

ANÁLISIS Y VARIABILIDAD DE LA CONSISTENCIA EN UN PROCESO JERÁRQUICO DE TOMA DE DECISIONES AMBIENTALES

Luis Alejandro Builes Jaramillo

Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad. Institución Universitaria Colegio
Mayor de Antioquia
Carrera 78 # 65 - 46 Medellín, Colombia
luis.builes@colmayor.edu.co

Laura Lotero Vélez

Doctorado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia
Calle 65 # 80 - 223 Medellín, Colombia
Llotero0@unal.edu.co

RESUMEN

Este artículo muestra una evaluación de la consistencia de un panel de expertos al que se pide evaluar la prioridad de intervención en zonas con problemáticas ambientales, mediante un proceso de análisis jerárquico (AHP). Inicialmente se hace una evaluación de tres criterios de comparación, encontrándose para todo el panel consistencias de entre 13 y 27% dependiendo de la metodología de cálculo de la consistencia. Luego se introduce un cuarto criterio de comparación, de carácter prospectivo y relacionado con los parámetros inicialmente evaluados, y se observa que los valores de consistencia aumentan en un 20% en las metodologías utilizadas en este artículo para medir consistencia. Aunque Saaty (1990) afirma que a mayor número de criterios de comparación menor es la consistencia, en este artículo se presenta un caso en el que a mayor número de criterios, que garanticen un mayor conocimiento del fenómeno evaluado, mayor es la consistencia de los expertos.

PALABRAS CLAVE. Proceso de Análisis Jerárquico, Consistencia, Toma de decisiones ambientales

Área principal: AG & MA - IO en la Agricultura y el Medio ambiente, ADM - Apoyo a la Decisión Multicriterio

ABSTRACT

In this article, we present an assessment of the consistency of a panel of experts who were asked to evaluate the priority of intervention in environmental degraded areas, through an Analytic Hierarchy Process (AHP). Initially, we asked the experts panel to make a pairwise comparison using three criteria and we found expert consistencies from 13 to 27% according to the consistency analysis method. Then, we introduced a fourth criterion for the pairwise comparison which is prospective and related to the other criteria already assessed, and we found that consistency of experts increased by 20% in all the consistency analysis methods that were used in this paper. While Saaty (1990) states that the greater the number of pairwise comparisons the smaller the consistency, we show a case in which the larger the number of criteria, ensuring a better understanding of the problem, the greater the consistency of the experts.

KEYWORDS. Analytic Hierarchy Process, Consistency, Environmental decision making.

Main area: AG & MA - OR in Agriculture and Environment, ADM - Multicriteria Decision Support

1. Introducción

Uno de los obstáculos más importantes en la toma de decisiones y en la gestión política ambiental es la información disponible; muchas veces es insuficiente, escasa, de mala calidad, o incluso inexistente. En estos casos, y ante la necesidad de solucionar problemas ambientales, es posible recurrir a la opinión de expertos. En especial, los paneles de expertos se presentan a la comunidad científica como un mecanismo para lograr un acercamiento eficiente a la toma de decisiones “informada”, principalmente cuando hay incertidumbre debido a la falta de información o su calidad (Geneletti, 2007).

Los paneles de expertos juegan un papel importante en las evaluaciones ambientales, y es en metodologías como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) dónde día a día se encuentran nuevas referencias que reportan maneras para mejorar el uso de expertos en la toma de decisiones ambientales (Andersson, Stjernström, & Fångmark, 2005; Canadian Council, 2009; Garfi, et al., 2011). Si bien la experiencia es indispensable para proporcionar información relevante, los expertos no pueden ser vistos como un estándar insesgado para la evaluación, y hay consenso en la literatura sobre la necesidad de la transparencia en la presentación de evaluaciones científicas apoyadas por expertos (Kontic, 2000; Noble, 2004).

Las encuestas Delphi son una de las metodologías más empleadas para el análisis y evaluación para la toma de decisiones mediante el apoyo de expertos (Geneletti, 2007). Son un procedimiento sistemático en el que se pide asesoramiento a un panel de expertos en diferentes rondas, en las cuales se entrega un reporte de los resultados de las encuestas previamente realizadas, de tal forma que se genere consenso entre los expertos luego de evaluar las respuestas del panel (Gokhale, 2001). Otra metodología para la evaluación de alternativas, mediante la comparación de pares, es el proceso de análisis jerárquico, AHP por sus siglas en inglés (Saaty, 1990). En esta aproximación, el decisor (experto) mediante jerarquías logra elaborar una matriz en la que se da mayor peso a las alternativas con la mayor influencia en el problema visto como un todo.

