

---

## **UN NUEVO MÉTODO PARA DERIVAR EL VECTOR DE PESOS A USAR EN EL AHP. APLICACIÓN A ASPECTOS AMBIENTALES EN TRANSPORTE**

**Alejandro M. Tudela**  
**Departamento de Ingeniería Civil**  
**Universidad de Concepción**  
**Casilla 53-C Concepción**  
**Fax: 041 25 2524**  
**E-mail: atudela@udec.cl**

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta un nuevo método para derivar el vector de pesos a usar en el enfoque multi-criterio AHP (Analytic Hierarchy Process), utilizado para apoyar la toma de decisiones con múltiples criterios en transporte. Estos pesos representan la importancia relativa de los diferentes criterios y atributos, y resultan esenciales en este tipo de enfoques.

El método está basado en funciones de utilidad, las que dependen de los atributos que caracterizan los proyectos de infraestructura bajo análisis. Los pesos así derivados resultan dependientes tanto de la magnitud de los atributos, así como de la percepción de las personas. Dada la naturaleza econométrica del método, es posible determinar, además, el nivel de error asociado a cada peso.

El método se usó para estimar los pesos de los atributos Nivel de Contaminación del Aire y Nivel de Uso de Suelo, desde las perspectivas de corto plazo y largo plazo. La técnica de Preferencias Declaradas fue utilizada para recolectar la información necesaria para la estimación de los coeficientes que inciden en los pesos.

Los resultados muestran la factibilidad de aplicar este método para la estimación de los pesos. Además, fue posible determinar el nivel de error de los pesos, introduciendo mayor certidumbre estadística en los resultados. Así también, cierta incidencia de la cantidad y calidad de la información proporcionada al entrevistado sobre los pesos fue detectada.

## 1. INTRODUCCIÓN

La existencia de problemas de toma de decisión o análisis donde existen más de un objetivo o criterio ha sido ampliamente reconocido en transporte, con aplicaciones que han consistido básicamente en la utilización de alguno de los métodos disponibles sin mayor cuestionamiento.

En este trabajo se presenta un método alternativo a la comparación por pares para la estimación del vector de pesos en uno de los métodos más usados en la práctica cuando se abordan problemas con múltiples criterios: el AHP (Saaty, 1990a). El método alternativo reconoce explícitamente la existencia de una función de utilidad en cada uno de los nodos que conforman la estructura jerárquica en que se descompone el problema de decisión, permitiendo la consideración simultánea de aspectos de percepción asociados al tomador de la decisión y exógenos a éste, tal como la magnitud de los atributos asociados a los esquemas bajo estudio. Este enfoque facilita la derivación de una estructura de pesos flexible que permite enfrentar la crítica al método original en cuanto a la independencia entre los pesos y las alternativas bajo análisis.

El método se utilizó para estimar los pesos asociados a dos atributos, que son relevantes en el análisis del nivel de sustentabilidad de inversiones en transporte. Estos atributos corresponden al nivel de contaminación del aire, y al nivel de uso del suelo. Experimentos de Preferencias Declaradas fueron diseñados y aplicados para recolectar la información y estimar las funciones de utilidad, necesarias para el cálculo de los pesos. Este enfoque permitió, además, determinar la confiabilidad de los pesos, algo que el enfoque original de Saaty no hace.

El método resultó factible de aplicar, mostrando a su vez que el supuesto de linealidad entre las variables explicativas y la explicada es un supuesto fuerte, que puede afectar la toma de decisión dramáticamente. En efecto, en uno de casos estudiados la relación entre los atributos y su utilidad es del tipo logarítmica, implicando que el peso (importancia) de los atributos dependerá sólo de la percepción de las personas.

Este trabajo ha sido organizado como sigue. El capítulo 2 contiene una breve descripción del método multi-criterio de interés en este trabajo, mientras que en el capítulo 3 se muestra la derivación alternativa del vector de pesos. En el capítulo 4 se reporta una síntesis de la aplicación, mostrando los resultados de las estimaciones en capítulo 5. Comentarios y conclusiones se entregan en el último capítulo.

