

Modelo de Apoyo para la Toma de Decisiones en QoS

Sergio Gramajo, Marcelo Karanik, Noelia Pinto, Diana Cabrera, Mariano Alurralde

Grupo de Investigación Sobre Inteligencia Artificial, Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Resistencia, French 414, 3500 Chaco, Argentina.

{sergio, marcelo}@frre.utn.edu.ar, {ns.pinto, dianavcabrera}@gmail.com,
alurralde.mariano@googlemail.com

Resumen. El proceso de Toma de Decisiones es fundamental en todos los niveles de una organización y consiste en seleccionar la mejor alternativa entre todas las disponibles para resolver una situación problemática. Si bien las decisiones son tomadas por personas especializadas, existen herramientas (los Sistemas de Soporte de Decisiones) que pueden ser utilizadas para dar apoyo durante el proceso de decisión. En este artículo se presenta un modelo de soporte de decisiones para administradores de redes de computadoras que determina la configuración adecuada de los parámetros de la red con el objetivo de mejorar la calidad del servicio. El modelo utiliza el Proceso Jerárquico Analítico basado en los criterios y alternativas de tráfico definidos por el administrador. Se ejemplifica la utilización en un entorno académico y finalmente se presenta una extensión del modelo para añadir opiniones de múltiples expertos (administradores).

Palabras Clave: AHP, Sistemas de Soporte de Decisiones, Calidad de Servicio

1 Introducción

Actualmente en las organizaciones existe un crecimiento del uso de los servicios de Internet y dispositivos que consumen recursos networking. Esta situación, si no es correctamente administrada puede ocasionar una demanda descontrolada de los servicios de Internet provocando congestiones en la red y disminución de las prestaciones del servicio [1]. Para hacer frente a esta situación, los administradores de red cuentan con diversas herramientas y tecnologías de Calidad de Servicio (QoS) que permiten lograr un uso óptimo de los recursos de networking sobre redes IP y garantizar la transmisión del tráfico importante para ciertos tipos de usuarios y servicios [2] [3]. Sin embargo, los administradores de red en determinados escenarios no cuentan con procesos automatizados para tomar decisiones en la gestión de los recursos de networking. De estos problemas surge la necesidad de contar con procesos que incrementen el control y provean “inteligencia” a las redes locales asignando capacidades de administración según las necesidades de sus usuarios. Este proceso puede llevarse a cabo con herramientas de Toma de Decisión (TD) que ayuden a los administradores a realizar éstas tareas complejas de una forma sencilla y útil [4].

Los sistemas de soporte de decisiones (DSS) ayudan a tomar decisiones en la selección de los cursos de acción. Estos sistemas son herramientas, generalmente interactivas que permiten seleccionar la mejor alternativa de solución a problemas complejos. Uno de los métodos utilizados es el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) [5], el cual compara y ordena alternativas, de acuerdo a un conjunto de criterios y subcriterios, que son colocados en una estructura jerárquica obteniéndose como resultado un vector de preferencias.

En este artículo se presenta un modelo que permite realizar una abstracción e interacción de las tecnologías de QoS y el proceso de TD como soporte a los administradores de red. En la sección 2 se revisan antecedentes de la técnica de TD utilizada y conceptos de QoS. En la sección 3 se describe el escenario del modelo propuesto. La sección 4 describe el modelo de decisión con un ejemplo de uso en un entorno académico y la extensión del modelo considerando múltiples expertos y, por último, en la sección 5 se presenta una discusión sobre la propuesta.

2 Toma de Decisiones y QoS

Debido a que esta propuesta se basa en conceptos de DSS y QoS, es necesario revisar antecedentes y herramientas utilizadas. En primer lugar se expone brevemente el método AHP y su utilización en procesos de TD y a continuación se revisan tecnologías importantes de QoS.

2.1 El Proceso Analítico Jerárquico

AHP [5] es un método utilizado como soporte para la toma de decisiones propuesto por Thomas Saaty. AHP es una herramienta para decisiones multi-criterio que permite evaluar los factores que influyen en la resolución de un problema.

