

SELECCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE RED LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN PARA EL PROGRAMA MERCADOS CAMPESINOS USANDO TÉCNICAS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

SELECTING A DISTRIBUTION NETWORK STRUCTURE FOR THE FARMER'S
MARKETS PROGRAM USING MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING
TECHNIQUES

SELEÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE REDE LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO
PARA O PROGRAMA MERCADOS CAMPONESES USANDO TÉCNICAS DE
TOMA DE DECISÕES MULTICRITÉRIO

DOI: <http://dx.doi.org/10.18566/rces.v23n33a07>

Recibido: 10/03/2014

Aprobado: 23/03/2015

Martha Liliana Reina Úsuga

Magíster en Ciencias Agrarias. Administradora de Empresas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Correo electrónico: mreinau@gmail.com.

Félix Antonio Cortés Aldana

Doctor en Proyectos de Ingeniería e Innovación. Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Miembro del grupo de investigación ALGOS. Correo electrónico: facortesa@unal.edu.co.

SELECCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE RED LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN PARA EL PROGRAMA MERCADOS CAMPESINOS USANDO TÉCNICAS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

Palabras clave

Cadena de suministro agroalimentarias, red logística de distribución, procesos de toma de decisiones, toma de decisiones multicriterio, proceso analítico jerárquico.

Resumen

El programa Mercados Campesinos propone mejorar su operación comercial mediante el empleo de una red logística de distribución, para lo cual debe seleccionar la estructura de red que se ajuste a sus objetivos, entre las alternativas "Envíos directos", "Cross docking", "Hub y Spoke" y "Almacenamiento con recogida del cliente". Para adoptar esta decisión se aplicó el proceso analítico jerárquico (PAJ), el cual permite establecer criterios de decisión y valorar alternativas en función de las prioridades de los decisores, se realiza análisis de dominancia y se emplean técnicas de normalización y PAJ; el proceso fue acompañado por un panel de expertos. Los resultados obtenidos resaltan la importancia y utilidad del empleo de técnicas de decisión multicriterio al abordar decisiones complejas que involucren un gran conjunto de variables, lo cual permite disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones; finalmente, se destaca el valor de estas metodologías en procesos sociales.

Clasificación JEL: Q13, R41, C44

SELECTING A DISTRIBUTION NETWORK STRUCTURE FOR THE FARMER'S MARKETS PROGRAM USING MULTIPLE CRITERIA DECISION-MAKING TECHNIQUES

Keywords

Agrifood supply chain, distribution network, decision-making processes, multiple criteria decision-making, analytic hierarchy process.

Abstract

The Farmers' Markets program proposed improvement to its commercial operation through the use of a distribution network; thus, it was necessary to select a network structure that met the objectives. Network structures included direct shipment, cross docking, hub-and-spoke, and storage with customer pick-up. The analytic hierarchy process (AHP) was used to make this decision in order to determine decision criteria and assess alternatives based on the priorities of the decision-makers. Dominance analysis was conducted and normalization methods and AHP were used; this process was supported by an expert panel. The results obtained highlight the importance and utility of multiple criteria decision-making techniques when addressing complex decisions involving many variables, which reduces uncertainty in the decision-making process. Hence, the value of such methodologies in social processes is also emphasized.

SELEÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE REDE LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O PROGRAMA MERCADOS CAMPONESES USANDO TÉCNICAS DE TOMA DE DECISÕES MULTICRITÉRIO

Palavras chave

Cadeia de subministro agro-alimentarias, rede logística de distribuição, processos de toma de decisões, toma de decisões multicritério, Processo Analítico Hierárquico.

Resumo

O programa Mercados Camponeses propõe melhorar sua operação comercial mediante o emprego de uma rede logística de distribuição, para o qual deve selecionar a estrutura de rede que se ajuste a seus objetivos, entre as alternativas: Envios diretos, Cross docking, Hub e Spoke e Armazenamento com coleta do cliente. Para adotar esta decisão se aplicou o Processo Analítico hierárquico (PAJ), o qual permite estabelecer critérios de decisão e valorizar alternativas em função das prioridades dos que tomam as decisões, se realiza análise de dominância e se empregam técnicas de normalização e PAJ; o processo foi acompanhado por um painel de expertos. Os resultados obtidos ressaltam a importância e utilidade do emprego de técnicas de decisão multicritério ao abordar decisões complexas que envolvem um grande conjunto de variáveis, o qual permite diminuir a incertezas no processo de toma de decisões; finalmente, se destaca o valor destas metodologias nos processos sociais.

Introducción

La toma de decisiones es un proceso complejo en el que intervienen múltiples criterios, lo cual hace necesario contar con herramientas que permitan discernir entre estos para obtener una solución que en lo posible resulte ser óptima entre el conjunto de alternativas viables (Romero y Cortés, 2014; Rodríguez y Cortés, 2012; Cortés, García y Aragonés, 2007).

En el presente trabajo se aplica el análisis de dominancia, dos técnicas de normalización de la matriz de decisión y el proceso analítico jerárquico (PAJ de aquí en adelante) al problema de seleccionar una estructura de red de distribución para el proceso Mercados Campesinos. El PAJ tiene un sólido fundamento científico y ha sido utilizado en numerosas aplicaciones prácticas (Saaty, 1994, 1996).

Subramanian y Ramanathan (2012) realizaron una revisión de la aplicación del método PAJ en las operaciones administrativas, para lo cual analizaron 291 artículos publicados en el periodo 1990-2009; los autores concluyeron que el 27% de los artículos correspondían a decisiones de gestión de la cadena de suministro, dentro de los cuales el 70% correspondía al diseño de redes de distribución, el 24% a factores de tercerización y el 6% al manejo de inventarios. Sharma, Moon y Bae (2008) definieron la mejor alternativa para el diseño de la red de distribución de una empresa manufacturera, basados en el método PAJ, definieron como criterios el costo y el servicio al cliente y como sub criterios, para costo: inventario, transporte, instalaciones y manejo; y para servicio al cliente: tiempo de respuesta y variedad de productos.