## 2. EL PROCESO JERÁRQUICO DE ANÁLISIS (AHP) EN LA TOMA DE DECISIONES

### 2.1 Métodos multi-criterio y multi-objetivo

Existen dos métodos para el tratamiento de los problemas de toma de decisiones cuando existe más de un criterio u objetivo de decisión (Zionts, 1985). El primer método, conocido como multi-objetivo, es utilizado cuando tanto el valor de las variables de decisión así como las posibles alternativas de solución son un resultado de la aplicación del método (Steuer, 1986). El método se centra en la búsqueda de las soluciones no inferiores, es decir, aquellas que presentan algún nivel de compromiso

(trade-off) entre objetivos, utilizando para ello técnicas de programación matemática. Jara-Díaz y Tudela (1991, 1993) aplicaron este enfoque en el análisis tarifario de sistemas de transporte combinado.

El segundo método, conocido como multi-criterio, corresponde al caso en que el conjunto de alternativas de solución es finito y los atributos de interés han sido definidos y cuantificados con anterioridad a la aplicación del método. En este caso la atención se centra en la metodología de agregación de los diferentes criterios, utilizando para ello procedimientos que permiten cuantificar su importancia relativa y la de los atributos asociados al problema de toma de decisión. Dos enfoques aparecen acá: los basados en la Teoría de la Utilidad Multi Atributo (Multi Attribute Utility Theory - MAUT) desarrollado por Keeney y Raiffa (1993) y los basados en el Proceso Jerárquico de Análisis (Analytic Hierarchy Process - AHP) desarrollado por Saaty (1990a). Si bien ambos enfoques utilizan para el análisis una descomposición jerárquica del problema de decisión, ellos difieren en el método usado para estimar la importancia (peso) de los diferentes criterios y atributos. Mientras que en MAUT los pesos son derivados a partir de funciones de utilidad y loterías, en AHP se utiliza la comparación por pares. Ejemplos de aplicación de ambos enfoques al transporte se pueden encontrar en Keekey y Raiffa (1993) y Saaty (1995) respectivamente.

No existen fundamentos teóricos que permitan aceptar o rechazar uno u otro enfoque multi-criterio (Pérez, 1995). Qué método utilizar dependerá del problema de decisión bajo consideración. Este trabajo centrará su atención en el enfoque AHP.

## **2.2 El enfoque AHP y la estimación de los pesos**

El enfoque AHP consiste en descomponer y ordenar el problema de toma de decisiones en una jerarquía. En la parte más alta de la jerarquía se ubica el criterio principal, el que es descrito por un conjunto de criterios que se ubicarán en el segundo nivel de la jerarquía. Luego se localizarán en un tercer nivel los subcriterios o atributos que sirven para describir los criterios en el nivel anterior. Este proceso de descomposición se repite hasta que en un penúltimo nivel se localizarán aquellos atributos, que en detalle, mejor describen aquellos elementos en el nivel previo. El último nivel contendrá las alternativas bajo estudio. Usualmente se definen dos estructuras jerárquicas, agrupando en cada una de ellas aquellos atributos que generarían un cambio marginal de igual signo en la utilidad de las personas.

La figura 1 muestra un ejemplo de estructura jerárquica, adaptado de Tudela (1998b). El criterio principal en este caso es la sustentabilidad de tres alternativas de inversión en infraestructura y que se han localizado en el nivel más bajo de la jerarquía. Tres criterios describen el criterio principal: económico, ambiental y social. El criterio ambiental se ha desagregado en dos subcriterios: impactos operacionales y el nivel de suelo necesario para la provisión de la infraestructura. El penúltimo nivel contiene los atributos que describen los subcriterios: nivel de contaminantes y ruido en caso de los impactos operacionales, y la cantidad de suelo usada en la provisión de la infraestructura.