Tomando como base el problema a resolver, se debe identificar y definir la estructura jerárquica [5] de los elementos que intervienen en el proceso decisorio (Fig. 1). Luego, se define la preferencia de los criterios por nivel de manera descendente en la jerarquía, para determinar su influencia en la decisión. Para ello AHP utiliza, por cada nivel, matrices de comparación de pares rotuladas con los criterios.

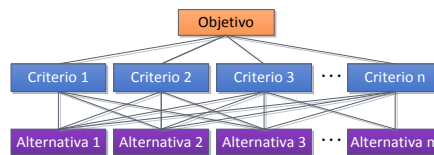


Fig. 1. Esquema Niveles Jerárquicos

Los elementos se comparan en términos relativos en cuanto a su importancia o su contribución a un criterio determinado que ocupa el nivel inmediatamente superior [6]. La preferencia de los factores se representa con un valor utilizando una escala numérica de 1 a 9 definida por Saaty. Si al comprar la importancia de una alternativa A respecto de la alternativa B se asigna la ponderación 9, este valor indica que A es extremadamente más importante que B. Los valores 7, 5, 3 y 1 representan muy

fuertemente más importante, fuertemente más importante, moderadamente más importante, igual importancia respectivamente; mientras que 2, 4, 6 y 8, son valores intermedios de compromiso.

Los valores de la diagonal principal de la matriz resultante son todos igual a 1 debido a que la preferencia entre mismos criterios es de igual importancia. La parte triangular superior de la matriz se completa con los valores de preferencia de las alternativas y la porción inferior con los valores recíprocos de cada posición.

Las matrices en AHP, además de estar completas, deben tener un grado de consistencia adecuado. La subjetividad y la elevada cantidad de elementos a considerar llevan a que las matrices tengan un alto grado de inconsistencia. Para poder utilizar AHP se debe calcular y ajustar la consistencia de la matriz. La matriz A es perfectamente consistente si el autovalor máximo de A es igual al orden de la matriz [7]. El Índice de Consistencia (**CI**) está dado por:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

donde λ_{\max} es el autovalor máximo de la matriz A y n es su orden. Además, se define la Medida de Consistencia (**CR**) como:

$$CR = \frac{CI}{CI_{\text{random}}} \leq 0,1 \quad (2)$$

donde CI_{random} es el valor promedio de los **CI** calculados para 500 matrices aleatorias [5]. El nivel aceptable de consistencia (**CR**) debe ser menor o igual a 0,1.

Después de completar la matriz de comparación de pares de los criterios se calcula y normaliza el autovector asociado a los autovalor máximo. Luego, por cada criterio se construyen las matrices de comparación entre pares de las alternativas y se obtienen los vectores de prioridad. Cada autovector normalizado de las alternativas con respecto a los criterios forma una matriz que se multiplica por el autovector asociado a la matriz de comparación de pares de los criterios. Así, se obtiene el ranking de prioridades para cada alternativa.

La ventaja de AHP es que permite abordar problemas complejos dividiéndolos en subproblemas más pequeños, simples y fáciles de comprender pero cuando existe una gran cantidad de criterios y alternativas a tener en cuenta, se pueden generar matrices incompletas. Estas no pueden utilizarse para establecer la conveniencia de las alternativas. Existen varios métodos para completar matrices para resolver este inconveniente [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] que además de seleccionar los valores para las posiciones vacías, mejoran la consistencia de las mismas.

2.2 QoS

Actualmente las redes IP proporcionan un servicio denominado de mejor esfuerzo (best-effort), es decir que el tráfico se procesa lo antes posible, pero no hay garantía sobre las condiciones en la que los procesos que se llevan a cabo sobre la red [14]. Este condicionamiento sumado a la creciente demanda de recursos de red hace que las organizaciones requieran mayores garantías y mejores condiciones en el uso de éstos

recursos [15]. En este sentido, existen aplicaciones críticas que requieren mayores garantías para mejorar las prestaciones del servicio de networking.