Es necesario tener en cuenta que las decisiones, resultado de recurrir a expertos para evaluar alternativas de solución a problemas ambientales, pueden estar sesgadas. Los sesgos se deben en la mayoría de los casos a la incorrecta selección de los paneles de expertos o por intereses emocionales o particulares en el tema de estudio. Al enfrentarse al análisis de cualquier tipo de evaluación apoyada del uso de paneles de expertos, la calidad de los procesos de decisión depende en gran medida de la calidad de los juicios del panel de apoyo. En el caso de recurrir a procesos de EAE, el uso de expertos se ve limitado y muchas veces arroja resultados poco satisfactorios, por la falta de metodologías o guías para el uso de resultados de paneles en la toma de decisiones y la formulación de políticas derivadas de la EAE (Noble, 2004).

El objetivo del presente estudio es evaluar el comportamiento de la consistencia de un panel de expertos antes y después de la introducción de información prospectiva para el análisis de la priorización de zonas con problemáticas de contaminación atmosférica.

2. AHP y Consistencia

El AHP (Saaty, 1990) es una herramienta para la toma de decisiones de tipo multicriterio, con la cual se tiene un medio efectivo para enfrentarse a decisiones complejas que involucran múltiples objetivos. Una de sus principales características es que permite a los decisores dar peso a los criterios de evaluación o alternativas mediante una comparación sistemática por pares de cada una de las alternativas en evaluación (Liu, et al., 2011).

En el AHP las comparaciones de las n alternativas forman una matriz A , cuadrada y de orden n , donde a_{ij} representa la preferencia de la alternativa i con respecto a la alternativa j y, debido a que la matriz que se forma es una matriz recíproca, la preferencia de j sobre i es definida como $a_{ji} = 1/a_{ij}$. El objetivo es obtener, a partir de la matriz de comparaciones A , un vector de pesos o preferencias relativas, $w = (w_1, \dots, w_n)^T$, también llamado vector de prioridades.

Si bien la metodología AHP es una herramienta muy útil para el desarrollo de análisis con múltiples objetivos, es importante tener en cuenta que una de las principales debilidades del análisis de decisiones ambientales, o de cualquier índole, mediante el uso de paneles de expertos es la falta de consistencia (Benítez, et al., 2011), que puede ser resultado de falta de información o conocimiento, falta de experiencia en la metodología de evaluación o mal interpretación de las instrucciones sobre el proceso de análisis (Noble, 2004). En general, las respuestas de los expertos serán no consistentes (Stein & Mizzi, 2007). Sin embargo inducir el mejoramiento progresivo en la consistencia, de las decisiones de expertos, en procesos de evaluación de problemas ambientales es similar a forzar el consenso, como se hace en metodologías de evaluación de paneles de expertos (Delphi) y puede distorsionar la respuesta real de cada uno de los expertos sin importar su conocimiento del problema (Noble, 2004).

La consistencia está definida como la coherencia entre las partículas de un conjunto. En la toma de decisiones, se puede interpretar como la coherencia entre decisiones consecutivas o decisiones relacionadas entre sí. Para el AHP la consistencia es una medida estadística de qué tan cercano está un decisor de tomar decisiones lógicamente relacionadas o escogidas de forma aleatoria. En términos generales, si $a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$ para todo $i, j, k = 1, \dots, n$ entonces se dice que la matriz de preferencias del decisor, A , es consistente.

Para medir la consistencia de las decisiones tomadas, usando el método AHP, se proponen diversas medidas: el índice de consistencia (CI) y la razón de consistencia (CR) (T. L. Saaty, 2001) usando tanto el método de vectores propios (EV) como el método de normalización aditiva (AN), el índice de consistencia geométrico (GCI) propuesto por Aguarón & Moreno-Jiménez (2003) y el índice de consistencia armónico (HCI) de Stein & Mizzi (2007), entre otros. Estas medidas permiten definir hasta qué punto la decisión en la comparación por pares es consistente y no está influenciada por sesgos o por contradicciones (Alonso, 2006; Pecchia, Bath, Pendleton, & Bracale, 2010).

a. Índice de consistencia y razón de consistencia

Saaty (1977) propuso el índice de consistencia (CI) basado en la solución por vectores propios al problema; para cualquiera matriz positiva A se tiene un valor propio λ_{max} que es real y positivo. El problema de vectores propios correspondiente $Ax = \lambda_{max}x$ tiene una solución x con $x_i > 0$ para todo i . Para cualquier matriz recíproca, sea o no consistente, el vector propio x sirve como estimador del vector real de pesos o prioridades w . El valor propio λ_{max} siempre satisface que $\lambda_{max} \geq n$ con $\lambda_{max} = n$ si y solo si la matriz es consistente.