En el presente trabajo se ha empleado el PAJ 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 el análisis multicriterio de decisiones (*multiple-*

criteria decision-making, MCDA, de aquí en adelante). Tiene en cuenta la consistencia de los juicios emitidos. Además, se apoya en un *software* fácilmente manejable que presenta los resultados de manera clara.

Para exponer de manera ordenada el propósito del presente artículo, a continuación se desarrollarán los siguientes apartados: introducción al análisis de decisiones, planteamiento del caso, selección de criterios, matriz de decisión y análisis de dominancia, ponderación de los criterios, valoración de las alternativas, cálculo de la prioridad global y análisis de resultados. Finalmente se presentan las conclusiones.

Análisis de decisiones

Para poder tratar los problemas complejos de toma de decisiones, surge el análisis de decisiones, que consiste en

Un marco racional y un conjunto de herramientas para tratar con problemas que conllevan decisiones difíciles. Su objetivo es ayudar al decisor a pensar de manera sistemática sobre problemas complejos para mejorar la calidad de las decisiones finales. Cabe destacar la diferencia entre una buena decisión y un resultado afortunado. A la primera se llega a través de un profundo conocimiento, meditación y comprensión del problema, mientras que lo segundo, que también podría ser desafortunado, es independiente de la calidad de la decisión. (Ríos, Bielza y Mateos, 2002)

El análisis de decisiones busca simplificar la tarea de tomar decisiones mediante el concurso de procedimientos formales y de los propios juicios del decisor (León, 2001). En definitiva, para poder afrontar el reto de adoptar una decisión compleja, hay que disponer de toda la información posible y hay que estar dispuesto a invertir tiempo y recursos en su resolución. Por ello, es necesario valorar el costo que implica adoptar la decisión de forma sistemática y rigurosa, frente al costo de adoptar una decisión equivocada. Este razonamiento no se plantea con la frecuencia que se debería.

A menudo se entiende que una buena decisión es cuando, transcurrido el tiempo, las consecuencias han sido favorables. Sin embargo, la mayoría de las veces no se pueden comparar las consecuencias de una decisión adoptada con las que hubieran ocurrido si se hubiera adoptado una solución diferente. Es por eso que hay que considerar el proceso mediante el cual se adoptó la decisión para poder concluir que la solución fue la mejor posible, teniendo en cuenta la información disponible en el momento y los recursos que entonces se pudieron emplear.

Se entiende que una decisión ha sido buena si se ha tomado con el mejor procedimiento disponible. En cambio, no se puede calificar una decisión como buena cuando ha dado buenos resultados, sin conocer cómo se procedió en su adopción.

Según León (2001), una decisión buena es aquella en la que se ha trazado el objetivo que se quiere conseguir, se ha reunido toda la información relevante y se han tenido en cuenta las preferencias del decisor.

El análisis de decisiones intenta estudiar procedimientos para integrar la información de la manera más eficiente. Esto significa "poner orden en los datos" (racionalizar los procesos). La información y los juicios expresados por el decisor deben ser combinados de cierta forma lógica para tomar una buena decisión.

Ahora, se plantea un problema de decisión multicriterio cuando al tomar una decisión hay que considerar diferentes puntos de vista que están en conflicto y se involucran aspectos a maximizar y/o minimizar.

Para afrontar problemas como los descritos anteriormente, surge el MCDA, término amplio que incluye una colección de conceptos, métodos y técnicas que procuran ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados (Belton y Stewart, 2002).

El MCDA constituye una opción innovadora en los procesos de priorización de laboratorios de una universidad para la acreditación (García, Jaramillo y Cortés, 2014), la escogencia del método apropiado para la explotación minera (Romero y Cortés, 2014), la selección en procesos licitatorios (Ángel, Cortés y Romero, 2014), la escogencia de plataformas de inteligencias de negocios (Rodríguez y Cortés, 2012), la adquisición y la implantación de un sistema de gestión documental (Cano, Ariza y Cortés, 2011), la selección de tecnologías de banda ancha en una universidad (Cortés, García y Aragonés, 2007). El MCDA permite, a través de diferentes métodos y técnicas, establecer la opción más apropiada, con el objetivo de constituir un consenso entre diferentes puntos de vista en conflicto de cada uno de los agentes interesados en el problema (Belton y Stewart, 2002).

Planteamiento del caso

La gestión de la cadena de suministro (SCM, siglas en inglés) para productos perecederos ha ganado importancia durante la última década, debido a políticas internacionales, como los Objetivos del Milenio, y la inclusión de este tema en cuestiones de salud pública (Ahumada y Villalobos, 2009); por lo cual se ha adoptado el concepto de cadena de suministro agroalimentaria (ASC, siglas en inglés) para referirse a las actividades que se realizan desde la producción hasta la distribución, y que permiten que los productos agrícolas y hortícolas viajen de la granja al consumidor (Aramyan, Ondersteijn, van Kooten y Lansink, 2006).

Las consideraciones estratégicas que la logística de distribución plantea a través de objetivos de cobertura de mercado, niveles de servicio y rentabilidades esperadas han incentivado el desarrollo de variadas técnicas de distribución (Cos y De Navascués, 2001). El diseño de la red de distribución debe considerar dos aspectos clave: primero definir si los productos se entregan en la ubicación del cliente o son recogidos por este en un lugar predeterminado; y segundo, definir si el flujo de los productos contendrá un intermediario

(Chopra y Meindl, 2007). Una adecuada red de distribución puede ser usada para alcanzar los objetivos de la cadena de suministro, que pueden ser desde un bajo costo hasta una alta responsabilidad; como resultado de lo anterior, compañías de un mismo sector pueden optar por diferentes redes de distribución.

