

Modelo multicriterio como soporte la gestión de residuos de vidrio en una cadena de suministro de ciclo cerrado

Multicriteria decision making model in the glass waste management in a closed loop supply chain

Vivian Lorena CHUD Pantoja [1](#); Juan Carlos OSORIO Gómez [2](#); Claudia Cecilia PEÑA Montoya [3](#)

Recibido: 27/01/2018 • Aprobado: 03/03/2018

Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

RESUMEN:

Se desarrolló un modelo multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de residuos de envases de vidrio en una cadena de suministro de ciclo cerrado en Colombia, bajo la mirada del eslabón fabricante, identificando 5 criterios y 25 subcriterios. Luego, se aplicó el método AHP con los actores involucrados en la cadena de suministro. El modelo arrojó que los criterios más importantes son el criterio legal y el social, la mejor alternativa es reciclaje con recolección indirecta.

Palabras clave Logística Inversa; Cadenas de Suministro de ciclo cerrado; gestión de residuos; técnicas multicriterio.

ABSTRACT:

A multi-criteria model was developed for the decision-making in the management of glass container waste in a closed loop supply chain in Colombia, from the point of view of the manufacturer link, identifying 5 criteria and 25 sub-criteria. Then, the AHP method was applied with the actors involved in the supply chain. The model showed that the most important criteria are the legal and social criteria, the best alternative is recycling with indirect collection.

key words Reverse Logistics, Closed Loop Supply Chains, waste management, multicriteria techniques.

1. Introducción

La gestión de residuos sólidos es un tema de gran importancia por el acelerado incremento en la generación de los mismos, la contaminación y por la necesidad de manejar adecuadamente los residuos en una empresa. En Colombia se producen cerca de 13 millones de toneladas anuales de residuos sólidos (CONPES, 2016), de los cuales solo un 13% son recuperadas y reincorporadas en el ciclo productivo. De este porcentaje, aproximadamente 7% son recuperados y comercializados por los denominados recicladores o recuperadores informales y 6% son reincorporadas al ciclo productivo a través de convenios directos entre el comercio y la industria (Jimenez, Matilla, Castro, & INPSICON, 2014). Se evidencia que para

el año 2015 el aprovechamiento de los residuos fue relativamente bajo, puesto que el porcentaje de municipios que utilizan planta de aprovechamiento de residuos corresponde solo el 3,09%, en comparación con el 81% de municipios que utilizan disposición en relleno sanitario (CONPES, 2016). Por su parte, Ayres (1998) sugirió que las compañías debían encontrar mejores formas de gestionar los residuos de la industria de tal manera que puedan ser utilizados en otra empresa. Así mismo, como lo dicen Vego, Kučar-Dragičević, & Koprivanac (2008) el rápido incremento en el volumen de residuos sólidos, los problemas específicos en cada sitio y las necesidades de tipo económico, ecológico, operacional y administrativo en la gestión de residuos sólidos requieren el compromiso de los tomadores de decisiones para encontrar nuevos métodos y herramientas que mejoren la efectividad del proceso de toma de decisiones por parte de los actores involucrados. En este sentido, resulta importante que se realicen propuestas de modelos que soporten el proceso de toma de decisión para la gestión de residuos sólidos que involucren alternativas para alcanzar un mayor aprovechamiento de los mismos.

De esta manera, en el momento en que un producto ha perdido el valor funcional para el cual fue elaborado y el consumidor lo desecha, se puede considerar como residuo, el cual debe tratarse para minimizar el impacto ambiental que pueda llegar a causar. Independientemente del tipo de residuo, cuando este se reincorpora al ciclo productivo se habla de Cadena de Suministro de Ciclo Cerrado (CSCC) (Soto, 2007). Una CSCC considera las actividades de flujo inverso, es decir, aquellas cuando el producto después de ser usado es devuelto al productor (por diferentes razones), a lo que se le llama logística reversiva, inversa o de reversa y cuyo propósito es diseñar, desarrollar y controlar sistemas para la gestión eficiente del flujo de retorno de productos fuera de uso, desde el consumidor hacia el productor, con objeto de aprovechar el valor que estos productos aún incorporan. A este proceso de recuperación del valor económico que incorporan los productos fuera de uso se denomina recuperación económica, y se realiza a través de la reutilización, la refabricación y/o el reciclaje de los mismos (Rubio Lacoba, Miranda González, Chamorro Mera, & Valero Amaro, 2007). Las actividades de logística inversa pueden optimizar toda la gestión de los residuos sólidos urbanos y proporcionar su reutilización, remanufactura, reciclaje y la disposición adecuada de los mismos (LOURENÇO, BARBOSA, & CIRNE, 2016) . En general, los productores están buscando caminos eficientes para integrar la logística inversa en sus cadenas de suministro, principalmente para recuperar el valor económico de sus productos retornados y para reducir los costos de disposición de los residuos no recuperables (Realf, Ammons, & Newton, 2000). Sin embargo, decidir sobre cuál es la mejor manera de recuperar el valor del residuo considerando aspectos ambientales, sociales, económicos y técnicos, resulta un desafío para quienes toman la decisión, en el momento en el que se consideran diferentes criterios.

