cuarenta y dos (42) páginas web con el mayor producto $D_i * b_{ij}$, teniendo en cuenta que lo que se buscaba era determinar el dimensionamiento del servicio *web hosting* y por lo tanto, era importante conocer las características de las PYMES que generan un mayor consumo de capacidad cuando se realizan visitas a sus páginas, es decir, tanto las páginas con el mayor número de kilobytes procesados por minuto, como las páginas con el mayor número de solicitudes de acceso por minuto.



A partir de la muestra de las 42 páginas Web se realizó un análisis exploratorio de los parámetros D_i y b_{ij} , encontrándose la necesidad de realizar una segmentación de los datos por tipo de página Web, dado que los resultados tanto de las medias de D_i y b_i son inferiores a los resultados de sus respectivas desviaciones estándar, lo cual permite presumir que existen diferencias significativas en la muestra. En la Tabla I se presentan los resultados del análisis exploratorio preliminar.

Tabla I. Estadísticos descriptivos parámetros D_i y b_{ij}

	N	Mín	Máx	Media	Desv.
D_i : Sol	3199600	1	3965	91,022	147,419
b_i : Kb	3199600	1	497081	1108,02	5404,84
N	3199600				

Con el fin de confirmar o descartar la sospecha que puede existir una diferencia significativa entre las medias de las diferentes páginas Web, se realizó un análisis de varianza ANOVA para los parámetros D_i y b_{ij} . Como resultado se encontró que a un nivel de significancia del 5% existe suficiente evidencia estadística para rechazarla hipótesis nula que la media de los parámetros D_i y b_{ij} son iguales. Se concluye que existe una diferencia significativa entre las medias de los parámetros y es necesario segmentar el análisis de datos de entrada y la corrida del modelo matemático por tipo de página i.

De la misma forma los resultados del análisis exploratorio para el parámetro a_i indican que se debía realizar una segmentación de los datos por tipo de página Web.

La segmentación de los datos se realizó a través del algoritmo de k-medias para definición de clúster de información, utilizando el software “R” para minería de datos. A partir de la segmentación se obtuvieron cinco (5) tipos diferentes de páginas Web, representados con el subíndice i.

A partir de los segmentos o conjuntos de páginas Web, se realizaron estimaciones por intervalos de los parámetros a_i , D_i y b_{ij} ; dado que la desviación estándar σ_x era desconocida y n era mayor que 30, se utilizó el intervalo de confianza para estimar la media μ_x con muestras grandes [2] [24]. En la Ecuación (21) se presenta la fórmula para el cálculo de este intervalo de confianza:

Donde:

$$\bar{X} - z \frac{S_x}{\sqrt{n}} < \mu_x < \bar{X} + z \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (19)$$

\bar{X} : Media de los datos.

S_x : Desviación estándar de los datos.

z: Estandarización de la distribución normal para un nivel de significancia del 5%.

n: Tamaño de la muestra.

En la Tabla II se presentan los resultados del cálculo de los intervalos de confianza utilizando la Ecuación (21) para los diferentes parámetros del modelo, obteniendo como

resultado los escenarios mínimo, medio y máximo de dichos parámetros, que son utilizados para la aplicación y validación del modelo.

Tabla II. Datos de entrada para la corrida del modelo en kilobytes

Parámetro	Tipo página				
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Di (medio)	11,0	292,0	634,0	59,0	140,0
Di (mínimo)	11,0	292,0	633,0	59,0	139,0
Di (máximo)	11,0	292,0	636,0	59,0	140,0
bi (medio)	691,0	12769,0	386860,0	206484,0	44676,0
bi (mínimo)	690,0	12724,0	362091,0	204339,0	44351,0
bi (máximo)	692,0	12815,0	411629,0	208629,0	45001,0
ai (medio)	1829059,0	4225825,0	886201,0	5547400,0	107965,0
ai (mínimo)	1808702,0	4193094,0	872468,0	5547400,0	105443,0
ai (máximo)	1849417,0	4258557,0	899935,0	5547400,0	110488,0
Wi	181,0	4,0	23,0	1,0	925,0
Di * bi (medio)	7599,0	3730365,0	245350436,0	12267217,0	6235862,0
Di * bi (mín.)	7577,0	3714345,0	229066710,0	12131887,0	6186537,0
Di * bi (máx.)	7621,0	3746405,0	261712858,0	12402712,0	6285245,0
Di * bi * Wi (medio)	1375403,0	675196042,0	44408428953,0	2220366244,0	1128691044,0
Di * bi * Wi (mín.)	1371368,0	672296360,0	41461074527,0	2195871625,0	1119763258,0
Di * bi * Wi (máx.)	1379444,0	678099277,0	47370027281,0	2244890934,0	1137629413,0
P	0,997				
Cdis Disco Duro	135803671,0	222552611,0	466076743,0	709600874,0	976118700,0
Cdis Memoria RAM	2623503,0	3668671,0	1578335,0	533167,0	N/A
Cdis Procesador	762373478,0	700559386,0	608982995,0	549458342,0	425830215,0
(Cdis Procesador)*32	24395951296,0	22417900352,0	19487455840,0	17582666944,0	13626566880,0
Cdis Servidorj=4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ancho de banda h	3145728000,0	4194304000,0	6291456000,0	8388608000,0	10485760000,0

