

# SELECCIÓN DE UNA TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA TÉCNICA DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Pablo Aragonés Beltrán<sup>1p</sup>, Mónica García Melón<sup>1</sup>, Félix A. Cortés Aldana<sup>2</sup>, Jaider M. Vega Jurado<sup>2</sup>

1 Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia.

2 Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá.

## SUMMARY

National University of Colombia, Bogota place, has proposed a project to improve Internet access by using Broad Band Technology. In the first step four possible technologies have to be selected: LMDS, ADSL, Cable Modem y Optical Fibre.

In this communication Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) is used to rank these alternatives. Analytic Hierarchy Method (AHP) is the method employed to help in this decision process.

## RESUMEN

La Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, (U.N. Bogotá) ha planteado un proyecto para mejorar sus servicios de acceso a Internet mediante el empleo de una tecnología de banda ancha. En una fase inicial del proyecto se ha tenido que seleccionar la tecnología más adecuada entre las cuatro disponibles en Colombia: LMDS, ADSL, Cable Módem y Fibra óptica. Para adoptar esta decisión se ha aplicado el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1996). Este método, basado en el Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA), permite establecer los criterios de decisión, ponderarlos y valorar las alternativas en función de las prioridades que el decisor establezca para cada criterio. Como apoyo en todo el proceso de decisión se ha considerado la opinión de diferentes expertos.

En la presente comunicación se expone el proceso seguido con el objetivo de mostrar que el empleo de métodos basados en el Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) puede resultar útil a la hora de adoptar decisiones complejas.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) es un término amplio que incluye una colección de conceptos, métodos y técnicas que persiguen ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (adaptado de Belton y Stewart, 2002). Desde finales de los años 50 del siglo XX se ha desarrollado una intensa investigación cuyo objetivo ha sido ayudar a los gerentes y líderes a tomar decisiones complejas que precisan la gestión de gran cantidad de información. Una revisión de estos métodos se puede encontrar en Romero (1993) y en Pomerol y Barba-Romero (1997).

En la presente comunicación se aplica el método AHP (Saaty, 1994, 1996) al problema de seleccionar una tecnología de banda ancha para el proyecto de mejora de la red de acceso a Internet de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Este método tiene un sólido fundamento científico y está siendo utilizado en

numerosas aplicaciones prácticas. La selección de un modelo matemático basado en MCDA no es tarea sencilla. Existen diferentes propuestas y hasta la fecha ninguna de ellas domina sobre las demás. Todas ellas tienen ventajas e inconvenientes, resumidas en la bibliografía (Moreno-Jiménez, 2002).

En el presente trabajo se ha empleado AHP porque este método está basado en el establecimiento de una estructura jerárquica del problema, permite trabajar con mucha información, admite la integración de las opiniones y juicios de diferentes expertos y es fácil de entender por personas no expertas en MCDA. Tiene en cuenta la consistencia de los juicios emitidos. Además, se apoya en un software fácilmente manejable que presenta los resultados de manera clara y permite realizar un análisis de sensibilidad.

Todo el proceso se ha desarrollado con el apoyo de cuatro expertos en el área de las tecnologías de banda ancha, seleccionados por la Universidad Nacional de Colombia. Los principales pasos del proceso de decisión que se ha seguido son los siguientes (Henig y Buchanan, 1996):

1. Análisis de las alternativas
2. Selección de los criterios de decisión.
3. Ponderación de los criterios
4. Valoración de las alternativas según cada criterio.
5. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas.
6. Análisis de resultados e informe final.

## 2.- PLANTEAMIENTO DEL CASO

La transmisión de información por Internet ha ido incrementándose a medida que la tecnología disponible ha ido permitiendo enviar mayor cantidad de información a mayor velocidad. La tecnología de banda ancha es un medio capaz de transportar múltiples canales de datos, voz y video con una gran velocidad de respuesta. Tiene diferentes aplicaciones como video-telefonía y video-conferencia, e-commerce, educación interactiva a distancia, telemedicina, acceso electrónico a sistemas de entretenimiento digital, transmisión vía e-mail de grandes archivos con fotografías y videos.