Aunque el Estado Colombiano ha desarrollado instrumentos normativos, técnicos y financieros para el fomento del aprovechamiento y valorización de residuos sólidos municipales y ha trabajado en conjunto con otros actores involucrados como entidades de distintos sectores, se hace necesario generar herramientas que permitan tomar decisiones acertadas para los directamente involucrados en la generación y gestión de residuos, de tal modo que se minimice el impacto de los mismos mediante la aplicación de alternativas de logística inversa. Según la revisión bibliográfica de esta investigación, tomando como referencia la gestión de residuos de envases de vidrio, se encontró que representaba una oportunidad de investigación la aplicación de herramientas de toma de decisión para la gestión en cadenas de suministro de ciclo cerrado en Colombia, por tanto, esta investigación resulta relevante y pertinente, puesto que permitió inicialmente analizar las alternativas y brindar para quienes tomen la decisión una herramienta que soporte este proceso de selección de la mejor alternativa, así como mejorar el porcentaje de residuos reincorporar al ciclo productivo en el largo plazo.

Con relación al residuo resultante de los envases de vidrio, se debe resaltar que tal como lo dicen Ko, Noh, & Hwang (2012), dada su condición de material de empaque representativo, el vidrio es uno de los más importantes que necesita ser controlado. Además, según Hekkert, Joosten, & Worrell (2000) y, Hekkert, Joosten, Worrell, & Turkenburg (2000) mejorar la gestión de dichos materiales puede impactar el medio ambiente, reduciendo el consumo de energía y las emisiones de CO₂ al medioambiente. De igual manera, resulta importante

reconocer que el vidrio es 100% reciclable y aprovechable, y que en Colombia no se ha aprovechado al 100%, con lo cual se podría sugerir una adecuada gestión de este residuo, retornándolo a su ciclo productivo. En este sentido, los investigadores consideran que necesita ser analizada la gestión del envase del vidrio después de este cumple su función de empaque, buscando recuperar su valor y minimizando su impacto ambiental mediante la consideración de alternativas de logística inversa en cada uno de los eslabones de la cadena de suministro.

De este modo, esta investigación desarrolló un modelo multicriterio soporte a la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos para una cadena de suministro de ciclo cerrado de envases de vidrio en Colombia, donde se utiliza la herramienta AHP para tomar la decisión de la alternativa de gestión de residuos más conveniente, en este caso se analizan las decisiones del eslabón fabricante y se presenta una estructura jerárquica compuesta en un segundo nivel por 5 criterios entre los cuales se encuentran el ambiental, social, económico, técnico y legal; y en el tercer nivel se definieron 25 subcriterios de toda la cadena, con los cuales se jerarquizaron las alternativas de logística inversa para los residuos resultantes de los envases de bebidas. Se presenta un aporte al conocimiento desde el punto de vista que no se encuentran modelos multicriterio que soporten la toma de decisión para este tipo de residuos y no se han evidenciado en Colombia este tipo de análisis.

1.1. Técnicas multicriterio en la gestión de residuos

En la literatura se encuentra que se han desarrollado modelos para la gestión de residuos sólidos desde los años 70 (Quintero, Galvis, Marmolejo, & Collazos, 2007), entre los cuales han utilizado herramientas de optimización, simulación y multicriterio. Sin embargo, como lo dicen Vego et al., (2008) el problema de la gestión de residuos es complejo y tiene diferentes niveles de decisión, requiere tomar decisiones considerando múltiples actores involucrados, criterios y alternativas. En este sentido, utilizar herramientas de decisión multicriterio es importante, ya que permite considerar los criterios de la cadena de suministro, las alternativas de logística inversa, así como la inclusión en el proceso de decisión a los diferentes actores involucrados.

Las herramientas multicriterio que se han utilizado en problemas de gestión de residuos son AHP (Analytic Hierarchy Process), ANP (Analytic Network Process), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), ELECTRE (Elimination and Choice Expressing Reality), Toma de decisión de atributos múltiples difusos, además de herramientas de Análisis de Decisiones Multicriterio (ADMC). Quintero et al., (2007) proponen un modelo conceptual que apoya la toma de decisiones en cuanto a la selección de tecnologías sostenibles (SELTEC RS) durante la fase de planeación de un proyecto de gestión integral de residuos sólidos. Por su parte, Vego et al., (2008) hacen uso de la toma de decisiones multicriterio mediante las herramientas PROMETHEE y GAIA en la gestión estratégica de residuos sólidos municipales en Dalmatia, Croacia. Igualmente, Barker & Zabinsky (2011) presentan un modelo de toma de decisión multicriterio para logística inversa usando AHP, que evalúa una jerarquía de criterios y subcriterios incluyendo costos y la relación de empresas para el diseño de red respecto a las decisiones críticas.

En relación con la gestión de residuos sólidos, diferentes autores han utilizado AHP para desarrollar sus investigaciones, en algunos casos utilizan híbridos, es decir, la combinación de herramientas multicriterio con el fin de mejorar el desempeño en la toma de decisiones, las cuales están asociadas por ejemplo a las diferentes alternativas de gestión de residuos, al diseño de redes de logística inversa, a la contratación de proveedores para la gestión de residuos, entre otros.