El proceso Mercados Campesinos (PMC), contemplado en el Plan Maestro de Abastecimiento de Alimentos de Bogotá, se concibe como una estrategia de comercialización alternativa, con el objetivo de eliminar las cadenas de intermediarios entre los productores y el consumidor final, bajo la premisa de la defensa de la economía campesina y la búsqueda de la seguridad y la soberanía alimentaria (Montoya y Mondragón, 2010). Al proceso se encuentran vinculados 80 municipios de la Región Central de Colombia, cuyos productores envían sus productos para que sean distribuidos en la ciudad de Bogotá. En la actualidad el proceso desea establecer una estructura de red de distribución que le permita alcanzar sus objetivos misionales y contemplar otros criterios que favorezcan su operación.

Los modelos de red de distribución que se han identificado como adecuados para el proceso Mercados Campesinos se describen a continuación; sin embargo, vale la pena resaltar que todas estas posibles estructuras se encuentran bajo el supuesto de la implementación *a priori* de una estrategia de coordinación entre productores y compradores, que permita un flujo constante de productos.

- **Envíos directos (END):** Los productos son movilizados desde la unidad productiva o acopio municipal, hasta las instalaciones del cliente. Se pueden presentar casos de transbordo de productos entre modos y/o medios de transporte, pero no se realiza una desconsolidación/consolidación de carga.

- **Cross docking (HUB):** La distribución de los productos incluye un lugar de desconsolidación/consolidación de carga, que permite hacer la preparación de los pedidos para los clientes finales, a quienes se les entrega el producto en sus instalaciones.
- **Hub y spoke (H&S):** Opera como la estructura *cross docking*, pero adicionalmente los vehículos, cuando regresan a su punto de origen, llevan productos de otros orígenes que se encontraban en el *hub*.
- **Almacenamiento con recogida del cliente (ARC):** La distribución de los productos incluye un lugar de desconsolidación/consolidación de carga, el cliente final debe desplazarse hasta este lugar a recoger su pedido.

Selección de criterios

En el proceso de decisión multicriterio se consultó a un panel de expertos constituido por dos investigadores del proyecto Acceso a Mercados y Seguridad Alimentaria en la Región Central de Colombia¹, conocedores del problema rural en Colombia, las prácticas agroecológicas y los núcleos de emprendedores rurales; y un representante del comité de comercialización del proceso Mercados Campesinos, quien colabora en el establecimiento de la relación proveedor-cliente. Su selección obedeció a su cercanía con el proceso, el conocimiento de la dinámica de la economía campesina y el conocimiento técnico en logística. Los autores de la presente comunicación han actuado como facilitadores del proceso y expertos en MCDA.

Para la selección de los criterios se ha optado por realizar una descomposición jerárquica, siguiendo el método PAJ. La selección de los criterios se basó en postulados de Chopra y Meindl (2007), y se consultó sobre ellos al panel de expertos. Los criterios seleccionados fueron los siguientes:

1 El proyecto Acceso a Mercados y Seguridad Alimentaria en la Región Central de Colombia fue ejecutado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, cuyo objetivo principal era generar conocimiento acerca del proceso Mercados Campesinos y diseñar alternativas para un mejor funcionamiento.

- **C1. Criterio financiero.** Cubre los aspectos económicos que están inmersos en la decisión de adoptar una estructura de red de distribución. Los criterios aquí considerados permiten establecer de manera clara las inversiones a realizar y los costos operativos que demanda la implementación de una determinada red. Las variables a considerar en esta dimensión son:
 - **C1.1. - Inversión inicial (minimizar).** Corresponde a una estimación del valor de los activos con los cuales se debe contar para dar inicio a la implementación de la red, se estiman los costos que implica adoptar un sistema de información y la compra de mobiliario (carretillas, canastillas, estantes, etc). La unidad utilizada es millones de pesos colombianos.
 - **C1.2. - Costo de operación (minimizar).** Corresponde a una estimación de los gastos mensuales en los que se incurre para la operación de la red. Se estima: arrendamiento, personal y mantenimiento. La unidad utilizada es millones de pesos colombianos.
 - **C1.3. - Costo de transporte (minimizar).** Corresponde a una estimación del precio del transporte de los productos desde el punto de origen hasta el punto de entrega. Se estima el costo por cada 20 kg de producto transportado. La unidad utilizada es miles de pesos colombianos (precio constante desde el año 2013).
- **C2. Criterio de servicio.** En este nivel se agrupan los aspectos relacionados con los servicios que puede proporcionar la estructura. Se evalúa en dos vías:
 - **C2.1. - Cumplimiento de pedidos (maximizar).** Este criterio evalúa la satisfacción del cliente con respecto al cumplimiento en la entrega del pedido, según los términos de negociación pactados. Se mide con una escala entre 1 y 9, donde 1 corresponde al mínimo nivel y 9 al mayor nivel de satisfacción ofrecido por la estructura.
 - **C2.2. - Flexibilidad frente a los cambios (maximizar).** Este criterio evalúa la flexibilidad que ofrece la red logística con respecto a cambios en la demanda, especialmente frente a las devoluciones de pedidos. Se mide con una escala entre 1 y 9, donde 1 corresponde al mínimo nivel y 9 al mayor nivel de satisfacción ofrecido por la estructura.
 - **C2.3. - Tiempo de respuesta (minimizar).** Este criterio expresa el tiempo que transcurre desde que el producto es despachado en la unidad productiva hasta cuando llega al cliente final. La unidad utilizada es un día (24 horas).
- **C3. Efectos.** Este criterio evalúa los efectos que puede tener la implementación de cierta estructura de la red en relación con la calidad de los productos, el medioambiente y la identificación con PMC.
 - **C3.1. - Calidad (minimizar).** Este criterio evalúa la relación entre la red logística y la calidad de los productos, en dos dimensiones, el tiempo transcurrido entre la cosecha y la venta, y el nivel de manipulación. Se mide con una escala entre 1 y 9, donde 1 corresponde a un mínimo impacto y 9 al mayor nivel de impacto.
 - **C3.2. - Medioambiente (minimizar).** Este criterio evalúa la relación entre la red logística y el medioambiente, en dos dimensiones, el número de recorridos para las entregas y los cambios de empaques y embalajes. Se mide con una escala entre 1 y 9, donde 1 corresponde a un mínimo impacto y 9 al mayor nivel de impacto.
 - **C3.3. - Identificación de PMC (maximizar).** Este criterio evalúa el nivel de identificación del PMC con la estructura de red. Se mide con una escala entre 1 y 9, donde 1 corresponde a un mínimo impacto y 9 al mayor nivel de impacto.