Las tecnologías de banda ancha identificadas como alternativas por los técnicos de la Universidad han sido las siguientes:

- *Cable Modem*. Acceso de banda ancha a Internet mediante la infraestructura televisión por cable. Esta tecnología de banda ancha hace uso de alambres largos recubiertos, que se utilizan para transmitir señales de un dispositivo a otro.
- *Fibra óptica*. Acceso de banda ancha a Internet por medio de redes de fibra óptica.
- *ADSL* (Asymmetric Digital Subscriber Line). Acceso de banda ancha a Internet mediante la infraestructura telefónica convencional.
- *LMDS* (Local Multipoint Distribution System). Acceso de banda ancha a Internet vía Radio.

Todas estas tecnologías tienen ventajas e inconvenientes, por lo que resulta complejo adoptar una u otra tecnología. El panel de expertos que han apoyado el

proceso de decisión ha sido seleccionado por su conocimiento de las tecnologías y por su vinculación con la U. N. Bogotá. Los expertos han sido:

- a) Mónica Alvarado Forero. Ingeniera de Sistemas. U.N. Bogotá.
- b) Efraín Chiguasuque Bello. Ingeniero de Sistemas. UN. Bogotá.
- c) Oscar Aldana Hernández. Ingeniero de Sistemas. U. Católica. Bogotá.
- d) Félix A. Cortés Aldana. Ingeniero de Sistemas. U. N. Bogotá.

Los autores de la presente comunicación han actuado como facilitadores del proceso y expertos en MCDA.

## 2.1. Selección de criterios.

Para la selección de los criterios se ha optado por realizar una descomposición jerárquica, siguiendo el método AHP. Se aplicó un método de consulta al panel de expertos. Se realizó una primera propuesta por parte del Ingeniero Cortés y se consultó al resto de los expertos por medio de correo electrónico. Cada experto manifestó su opinión, la cual fue sintetizada por los facilitadores. Después de una segunda ronda se logró el acuerdo. Los criterios seleccionados fueron los siguientes:

C1.- *Criterio Tecnológico*. En este nivel se agrupan los aspectos técnicos para identificar de manera específica las necesidades de la organización como cliente de un servicio de banda ancha. Este criterio se puede descomponer en los sub-criterios:

C1.1.- *Ancho de banda (maximizar)*. Evalúa la velocidad de transmisión que se requiere tanto de la estación central proveedora del servicio hacia el cliente como viceversa. Se mide en bits por segundo o bps.

C1.2.- *Número de Equipos a conectar (maximizar)*. Evalúa la cantidad de equipos que se pueden incorporar a la red de banda ancha para cada tecnología teniendo en cuenta las condiciones de la organización en donde se pretende hacer la implementación. Se mide en número de equipos a conectar.

C1.3.- *Disponibilidad de equipos proveedor (maximizar)*. Es importante establecer si los proveedores en Colombia tienen una cobertura geográfica amplia para ofrecer conexión al cliente de una forma adecuada. Se mide con el número de ciudades con cobertura que es el siguiente.

C1.4.- *Tiempo de instalación (minimizar)*. La duración en días o meses para instalar una determinada tecnología de banda ancha. En este estudio, se mide en días necesarios para la instalación.

C2.- *Criterio Financiero*. Cubre los aspectos económicos que están inmersos en la decisión de adoptar una nueva tecnología en la organización. Los criterios aquí considerados permiten establecer de manera clara lo que implica a la organización la inversión a realizar. Las variables a considerar en esta dimensión son:

C2.1.- *Costos de instalación (minimizar)*. Corresponde a una estimación del valor a pagar por las tareas de implementación de la tecnología de banda ancha. Se valora en dólares americanos US.