Lu, Wu, & Kuo (2007) presentan un método para evaluar la eficacia de los proyectos de abastecimientos en el concepto de Cadenas de Suministro Verde (CSV). Específicamente, se presenta un proceso de toma de decisiones multi-objetivo para la gestión (CSV), para ayudar al gerente de la cadena de suministro en la medición y evaluación del desempeño de los proveedores con el uso de AHP.

Contreras, Hanaki, Aramaki, & Connors (2008) presentan una combinación de AHP con la evaluación del ciclo de vida como una herramienta soporte a la decisión de planes de gestión

de residuos sólidos municipales. Así mismo Efendigil, Önüt, & Kongar, (2008) presentan un estudio para determinar el mejor proveedor a subcontratar para realizar las actividades de logística inversa usando un modelo de dos fases basado inicialmente en AHP Fuzzy.

Garfi, Tondelli, & Bonoli (2009) realizan una comparación de diferentes soluciones para la gestión de residuos en los campamentos de refugiados Saharawi (Argelia) y ponen a prueba la viabilidad de un método de toma de decisiones desarrollado para ser aplicado en las condiciones particulares en las que se consideran los aspectos ambientales y sociales. Se basa en un análisis multicriterio aplicando especialmente AHP en un enfoque participativo, centrado en las preocupaciones de la comunidad local.

Así mismo, Barker & Zabinsky (2011) presentan un modelo multicriterio para decisiones conceptuales en el diseño de la red de logística inversa usando AHP, el cual evalúa una jerarquía de criterios y subcriterios, incluyendo costos y relaciones comerciales para decisiones críticas respecto a un objetivo de diseño de la red óptima desde el punto de vista ambiental, mediante el uso de herramientas multicriterio, donde se incluye AHP.

Por su parte, Divahar & Sudhahar (2012) evaluaron la selección del mejor proveedor de Logística inversa mediante la metodología AHP. Así mismo, Kaya (2012) analizó la decisión de subcontratación (outsourcing) para la gestión de residuos de los equipos eléctricos y electrónicos utilizando un enfoque de toma de decisión multicriterio difusa mediante AHP difuso. Chiou, Chen, Yu, & Yeh, (2012) analizaron la consideración de factores para la implementación de la Logística Inversa basados en el estudio de encuestas realizadas a la Industria de electrónicos en Taiwán, usando el método AHP difuso para seleccionar los criterios más importantes según diferentes expertos de las firmas de información y electrónicos, quienes están a cargo del trabajo relacionado con la gestión ambiental. Herva & Roca, (2013) presentan una clasificación de diferentes alternativas de tratamientos de residuos sólidos municipales basado en análisis multicriterio y en la huella ecológica.

Teniendo en cuenta que la gestión de los residuos implica entre otros la remanufactura, autores como Subramoniam, Huisingh, Chinnam, & Subramoniam (2013) identifican una serie de factores que se deben tener en cuenta para desarrollar un Marco para la Toma de Decisiones de Remanufactura (RDMF, por sus siglas en inglés) mediante la integración de la metodología AHP con el fin de determinar las implicaciones en el uso de los procesos relacionados.

Considerando la revisión de la literatura realizada por Achillas, Moussiopoulos, Karagiannidis, Baniyas, & Perkoulidis (2013), se puede deducir que la aplicación de AHP en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de residuos tiene un mayor enfoque con la gestión de residuos sólidos municipales. En esta investigación se abordará un análisis desde el punto de vista estratégico, puesto que se analizarán las decisiones estratégicas relacionadas con la logística inversa en una cadena de suministro de ciclo cerrado.

Osorio et al., (2013) realizaron una revisión de la literatura y un análisis de artículos sobre la aplicación de los modelos de decisión multicriterio y su importancia en la gestión integral de residuos sólidos, relacionando la gestión logística de estos residuos y la utilización de herramientas multicriterio. De aquí se define que la herramienta más utilizada es AHP y algunas extensiones (híbridos). Por tal motivo la herramienta AHP será desarrollada como modelo multicriterio para evaluar los criterios y alternativas de logística inversa para la gestión de residuos en la cadena de suministro de ciclo cerrado del vidrio.