Matriz de decisión y análisis de dominancia

Se estableció la **tabla 1**, que representa la matriz de decisión. Los datos de la matriz fueron obtenidos a partir del trabajo realizado por Reina Usuga (2013) y revisados por el panel de expertos.

Además, se puede observar que las valoraciones del criterio financiero corresponden a datos cuantitativos, mientras que las de los servicios y efectos corresponden a datos cualitativos, obtenidos a partir de la experiencia de los miembros del panel.

Tabla 1. Matriz de decisión

NIVEL	CRITERIOS	Unidades	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN				Tendencia
			ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE (A4)	
Financiero	C1 Inv. Inicial	\$ millones	9,16	11,925	15,925	11,725	Minimizar
	C2 Costo de operación	\$ millones mensuales	4,2	6,6	7,6	5,9	
	C3 Costo de transporte (20 kg)	\$ miles canastilla (20 kg)	3	4	4	3	
Servicios	C4 Cumplimiento de pedidos	Escala	5	7	5	7	Maximizar
	C5 Flexibilidad frente a cambios	Escala	3	7	5	5	Maximizar
	C6 Tiempo de respuesta	Días	1	2	2	1	Minimizar
Efectos	C7 Calidad	Escala	7	5	5	7	Maximizar
	C8 Medioambiente (huella de carbono)	Escala	7	3	3	7	Minimizar
	C9 Identificación PMC	Escala	7	7	5	3	Maximizar

Fuente: Reina Úsuga (2013).

Se realizó un análisis de dominancia, para establecer si existe una alternativa que superará a las otras o una alternativa dominada, con lo cual no sería necesario realizar un método de decisión multicriterio. La **tabla 2a** ilustra el análisis de dominancia por frecuencia y la **tabla 2b** por porcentaje.

El análisis de dominancia permitió determinar que en este proceso de decisión no existe una alternativa que supere las demás. Para que exista la dominancia de una alternativa sobre las otras, la fila correspondiente a la alternativa, en la **tabla 2b**, debería dar 100% en cada una de las casillas; y para que una alternativa fuera dominada, tendría que dar 100% en cada casilla de la columna correspondiente a la alternativa estudiada. Al observar la tabla, ninguna de las situaciones mencionadas ocurre, con lo cual se justifica realizar un proceso MCDA. El análisis de dominancia es dispendioso si se hace de manera manual, por lo cual se recomienda, para su elaboración, apoyarse en herramientas de programación de computadores.

Ponderación de los criterios

Los pesos de los criterios expresan la medida de la importancia relativa que ellos tienen para el decisor. Existe un profundo debate en la bibliografía sobre el significado que tienen los pesos de los criterios según el modelo MCDA con

el que se esté trabajando, así como la forma de obtenerlos (Cortés, García y Aragonés, 2007; Barba y Pomerol, 2000).

Para el presente escrito y siguiendo el método PAJ, en el que los criterios se representan mediante un árbol jerárquico, se han de realizar comparaciones binarias entre los vértices de cada nivel, con base en la importancia o la 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 (Cortés, García y Aragonés, 2007; Barba y Pomerol, 2000).

Para calcular los pesos de los criterios en cada nivel jerárquico, estos 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 .

Tabla 2. Análisis de dominancia

Tabla 2a. Análisis de dominancia. Frecuencias					Tabla 2b. Análisis de dominancia. Porcentaje				
	A1	A2	A3	A4		A1	A2	A3	A4
A1	-	5	6	3	A1	0,00	55,56	66,67	33,33
A2	3	-	5	3	A2	33,33	0,00	55,56	33,33
A3	2	0	-	2	A3	22,22	0,00	0,00	22,22
A4	2	5	6	-	A4	22,22	55,56	66,67	0,00

Fuente: elaboración propia a partir de Reina Úsuga (2013).

Para la ponderación de los criterios, se elaboró un cuestionario que fue respondido por los expertos (**ver anexo 1**). Los datos fueron procesados en el programa Super Decisions (Saaty, 2005), que opera bajo el método PAJ, lo cual permitió determinar los pesos de los criterios.

El índice general de inconsistencia reportado fue de 0.096.

El **gráfico 1** muestra los resultados de los pesos globales de los criterios y los pesos locales de los subcriterios.

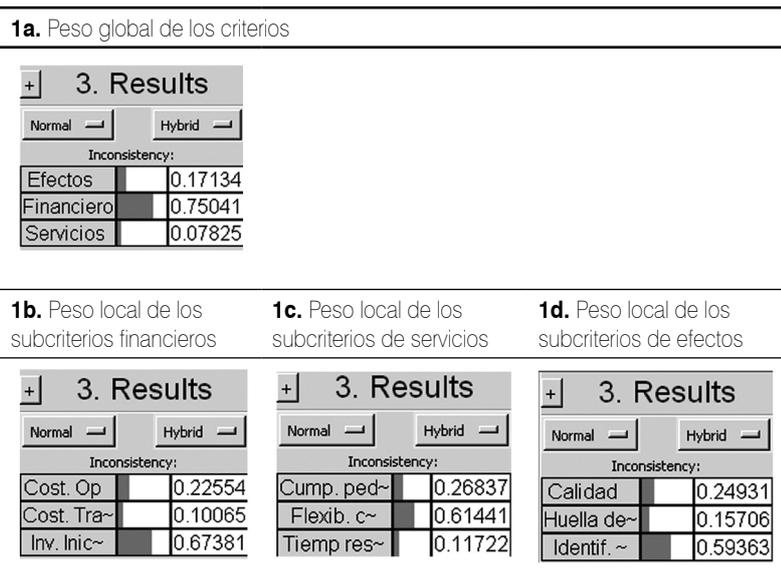
Se puede observar que los criterios financieros son los valorados como más importantes (75.05%), seguidos por los de efectos (17.13%) y por último los de calidad (7.82%); entre los subcriterios, con base en los cuales se va a valorar cada una de las alternativas, se puede apreciar que el que tiene mayor

peso global es el de la *inversión inicial* (50.56%) y el que reporta el menor peso global es el del *tiempo de respuesta* (0.917%).