C2.2.- *Costos de suscripción mensual (minimizar)*. Hace referencia a un valor estimado que debe ser pagado mensualmente por los servicios como Internet, voz entre otros. Se valora en dólares americanos US por mes.

C3.- Criterios de Calidad. Características que debe tener la solución de banda ancha adoptada a unos niveles acordes a las expectativas de los usuarios de la red. Las variables que se consideran en esta dimensión son:

C3.1.- *Seguridad (maximizar)*. Este criterio evalúa la posibilidad de acceso por parte de extraños, por lo tanto se analiza prácticamente la vulnerabilidad en la red y la posibilidad de caída de la misma. Se mide con una escala entre 1 y 5, donde 1 corresponde a un menor nivel y 5 al mayor nivel de seguridad ofrecido por la tecnología de banda ancha.

C3.2.- *Mantenimiento (minimizar)*. Aunque es responsabilidad del operador, es necesario considerar este tipo de variable para garantizar al cliente una buena calidad del servicio, además es importante considerar la periodicidad del mismo y si se incurre en algún costo. Se mide en número de revisiones al año.

## 2.2.- Ponderación de los criterios.

Los pesos de los criterios expresan la medida de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Existe un profundo debate en la bibliografía sobre el significado que los pesos de los criterios tienen según el modelo MCDA con el que se esté trabajando, así como la forma de obtenerlos. Básicamente se presentan dos enfoques: en los modelos basados en la Teoría de la Utilidad los pesos significan tasas de intercambio entre los criterios, mientras que en los modelos de Superación (ELECTRE o PROMETHEE) significan coeficientes de importancia (Belton y Stewart, 2002).

Siguiendo el método AHP, en el cual los criterios se representan mediante un árbol jerárquico, se han de realizar comparaciones binarias entre los vértices de cada nivel, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al vértice del nivel superior al que están ligados. Este proceso de comparación conduce a una escala de medida relativa de prioridades o pesos de los elementos cuya suma total es la unidad. Para calcular los pesos de los criterios en cada nivel jerárquico, éstos han de ir comparándose dos a dos, preguntándose si el criterio  $C_i$  es mejor que el  $C_j$  (o viceversa) y cuánto mejor, utilizando la siguiente escala (Saaty, 1994):

- $C_{ij} = 1$ : se considera igualmente importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$
- $C_{ij} = 3$ : se considera ligeramente más importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$
- $C_{ij} = 5$ : se considera bastante más importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$
- $C_{ij} = 7$ : se considera mucho más importante ( o demostrablemente más importante) el criterio  $i$  que el criterio  $j$
- $C_{ij} = 9$ : se considera absolutamente más importante el criterio  $i$  que el criterio  $j$

En el presente caso, los facilitadores elaboraron un sencillo cuestionario que se envió a cada experto vía correo electrónico (ver Anexo). Los datos fueron introducidos en el programa Expert Chice 2000, que aplica el método AHP. De esta forma se obtuvieron los pesos de los criterios. La figura 1 muestra la estructura jerárquica de criterios y sus pesos (Local y Global) entre paréntesis. El *peso local* (L) significa la prioridad del sub-criterio en relación con el resto de criterios situados en el mismo sub-nivel (la suma de estos pesos es igual a 1). El *peso global* del sub-criterio es el que resulta de multiplicar su peso local por el peso global del criterio inmediatamente superior del que se descuelga el sub-criterio bajo consideración. En la figura se muestran los resultados “combinados”, esto es los pesos de los criterios

que resultan por agregación, mediante la media geométrica, de los juicios emitidos individualmente por cada experto.