2. Metodología

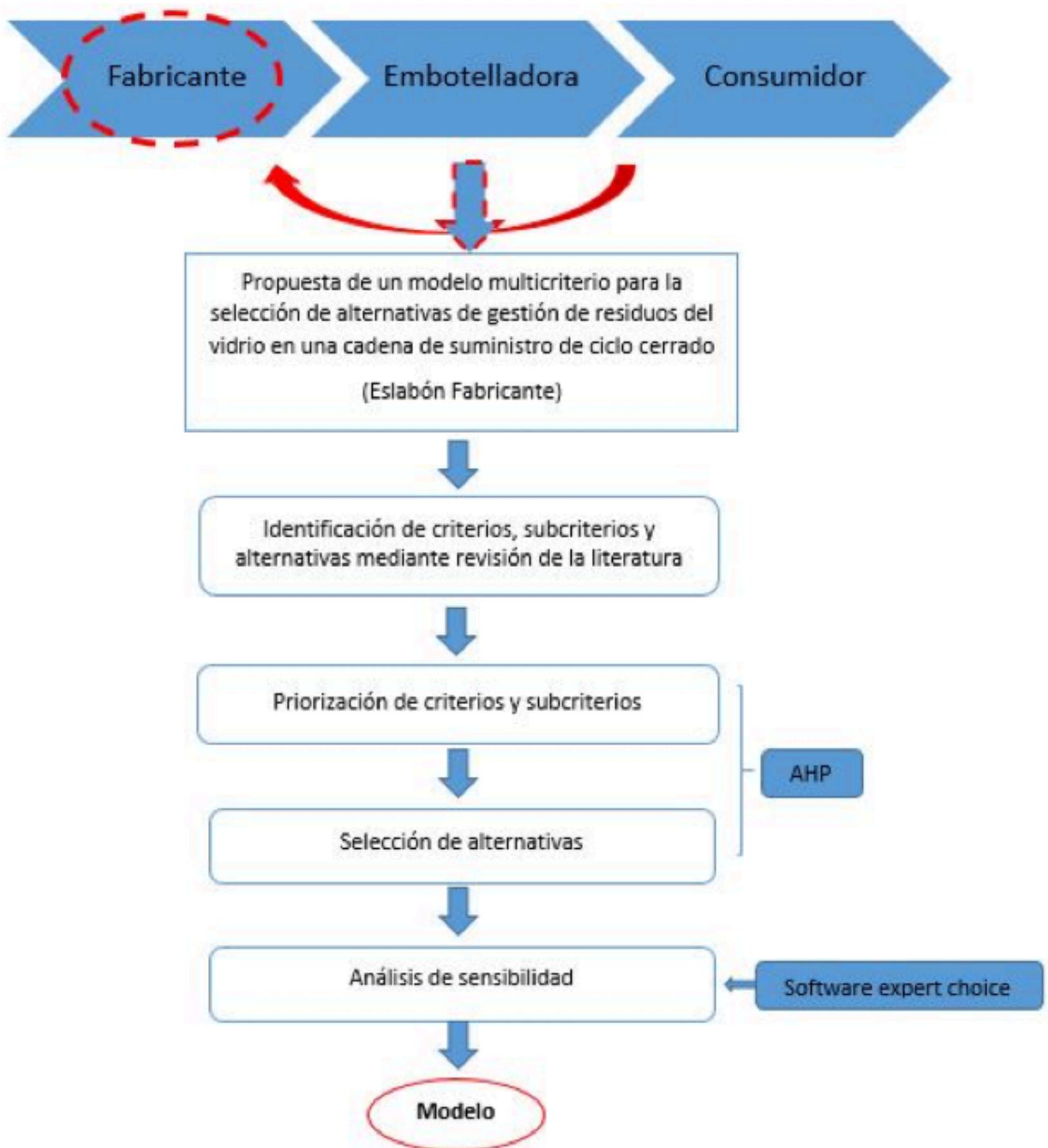
En esta investigación se aplicó la herramienta AHP para realizar la propuesta del modelo multicriterio que permite apoyar el problema de toma de decisión, donde se consideraron alternativas de logística inversa para una cadena de suministro de ciclo cerrado de residuos de envases de vidrio.

El análisis se enfocó inicialmente en identificar los actores involucrados en la toma de decisión de gestión de residuos sólidos en la cadena de suministro de ciclo cerrado del vidrio en Colombia, posteriormente en el análisis de los criterios y decisiones que se deben considerar, tomando como referente los involucrados en la cadena, entre ellos la empresa que fabrica envases de vidrio a partir de vidrio de materia virgen o reciclada; la embotelladora, empresa

que utiliza los envases para empaquetar sus bebidas, representantes del gobierno (alcaldía), reguladores ambientales como CVC, representantes de Universidades y del sector de recicladores, todos estos concentrando su ubicación en el departamento del Valle del Cauca, en un municipio donde se estaba desarrollando el plan de gestión integral de residuos sólidos y para el cual era necesario que todos participaran en el proceso de toma de decisiones sobre la gestión de residuos.

En la Figura 1 se presenta la metodología que se siguió para obtener la propuesta del modelo multicriterio. Inicialmente mediante una revisión bibliográfica se identificaron criterios, subcriterios y alternativas, posteriormente se procedió a priorizar los criterios y subcriterios mediante la aplicación de AHP; realizando una comparación pareada se obtuvieron los pesos de cada uno, en cuyo proceso participaron los involucrados en la cadena de suministro tales como el Fabricante, la Embotelladora, instituciones de educación y asociaciones de recicladores. Una vez priorizados se procedió a jerarquizar las alternativas de logística inversa propuestas para el eslabón fabricante. Se obtuvieron en total 31 matrices de comparación pareadas y los datos de las comparaciones fueron procesadas mediante el software Expert Choice, que permitió obtener resultados de prioridad de criterios y preferencia de alternativas. Finalmente un análisis de sensibilidad mediante el uso del mismo software, este se realizó con la variación de cada criterio incrementando el peso de cada uno en un 50%, iniciando con el criterio Económico, después el Ambiental, Social y Técnico, con el fin de identificar algún tipo de variación en los resultados de preferencias de las alternativas y de esta manera, validar la elección de la mejor alternativa de gestión. No se puede dejar de lado que se analizó la consistencia para cada una de las matrices de comparación utilizando este mismo software. Con lo anterior se obtuvo el modelo multicriterio para la selección de alternativas de gestión de residuos considerando el eslabón fabricante.