Ajustes a la matriz de decisión

Una vez se han obtenido los pesos de cada criterio y subcriterio, se procede a maximizar todos los objetivos asociados al problema, con el fin de evitar puntuaciones negativas, que dificulten el análisis de los resultados por parte la población objetivo de la decisión. Un criterio a minimizar es equivalente a maximizar las inversas de las evaluaciones originales de las alternativas (Barba y Pomerol, 2000). La matriz de decisión, con todos los criterios a maximizar, quedaría como se muestra a continuación:

Gráfico 1. Representación de los pesos de criterios y subcriterios



Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013) y Saaty (2005).

1 El *peso local* significa la prioridad del subcriterio en relación con el resto de criterios situados en el mismo subnivel. El *peso global* del subcriterio es el que resulta de multiplicar su peso local por el peso global del criterio inmediatamente superior del que se descuelga el subcriterio bajo consideración.

Tabla 3. Matriz de decisión. Todos los criterios a maximizar.

NIVEL (PESO LOCAL)	CRITERIOS (PESO LOCAL)	UNIDADES	PESO GLOBAL	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN			
				ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE (A4)
Financiero (0,75041)	1/ Inv. inicial (0,67381)	1/\$ millones	0,50563	1/9,16	1/11,925	1/15,925	1/11,725
	1/Costo de operación (0,22554)	1/\$ millones Mensuales	0,16925	1/4,2	1/6,6	1/7,6	1/5,9
	1/Costo de transporte (20 kg) (0,10065)	1/\$ miles canastilla (20 kg)	0,07553	1/3	1/4	1/4	1/3
Servicios (0,07825)	Cumplimiento de pedidos (0,26837)	Escala	0,02100	5	7	5	7
	Flexibilidad frente a cambios (0,61441)	Escala	0,04808	3	7	5	5
	1/Tiempo de respuesta (0,11722)	1/Días	0,00917	1/1	1/2	1/2	1/1
Efectos (0,17134)	Calidad (0,24931)	Escala	0,04272	7	5	5	7
	1/ Medioambiente (huella de carbono) (0,15706)	1/Escala	0,02691	1/7	1/3	1/3	1/7
	Identificación PMC (0,59363)	Escala	0,10171	7	7	5	3

Fuente: elaboración propia a partir de Reina Úsuga (2013).

Luego se procede a normalizar la matriz de decisión, teniendo en cuenta que los datos no se encuentran en la misma escala. El paso a seguir para que los datos puedan ser comparables consiste en normalizarlos mediante alguno de los métodos que se muestran en el **gráfico 2**.

Los métodos de normalización recomendables son aquellos en los que se guarda la proporcionalidad, el método del porcentaje del máximo a_i —máximo local, que requiere conocer el máximo local de cada uno de los subcriterios—, mientras que el método del porcentaje total de $\sum a_i$ no exige este requisito, pues es solo la ponderación sobre la sumatoria de cada uno de los subcriterios.

Gráfico 2. Métodos de normalización

Interpretación	% del máximo a_i	% del rango (max a_i - min a_i)	% del total de	l-ésima componente del vector unitario
Fórmula	$V_i = \frac{a_i}{\max a_i}$	$V_i = \frac{a_i - \min a_i}{\max a_i - \min a_i}$	$V_i = \frac{a_i}{\sum a_i}$	$V_i = \frac{a_i}{(\sum a_i^2)^{1/2}}$
Vector normalizado	$0 \leq V_i \leq 1$	$0 \leq V_i \leq 1$	$0 \leq V_i \leq 1$	$0 \leq V_i \leq 1$
Módulo de V	Variable	Variable	Variable	1
Conserva proporcionalidad	Sí	No	Sí	No

Fuente: adaptado de Barba-Romero y Pomerol (2000).

Los autores del presente trabajo recomiendan usar las dos técnicas de normalización que conservan la proporcionalidad, para validar los resultados del caso. Lo anterior si se tiene en cuenta la teoría de los métodos numéricos, asociada a la solución de problemas matemáticos, que sugiere usar los dos métodos más apropiados y comparar los resultados en términos de su convergencia (Chapra y Canale, 2011).

La matriz de decisión, con todos los criterios a maximizar, normalizada con el método del porcentaje del máximo a_i , es:

Tabla 4. Matriz de decisión. Normalizada por el % del máximo

NIVEL (PESO LOCAL)	CRITERIOS (PESO LOCAL)	UNIDADES	PESO GLOBAL	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN			
				ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE (A4)
Financiero (0,75041)	1/ Inv. inicial (0,67381)	1/\$ millones	0,50563	1,00000	0,76813	0,57520	0,78124
	1/Costo de operación (0,22554)	1/\$ millones mensuales	0,16925	1,00000	0,63636	0,55263	0,71186
	1/Costo de transporte (20 kg) (0,10065)	1/\$ miles canastilla (20 kg)	0,07553	1,00000	0,75000	0,75000	1,00000

Continúa tabla 4

Continúa tabla 4

Servicios (0,07825)	Cumplimiento de pedidos (0,26837)	Escala	0,02100	0,71429	1,00000	0,71429	1,00000
	Flexibilidad frente a cambios (0,61441)	Escala	0,04808	0,42857	1,00000	0,71429	0,71429
	1/Tiempo de respuesta (0,11722)	1/Días	0,00917	1,00000	0,50000	0,50000	1,00000
Efectos (0,17134)	Calidad (0,24931)	Escala	0,04272	1,00000	0,71429	0,71429	1,00000
	1/ Medioambiente (huella de carbono) (0,15706)	1/Escala	0,02691	0,42857	1,00000	1,00000	0,42857
	Identificación PMC (0,59363)	Escala	0,10171	1,00000	1,00000	0,71429	0,42857

Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013).