Para hacer frente a esta situación se han propuesto diversas tecnologías y técnicas relacionadas con la QoS, cuya función principal es proveer a las redes mayor confiabilidad haciendo frente a problemas de retardo en las transmisiones, pérdidas de paquetes, ancho de banda y calidad de contenido[2] [3] [1]. Entre ellas:

- **Servicios Integrados (SI):** Esta arquitectura está basada en la reserva de recursos para aplicaciones sensibles o en tiempo real. Y para que se le aseguren recursos, una aplicación debe hacer una reserva de los mismos antes de transmitir [16].
- **Servicios Diferenciados (SD):** Permite distinguir diferentes clases de servicio marcando y etiquetando los paquetes en las cabecera IP priorizando determinado tipo de tráfico [17].
- **Traffic Shaping (TS):** Esta tecnología se utiliza para optimizar la performance de redes locales y administrar su tráfico en las fronteras, dando un control en tiempo real para los servicios y aplicaciones que comparten el ancho de banda. La aplicación de las técnicas de TS requiere de mecanismos de gestión de los recursos en la puerta de enlace o Gateway de la red local [18] [15].

Para describir el escenario del modelo presentado en este artículo, en la sección 3 se revisa el uso de la tecnología de TS y se define el alcance del mismo.

3 Escenario del Modelo Propuesto

En esta sección describe brevemente la estructura de red actual de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) a nivel “global” y de la Facultad Regional Resistencia (FRRe) a nivel “local” (ámbito de TD) como escenario de aplicación del modelo.

La Red Universitaria Tecnológica (RUT) vincula con enlaces dedicados a las 29 Facultades Regionales (FR) en todo el país, al mismo tiempo, la RUT es un nodo de la red Asociación de Redes de Interconexión Universitaria (ARIU), que vincula a todas las Universidades e Instituciones Asociadas y representa el nexo con la Red de Prestaciones Avanzadas CLARA de Sudamérica (Internet 2).



Fig. 2. Topología de red de la FRRe

Este estudio se centra en un escenario o modelo lógico de red similar al que tiene la UTN en cada FR, pudiendo aplicarse también a otras organizaciones. En la Fig. 3 se puede observar que la la FRRe posee 3 enlaces al exterior (dos enlaces de banda ancha (BA)) y un enlace dedicado conectado a la RUT). Además existe una red local

(LAN) con enlaces inalámbricos y cableados a todos los sectores en los que se provee internet libre. Se identificaron 280 equipos en promedio conectados en horas pico.

La demanda de recursos en esta situación genera congestión de los enlaces a internet y es evidente que debe haber un control óptimo de los mismos para “garantizar” el tráfico crítico para una institución educativa universitaria.

La implementación práctica de este control puede realizarse con técnicas TS que permiten clasificar el tráfico de networking y asignarle recursos según su importancia. Así, el tráfico crítico o usuarios mayormente importantes tendrán asignados mayores recursos. Este proceso de control se debe realizar en los límites de la red interna, exactamente en el QoS-Gateway (Fig. 3). Para llevar adelante esta idea, es necesario identificar el tráfico utilizado en la FRRe sin tener en consideración, en esta instancia, la importancia relativa de cada uno de ellos en un momento dado. Así, a través de un relevamiento de los registros de la red se han observado, identificado y clasificado los tipos de tráfico mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de Tipos de Tráfico

<i>Variable</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción de tipo de tráfico</i>
C ₁	RDS	Acceso a bases de datos y sistemas remotos.
C ₂	V.C.	Tráfico de audio y video en conferencia.
C ₃	VoIP	Tráfico de Voz sobre IP.
C ₄	P2P	El conjunto de programas que generan gran consumo de recursos de networking para transferencia punto a punto.
C ₅	Mensajería	El conjunto de programas de Mensajería Instantánea.
C ₆	Mail	Acceso a servicios de correo electrónico.
C ₇	HTTP	Tráfico web compartido por los sitios de noticias, consultas académicas, etc.
C ₈	FTP	Transferencia de archivos remotes

En la Tabla 2 se enumeran las configuraciones de parámetros de red que son utilizadas como alternativas para el modelo de TD.