Figura 1
Metodología propuesta



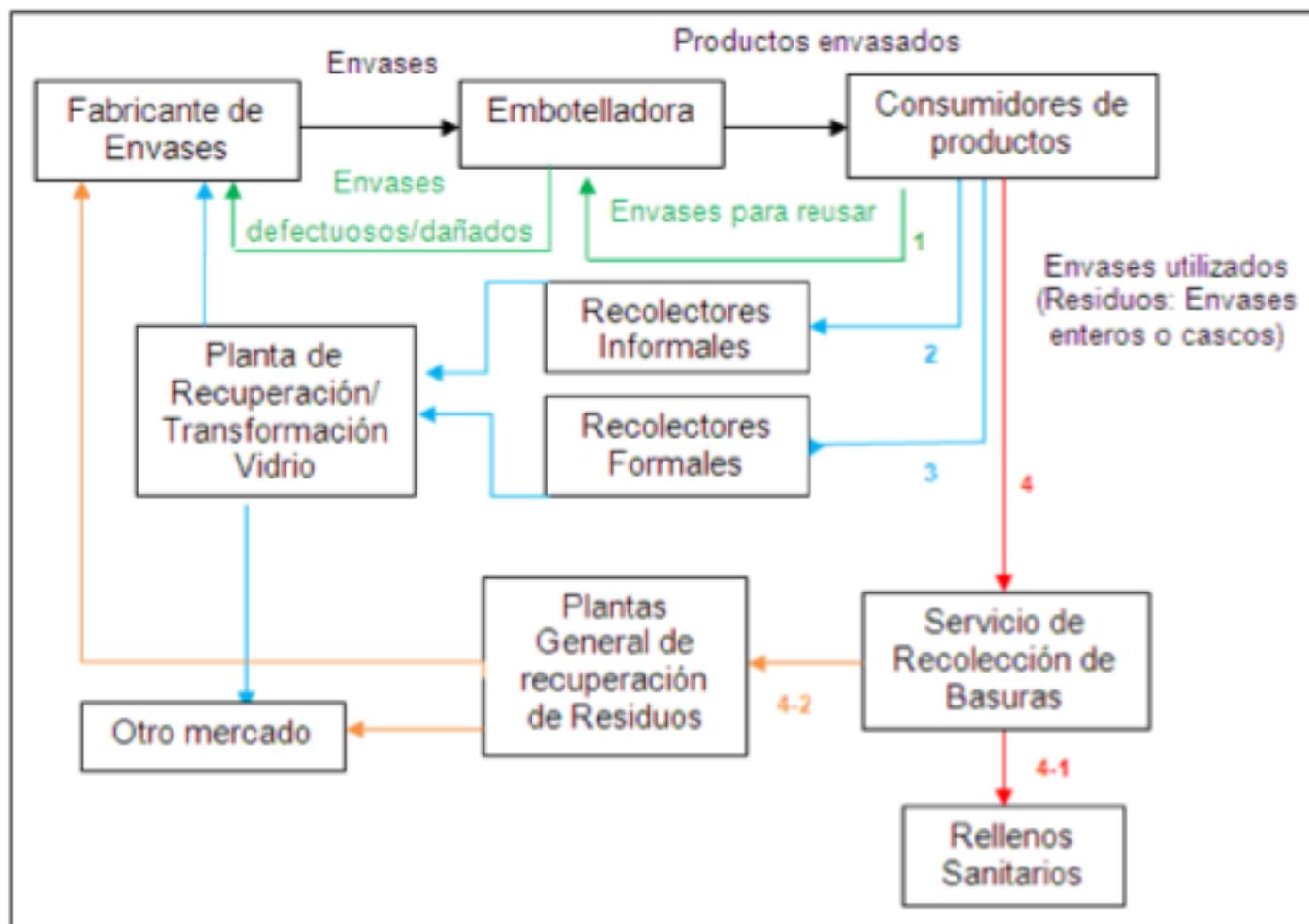
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Este documento presenta como resultados iniciales la identificación de los involucrados en la cadena de suministro de ciclo cerrado de envases de vidrio, los criterios y las alternativas de gestión en toda la cadena, así como el análisis detallado de las decisiones para eslabón fabricante de envases de vidrio, puesto que se identificó que estas son fundamentales en el proceso de reincorporación de los residuos al proceso productivo.

En la Figura 2 se pueden observar los actores que intervienen en esta cadena y el flujo de material entre estos (envases o casco). Inicialmente un flujo directo que comienza cuando el **fabricante** elabora los diferentes envases de vidrio, que son utilizados para los diferentes sectores, por ejemplo, para bebidas gaseosas o jugos, en este sector se embotellan los productos que serán enviados desde las **embotelladoras** a los **consumidores** (también se puede dar el caso de que los productos se dañen en el proceso de envasado y sean enviados al fabricante para que los pueda utilizar como materia prima y elaborar así nuevos envases).