La matriz de decisión, con todos los criterios a maximizar, normalizada por el método del porcentaje de la suma de ai, es:

Tabla 5. Matriz de decisión. Normalizada por el % de la suma de ai

NIVEL (PESO LOCAL)	CRITERIOS (PESO LOCAL)	UNIDADES	PESO GLOBAL	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN			
				ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE (A4)
Financiero (0,75041)	1/ Inv. inicial (0,67381)	1/\$ millones	0,50563	0,32004	0,24584	0,18409	0,25003
	1/Costo de operación (0,22554)	1/\$ millones Mensuales	0,16925	0,34473	0,21937	0,19051	0,24540
	1/Costo de transporte (20 kg) (0,10065)	1/\$ miles canastilla (20 kg)	0,07553	0,28571	0,21429	0,21429	0,28571

Continúa tabla 5

Continúa tabla 5

Servicios (0,07825)	Cumplimiento de pedidos (0,26837)	Escala	0,02100	0,20833	0,29167	0,20833	0,29167
	Flexibilidad frente a cambios (0,61441)	Escala	0,04808	0,15000	0,35000	0,25000	0,25000
	1/Tiempo de respuesta (0,11722)	1/Días	0,00917	0,33333	0,16667	0,16667	0,33333
Efectos (0,17134)	Calidad (0,24931)	Escala	0,04272	0,29167	0,20833	0,20833	0,29167
	1/ Medioambiente (huella de carbono) (0,15706)	1/Escala	0,02691	0,15000	0,35000	0,35000	0,15000
	Identificación PMC (0,59363)	Escala	0,10171	0,31818	0,31818	0,22727	0,13636

Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013).

Cálculo de la prioridad global y análisis de resultados

Una vez se tiene la matriz de decisión con todos los criterios a maximizar y normalizada, por las dos técnicas que guardan la proporcionalidad, se puede aplicar el procedimiento de la ponderación lineal o *scoring*.

La ponderación lineal es una manera rápida y sencilla de identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio.

Las etapas del método son las siguientes:

Identificar la meta general del problema, (2) identificar y describir las alternativas, (3) identificar y describir los criterios a emplear en la toma de decisión, (4) asignar una ponderación

para cada uno de los criterios, (5) establecer en cuánto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios, (6) calcular el *score* para cada una de las alternativas. La alternativa con el *score* más alto representa la alternativa a recomendar.

El modelo para calcular el puntaje para cada alternativa es:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Donde:

r_{ij} = *rating* o valoración de la alternativa j en función del criterio i

W_i = ponderación para cada criterio i

S_j = *score* para la alternativa j

La puntuación, para el caso de la primera normalización por el porcentaje del máximo sería:

Tabla 6. Matriz de decisión. Ponderación por el % del máximo ai

NIVEL (PESO LOCAL)	CRITERIOS (PESO LOCAL)	UNIDADES	PESO GLOBAL	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN			
				ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE (A4)
Financiero (0,75041)	1/ Inv. inicial (0,67381)	1/\$ millones	0,50563	1,00000	0,76813	0,57520	0,78124
	1/Costo de operación (0,22554)	1/\$ millones Mensuales	0,16925	1,00000	0,63636	0,55263	0,71186
	1/Costo de transporte (20 kg) (0,10065)	1/\$ miles canastilla (20 kg)	0,07553	1,00000	0,75000	0,75000	1,00000
Servicios (0,07825)	Cumplimiento de pedidos (0,26837)	Escala	0,02100	0,71429	1,00000	0,71429	1,00000
	Flexibilidad frente a cambios (0,61441)	Escala	0,04808	0,42857	1,00000	0,71429	0,71429
	1/Tiempo de respuesta (0,11722)	1/Días	0,00917	1,00000	0,50000	0,50000	1,00000
Efectos (0,17134)	Calidad (0,24931)	Escala	0,04272	1,00000	0,71429	0,71429	1,00000
	1/ Medioambiente (huella de carbono) (0,15706)	1/Escala	0,02691	0,42857	1,00000	1,00000	0,42857
	Identificación PMC (0,59363)	Escala	0,10171	1,00000	1,00000	0,71429	0,42857
PONDERACIÓN (Sj)				0,95115	0,78554	0,62502	0,75339

Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013).

Normalizando por la suma, la ponderación (S_j) obtenida en la tabla 6, se obtiene una aproximación a la ponderación obtenida en la **tabla 7**.

La puntuación, para el caso de la primera normalización por el porcentaje de la suma sería:

Tabla 7. Matriz de decisión. Ponderación por % de la suma de ai

NIVEL (PESO LOCAL)	CRITERIOS (PESO LOCAL)	UNIDADES	PESO GLOBAL	ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN			
				ENVÍOS DIRECTOS (A1)	CROSS DOCKING (A2)	HUB Y SPOKE (A3)	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE(A4)
Financiero (0,75041)	1/ Inv. inicial (0,67381)	1/\$ millones	0,50563	0,32004	0,24584	0,18409	0,25003
	1/Costo de operación (0,22554)	1/\$ millones Mensuales	0,16925	0,34473	0,21937	0,19051	0,24540
	1/Costo de transporte (20 kg) (0,10065)	1/\$ miles canastilla (20 kg)	0,07553	0,28571	0,21429	0,21429	0,28571
Servicios (0,07825)	Cumplimiento de pedidos (0,26837)	Escala	0,02100	0,20833	0,29167	0,20833	0,29167
	Flexibilidad frente a cambios (0,61441)	Escala	0,04808	0,15000	0,35000	0,25000	0,25000
	1/Tiempo de respuesta (0,11722)	1/Días	0,00917	0,33333	0,16667	0,16667	0,33333
Efectos (0,17134)	Calidad (0,24931)	Escala	0,04272	0,29167	0,20833	0,20833	0,29167
	1/ Medioambiente (huella de carbono) (0,15706)	1/Escala	0,02691	0,15000	0,35000	0,35000	0,15000
	Identificación PMC (0,59363)	Escala	0,10171	0,31818	0,31818	0,22727	0,13636
PONDERACIÓN (S_j)				0,30525	0,25278	0,20087	0,24110

Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013).