El índice de consistencia CI propuesto por Saaty (1980) está dado por $(\lambda_{max} - n)/(n-1)$. Cuando la matriz de comparación por pares es consistente, se cumple que $\lambda_{max} = n$ y por tanto el CI es igual a cero; en otros casos el valor de CI es positivo. Para superar el problema de la dependencia del índice al orden de la matriz, Saaty propuso una medida normalizada denominada razón de consistencia: $CR = CI/RI(n)$, donde $RI(n)$ es un índice aleatorio para matrices de orden n , definido como el valor esperado del CI asociado a las matrices de orden n y es estimado mediante simulaciones de matrices aleatorias de orden n , donde las entradas de dichas matrices fueron llenadas usando elementos aleatorios del conjunto de valores $\{1, 2, \dots, 9, 1/2, 1/3, \dots, 1/9\}$. Los valores de CR están en el rango entre cero y uno, donde $CR = 0$ indica una matriz

totalmente consistente y $CR = 1$ indica una matriz completamente aleatoria. El criterio de Saaty para aceptar una matriz como consistente es $CR \leq 0,1$.

b. Normalización aditiva

El método de Saaty, si bien es el más utilizado para medir la consistencia en matrices de comparaciones entre pares de alternativas, tiene el inconveniente del cálculo de los vectores propios, que en ocasiones no es sencillo. Para evitar este cálculo, surge un procedimiento de normalización de columnas (normalización aditiva, AN) que ha llamado la atención como una aproximación conveniente (Srdjevic, 2005; Stein & Mizzi, 2007). Para obtener el vector de prioridades w por este método se dividen los elementos de cada columna de la matriz A por la suma de dicha columna y se calcula el promedio aritmético de las filas de la nueva matriz (ecuaciones 1 y 2). El vector de prioridades resultante es muy cercano al valor propio, siempre que la matriz A esté cerca de ser una matriz consistente.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\sum_j a'_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

El cálculo de la consistencia de la matriz se hace de forma semejante a la anterior, usando el CI y el CR, pero no con base en el vector propio de la matriz sino con el vector de prioridades calculado con la normalización aditiva. El amplio uso en la práctica y la popularidad del método AN se debe a su extrema simplicidad, aunque pueda ser considerado inferior, puede desempeñarse mucho mejor que métodos más sofisticados comparables (Choo & Wedley, 2004; Srdjevic, 2005)

c. Índice de consistencia geométrico

Aguarón y Moreno-Jimenez (2003) proponen el denominado índice de consistencia geométrico (GCI), aplicable a métodos de priorización que utilizan el método de promedios geométricos por fila para calcular el vector de prioridades w , en lugar de utilizar el método de los vectores propios. Junto a esta formalización presentan también umbrales para la interpretación de la consistencia, análogos a los propuestos por Saaty (1980) para el CR.

Dada una matriz de comparaciones A , el vector de prioridades w es obtenido mediante el método del promedio geométrico por filas, como se sigue en la ecuación (3), a partir de este se calcula el GCI como se indica en la ecuación (4), donde $e_{ij} = a_{ij} w_j/w_i$ es el error obtenido cuando la razón w_i/w_j es aproximado por a_{ij} .

$$w_i = \left(\prod_j a_{ij} \right)^{1/n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$GCI = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} \log^2 e_{ij} \quad (4)$$

El índice de consistencia propuesto es proporcional a la razón de consistencia propuesta por Saaty cuando la matriz A tiene errores pequeños y por tanto es cercana a una matriz consistente. Los umbrales de comparación del GCI para identificar las matrices consistentes,

están relacionadas con la razón de consistencia, así para un $CR=0,1$, el umbral para el GCI es 0,3147 para matrices de orden $n=3$, 0,3526 para matrices de orden $n=4$ y aproximadamente 0,37 para matrices de órdenes superiores.

d. Índice de consistencia armónico

Este índice, propuesto por Stein y Mizzi (2007), busca obtener un índice apropiado para medir la consistencia para ser usado con el procedimiento de normalización aditiva. Dicho valor mide qué tan cerca está el decisor de tomar una decisión consistente a través de toda la matriz. Al estar basado en el método AN, puede ser visto como una aproximación al CI de Saaty, pero más fácil de calcular y de entender.