Figura 2
Cadena de suministro de ciclo cerrado de envases de vidrio



Fuente: Elaboración propia

Después de que los productos envasados son consumidos se genera el envase como residuo, se puede considerar el envase entero o el casco (cuando el envase se rompe), en ese momento se pueden generar diferentes opciones: 1) Que el envase sea devuelto a la embotelladora del producto para ser reusado; 2) que el envase sea recolectado por un recolector informal y 3) que sea recolectado por un recolector formal (por la empresa, subcontratación de la empresa u otras empresas dedicadas a este negocio), en estos dos últimos casos estos residuos son llevados a una planta de recuperación o tratamiento para convertirlos en materia prima para el fabricante o para otros mercados; 4) los envases son recolectados por la empresa de servicio de recolección de basuras; 4.1) después pueden ser llevados al relleno sanitario o 4,2) enviados a una planta general de recuperación de residuos, en esta son tratados para convertirlos nuevamente en materia prima y enviados a los fabricante de envases o a otros mercados. Cabe resaltar que en la Figura 2 se presentan las posibles opciones, teniendo en cuenta que algunas pueden generar un mayor impacto ambiental, social o económico.

3.1. Criterios y Subcriterios

El modelo de aplicación AHP consideró cinco criterios (C1: Económico, C2: Ambiental, C3: Social, C4: Técnicos, C5: Legales), y por cada criterio una serie de subcriterios, que en total suman 25 subcriterios, los cuales se presentan con su respectiva notación en la Tabla 1, este resultado se obtuvo de una revisión de la literatura y fue validado por los involucrados en el proceso de toma de decisión.

Tabla 1
Notación de Subcriterios

Subcriterios		Criterios
Notación	Descripción	
SC1.1	Costo por eliminar el residuo del vidrio	

SC1.2	Reducción de la inversión en vidrio virgen, por incluir vidrio recuperado y reciclado	Económico
SC1.3	Costos de recuperación y reciclaje de vidrio	
SC1.4	Costos de inventario (vidrio usado, casco o vidrio reciclado)	
SC1.5	Costos de transporte del vidrio	
SC1.6	Inversión en instalaciones y mano de obra para actividades de recuperación y/o reciclaje	
SC1.7	Beneficios tributarios o incentivos	
SC2.1	Consumo de energía en la gestión de residuo del vidrio	
SC2.2	Reducción de la extracción de recursos naturales como materia prima virgen para el vidrio	
SC2.3	Incremento de la vida útil de sitios de disposición final o rellenos sanitarios	
SC2.4	Consumo de agua en la gestión de residuo del vidrio	
SC3.1	Gestión de recurso humano relacionado con las actividades de gestión de residuos del vidrio	Social
SC3.2	Responsabilidad social corporativa	
SC3.3	Participación de los todos los que tiene un impacto por la generación y gestión del residuo del vidrio	
SC3.4	Comunidad externa	
SC3.5	Aspectos sociales	
SC3.6	Publicidad e imagen de la organización por actividades de gestión de residuos del vidrio	
SC4.1	Reincorporación del vidrio reciclado al ciclo productivo	Técnico
SC4.2	Calidad de los productos de vidrio reusados o fabricados con vidrio reciclado	
SC4.3	Normas técnicas relacionadas con la gestión de residuos de vidrio para los procesos productivos y/o administrativos	
SC4.4	Adecuadas instalaciones y tecnología	
SC4.5	Trasmisión de información técnica del proceso de tratamiento del residuo del vidrio	
SC5.1	Existencia de planes para la gestión de residuos de vidrio	

SC5.2	Decretos y regulaciones para el retorno de productos de vidrio	Legal
SC5.3	Leyes y resoluciones para aplicar técnicas especializadas para la gestión de residuos de vidrio	

3.2. Alternativas para la gestión de residuos en una cadena de suministro de ciclo cerrado de envases de vidrio

En la cadena de suministro de ciclo cerrado de envases de vidrio se cuenta con varias alternativas para la disposición final de los envases, en donde pueden presentarse alternativas relacionadas con cada eslabón de la cadena, y otras con el responsable directo del impacto ambiental que genere su producto (Fabricante de envases).

Alternativas para el fabricante del envase

1. **Reciclaje:** Esta alternativa de reciclaje implica que el fabricante recolecte (recupere) envases enteros usados desechados o convertidos en casco (ambos considerados residuos de vidrio) y los recicle para convertirlos en materia prima y así usarla en la elaboración de sus propios productos. En relación con el reciclaje, la empresa fabricante de envases puede tener distintas opciones para realizar reciclaje, aquí se consideraron tres que se enumeran a continuación:
2. Recolectar envases a través de recolectores formales (la misma empresa), transformar los envases en casco y reciclar el vidrio y convertirlo en materia prima para su producto.
3. Recolectar envases a través de recolectores informales (otras empresas de gestión de residuos), transformar los envases en casco y reciclar el vidrio y convertirlo en materia prima para su producto.
4. Obtener el casco (recolectarlo o comprarlo), reciclar el vidrio y convertirlo en materia prima para su producto.