Tabla 2. Alternativas de Configuración del servicio de QoS

<i>Variable</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
A ₁	Default	Implica que el consumo del ancho de banda es proporcional al tipo de flujo que necesita el servicio regularmente. Se aplican políticas de priorización de tráfico, las cuales establecen que en momentos de excesivo tráfico y congestión se priorizan los servicios esenciales y se les brinda mayor ancho de banda.
A ₂	Multimedia	Servicio que necesita baja fluctuación y bajo retardo para una comunicación fluida y en tiempo real. La pérdida de paquetes es de baja prioridad para que se favorezca la comunicación en tiempo real.
A ₃	DataTranfer	Implica un ancho de banda alto y constante, posiblemente sacrificando la fluctuación y retardos. Se favorece el ancho de banda con el fin de conseguir que se transfiera la mayor cantidad de datos en menor tiempo.
A ₄	Mailing	Implica una alta confiabilidad y entrega garantizada para los mensajes de correo.
A ₅	Browsing	Implica un bajo retardo para los servicios consumidos desde los navegadores de internet junto con un ancho de banda moderado con el fin de conseguir una rápida respuesta visible para el usuario.

La clasificación del tipo de tráfico, y luego la configuración (alternativas) asociada a las necesidades en un momento dado puede implementarse con tecnologías de TS en entornos Unix/Linux [19].

4 Modelo Propuesto

En esta sección se describe el modelo de toma de decisiones aplicado al tratamiento de QoS para redes de computadoras. El propósito es que el administrador de la red pueda establecer, en un momento dado, cuáles son las prioridades de los servicios de red y que el modelo ayude a determinar la configuración adecuada de los parámetros.

La relación entre los servicios y las distintas configuraciones se determinan utilizando una estructura jerárquica, que es la base del funcionamiento del método AHP. Como se describe en la sección 2, para construir la estructura jerárquica es necesario establecer el objetivo concreto (nodo raíz) y los niveles de (a) criterios y (b) alternativas para la solución del problema (Fig. 1). El objetivo que debe incluirse como raíz de la estructura es mejorar las prestaciones de los servicios de red. Este objetivo es el mismo para todas las implementaciones que se realicen del modelo, independientemente de la arquitectura de la red. Para construir el resto de la estructura es necesario establecer los dos niveles (a) y (b) mencionados anteriormente. Ambos deben ser definidos por el equipo de administradores de red, quienes deben determinar los servicios a tener en cuenta (nivel de criterios) y las configuraciones de parámetros de red (nivel de alternativas) adecuadas para cada organización.

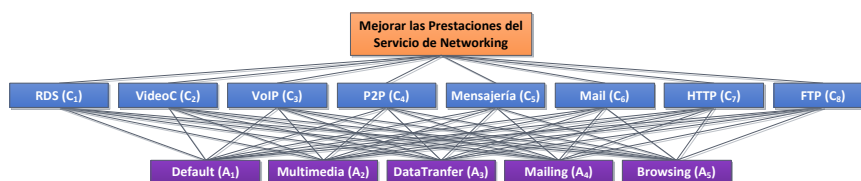


Fig. 3. Estructura Jerárquica UTN-FRRe

La Fig. 3 muestra la estructura jerárquica que relaciona los criterios con las posibles configuraciones de red para mejorar las prestaciones de servicio en la FRRe. En este caso los servicios: RDS (C_1), Video Conferencia (C_2), VoIP (C_3), P2P (C_4), Mensajería (C_5), Mail (C_6), HTTP (C_7) y FTP (C_8) se seleccionan teniendo en cuenta el tipo de tráfico que se genera habitualmente en la facultad. Las configuraciones: Default (A_1), Multimedia (A_2), DataTransfer (A_3), Mailing (A_4) y Browsing (A_5) son las que se determinan en base a las actividades que se realizan dentro de la institución.