Para hallar el índice de consistencia armónico HCI , es necesario calcular la media armónica de la suma de las columnas de A y es denotada como HM . Basados en resultados de simulación, para hacer comparable el HCI con el CI de Saaty, proponen el índice de consistencia armónico como:

$$HCI = \frac{(HM - n)(n + 1)}{n(n - 1)} \quad (5)$$

De forma similar a la propuesta de Saaty, Stein y Mizzi (2007) calculan, mediante simulaciones, el índice armónico de consistencia aleatorio $HRI(n)$ para la comparación con el índice de consistencia, que depende del tamaño de la matriz. Asimismo, para eliminar el efecto del tamaño de la matriz, se divide el HCI con respecto al valor asociado del HRI y el resultado es la razón de consistencia armónica HCR . La regla para determinar si una matriz es o no consistente es la misma de Saaty, es decir, se acepta que la matriz es consistente si $HCR \leq 0,1$ mientras que $HCR = 0$ indica una matriz totalmente consistente.

3. Materiales y métodos (caso de estudio)

En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia, fueron definidas siete zonas críticas por contaminación atmosférica. Para la ciudad de Medellín, el más poblado de los diez municipios que conforman la conurbación metropolitana, con aproximadamente el 70% de la población total, se definieron cuatro zonas (Figura 1) según indicadores de niveles de contaminación medidos en 4 contaminantes (TSP, SO₂, NO₂ y O₃), en un trabajo colaborativo de investigación desarrollado en conjunto entre la administración pública y la academia (AMVA, et al., 2007). Para el desarrollo de políticas públicas que impacten de forma directa a las comunidades más afectadas, es necesario desarrollar el ejercicio de priorización de las zonas de intervención debido principalmente a la falta de recursos económicos, y más especialmente para concentrar los esfuerzos y recursos escasos en el contexto de las ciudades de países en desarrollo.

Para la priorización de las zonas, se seleccionaron cuatro indicadores para la comparación por pares, cada uno representando temas importantes en términos de la calidad de vida de los habitantes de las zonas: i) número total de habitantes [personas] (Departamento Administrativo de Planeación Medellín, 2011); ii) tasa de urgencias por enfermedades cardiorrespiratorias [urgencias/x1000 personas] (Facultad Nacional de Salud Pública, 2006); iii) densidad de habitantes [personas/Ha] (Departamento Administrativo de Planeación Medellín, 2011); iv) el porcentaje de aumento de la densidad habitacional en diez años [%] (Rave, 2011). Para integrar los indicadores en la metodología de priorización en el proceso de toma de decisiones, es necesario definir una calificación o peso para cada uno de ellos, y de esta forma estimar su importancia relativa respecto de los demás. Para la estimación del valor de la importancia relativa de cada uno de los indicadores se recurre a una metodología de comparación

por pares, en este caso se empleó el AHP (Saaty, 1990) por sus ventajas, flexibilidad y por la facilidad de involucrar a todos los actores en el proceso de decisión (Garfi et al., 2011).