Alternativas generales

Se consideran como alternativas generales aquellas que aplican para todos los eslabones de la cadena. Como se mencionó anteriormente, una opción que puede considerar cualquier empresa es no realizar ninguna gestión y permitir que haya una disposición final en rellenos sanitarios realizada por las empresas de servicios de aseo (esto por causas particulares de cada compañía) o que la competencia u otra empresa realicen la recolección y el reciclaje:

1. No realizar ninguna gestión
2. Disposición final de los envases (enteros o casco) en rellenos sanitarios o vertederos
3. Permitir que la competencia realice la recolección y el reciclaje.

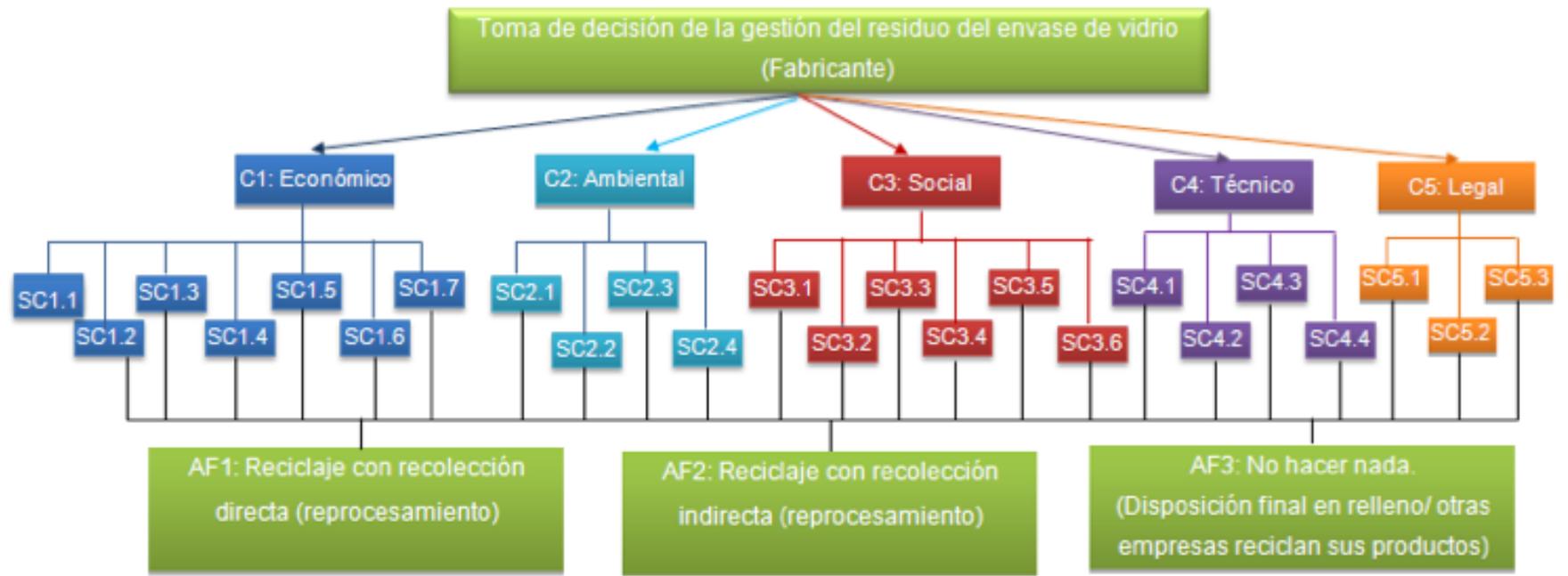
Para el análisis del modelo de decisión se consideraron tres alternativas relacionadas con la gestión de residuos sólidos que competen a la empresa que se encarga de fabricar los envases. AF1: Reciclaje con recolección directa (reprocesamiento); AF2: Reciclaje con recolección indirecta (reprocesamiento); AF3: No hacer nada, es decir, disposición final en el relleno o que otras empresas reciclan sus productos)

3.3. Estructura jerárquica para el eslabón Fabricante

Se estableció la estructura jerárquica AHP para las decisiones del eslabón fabricante de envases presentado en la Figura 3. Se puede visualizar los cinco criterios, 25 subcriterios, y las 3 alternativas que se consideran.

Figura 3

Estructura jerárquica para las decisiones del fabricante de envases.