Con esta definición el administrador suministra los servicios que desea tener en cuenta y cuáles son las configuraciones adecuadas para cada actividad. Obviamente la definición de la estructura jerárquica es un proceso propio de cada organización.

La construcción de la estructura es un punto crítico ya que todas las sugerencias que el modelo realice sobre la utilización de posibles configuraciones responderán a las relaciones establecidas a priori.

El paso siguiente del método AHP es completar las matrices de comparación entre pares para los niveles de criterios y alternativas¹. En primer lugar se construye una matriz que rotula en sus filas y columnas a todos los criterios (servicios) establecidos por el administrador de la red en la estructura jerárquica (Tabla 3). Esto permite que el administrador defina las preferencias entre cada combinación de criterios tomados de a dos, utilizando los valores de la escala de Saaty indicados en la sección 2.1.

¹ Para el ejemplo se toma en cuenta un día de clases normal 19 hs a 21 hs (mayor tráfico concurrente).

Tabla 3. Matriz en el Nivel de Criterios (Servicios).

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	V.P.
C ₁	1	5	4	9	2	1/3	1/5	2	0.1414
C ₂	1/5	1	2	9	1/4	1/7	1/9	1/2	0.0498
C ₃	1/4	1/2	1	9	1/3	1/5	1/7	1/2	0.0462
C ₄	1/9	1/9	1/9	1	1/9	1/9	1/9	1/8	0.0142
C ₅	1/2	4	3	9	1	1/2	1/3	1	0.1084
C ₆	3	7	5	9	2	1	1/2	2	0.2173
C ₇	5	9	7	9	3	2	1	2	0.3263
C ₈	1/2	2	2	8	1	1/2	1/2	1	0.0964

CI = 0.12 CR = 0.0851

Para el nivel de alternativas el proceso es similar, es decir, se construyen matrices de comparación entre pares donde las alternativas rotulan las filas y columnas. La diferencia es que se debe construir una matriz por cada criterio. Con esto se logra que el administrador pueda establecer sus preferencias entre alternativas pero teniendo en cuenta cada criterio por separado. En la Tabla 4 se muestra la comparación de las alternativas (configuraciones) para cada criterio.

Tabla 4. Matrices en el Nivel de Alternativas (Configuraciones).

C ₁	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.	C ₂	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.	C ₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.
A ₁	1	3	1/5	1/3	1/2	0.1032	A ₁	1	1/7	3	3	2	0.1741	A ₁	1	1/6	3	2	2	0.1793
A ₂	1/3	1	1/4	1/3	1/5	0.0579	A ₂	7	1	7	5	3	0.5534	A ₂	6	1	7	4	2	0.5071
A ₃	5	4	1	3	2	0.4158	A ₃	1/3	1/7	1	1/2	1/4	0.0492	A ₃	1/3	1/7	1	1/2	1/3	0.0548
A ₄	3	3	1/3	1	1/2	0.1753	A ₄	1/3	1/5	2	1	1/2	0.0786	A ₄	1/2	1/4	2	1	1/2	0.0954
A ₅	2	5	1/2	2	1	0.2478	A ₅	1/2	1/3	4	2	1	0.1448	A ₅	1/2	1/2	3	2	1	0.1634