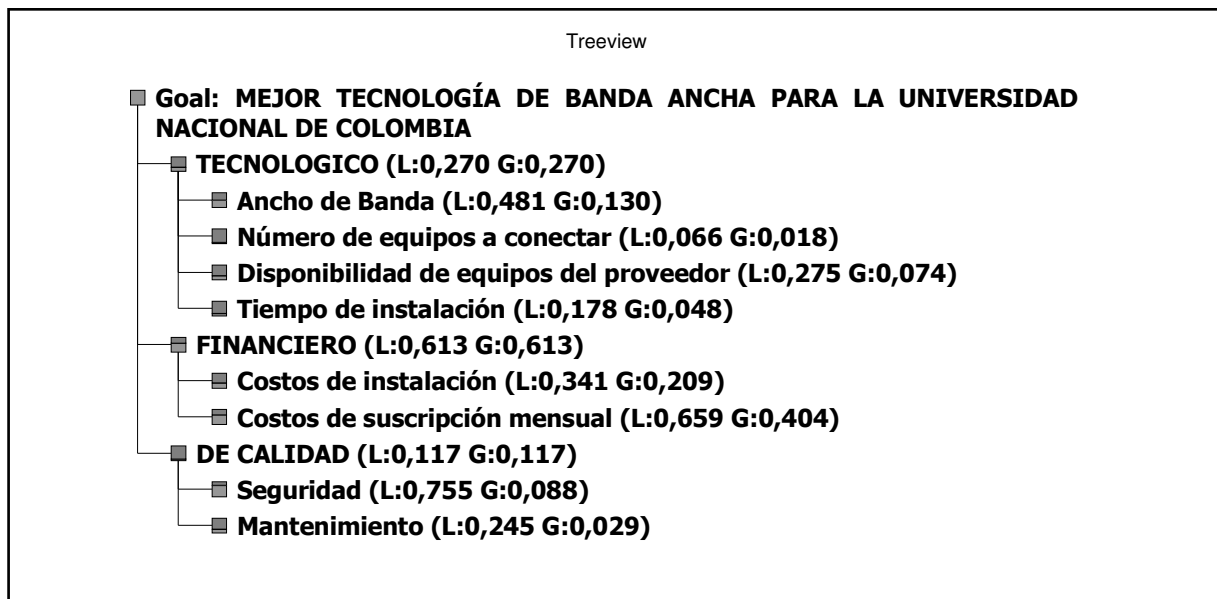


Figura 1.- Representación de la jerarquía de criterios y sus pesos

Se puede observar que los criterios financieros son los valorados como más importantes (61,3 %), después los tecnológicos (27%) y por último los de calidad (11,7%). Entre los criterios de más bajo nivel, que son en base a los que se va a valorar cada una de las alternativas, se puede observar que el criterio que tiene mayor peso global es el del “costo de suscripción mensual” (40,4%) y el de menor peso es el del “número de equipos a conectar” (1,8%).

### 2.3.- Valoración de las alternativas.

Una vez determinados los criterios y la forma de valorar las alternativas se estableció la Tabla 1 que representa la *Matriz de Decisión*. Los datos de la matriz fueron obtenidos a partir del trabajo realizado por Alvarado y Chiguasuque (2004) y revisados por el panel de expertos. Se observa que las valoraciones de todos los criterios, excepto el de seguridad, se basan en datos cuantitativos obtenidos del citado trabajo. La valoración del criterio seguridad se obtuvo por consenso y se basó en la experiencia de los miembros del panel.

Los datos de la matriz se introdujeron en el programa informático, el cual permite transformar estas valoraciones en preferencias del decisor (en este caso el panel de expertos) de varias formas, según sean los datos disponibles. Si algún criterio fuera cualitativo y dependiera de la opinión de cada miembro del panel de expertos se hubiera podido establecer la valoración o prioridad de las alternativas para ese criterio por comparación binaria, al igual que se ha procedido con los pesos. Esto es así porque el número de alternativas es menor que 7, cantidad considerada como máxima para poder establecer comparaciones sin producir grandes inconsistencias (Saaty, 1994). En el presente caso sólo estaba en esta situación el criterio “seguridad” y se optó, por razones de tiempo, por establecer una escala de 1 a 5 y

que el panel de expertos, por consenso estableciera la valoración según su opinión experta.