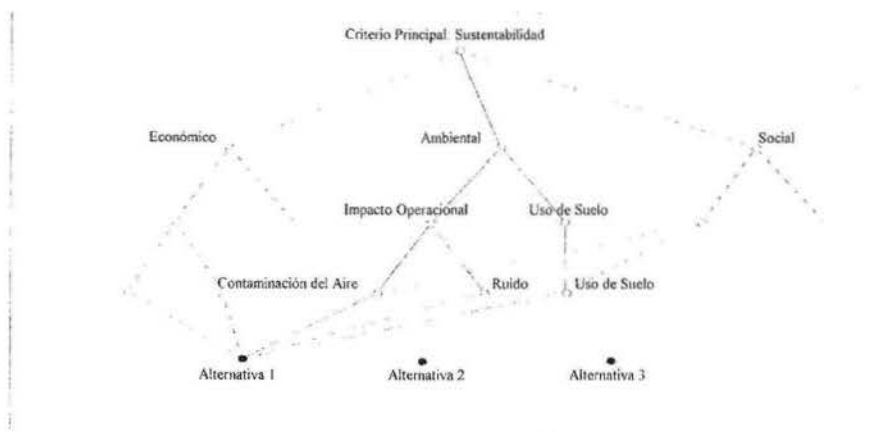


Figura 1: Jerarquía de criterios, subcriterios y atributos

Una vez que las jerarquías han sido definidas corresponde la estimación de los pesos asociados a los diferentes criterios, subcriterios, atributos y alternativas. Para cada nido en la estructura jerárquica es necesario determinar un vector normalizado de pesos, los que se asocian a los componentes de cada nido. Los pesos de las alternativas, basados en la magnitud de los atributos ubicados en el penúltimo nivel, se pueden determinar utilizando la expresión reportada en Tudela (1998b), mientras que los pesos en los niveles superiores se determinan usando la comparación por pares entre elementos asociados a cada nido (Saaty, 1990a). La matriz recíproca generada a partir de la comparación es reducida a un vector de pesos utilizando alguna de las técnicas disponibles: valores propios, minimización del error en la estimación del vector de pesos, etc. (Saaty, 1990b; Cook y Kress, 1988).

Después de que los pesos han sido determinados corresponde la agregación de las jerarquías. Este proceso es similar a aquel utilizado al colapsar un árbol de probabilidades. Dada una alternativa, los pesos que pertenecen a los arcos que conectan esa alternativa con el nivel (y nido) más alto son multiplicados, para luego sumar estos valores parciales para todas las posibles trayectorias entre el nivel más bajo y el más alto. Esto se repite para cada alternativa en el último nivel. El conjunto de pesos obtenidos después de la agregación es usado para ordenar las alternativas bajo estudio y apoyar la toma de decisión.

El uso del método de comparación por pares para derivar el vector de pesos ha sido criticado en la literatura, particularmente al suponer independencia entre las alternativas bajo estudio y los atributos o criterios que están siendo comparados (Weber, 1997). Así por ejemplo, si los atributos A y B están siendo comparados, el encuestado debe señalar cuántas veces A es más importante que B, sin considerar que esa persona responderá basada en su experiencia y en la posible magnitud que ella eventualmente maneja acerca de los atributos A y B. Así puede suceder que la persona indique que B es  $n$  veces más importante que A, aunque si conociera la magnitud real de los atributos podría terminar indicando que A es  $n$  veces más importante que B.

En el siguiente capítulo se reporta una metodología que permite determinar el vector de pesos para cada nido, considerando que en su magnitud deberían influir tanto aspectos de percepción así como la magnitud de los atributos que están siendo analizados. Este enfoque está basado en funciones de

utilidad asociadas a los diferentes nidos superiores en la estructura jerárquica, derivando a partir de estas funciones los vectores de pesos.