CI = 0.0637 CR = 0.0569 **CI = 0.064 CR = 0.0571** **CI = 0.0687 CR = 0.0614**

C ₄	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.	C ₅	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.	C ₆	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.
A ₁	1	3	1/4	1/2	1/3	0.1036	A ₁	1	4	2	1/2	1/3	0.1808	A ₁	1	4	4	1/5	1/4	0.1295
A ₂	1/3	1	1/6	1/4	1/2	0.0598	A ₂	1/4	1	1	1/4	1/4	0.0725	A ₂	1/4	1	1/2	1/6	1/5	0.0451
A ₃	4	6	1	4	3	0.4715	A ₃	1/2	1	1	1/3	1/2	0.1005	A ₃	1/4	2	1	1/7	1/5	0.0571
A ₄	2	4	1/4	1	1/2	0.1558	A ₄	2	4	3	1	2	0.3599	A ₄	5	6	7	1	1/3	0.3247
A ₅	3	2	1/3	2	1	0.2094	A ₅	3	4	2	1/2	1	0.2863	A ₅	4	5	5	3	1	0.4437

CI = 0.0588 CR = 0.0525 **CI = 0.0596 CR = 0.0533** **CI = 0.103 CR = 0.092**

C ₇	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.	C ₈	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	V.P.
A ₁	1	5	4	1/2	1/4	0.1877	A ₁	1	3	1/3	1	1/2	0.1428
A ₂	1/5	1	1/4	1/4	1/5	0.0470	A ₂	1/3	1	1/5	1/3	1/4	0.0589
A ₃	1/4	4	1	1/3	1/5	0.0910	A ₃	3	5	1	3	2	0.4065
A ₄	2	4	3	1	1/2	0.2391	A ₄	1	3	1/3	1	1/2	0.1428
A ₅	4	5	5	2	1	0.4352	A ₅	2	4	1/2	2	1	0.2490

CI = 0.0818 CR = 0.0731 **CI = 0.0113 CR = 0.0101**

Una vez que se comprueba la consistencia, se calculan los vectores de prioridades (columna V.P. en Tablas 3 y 4) para cada matriz y se establece qué configuración es la adecuada en función a los criterios establecidos. Para ello se calculan los resultados finales multiplicando cada vector de prioridades de las alternativas por el vector de prioridades de los criterios como se muestra en la Tabla 5. La Tabla 5 muestra que la configuración adecuada es A₅ = 0.3462, esto significa que los parámetros de la red deben ser ajustados de acuerdo a lo establecido para la configuración de Browsing. Este proceso se puede repetir a medida que varían las necesidades de tráfico de la red.

El experto solamente debe redefinir los valores de preferencia a nivel de criterios, ya que las preferencias sobre las configuraciones por criterio se mantienen estables.

Tabla 5. Resultados finales.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	Resultados
	0.1414	0.0498	0.0462	0.0142	0.1084	0.2173	0.3263	0.0964	Finales
A ₁	0.1032	0.1741	0.1793	0.1036	0.1808	0.1295	0.1877	0.1428	0.1558
A ₂	0.0579	0.5534	0.5071	0.0598	0.0725	0.0451	0.0470	0.0589	0.0987
A ₃	0.4158	0.0492	0.0548	0.4715	0.1005	0.0571	0.0910	0.4065	0.1627
A ₄	0.1753	0.0786	0.0954	0.1558	0.3599	0.3247	0.2391	0.1428	0.2367
A ₅	0.2478	0.1448	0.1634	0.2094	0.2863	0.4437	0.4352	0.2490	0.3462

4.1 Extensión del Modelo para Múltiples Expertos

Si bien el modelo presentado en la sección 4 es adecuado para organizaciones que tienen solamente un responsable de administrar los servicios de red, puede ser utilizado cuando existen varios administradores. Para acordar una sola decisión entre N administradores la operación que se utiliza se conoce como agregación. En AHP se puede hacer agregación en dos niveles: (1) agregación de los juicios de los expertos en las matrices y (2) agregación de los resultados obtenidos por cada experto.