El resto de valoraciones se introdujeron de forma directa en el programa mediante la fórmula lineal. Esto significa, para un criterio determinado, transformar la escala de valoración numérica de cada alternativa en preferencia del decisor de forma lineal. La preferencia se incrementará a medida que aumenta (o disminuye) la valoración de las alternativas, de forma lineal. Todos los criterios han seguido esta función de preferencia, salvo el criterio “número de equipos a conectar” que sigue una curva exponencial (cuantos más equipos se puedan conectar mucho más se incrementa la preferencia)

TECNOLOGIAS BANDA ANCHA					
Nivel	Criterio	LMDS	CABLE	FIBRA OPTICA	ADSL
Tecnología	Velocidad (Kbps)	1000	256	1000	256
	Equipos a conectar	100	90	150	90
	Cobertura (ciudades)	3	3	6	7
	Tiempo de instalación (días)	5	8	8	8
Financiera	Costo de instalación. US	200	120	200	120
	Costo de suscripción US/mes	70	50	70	50
Calidad	Seguridad	5	2	5	2
	Mantenimiento	10	3	3	6

Tabla 1. Matriz de decisión.

## 2.4.- Cálculo de la prioridad global y Análisis de resultados.

Una vez introducidos los datos el programa calcula la prioridad global. Establecidas las prioridades entre los criterios y las prioridades entre las alternativas para cada criterio, lo que hace el método AHP es calcular una suma ponderada. La Figura 1 muestra los resultados de forma gráfica.

Se observa que la tecnología considerada más adecuada para el presente proyecto, considerando todos los criterios establecidos y ponderados por el panel de expertos es el ADSL.

A partir de estos resultados es conveniente realizar un análisis de sensibilidad. Modificando sucesivamente los pesos de los criterios se puede observar si varía la

ordenación inicial. Con ayuda del Expert Choice 2000 este análisis se puede realizar de forma interactiva, observando qué criterios son más sensibles a las posibles modificaciones de los pesos.

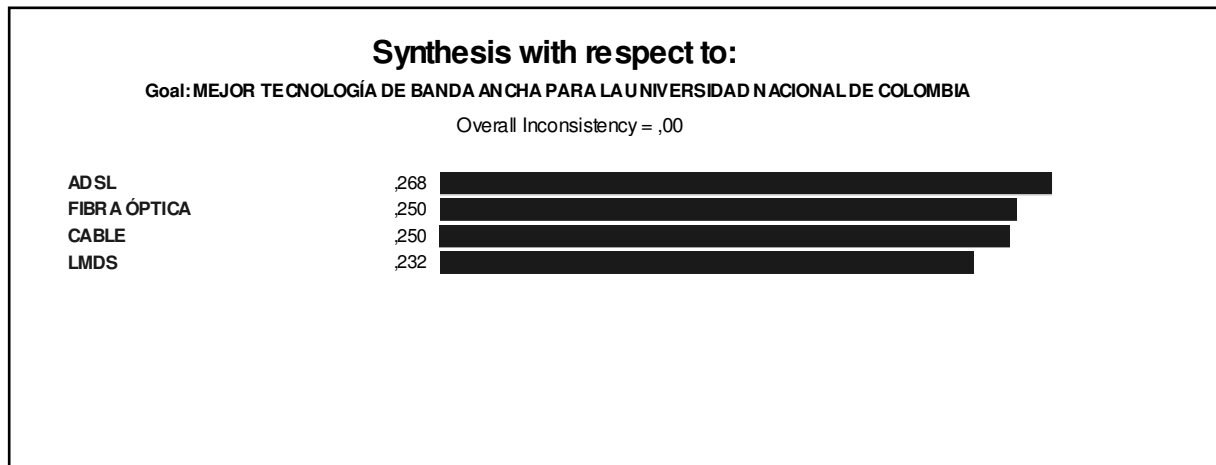


Figura 1.- Prioridad global

### 3.- CONCLUSIONES

El Análisis de Decisiones Multicriterio resulta una herramienta útil para ayudar a tomar decisiones en proyectos. Durante el desarrollo de un proyecto de ingeniería hay que adoptar decisiones que son críticas para los desarrollos futuros del mismo. Además los encargados de tomar decisiones asumen grandes responsabilidades y la mayoría de las veces tienen que apoyarse en expertos que les asesoren. Otras veces existen diferentes agentes que tienen intereses contrapuestos que hay que conjugar para lograr una solución.