### 3. DERIVACIÓN DEL VECTOR DE PESOS

En este capítulo se presenta la derivación del vector de pesos asociado a un nido en los niveles superiores de la estructura jerárquica al aplicar el AHP. En la siguiente sección se deriva una expresión general del vector de pesos, mientras que en la segunda sección se analiza el rol de la especificación de la utilidad en la forma funcional de dicho vector.

#### 3.1 Derivación del vector de pesos

Considere que existe una utilidad  $U$  asociada a la  $i$ -ésima alternativa bajo estudio. Esta utilidad estará asociada a cualquiera de los nidos superiores en la estructura jerárquica. Considere que existen  $n$  atributos dependientes de ese nido, de forma que

$$U^i = U(x^i) \quad (1)$$

donde  $x^i$  es el vector de atributos con  $n$  elementos.

Es posible demostrar que un cambio marginal en la utilidad se puede expresar, omitiendo el super índice, como una suma ponderada de cambios en los  $n$  atributos, es decir

$$\frac{dU}{U} = \sum_j \epsilon_j \cdot \frac{dx_j}{x_j} \quad (2)$$

donde el  $j$ -ésimo ponderador corresponde a

$$\epsilon_j = \frac{x_j}{U} \cdot \frac{\partial U}{\partial x_j} \quad (3)$$

Este ponderador puede ser interpretado como la importancia relativa del  $j$ -ésimo atributo sobre la utilidad, y corresponde a la elasticidad de la utilidad respecto al atributo. Este ponderador depende de la magnitud y de la utilidad marginal del atributo, satisfaciendo los requerimientos que los pesos a usar en el AHP sería deseable que cumplieran.

Se define el peso  $\omega_j$ , asociado al  $j$ -ésimo atributo, como

$$\omega_j = \frac{\epsilon_j}{\sum_k \epsilon_k} \quad (4)$$



Los pesos así definidos cumplen con la condición de normalidad, y su estructura dependerá de la forma funcional de la función de utilidad.

### 3.2 Rol de la especificación de la utilidad en la estructura de los pesos

Si los atributos  $x$  asociados a un nido cualquiera se expresan como una transformación Box-Cox (Maddala, 1992), entonces es posible demostrar que el peso  $\omega$  asociado al  $j$ -ésimo atributo estará dado por la siguiente expresión

$$\omega_j = \frac{\alpha_j \cdot X_j^{\tau_j}}{\sum_k \alpha_k \cdot X_k^{\tau_k}} \quad (5)$$

donde  $\tau$  corresponde al exponente de la transformación y  $\alpha$  es la utilidad marginal de la variable transformada.

En el caso de que todos los  $\tau$  sean nulos, entonces la transformación de las variables corresponderá al logaritmo de ellas. El peso  $j$ -ésimo será

$$\omega_j = \frac{\alpha_j}{\sum_k \alpha_k} \quad (6)$$

Esto implica que la importancia relativa de un atributo dependerá únicamente de la percepción que las personas tengan acerca de él, es decir la valoración del atributo per se, sin importar su magnitud.

Si todos los  $\tau$  son iguales a uno, entonces la transformación Box-Cox de los atributos se reducirá a una forma lineal en las variables. El peso será entonces

$$\omega_j = \frac{\alpha_j \cdot X_j}{\sum_k \alpha_k \cdot X_k} \quad (7)$$

El peso de un atributo corresponderá a la proporción con que ese atributo colabora en la utilidad total, tanto en términos de cómo es percibido y de su magnitud.

Expresiones genéricas pueden ser derivadas bajo el supuesto de que subconjuntos del total de atributos tienen diferentes formas funcionales (logarítmicas, lineales o de potencia).

Como la expresión 5 fue derivada a partir del análisis de la utilidad para una de las alternativas bajo estudio (ver ecuación 1), entonces corresponde determinar el valor esperado de los pesos para el conjunto de alternativas. En aquellos casos en que la relación entre los atributos y la utilidad es lineal bastará reemplazar en la expresión de la utilidad el valor esperado de cada atributo. Expresiones ex profeso deberán ser deducidas en aquellos casos en que no exista linealidad en la especificación de las variables.