Los resultados resumidos se pueden apreciar en la **tabla 8**.

Tabla 8. *Scoring* de las alternativas

Tabla 8a. <i>Scoring</i> normalizado a la suma		Tabla 8b. <i>Scoring</i> normalizado al mayor valor	
Alternativa	Scoring	Alternativa	Scoring
ENVÍOS DIRECTOS	0,30525	ENVÍOS DIRECTOS	0,95115
CROSS DOCKING (HUB)	0,25278	CROSS DOCKING (HUB)	0,78554
HUB Y SPOKE	0,20087	HUB Y SPOKE	0,62503
ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE	0,24110	ALMACENAMIENTO CON RECOGIDA DEL CLIENTE	0,75339

Fuente: elaboración propia a partir de Reina (2013).

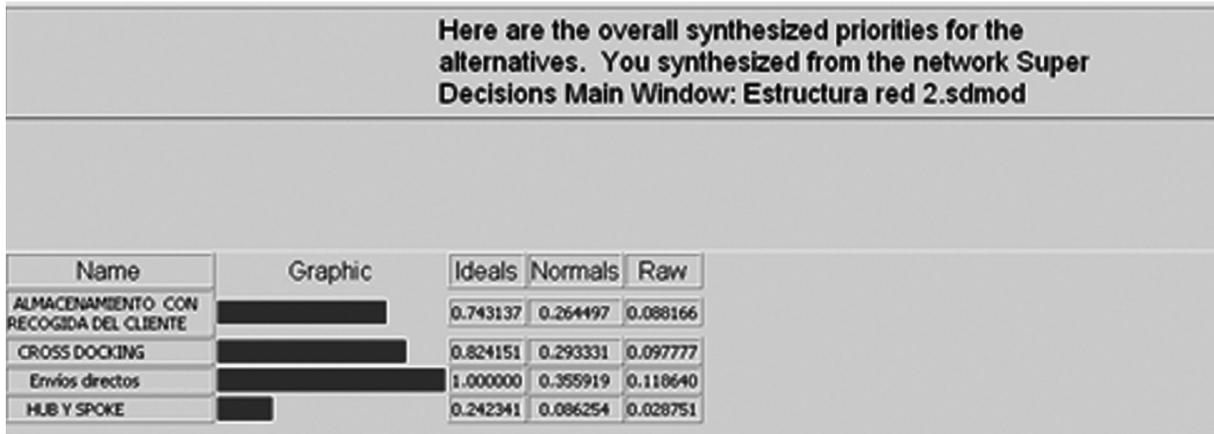
Cuando se halla el *scoring* utilizando los dos métodos de normalización, se validan los diferentes resultados que se originan. De esta manera el análisis de los dos resultados de *scoring* arroja la misma priorización de alternativas e indica que la alternativa de *envíos directos* debe ser la estructura de red de distribución a seleccionar acorde con los criterios de evaluación que fueron aplicados.

Los resultados obtenidos fueron contrastados aplicando el método PAJ y usando el *software* Super Decisions, para lo cual los expertos establecieron la valoración de las alternativas para cada criterio por comparación binaria, al igual que se procedió 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). Dicha comparación se llevó a cabo únicamente para los criterios de servicio y efectos, ya que eran datos cualitativos; para

los criterios financieros, dado su carácter cuantitativo, no fue necesario realizar dicha comparación. Posteriormente, las valoraciones de cada una de las alternativas respecto a los criterios fueron ingresadas en el *software* y los datos cuantitativos fueron ingresados directamente, aunque primero fueron normalizados por la suma, ya que eran cifras que el *software* no permitía.

El *software* procesa los datos y calcula la prioridad global, a través del cálculo de una suma ponderada; el **gráfico 3** ilustra los resultados de la priorización. Los resultados obtenidos confirman los obtenidos a través del cálculo del *scoring*, por lo cual se determina que la estructura de red de distribución considerada más adecuada para el programa Mercados Campesinos, teniendo en cuenta todos los criterios establecidos y ponderados por los expertos, es la estructura de envíos directos.

Gráfico 3. Prioridad global *software* Super Decisions



Fuente: Reina (2013) y Saaty (2005).

Conclusiones

El análisis de decisiones multicriterio resulta ser una herramienta muy útil para los tomadores de decisiones, quienes deben considerar un gran conjunto de variables relacionadas con el objeto a decidir. Métodos como el desarrollado a lo largo de este trabajo permiten disminuir la incertidumbre en el proceso de toma de decisiones, ya que consideran dichas variables y la injerencia de estas en la relación con las alternativas que se pueden presentar.

Resulta interesante acercar estas metodologías a procesos sociales, ya que dada la complejidad que estos implican, herramientas como las aplicadas en este trabajo permiten la consideración de criterios de diversos tipos y la configuración de diferentes opiniones de los actores implicados en el proceso de toma de decisiones.

El análisis de dominancia es muy útil porque permite mostrar la complejidad del problema de decisión multicriterio. El análisis porcentual de dominancia permite visualizar el nivel de superioridad entre alternativas de una manera fácil y de utilidad para ir identificando alternativas apropiadas para la solución del problema.

Fue de mucha utilidad práctica analizar la matriz de decisión, con las técnicas de normalización que guardan proporcionalidad y con los pesos estimados usando PAJ, porque de esta forma se le validan los resultados y se muestra otra forma diferente de justificar una decisión cuando se tiene el tiempo para procesar la información. Además, se pudo establecer para este ejercicio la relación entre las puntuaciones finales de cada normalización. Normalizando por la suma las puntuaciones obtenidas por el método uno, % del max (ai), se obtiene una aproximación a las puntuaciones obtenidas por el método dos, % suma (ai).