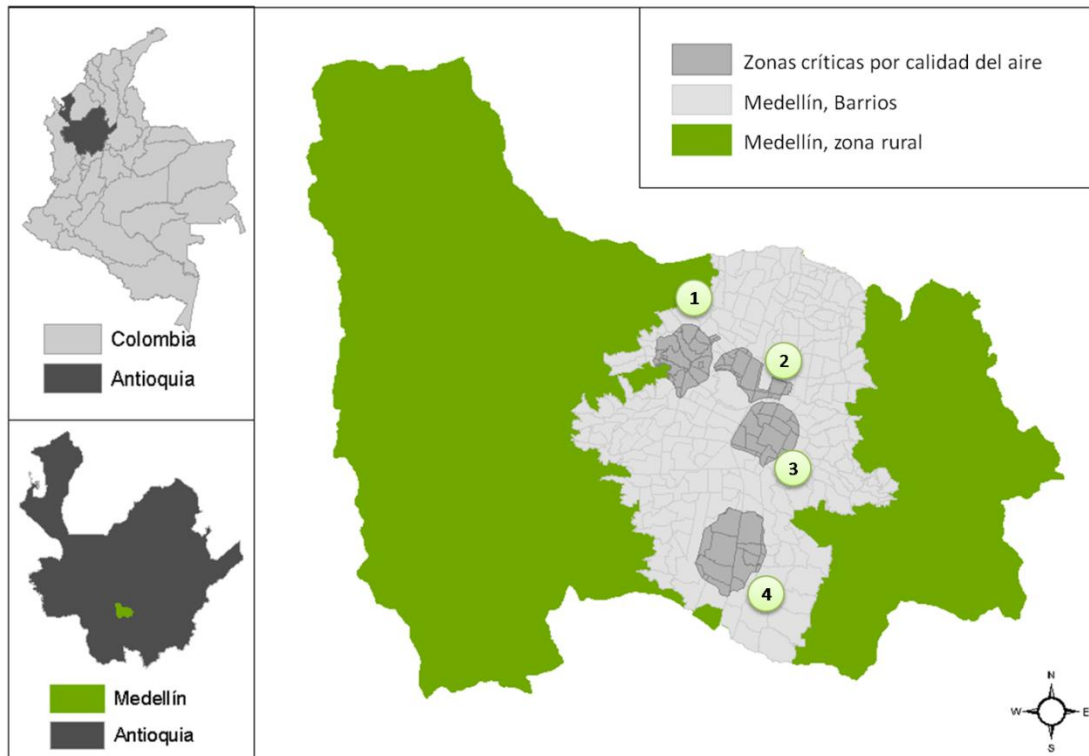


Figura1. Zonas con problemas de contaminación atmosférica en Medellín, Colombia (AMVA et al., 2007)

Una vez definidos los indicadores, se diseña y desarrolla una encuesta para la comparación por pares de dichos indicadores por parte de expertos. La comparación por pares se definió con cinco opciones: a) mucho más importante, b) más importante, c) igualmente importante, d) menos importante y e) mucho menos importante. La encuesta se dividió en dos partes; en la primera se pide a los participantes que hagan las comparaciones entre los tres primeros indicadores y en la segunda parte se introduce el cuarto indicador como un indicador prospectivo y se pide a los participantes que hagan de nuevo las comparaciones. Finalmente, las encuestas fueron enviadas a expertos y profesionales en planificación ambiental y territorial, locales, nacionales e internacionales, tanto de la academia, como la industria y el gobierno, con el fin de validar desde diferentes perspectivas el proceso de toma de decisión.

La presentación en dos etapas de la encuesta, hace posible evaluar la forma en la que un indicador prospectivo influye en los pesos totales de los indicadores y en la decisión final tomada con base en la evaluación de las calificaciones de cada indicador. Una vez se conocen los pesos de importancia relativos, es posible dar una calificación final a cada una de las zonas, a partir de los valores numéricos de cada uno de ellos y priorizar las intervenciones en política pública para atender las zonas.

Para este trabajo se enviaron más de 50 peticiones de participación en el proceso de encuestas a expertos, clasificados en cuatro categorías: académico, estatal, independiente y privado, representando cada una de estas las diferentes filiaciones o las diferentes tipologías de actores que intervienen en el proceso de toma de decisiones en la región del caso de estudio. De las 50 peticiones enviadas, sólo 15 fueron respondidas dentro del periodo de tiempo contemplado para el desarrollo de la investigación. De estos 15 expertos, se contó con la participación de 14

expertos nacionales y un experto internacional, configurándose un panel con un 45% de participación académica, 27% independiente, 13% estatal y 7% privado y estatal-académico.

4. Resultados

Para cada una de las encuestas respondidas se calcularon los vectores de prioridades y la consistencia de las respuestas en la matriz de preferencias, utilizando los métodos descritos; CI y CR usando los métodos de valores propios (EV) y de normalización aditiva (AN), y los índices de consistencia geométrico y armónico.

Para la primera etapa de la encuesta, en la que se hace la comparación por pares para tres indicadores (n=3), se obtuvo el 13% de respuestas consistentes (es decir, 2 de los 15 expertos que respondieron la encuesta) para los métodos de análisis de consistencia usando EV, AN y para el GCI. Para el índice HCI se obtuvo un 27% de respuestas consistentes (4 expertos de los 15 evaluados).