Una vez que la utilidad ha sido especificada, y las expresiones de los pesos derivadas, corresponde estimar los coeficientes de la función, para así, en conjunto con el valor de los atributos, determinar el valor de los pesos. Considerando que la estimación de los coeficientes conlleva el tratamiento estadístico de la información recolectada, entonces una nueva ventaja se deriva del método acá propuesto: la posibilidad de calcular el nivel de confianza de los diferentes pesos obtenidos a partir de cifras que en sí presentan una cierta variabilidad, como lo son los coeficientes de la función de utilidad. Puesto que los pesos individuales tendrán asociado un cierto error, entonces resulta inmediato que el producto de su agregación también deberá tener un margen de variabilidad. La teoría de propagación de errores (Barlow, 1989) puede ser usada con el fin de estimar el error, tanto de los pesos individuales así como de su agregación.

#### **4. APLICACIÓN**

El método descrito en el capítulo anterior fue utilizado para la estimación de los pesos en un problema multi-criterio, cuyo objetivo principal era analizar el nivel de sustentabilidad de tres inversiones en transporte interurbano en la Octava Región. Considerando la naturaleza de los criterios que componen el objetivo global de sustentabilidad: económico, ambiental y social, y los atributos que los describen, fue necesario construir dos jerarquías. El número máximo de niveles en cada jerarquía fue de 6. Del diseño de las jerarquías quedó en evidencia que era necesaria la estimación de 6 vectores de pesos, aunque en este trabajo, por razones de espacio, sólo se presentan los resultados de dos de ellos. Más detalles respecto a las alternativas analizadas, las jerarquías diseñadas y algunos resultados preliminares para el total de los pesos pueden ser consultados en Tudela (1998a, 1998b).

##### **4.1 Nidos y atributos estudiados y reportados**

De total de seis nidos para los cuales se aplicó el método descrito en el capítulo 3, acá se reportan los resultados de dos de ellos. Estos dos nidos comparten los mismos atributos, aunque están asociados a diferentes criterios, siendo ésta la razón de su elección. El primer nido corresponde a los impactos asociados al criterio ambiental (ver nido central en figura 1): contaminación del aire<sup>1</sup> y uso de suelo, mientras que el segundo nido, que aparece marcado con línea punteada en la sección derecha de la figura 1, corresponde a los efectos de largo plazo de estos dos atributos, que se relacionan con el criterio social y la equidad inter temporal en la definición de sustentabilidad (Tudela, 1998b).

##### **4.2 Generación de la base de datos para la estimación de los coeficientes**

Una vez que los atributos fueron identificados correspondió decidir el método por el cual la información para estimar los coeficientes de las funciones de utilidad sería recolectada. Se optó por utilizar la técnica de Preferencias Declaradas, teniendo en cuenta la naturaleza de los atributos y el escaso trade-off en situaciones de la vida real entre niveles de contaminación atmosférica y uso de suelo. Experimentos binarios de elección fueron diseñados, con una escala de respuesta de 5 puntos. Los experimentos se aplicaron a tres grupos de interés en la ciudad de Concepción: personal

<sup>1</sup> La contaminación del aire se consideró como el atributo representativo de los impactos operacionales, respecto al nivel de ruido, producto de los resultados experimentales durante la fase piloto del diseño.

universitario, personas trabajando en reparticiones públicas, y público general. Este último fue contactado a través del municipio local y un club de actividades sociales. A parte de los experimentos en sí, información socioeconómica de los encuestados también fue recolectada.

Para cada experimento se proporcionó al encuestado una nota explicatoria de éste. En caso del experimento 2, la nota consideró además una explicación de los efectos de largo plazo asociados a la contaminación atmosférica y al uso del suelo, haciendo notar sus impactos en la salud de las personas y los recursos tanto antrópicos como naturales.