En el primer caso, cada administrador completa las matrices (Tablas 3 y 4) mostradas en la sección 4 según su propia experiencia y se obtienen N versiones diferentes de las matrices mencionadas. Luego se realiza la agregación de cada elemento de dichas matrices utilizando la media geométrica [20]. Es decir, si $a_{ij}^1, a_{ij}^2, \dots, a_{ij}^N$ son los N juicios de los expertos para el elemento en la posición (i, j) , el valor de dicho elemento en la matriz de resumen (a_{ij}^R) se calcula mediante:

$$a_{ij}^R = (a_{ij}^1 \times a_{ij}^2 \times \dots \times a_{ij}^N)^{1/N} \quad (3)$$

donde: a_{ij}^R es el valor del juicio en la posición (i, j) de la matriz de resumen R ;

$a_{ij}^1, a_{ij}^2, \dots, a_{ij}^N$ son los N juicios de los expertos para el elemento en la posición (i, j) ;

Estos nuevos valores se utilizan para obtener las matrices de resumen que son la base para el cálculo de los resultados finales mostrado en la Tabla 5 de la sección 4.

En el segundo caso, la agregación se hace después de completar los cálculos de AHP para cada uno de los N expertos. Esto significa que el proceso mostrado en la sección 4 se realiza N veces utilizando los juicios expresados por los expertos, obteniéndose como resultado de cada proceso un vector de prioridades de las alternativas (Tabla 5) por cada experto. Los N valores de las posiciones análogas de los vectores se pueden agregar utilizando aritmética ponderada [21]. Es decir, si $p_k^1, p_k^2, \dots, p_k^N$ son los N valores de prioridad correspondiente a la posición k de cada vector de prioridades, el valor de dicho elemento en el vector de prioridades de resumen (p_k^R) se obtiene de la manera siguiente:

$$p_k^r = \sum_{m=1}^N w_m \times p_k^m \quad (4)$$

donde: p_k^m es el valor de la prioridad en la posición k del m -ésimo experto;

w_m es el coeficiente de ponderación (peso) correspondiente al m -ésimo experto;

Para el primer proceso de agregación, todos los juicios emitidos por los expertos tienen la misma relevancia e inciden de igual manera en el resultado final, pero se necesita hacer la verificación de la consistencia de las matrices de resumen. En el segundo proceso se pueden dar distintos grados de relevancia a las opiniones de los administradores según su capacidad, experiencia, preparación, etc. pero esos grados de relevancia y no es simple encontrar quien defina estas ponderaciones.

5 Discusión sobre el Modelo Propuesto

El modelo presentado en este artículo muestra varios aspectos destacables como sistema de soporte a las decisiones para mejorar la QoS de una red de computadoras. El primero implica la simplicidad y flexibilidad para definir la estructura jerárquica adecuada. En el nivel de criterios el administrador de la red puede incorporar los servicios que considere clave en el funcionamiento de la red; y en el nivel de alternativas las configuraciones de parámetros que respondan a las necesidades de tráfico. Debido a que los valores de preferencia pueden ajustarse continuamente, el modelo puede adaptarse a los requerimientos de tráfico cada vez que se necesite.

El segundo aspecto interesante es que, una vez definida la estructura y los valores de preferencia, los cálculos que se deben realizar son sencillos y sin pérdidas considerables de tiempo, solo se requiere que el administrador disponga de mecanismos que lo alerten de situaciones no deseadas de tráfico.

El último aspecto es la extensibilidad del modelo para dar soporte a las opiniones de múltiples expertos. La utilización de los distintos operadores de agregación, tanto de juicios como de prioridades calculadas, brindan las facilidades necesarias para resumir los criterios de varios expertos sin la necesidad de cálculos complejos.

Trabajos Futuros

Actualmente se está trabajando en la definición del framework que soporte al modelo explicado en este artículo. La idea principal es contar con una herramienta amigable que permita construir la estructura jerárquica de manera sencilla y provea un mecanismo eficaz para cargar los valores de preferencia en las matrices. Además, se están investigando y comparando otros operadores de agregación y se tiene previsto probar el modelo multi experto en el ámbito de la Facultad Regional Resistencia y en función a los resultados que se obtengan estudiar la factibilidad de extensión del modelo a otros dominios.