Tabla III. Resultados de la aplicación del modelo para los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros

		Tipo de Recurso $X_{k,j}$				Demanda				
Escenario	Servidor	Tipo j	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Y_i	Y_2	Y_3	Y_4	
		Mínimo	1	Estándar k -Tamaño	4 - 750 GB	4 - 2 GB	4 - 2,4 GH	Cant.	4	23
		Cantidad	1	3	2	$Di * bij$	3.714.345	229.066.710	12.131.887	
	2	Tipo j	$j=4$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Ancho de banda	10000 GB		
		Estándar k -Tamaño	5	5 - 1 TB	4 - 2GB	5 - 1,86 GH				
		Cantidad	1	3	2	19N = 5P				
Medio	1	Tipo j	$j=4$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Y_i	Y_2	Y_3	Y_4
		Estándar k -Tamaño	4	4 - 750 GB	4 - 2 GB	4 - 2,4 GH	Cant.	4	23	1
		Cantidad	1	3	2	16N = 4P	$Di * bij$	3.714.345	229.066.710	12.131.887
	2	Tipo j	$j=4$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Ancho de banda	10000 GB		
		Estándar k -Tamaño	5	5 - 1 TB	4 - 2GB	5 - 1,86 GH				
		Cantidad	1	3	2	18N = 5P				
Máximo	1	Tipo j	$j=4$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Y_i	Y_2	Y_3	Y_4
		Estándar k -Tamaño	4	4 - 750 GB	4 - 2 GB	4 - 2,4 GH	Cant.	4	23	1
		Cantidad	1	3	2	15N = 6P	$Di * bij$	3.714.345	229.066.710	12.131.887
	2	Tipo j	$j=4$	$j=1$	$j=2$	$j=3$	Ancho de banda	10000 GB		
		Estándar k -Tamaño	5	5 - 1 TB	4 - 2GB	5 - 1,86 GH				
		Cantidad	1	3	2	19N = 5P				

Donde, N = Núcleos
 P = Procesadores
 Di * bij Se encuentra en unidades de kilobytes

5.2 Aplicación del modelo

Después de estimar todos los parámetros del modelo utilizando la muestra de 42 páginas Web, se calculó la capacidad disponible para los recursos de infraestructura: Disco duro, memoria RAM y procesador, utilizando la Ecuación (1).

La aplicación del modelo se realizó utilizando el software de optimización GAMSIDE. Los resultados bajo el escenario mínimo, medio y máximo de los parámetros a_i , D_i y b_{ij} se presentan en la Tabla III.

5.3 Análisis de resultados

Después de aplicar el modelo para los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros a_i , b_{ij} y D_i , se encontró que las variables X_{1k} : Número de servidores requeridos con el estándar tipo k, X_{2k} : Número de memorias RAM requeridas con el estándar tipo k y X_{4k} : Número de servidores requeridos con el estándar tipo k, presentaron el mismo resultado, lo cual indicó que no existe diferencia significativa entre el número de recursos de infraestructura tipo disco duro, memoria RAM y servidor, independiente de la desviación estándar y el comportamiento extremo de los parámetros.