La tabla siguiente contiene información respecto a los experimentos de elección, así como el número de observaciones disponibles para la estimación de los modelos después del proceso de depuración de las respuestas. La depuración consideró inconsistencias, respuestas de indiferencia, no respuestas y falta de información para generar la base de datos. Experimento 1 corresponde al nido del criterio ambiental, mientras que el experimento 2 corresponde al criterio social (equidad de largo plazo).

Tabla 1 Información de los experimentos de elección

	Experimento 1	Experimento 2
Número de atributos	2	2
Niveles variable contaminación	3	3
Niveles variable uso de suelo	3	3
Número de juegos	7	7
Número de observaciones	856	726

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Estimación de los coeficientes de las funciones de utilidad

Las respuestas en la escala de 5 puntos fueron reducidas a respuestas 0-1 para efecto de la estimación de los coeficientes de la función de utilidad. La probabilidad de elección fue modelada como un Logit binario, considerando una transformación Box-Cox de los atributos. El método de máxima verosimilitud fue utilizado para estimar los coeficientes. El método fue implementado en EXCEL5, utilizando la rutina SOLVER para determinar los valores óptimos. Este proceso incluyó la estimación de la matriz de varianza-covarianza, para el cálculo de los test t y la correlación entre coeficientes. Después de realizar las estimaciones, los exponentes de las transformaciones fueron comparados con 0 y 1, con una significancia al 95%, para determinar la conveniencia de reestimar los coeficientes, asumiendo una transformación logarítmica o lineal de los atributos respectivamente.

Las muestras fueron también segmentadas por nivel de ingreso en el hogar, edad, sexo y grupo de origen (los tres grupos mencionados en la sección anterior). El test de razón de verosimilitud (Ben-Akiva y Lerman, 1985), con una significancia al 5%, fue utilizado para determinar la conveniencia de segmentar las muestras, o estimar un modelo único. Coeficientes individuales estimados para diferentes segmentos (dada una muestra y un criterio de segmentación) no fueron comparados directamente, para evitar posibles problemas con el factor de escala. Lo que fue comparado fue la razón entre coeficientes, estimando a la vez el test estadístico de dicha razón, considerando la covarianza entre coeficientes.



La tabla 2 contiene los resultados para el experimento 1, considerando toda la muestra y la segmentación por ingreso, la mejor de las segmentaciones. El ingreso corresponde al ingreso familiar mensual, en miles de pesos (1997). En todos los casos los atributos fueron transformados a logaritmo, salvo para el segmento con el ingreso más bajo, que corresponde a una especificación lineal. LL corresponde al logaritmo de la verosimilitud, CE es la correlación entre coeficientes y N es el número de observaciones en el segmento. Las cifras entre paréntesis corresponden al test t.

La tabla 3 contiene similar información que la tabla 2, pero para el experimento 2. Siempre la función de utilidad resultó lineal en los atributos.

Tabla 2 Resultados experimento 1

	Todos	< 75	75 – 150	150 – 300	300 – 500	> 500
Contaminación	-7.0960 (-13.0)	-0.1069 (-2.8)	-6.0970 (-5.9)	-6.8820 (-6.0)	-7.4120 (-5.8)	-7.8270 (-7.2)
Uso del suelo	-9.8150 (-11.0)	-0.7851 (-2.0)	-7.1260 (-4.3)	-11.610 (-5.9)	-10.210 (-5.0)	-11.510 (-6.5)
LL	-455	-12	-107	-104	-87	-129
$\rho^2(0)$	0.233	0.600	0.202	0.230	0.249	0.262
$\rho^2(k)$	0.233	0.540	0.197	0.219	0.249	0.262
CE (*1000)	887	910	861	894	889	899
N	856	42	193	195	168	253