Los índices de consistencia y la razón o umbral de aceptación de consistencia se muestran en la Tabla 1. Se observa que el índice de consistencia armónico (HCI) es el más flexible de los métodos, aceptando como consistentes a un mayor número de expertos, mientras que en los demás métodos sólo los expertos completamente consistentes (CI=0) se aceptan.

Tabla 1. Índices de consistencia de los diferentes expertos para comparaciones de 3 alternativas.

Experto	Valores propios			Normalización aditiva			Geométrico		Armónico		
	CI	CR	Cumple	CI	CR	Cumple	GCI	Cumple	HCI	HCR	Cumple
1	0,147	0,254	NO	0,150	0,259	NO	0,863	NO	0,149	0,271	NO
2	0,436	0,751	NO	0,448	0,772	NO	2,445	NO	0,471	0,856	NO
3	0,068	0,117	NO	0,068	0,117	NO	0,402	NO	0,079	0,144	NO
4	0,068	0,117	NO	0,069	0,119	NO	0,402	NO	0,038	0,070	SI
5	0,068	0,117	NO	0,068	0,117	NO	0,402	NO	0,079	0,144	NO
6	0,068	0,117	NO	0,068	0,117	NO	0,402	NO	0,079	0,144	NO
7	0,068	0,117	NO	0,068	0,117	NO	0,402	NO	0,079	0,144	NO
8	0,147	0,254	NO	0,151	0,260	NO	0,863	NO	0,107	0,195	NO
9	0,436	0,751	NO	0,452	0,779	NO	2,445	NO	0,462	0,839	NO
10	0,000	0,000	SI	0,000	0,000	SI	0,000	SI	0,000	0,000	SI
11	0,280	0,483	NO	0,284	0,490	NO	1,609	NO	0,327	0,595	NO
12	0,068	0,117	NO	0,069	0,118	NO	0,402	NO	0,054	0,099	SI
13	0,436	0,751	NO	0,448	0,772	NO	2,445	NO	0,471	0,856	NO
14	0,068	0,117	NO	0,068	0,117	NO	0,402	NO	0,079	0,144	NO
15	0,000	0,000	SI	0,000	0,000	SI	0,000	SI	0,000	0,000	SI

Si bien la selección de expertos tuvo en consideración la experiencia y trayectoria en la práctica y desarrollo de análisis ambientales de los expertos, no necesariamente esta experiencia significa que se puedan considerar como tomadores de decisiones insesgados y consistentes. El conocimiento particular de la problemática también puede ser una de las circunstancias para que la consistencia no sea mayor, falta conocer más el problema o contextualizarlo de una mejor forma.

En el desarrollo de la segunda etapa de la encuesta, en la que se incluye un cuarto indicador, de tipo prospectivo y que complementa la información ya dada a los expertos, se

observa en la Tabla 2 que el número de expertos consistentes en sus respuestas aumenta en tres, para cada una de las metodologías de análisis usadas. En la Tabla 3 se muestra un resumen del cambio porcentual en la consistencia después de incluir el indicador prospectivo y se observa que hay un aumento del 20% en la consistencia del panel de expertos. Este aumento puede explicarse debido a que el nuevo indicador integrado a la información base para decidir el peso de los criterios de comparación, está relacionado directamente con la información inicial, aumentado de esta forma el conocimiento de los expertos sobre el tema del que tienen que tomar la decisión, que en este caso es un tema ambiental para priorizar la intervención en zonas de alta contaminación del aire.

Según Saaty (1990) es necesario mantener un número de criterios inferior a 9 para mantener la consistencia en el *AHP*. En esta aplicación se pasa de 3 a 4 criterios, y los resultados muestran que no sólo se mantiene la consistencia en el proceso de toma de decisiones, sino que se aumenta en forma considerable, ya que complementar la información existente, mediante la inclusión de un nuevo criterio de análisis, da un mejor entendimiento del problema a los tomadores de decisiones, y se puede mejorar el número de respuestas consistentes, por tanto tener un mejor proceso de toma de decisiones

Tabla 2. Índices de consistencia de los diferentes expertos para comparaciones de 4 alternativas.