En este contexto, estas técnicas pueden servir de apoyo. Permiten abordar problemas complejos analizando los diferentes aspectos, dimensiones o puntos de vista del problema. Los expertos o las partes interesadas pueden aportar sus puntos de vista y sus valoraciones. Esto suele conducir a adoptar decisiones de consenso que son mejor aceptadas por las partes afectadas. Permiten, además generar una gran cantidad de información que está ordenada y que se puede analizar con profundidad, haciendo ejercicios del tipo: ¿qué pasa si modificamos el peso del criterio  $j$ , o las valoraciones de ciertas alternativas, o si incorporamos la opinión de cierto experto?

En el presente caso, se ha aplicado un método, el AHP, fácilmente comprensible que además tiene un fundamento científico contrastado. Existen otros métodos también válidos pero que requieren, a nuestro juicio más apoyo técnico y conocimientos específicos.

Sin embargo, conviene destacar que, afortunadamente, estos métodos no sustituyen el buen o mal juicio del decisor. No reducen la subjetividad inherente a cualquier proceso de toma de decisiones. Sin embargo permiten gestionar la complejidad y que el decisor tenga la sensación de que al concluir el proceso sabe más que antes de empezar. Esta situación suele tranquilizar a muchos decisores que, en un

momento determinado, valoran más cómo se adoptan las decisiones que la solución final adoptada.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Alvarado, M., Chiguasuque, E., Metodología para determinar la factibilidad de la implementación de la tecnología de banda ancha (lmds-local multipoint distribution system), en una organización. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 2004.

Belton V, Stewart Th. Multiple criteria decision analysis. An integrated approach. Kluwer Academic Publishers, 2002.

Henig M.I, Buchanan J. Solving MCDM problems: Process concepts. J. Multi-Crit. Decis. Anal 1996, **5**: 3-21.

Moreno-Jiménez J.M. El proceso analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. En Toma de decisiones con criterios múltiples. Caballero R. y Fernández G.M. Ed. ASEPUMA . Madrid. 2002.

Pomerol J.C, Barba-Romero S. Multicriterion decision in management: Principles and practice. Boston Hardbound: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Romero, C., Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones., Alianza Editorial S.A., Madrid. 1993.

Saaty Th. Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publications, 1994

Saaty Th. The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.

## **ANEXO. Modelo de cuestionario para que responda cada experto.**

### COMPARACIONES BINARIAS CRITERIOS DEL PRIMER NIVEL

1.- Entre el criterio C1: Tecnológico y C2: Financiero

- ¿Qué criterio considera más importante? C1      C2      (Marcar con una X)

- ¿En qué grado?      1    3    5    7    9

2.- Entre C1: Tecnológico y C3: Calidad.

- ¿Qué criterio considera más importante? C1      C3      (Marcar con una X)

- ¿En qué grado?      1    3    5    7    9

3.- Entre C2: Financiero y C3: Calidad.

- ¿Qué criterio considera más importante? C2      C3      (Marcar con una X)

- ¿En qué grado?      1    3    5    7    9

Con esta información se pueden obtener los pesos de cada uno de los tres criterios de primer nivel y verificar la consistencia de los juicios emitidos.

## **CORRESPONDENCIA**

Pablo Aragonés Beltrán  
Departamento de Proyectos de Ingeniería  
Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n. 46022 VALENCIA  
Telf. 96 387 7007 Ext. 75651  
aragones@dpi.upv.es