Tabla 3 Resultados experimento 2

	Total	< 75	75 – 150	150 – 300	300 – 500	> 500
Contaminación	-0.0321 (-9.4)	-0.0602 (-2.3)	-0.0283 (-4.7)	-0.0525 (-6.1)	-0.0806 (-4.8)	-0.0222 (-4.4)
Uso del suelo	-0.2568 (-5.3)	-0.4247 (-2.0)	-0.2174 (-2.2)	-0.0706 (-1.2)	-0.2084 (-2.2)	-0.3149 (-3.8)
Constante	-1.3750 (-4.6)	-	-1.5510 (-2.5)	-	-	-1.6400 (-3.2)
LL	-308	-10	-75	-64	-41	-103
$\rho^2(0)$	0.388	0.415	0.404	0.449	0.550	0.303
$\rho^2(k)$	0.299	0.414	0.269	0.343	0.470	0.244
CE	-208	840	-290	646	822	-210
N	726	25	182	168	131	214

En todos los casos el signo de los coeficientes es negativo, como se esperaba, resultando significativos al 95% en su gran mayoría. No se observa tendencia en los resultados al comparar entre segmentos.

## 5.2 Pesos de los atributos

La estimación de los pesos se realizó utilizando las expresiones 6 o 7, dependiendo de la forma funcional de la utilidad. Notar que aunque el modelo lineal posea una constante, ésta no afectará el proceso de cálculo. El valor de los atributos que se usó para evaluar los pesos al utilizar la expresión 7 provino de estimaciones de los niveles de contaminación (agregación de todos los contaminantes) para cada una de las tres alternativas de inversión, y la distancia transversal necesaria para implementar

dichas alternativas. La tabla 4 contiene los pesos por atributo, además su test t. Todos los pesos resultaron significativos al 95%.

Tabla 4 Peso de los atributos

	Experimento 1		Experimento 2	
	Contaminación	Uso del suelo.	Contaminación	Uso del suelo.
<b>Total</b>	0.4196 (14.5)	0.5804 (20.0)	0.4483 (2.2)	0.5517 (2.7)
<b>&lt; 75</b>	0.4695 (3.1)	0.5305 (3.5)	0.4795 (2.9)	0.5205 (3.2)
<b>75 - 150</b>	0.4611 (10.6)	0.5389 (12.3)	0.4583 (3.7)	0.5417 (4.4)
<b>150 - 300</b>	0.3722 (10.3)	0.6278 (17.3)	0.8286 (6.9)	0.1714 (1.4)
<b>300 - 500</b>	0.4206 (9.7)	0.5794 (13.3)	0.7154 (7.0)	0.2846 (2.8)
<b>&gt; 500</b>	0.4048 (13.6)	0.5952 (20.0)	0.3142 (4.2)	0.6858 (9.2)

Dado un atributo, no se observa una tendencia clara entre el valor del peso y el nivel de ingreso. A nivel del total de la muestra se observa que la importancia del atributo contaminación es mayor en el experimento 2, motivado quizás por la información extra entregada a los entrevistados. A nivel de segmentos, en 3 de los 5 se produce un aumento en el peso asociado al atributo contaminación, lo que no permite inferir ninguna conclusión al respecto.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha mostrado la factibilidad de emplear un enfoque basado en funciones de utilidad para derivar el vector de pesos necesario en el método multi-criterio AHP. Además, la utilización de la técnica de Preferencia Declaradas ha probado ser una posibilidad razonable para recolectar la información necesaria para la estimación de los pesos. La utilización de esta técnica ha permitido también calcular el nivel de error asociado a los pesos después del proceso de agregación de los coeficientes.

La existencia de no linealidad entre los atributos y la utilidad no puede ser obviada. Experimentos preliminares asumiendo una especificación lineal de la utilidad (Tudela, 1998a, 1998b) arrojaron pesos radicalmente diferentes a los obtenidos acá y en otros experimentos, principalmente por la baja significancia de los coeficientes, generando pesos nulos.