Experto	Valores propios (Saaty)			Normalización aditiva			Geométrico		Armónico		
	CI	CR	Cumple	CI	CR	Cumple	GCI	Cumple	HCI	HCR	Cumple
1	0,165	0,183	NO	0,166	0,184	NO	0,633	NO	0,177	0,196	NO
2	0,648	0,720	NO	0,656	0,729	NO	1,632	NO	0,569	0,632	NO
3	0,051	0,057	SI	0,051	0,057	SI	0,201	SI	0,072	0,081	SI
4	0,795	0,883	NO	0,716	0,796	NO	2,731	NO	0,430	0,478	NO
5	0,158	0,176	NO	0,163	0,181	NO	0,603	NO	0,177	0,196	NO
6	0,051	0,057	SI	0,052	0,058	SI	0,201	SI	0,043	0,047	SI
7	0,051	0,057	SI	0,052	0,057	SI	0,201	SI	0,057	0,064	SI
8	0,112	0,124	NO	0,116	0,129	NO	0,432	NO	0,077	0,085	SI
9	0,444	0,494	NO	0,456	0,507	NO	1,604	NO	0,470	0,522	NO
10	0,051	0,057	SI	0,052	0,057	SI	0,201	SI	0,057	0,064	SI
11	0,393	0,437	NO	0,414	0,460	NO	1,408	NO	0,387	0,431	NO
12	0,103	0,115	NO	0,105	0,117	NO	0,402	NO	0,087	0,096	SI
13	0,336	0,374	NO	0,364	0,404	NO	1,222	NO	0,263	0,292	NO
14	0,103	0,115	NO	0,104	0,116	NO	0,402	NO	0,111	0,123	NO
15	0,000	0,000	SI	0,000	0,000	SI	0,000	SI	0,000	0,000	SI

Tabla 3. Cambio en la consistencia después de integrar la información prospectiva

Metodología para evaluar la consistencia	Porcentaje de expertos consistentes	
	Consistencia en una matriz de orden n = 3	Consistencia en una matriz de orden n = 4
Valores propios	13%	33%
Normalización aditiva	13%	33%
Índice de consistencia geométrico	13%	33%
Índice de consistencia armónico	27%	47%

Conclusiones

La información base para este estudio es de tipo demográfica y de salud para un periodo determinado de análisis, en la zona de estudio (Medellín). El conocimiento parcial de la dinámica de una zona, hace que el criterio con el que se juzgue esté influenciado únicamente por información que podría considerarse como insuficiente, es por esto que, para tratar de mejorar el panorama de un panel de expertos, se decide incluir un indicador prospectivo para cada una de las zonas, que dé cuenta de la dinámica a futuro de la población.

Según Saaty (1990) para mejorar la consistencia en la comparación por pares, la cantidad de criterios a comparar no debe ser mayor a 9, indicando que mientras mayor sea la cantidad de información para comparar, menor será el grado de consistencia. En este estudio se hizo una evaluación de la consistencia de matrices a partir de tres y cuatro criterios de análisis en un problema de priorización de zonas con problemas ambientales, encontrando que al pasar a una matriz de cuatro criterios la consistencia del panel aumenta aproximadamente en un 20%, así, al mejorar la información y conocimiento de los expertos, se garantiza una mejor aproximación al entendimiento completo del sistema, logrando mejorar la consistencia de las respuestas del panel de expertos, inclusive aumentando el número de criterios a comparar, siempre y cuando se encuentren relacionados.

El proceso de análisis jerárquico busca encontrar la mejor alternativa dentro de un conjunto con diferentes características y la evaluación de la consistencia en las preferencias es uno de los pasos más importantes en la toma de decisiones cuando se emplea la comparación por pares, es por eso que la propuesta de alternativas para el mejoramiento de la consistencia a través del proceso, se considera como una forma de mejorar el proceso final de decisión.

El hecho de tener la posibilidad de tomar decisiones con un mayor grado de consistencia no significa necesariamente tomar una buena decisión, por lo que la elección de los paneles de expertos sigue siendo un factor determinante a la hora de asegurar el éxito de este tipo de ejercicios. Es importante resaltar que al tener un mayor número de expertos consistentes gracias a la inclusión de la nueva información, hace que sea necesario evaluar cuál es el indicador que posee el mayor de los pesos, para así poder tomar una decisión final.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias a la financiación de la Beca Prince Bernhard, otorgada por la Universidad de Utrecht y la Fundación “Instituto de estudios Hispánicos, Portugueses e Iberoamericanos” en los Países Bajos. También queremos agradecer a los investigadores Patricia Jaramillo de la Universidad Nacional de Colombia y Henk Ottens de la Universidad de Utrecht por sus aportes y apoyo desinteresado y al Observatorio del mercado inmobiliario del municipio de Medellín.