En el caso de la variable X_{3k} : Número de procesadores requeridos con el estándar tipo k, los resultados obtenidos fueron diferentes en las soluciones del modelo bajo los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros. Con el fin de establecer si diferían significativamente, se realizó una prueba de ANOVA, con las siguientes hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. No existe diferencia significativa entre el número de recursos de infraestructura tipo X_{3k} para los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros a_i , b_{ij} y D_i .

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$. Al menos un par de medias del número de recursos de infraestructura tipo X_{3k} para los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros a_i , b_{ij} y D_i , difiere entre sí.

Como resultado de la prueba ANOVA, se encontró que a un nivel de significancia del 5% existe suficiente evidencia estadística para no rechazar la hipótesis nula de que las medias de la variable X_{3k} son iguales para los tres escenarios de los parámetros a_i , b_{ij} y D_i . Por lo tanto, independiente de la desviación estándar y el comportamiento extremo de los parámetros a_i , b_{ij} y D_i , el número de procesadores requeridos para satisfacer la demanda de alojamiento y solicitudes de visitas a las páginas Web, no presenta una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico.

Lo anterior confirma la viabilidad de utilizar un modelo matemático basado en programación lineal y análisis de capacidades, ya que la solución del modelo para los escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros arroja resultados del número de recursos de infraestructura tipo servidor, disco duro, memoria RAM y procesador que no difieren significativamente entre sí.

6. Conclusiones

El modelo matemático es viable en la medida que permite cumplir el objetivo general de la investigación, ya que es útil para el dimensionamiento eficaz de recursos y selección de la mejor combinación de infraestructura tecnológica del servicio *web hosting* dirigido a PYMES colombianas, en condiciones promedio y extremas de demanda del servicio, es decir, escenarios mínimo, medio y máximo de los parámetros, pues los resultados del número de recursos de infraestructura tipo servidor, disco duro, memoria RAM y procesador arrojados por el modelo, no difieren significativamente entre sí, desde el punto de vista estadístico.

Se presentó una propuesta inicial para un método ingenieril que pueda contribuir en el futuro a sustituir la gestión reactiva de infraestructura mediante la estimación de recursos, compra e instalación de máquinas, monitoreo de su utilización, identificación de necesidades de reducción o ampliación de capacidad de inversión, por un nuevo método basado en un modelo matemático para realizar un análisis prospectivo de la demanda y estimar la capacidad y cantidad de recursos de infraestructura tipo disco duro, procesador y memoria RAM, necesarios para satisfacerla.

7. Referencias

- [1] Anandasivam, A. (2009). A Heuristic Approach for Capacity Control in Clouds. *Conf. onCommerce+Enterprise Computing. IEEE*.
- [2] García Sipolis, A. y Simón de Blas, C. (2000). Manual de Estadística. *Universidad Rey Juan Carlos. Ed. Dykinson, Madrid*.
- [3] Daccach, C. (2000). Arquitectura para comercio electrónico. *Revista Sistemas, Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (ACIS), Colombia, Vol. 78. 37-49*.
- [4] Figallo, C. (1998). Internet world: Hosting web communities. *Editorial Wiley, USA*.
- [5] Huang, C-Y. (2007). Concentration of Web users' online information behavior, *Information Research*. Consultado: <http://InformationR.net/ir/12-4/paper324.html>. (02 de noviembre, 2010).
- [6] Jabba, D. y Márquez, J. (2003). Herramientas para Consulta y Modelado en la Web: una forma diferente del manejo de grandes volúmenes de información de los Web Sites en Internet. *Revista de Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte, Colombia, Vol. 13. 41-57*.
- [7] Kalenatic, D. (2001). Modelo Integral y Dinámico para el Análisis, Planeación, Programación y Control de las Capacidades Productivas en Empresas Manufactureras, *Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá*.
- [8] Kaye, D. (2001). Strategies for web hosting and management services. *Editorial Wiley John & Sons, USA*.
- [9] Martínez, D. y Sánchez, J. (2006). Los niveles de servicio en la ingeniería del software. *El Cid Editor, Universidad Nacional del Nordeste, Departamento de Informática. Universidad de Málaga, Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Argentina*.
- [10] Menascé, D. y Almeida, A. (2000). Scaling for E-Business: Technologies, Models, Performance and Capacity Planning. *Prentice Hall, New Jersey*.
- [11] Puyana, D. (2002). Universidad Sergio Arboleda. La problemática de las PYMES en Colombia: internacionalizarse o morir. Consultado: <http://www.usergioarboleda.edu.co/PYMES/noticia1.htm>. (02 de noviembre, 2010).
- [12] Departamento Nacional de Estadística Colombia, DANE. (2003). Modelo de la medición de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).
- [13] DBK, S.A. (2011). Informe Especial Hosting y Housing. (Análisis de sectores). *Madrid, 5 Ed.*
- [14] Hillier, F. y Lieberman, G. (2001). Investigación de Operaciones, *7 Ed., Mc Graw Hill, México*.
- [15] IBM. (2009). Seeding the Clouds: Key Infrastructure Elements for Cloud Computing.
- [16] Garbani, J., Washburn, D. y Chi, E. (2011). The New Capacity Planning Process Requires Three New Steps. Reboot Your Capacity Planning Process With Cost-Value Analysis, Governance, And Global Planning. *Forrester Research, Inc., Technology Square, Cambridge, USA*.