Los siguientes aspectos merecen atención:

- No existe información similar que permita saber si los pesos obtenidos están dentro de un margen razonable y esperable. Un primer paso es usar el método desarrollado por Saaty para recolectar información básica y establecer una primera línea de comparación. El segundo paso es generar más experimentos de elección como el acá presentado, con la finalidad de incrementar las observaciones disponibles. La tercera opción es desarrollar un método ad-hoc de captura de información para la validación de los resultados obtenidos con el nuevo enfoque.

- El método presentado acá es aplicable en aquellos casos en que los atributos o criterios son cuantificables, o es posible identificar un proxy para ellos. El método original desarrollado por Saaty sigue siendo válido en el caso de atributos cualitativos.
- La cantidad y calidad de la información proporcionada al entrevistado y su incidencia en el valor final de los pesos aparece con relevancia. Si bien algunos indicios fueron encontrados en los experimentos presentados en este trabajo, el tema merece mayor atención.
- La utilización de la técnica de preferencias declaradas para recolectar información en el área ambiental merece ser abordada con detención, puesto que muchos de los atributos involucrados no son de inmediata familiaridad para el encuestado, así como los trade-off ofrecidos pueden resultar totalmente ajenos a su realidad y experiencia.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad de Concepción, Chile, el CVCP del Reino Unido y el Brian Large Bursary, Inglaterra.

## REFERENCIAS

- Barlow, R.J. (1989) **Statistics: a Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences**. Wiley. Chichester.
- Ben-Akiva, M. y S.R. Lerman (1985) **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**. MIT Press. Mass.
- Cook, W.D. y M. Kress (1988) Deriving weights from pairwise comparison ratio matrices: an axiomatic approach. **European Journal of Operational Research**. 37. 355-362
- Jara-Díaz, S. y A. Tudela (1991) Un modelo para la negociación en la tarificación de servicios Metro-Bus. **Cuadernos de Economía**. 84. 329-346.
- Jara-Díaz, S. y A. Tudela (1993) Multiobjective pricing of integrated Bus-Subway services in Santiago, Chile. **Journal of Advanced Transportation**. 27. 259-275.
- Keeney, R.L. y H. Raiffa (1993) **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs**. Cambridge University Press. Cambridge.
- Maddala, G.S. (1992) **Introduction to Econometrics**. Macmillan. Nueva York.
- Pérez, J. (1995) Some comments on Saaty's AHP. **Management Science**. 41. 1091-1095.

- Saaty, T.L. (1990a) **Multi-criteria Decision Making: the Analytic Hierarchy Process**. RWS Publications. Pittsburgh.
- Saaty, T.L. (1990b) Eigen values and logarithmic least squares. **European Journal of Operational Research**. 48. 156-160.
- Saaty, T.L. (1995) Transport planning with multiple criteria: the Analytic Hierarchy Process. Applications and progress review. **Journal of Advanced Transportation**. 29. 81-126.
- Steuer, R.E. (1986) **Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application**. Wiley. Nueva York.
- Tudela, A. (1998a) A multicriteria approach to assess transport investments from a sustainability standpoint. **Papers 30<sup>th</sup> Annual Conference. UTSG**. Enero. Dublin.
- Tudela, A. (1998b) Un enfoque multi-criterio para evaluar el nivel de sustentabilidad de inversiones en transporte. **Actas 10 Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**. Septiembre. Santander. 195-205.
- Weber, M. (1997) Remarks on the paper "On the measurement of preferences in the Analytic Hierarchy Process" by A.A. Salo and R.P. Hamalainen. **Journal of Multicriteria Decision Analysis**. 6. 320-321.
- Zionts, S. (1985) Multiple criteria mathematical programming: an overview and several approaches. En G. Fandel y J. Spronk (eds.) **Multiple Criteria Decision Methods and Applications. Selected Readings of the First International Summer School. Acireale. Sicily. September. 1983**. Springer-Verlag. Berlín.