Referencias

- AMVA, Corantioquia, Cornare, & Unalmed.** *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Aspectos Principales* (p. 238). Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín., 2007
- Aguarón, J & Moreno-Jimenez, J.** (2003). The geometric consistency index : Approximated thresholds, *European Journal of Operations Research*, 147, 137-145.
- Alonso, J. A.** (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal fo Uncertainty Fuzzines and Knowledge-Based Systems*, 14(4), 445-459.

- Andersson, A. S., Stjernström, O., & Fängmark, I.** (2005). Use of questionnaires and an expert panel to judge the environmental consequences of chemical spills for the development of an environment-accident index. *Journal of environmental management*, 75(3), 247-61.
doi:10.1016/j.jenvman.2005.01.002
- Benítez, J., Delgado-Galván, X., Gutiérrez, J. a., & Izquierdo, J.** (2011). Balancing consistency and expert judgment in AHP. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(7-8), 1785-1790. Elsevier Ltd.
doi:10.1016/j.mcm.2010.12.023
- Canadian Council.** *Regional Strategic Environmental Assessment in Canada. Environmental Research* (pp. 1-27), 2009.
- Choo, E. U., & Wedley, W. C.** (2004). A common framework for deriving preference values from pairwise comparison matrices. *Computers & Operations Research*, 31(6), 893-908.
doi:10.1016/S0305-0548(03)00042-X
- Departamento Administrativo de Planeación Medellín.** *Registros de 1999 a 2010 del Observatorio del suelo y del mercado Inmobiliario (OSMI)*. Medellín, 2011.
- Facultad Nacional de Salud Pública,** *Reporte de cuadros respiratorios urgencia por edad y barrio en la Ciudad de Medellín*. Medellín., 2006.
- Garfi, M., Ferrer-Martí, L., Bonoli, A., & Tondelli, S.** (2011). Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil. *Journal of environmental management*, 92(3), 665-75. Elsevier Ltd.
doi:10.1016/j.jenvman.2010.10.007
- Geneletti, D.** (2007). Expert Panel-based Assessment of Forest Landscapes for Land Use Planning. *Mountain Research and Development*, 27(3), 220-223. doi:10.1659/mrd.0924
- Gokhale, A.** (2001). Environmental initiative prioritization with a Delphi approach: a case study. *Environmental management*, 28(2), 187-93. doi:10.1007/s002670010217
- Kontic, B.** (2000). Why are some experts more credible than others? *Environmental Impact Assessment Review*, 20(4), 427-434. doi:10.1016/S0195-9255(00)00057-3
- Liu, K. F. R., Hsu, C.-yu, Yeh, K., & Chen, C.-wu.** (2011). Hierarchical analytic network process and its application in environmental impact evaluation. *Civil Engineering and Environmental Systems*, (November), 37-41.
- Noble, B.** (2004). Strategic environmental assessment quality assurance: evaluating and improving the consistency of judgments in assessment panels. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(1), 3-25. doi:10.1016/S0195-9255(03)00118-5
- Pecchia, L., Bath, P. a, Pendleton, N., & Bracale, M.** (2010). Analytic Hierarchy Process (AHP) for Examining Healthcare Professionals' Assessments of Risk Factors. The Relative Importance of Risk Factors for Falls in Community-dwelling Older People. *Methods of information in medicine*, 50(1), 1-11. doi:10.3414/ME10-01-0028
- Rave, C.** *Modeling Platform for integrated assessment of intervention proposals in localities. Case Study, Medellín Metropolitan Area (Colombia). Integrated Assessment*. National University of Colombia. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/3687/1/43618932-2011.pdf>, 2011.
- Saaty, T.** (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I

- Saaty, T. L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, (15), 234 - 281.
- Saaty, T. L.** *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. (McGraw-Hill, Ed.). New York, 1980.
- Saaty, T. L.** (2001). *The Analytic Network Process*. *Pittsburg University Press*.
- Srdjevic, B.** (2005). Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis. *Computers & Operations Research*, 32(7), 1897-1919. doi:10.1016/j.cor.2003.12.005
- Stein, W. E., & Mizzi, P. J.** (2007). The harmonic consistency index for the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 488-497. doi:10.1016/j.ejor.2005.10.057