Agradecimientos: Este trabajo está siendo desarrollado en el marco del proyecto “*Diseño de Técnicas para el Tratamiento de Situaciones de Incertidumbre en Sistemas de Soporte de Decisiones con Múltiples Expertos*” perteneciente al GISIA de la FRRe de la UTN.

Referencias

1. Vegesna, S.: *IP Quality of Service*. Cisco Press, Indianapolis (2001).
2. Evans, J. and Filisfilis, C.: *Deploying IP and MPLS QoS for Multiservice Networks. Theory and Practice*. Elsevier, (2007).
3. Szigeti, T. and Hattingh, C.: *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs*. Cisco Press, Indianapolis (2004).

4. Sprague, R. H. and Carlson, E. D.: *Building effective decision support systems*. Prentice-Hall, N. J. (1982).
5. Saaty, T. L.: *The Analytic Hierarchy Process*. New York (1980).
6. Vargas, L. G.: An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications. *European Journal of Operational Research - EJOR* 48 (1), 2-8 (1990).
7. Chen, Q., Triantaphyllou, E., Crawley, R., Nair, B., Rajagopalan, H. and Sandick: Estimating Data for Multicriteria Decision Making Problems, *Optimization Techniques*. . *Encyclopedia of Optimization*, 567 – 576 (2001).
8. Harker, P. T.: Alternative Modes of Questioning in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical Modelling* 9 (3-5), 353 – 360 (1987).
9. Shiraiishi, S., Obata, T. and Daigo, M.: Properties of a Positive Reciprocal Matrix and their Application to AHP. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 41 (3), 404-414 (1998).
10. Hu, Y. C. and Tsai, J. F.: Backpropagation Multi-Layer Perceptron for Incomplete Pairwise Comparison Matrices in Analytic Hierarchy Process. *Applied Mathematics and Computation* 180, 53-62 (2006).
11. Gómez Ruiz, J. A., Karanik, M. and Peláez Sánchez J. I.: Incomplete AHP Pairwise Matrix Reconstruction Using a Neural Network-Based Model. In: *Proceedings of the Twelfth IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing (ASC 2008)*, Palma de Mallorca, Spain, (2008).
12. Gómez Ruiz, J. A., Karanik, M. and Peláez Sánchez J. I.: Improving the Consistency of AHP Matrices Using a Multi-layer Perceptron-based Model. *Lecture Notes in Computer Science. International Workshop in Artificial Neural Networks (IWANN)*. Springer-Verlag 5517 (41-48) (2009).
13. Gómez Ruiz, J. A., Karanik, M. and Peláez Sánchez J. I.: Estimation of missing judgments in AHP pairwise matrices using a neural network-based model. *Applied Mathematics and Computation* 216 (10), 2959-2975 (2010).
14. Campbell, A., Aurrecochea, C. and Hauw, L.: A review of QoS architectures. *ACM Multimedia Systems Journal* 6, 138-151 (1996).
15. Nair, S. K. and Novak, D. C.: A traffic shaping model for optimizing network operations. *European Journal of Operational Research* 180 (3), 1358-1380 (2007).
16. Braden, R., Clark, D. and Shenker, S.: Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview. Request for comments, RFC 1633 (1994).
17. Grossman, D.: New Terminology and Clarifications for Diffserv. Request for comments, RFC 3260 (2002).
18. Floyd, S. and Jacobson, V.: Link-sharing and Resource Management Models for Packet Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking* 3, 365-386 (1995).
19. Hubert, B., in *Ottawa Linux Symposium* (Ottawa, Canada, 2002).
20. Aczel, J. and Saaty, T. L.: Procedures for synthesizing ratio judgements. *Journal of Mathematical Psychology* 27, 93-102 (1983).
21. Ramanathan, R. and Ganesh, L. S.: Group preference aggregation methods employed in AHP: An evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. *European Journal of Operational Research* 79, 249-265 (1994).