En el presente caso se implementó el método PAJ y se contó con el soporte del *software* Super Decisions, lo cual permitió darle mayor fundamento científico al resultado del proceso, ya que dicho método ha sido comprobado en diversidad de casos y contextos; sin embargo, no se debe perder de vista que dicho método está basado en la perspectiva subjetiva de los expertos, lo cual puede agregar un elemento de incertidumbre al resultado del proceso. No obstante, la utilización de este método permite a los tomadores de decisiones desarrollar un proceso reflexivo en torno a las relaciones entre los atributos deseables o no (criterios) y las diferentes alternativas, lo que lleva a desa-

rollar un proceso consciente y más razonable que la toma de decisiones deliberada.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten evidenciar cómo el método PAJ colabora para mejorar el proceso de toma de decisiones, ya que permite estructurar de una forma lógica una gran cantidad de información, tanto del problema como de las posibles soluciones que se pueden plantear. Se evidencia la importancia de involucrar actores locales en la valoración tanto de los criterios como de las alternativas, ya que su conocimiento de primera mano de las implicaciones de la situación es el que podrá asegurar que realmente la solución del problema considerada óptima pueda ser implementada en el contexto real del problema.

Con respecto al trabajo presentado, es importante tener en cuenta que el volumen se tomó *a priori* igual para todas las alternativas, sin embargo para el subcriterio costo de transporte se hizo explícito, ya que para cada alternativa cambiaban. No obstante, se considera pertinente tratar a profundidad el tema en futuras investigaciones.

Finalmente, reseña las múltiples aplicaciones que en el proceso Mercados Campesinos se pueden hacer con el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ). Esta técnica se puede usar para apoyar procesos complejos de toma de decisiones, en casos como el de la selección de proveedores, la selección de clientes, la elección de estrategias de mercadeo, el diseño de rutas de distribución y/o acopio, la planificación de infraestructura, la elección de *software* de sistemas de información, entre otras aplicaciones, en un país como Colombia.

Referencias

Ángel, L. A., Cortés, F. A., Romero, J. I. (2014). Propuesta Metodológica basada en análisis de decisión multicriterio para selección de

alternativas en los procesos de licitación colombiana. *Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo – ENID 2014*. 22, 23 y 24 de octubre de 2014. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Aramyan, C., Ondersteijn, O., van Kooten, O., y Lansink, A. (2006) Performance indicators in agri-food production chains. *Quantifying the Agri-Food Supply Chain*, 15, 49-66.

Belton V., y Stewart, Th. (2002). *Multiple criteria decision analysis. An integrated approach*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Barba, S., y Pomerol, J. Ch. (2000). *Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares: Servicio de Publicaciones. Universidad Alcalá de Henares.

Cano, Y. A., Ariza, J. O., y Cortés, F. A. (2011). Innovación en el proceso de decisión para la adquisición e implantación de un sistema de gestión documental. *vi Congreso Internacional de la Red de Investigación y Docencia en Innovación Tecnológica – RIDIT*. 13,14 y 15 de abril de 2011. Manizales: Colombia.

Chapra, S. C., y Canale, R. P. (2011). *Métodos numéricos para ingenieros*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores.

Cortés, F. A., García, M., y Aragonés, P. (2007). Selección de una tecnología de banda ancha para la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, usando una técnica de decisión multicriterio. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(1), 132-137.

Cos, J. P., y De Navascués, R. (2001). *Manual de logística integral*. Madrid: Fernández Ciudad, S. L.

Chopra, S. (2007). *Supply Chain management: Strategy, Planning, Operation*. Palo Alto: Stanford University.

García, S. B., Jaramillo, I., Cortés, F. A. (2014). *Laboratorios y acreditación: Un análisis multicriterio. Estudio de caso*. Universidad Nacional de Colombia. *iv Congreso de Gestión Tecnológica e Innovación*. Gestión de la innovación para el desarrollo territorial. Noviembre 27-28. Cartagena de Indias, Colombia.

Montoya, G., y Mondragón, H. (2010). *Los mercados campesinos: Comercialización alternativa de alimentos en Bogotá*. Cuadernos Tierra y Justicia. Serie 2(13).

León, O. G. (2001). *Tomar decisiones difíciles*. Madrid: McGraw-Hill.

Reina Úsuga, M. L. (2013). *Logística de distribución de productos perecederos en economía campesina. Departamentos de Cundinamarca y Meta, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de maestría, 2013.

Ríos, S., Bielza, C., y Mateos, A. (2002). *Fundamentos de los sistemas de ayuda a la decisión*. Madrid: Ra-Ma.

Rómero, J. I., Cortés, F. A. (2014). *Mining method selection methodology by Multiple Criteria Decision Analysis. Case study in Colombian Coal Mining*. The International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (ISAHP) for Decision Making. Junio 29-julio 2, 2014. Washington, D.C., Estados Unidos.

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

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

Saaty, Th. (2005). *Superdecisions*. Version 1.6.0. Computer software.

Rodríguez, R. J., y Cortés, F. A. (2012). Selección de una plataforma de inteligencia de negocios: un análisis multicriterio innovador. *Revista Ciencias Estratégicas*, 20(28), 237-255.

Anexo I

Priorización de criterios

A continuación se solicita calificar cada uno de los criterios, según corresponda a:

$C_{ij} = 1$: 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

- Entre el criterio **FINANCIERO** y el de **SERVICIOS**

¿Qué criterio considera más importante?

FINANCIERO **SERVICIOS**

(Marque con una X)

¿En qué grado?

1	3	5	7	9
---	---	---	---	---

- Entre el criterio **FINANCIERO** y el de **EFFECTOS**

¿Qué criterio considera más importante?

FINANCIERO **EFFECTOS**

(Marque con una X)

¿En qué grado?

1	3	5	7	9
---	---	---	---	---

- Entre el criterio de **SERVICIOS** y el de **EFFECTOS**

¿Qué criterio considera más importante?

SERVICIOS **EFFECTOS**

(Marque con una X)

¿En qué grado?

1	3	5	7	9
---	---	---	---	---