- [17] Garbani, J., Cecere, M., Washburn, D., O'Donnell, G., Dines, R., Staten, J. y Chi, E. (2011). IT Infrastructure And Operations: The Next Five Years The Cloud On IT's Horizon. *Forrester Research, Inc., Technology Square, Cambridge, USA.*
- [18] Garbani, J., Whiteley, R. y Nelson, L. (2010). I&O's New Capacity Planning Organization. Virtualization And Cloud Computing Force A New Organizational Model That. Decentralizes Capacity Management And Centralizes Capacity Planning. *Forrester Research, Inc., Technology Square, Cambridge, USA.*
- [19] Applegate, L., Austin, R., y Warren, F. (2003). Estrategia y Gestión de la Informática Corporativa: Los retos de gestión de una economía en red, *Ed. Mc Graw Hill, Madrid, 6 Ed.*
- [20] Dominguez, M. (1995). Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. *Ed. McGraw Hill, Madrid.*
- [21] Drowin, M. (2001). Web hosting and web site development a guide to opportunities. *The Library of E-Commerce and Internet Careers, Ed. The Rosen Publishing Group.*
- [22] Johnston, M y Mahowald, R. (2010). HP Cloud Infrastructure Services Jump-Start Enterprise Decisions and Deployments. *IDC, Analyze The Future. Marzo de 2010.*
- [23] Laoutaris, N. (2003). On the Optimization of Storage Capacity Allocation for Content Distribution, *University of Athens.*
- [24] Delgado de la Torre, R. (2008). Probabilidad y estadística para ciencias e ingenierías. *Delta, Publicaciones Universitarias. Madrid, 1 Ed.*
- [25] Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, L. (2003). Metodología de la Investigación. *Ed. Mc Graw Hill, México.*
- [26] Agarwal, V. (2001). An Architecture for Virtual Server Farms, *Research Report, IBM India Research Lab.*
- [27] Wenying, Z., Yuelong, Z., Kairi, O. y Wei, S. (2009). Research on cloud storage architecture and key technologies. *ICIS '09 Proceedings of the 2nd International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human.*

Olga Lucía Ramírez Calero

Ingeniera Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Especialista en Gestión de Riesgos Financieros, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia. Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Está certificada como CobitFoundationCertificate. Es Miembro de ISACA (InformationSystemsAudit and Control Association) Capítulo Colombia. Actualmente se desempeña como Profesional Especializado en Riesgos y Procesos del Banco de la República de Colombia.

Jairo Humberto Torres Acosta

Ingeniero Industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Especialista en Ingeniería de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Magíster en Investigación de Operaciones, Universidad Nacional Autónoma de México. Doctor en la Universidad Central Martha Abreu de las Villas, Cuba. Desarrollo su Investigación Post-doctoral en la Universidad de la Florida. Profesor de las áreas de investigación de operaciones, manufactura, ingeniería de calidad e ingeniería de costos a nivel de pregrado y postgrado. Ha publicado cuatro libros en el área de Ingeniería de Manufactura y Costos. Profesor invitado de la Universidad de Oviedo y de la Universidad Pontificia de Salamanca campus de Madrid. Presidente de la empresa JHTA Inversiones, empresa del sector de transformación de la madera y director Sénior de la empresa SEIP LTDA. (Servicio de Ingeniería y Productividad). Integrante del Grupo de Investigación "Modelos Matemáticos Aplicados a la Industria (MMAI)" de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.