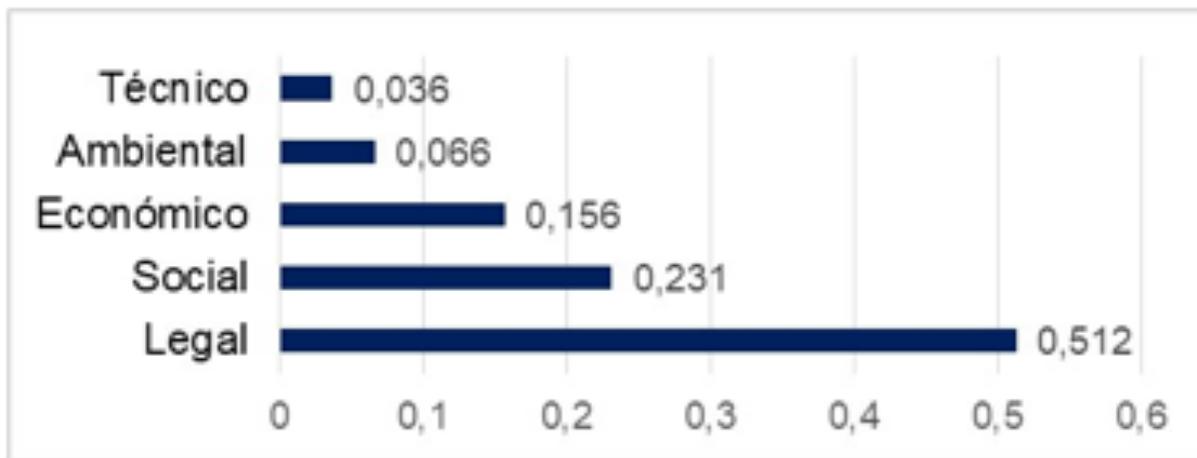
Fuente: Elaboración propia

3.4. Priorización de criterios y subcriterios

Como se puede observar en la Figura 4, el criterio con mayor prioridad es el legal con un 51,2%, seguido por el social con un 23,1%. De acuerdo a la investigación realizada por Barker & Zabinsky (2011) en otros casos de estudio la decisión de cómo recolectar los productos de retorno está determinada principalmente por la clasificación del proveedor para las relaciones comerciales, en este caso del residuo de envases de vidrio esta decisión se determina principalmente por los aspectos legales en los que se involucra el fabricante.

Figura 4

Resultado de prioridades de criterios del modelo multicriterio para el fabricante



En la Tabla 2, se puede observar la prioridad que tiene cada subcriterio dentro de la categoría a la que pertenece. Si se analizan los Subcriterios económicos, los que tiene un mayor peso son el SC1.7 y SC1.1 con 36,4% y 20,8% respectivamente; para los Subcriterios ambientales los que tienen mayor prioridad son SC2.4 y SC2.1 con 45%; en los Subcriterios sociales SC3.1 y SC36 cuyas prioridades son 34,1% y 22,4% respectivamente; en cuanto a los Subcriterios técnicos los más importantes son SC4.3 y SC4.1 con 40,1% y 32,7%; por su parte en los subcriterios legales aquellos que representan mayor prioridad son SC5.2 con 49% y SC5.3 con 45.1%.

Al realizar una comparación con el trabajo desarrollado por Barker & Zabinsky (2011), quienes aplicaron la metodología AHP en tres casos de estudio y solo consideraron como criterios costos y relación de negocios, les arrojó como resultado una mayor preferencia para el subcriterio ahorro en costos por reciclaje de productos en dos de los tres casos estudiados. Mientras que en este estudio, el principal criterio es el legal y se presenta como prioridad el subcriterio decretos y regulaciones para el retorno de productos de vidrio (SC5.2).

Tabla 2

Prioridades de Subcriterios en el modelo multicriterio para el fabricante

Criterio	Subcriterio	Prioridad
Económico	SC1.1	0,208
	SC1.2	0,036
	SC1.3	0,036
	SC1.4	0,036
	SC1.5	0,036
	SC1.6	0,036
	SC1.7	0,364
Ambiental	SC2.1	0,45
	SC2.2	0,036
	SC2.3	0,036
	SC2.4	0,45
Social	SC3.1	0,341
	SC3.2	0,036
	SC3.3	0,036
	SC3.4	0,036
	SC3.5	0,036
	SC3.6	0,224
Técnico	SC4.1	0,327
	SC4.2	0,036
	SC4.3	0,401
	SC4.4	0,036
Legal	SC5.1	0,036
	SC5.2	0,49
	SC5.3	0,451

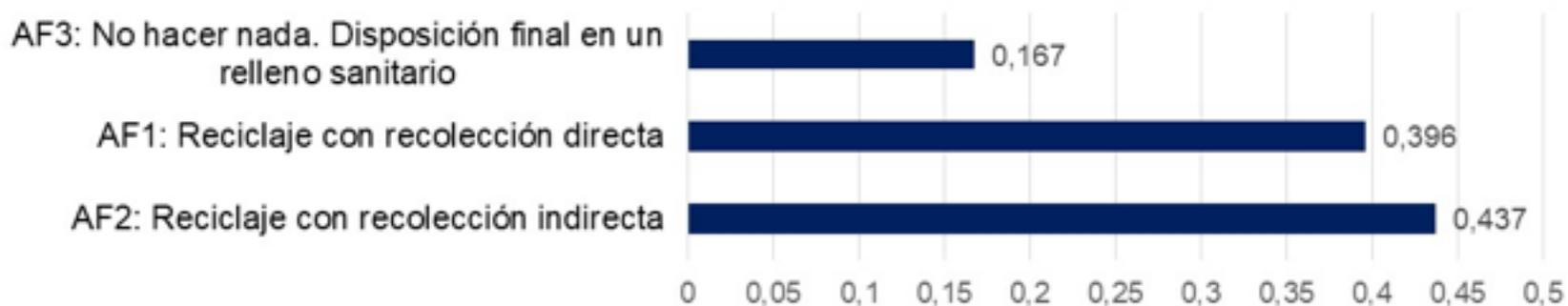
Criterio	Subcriterio	Prioridad	Criterio	Subcriterio	Prioridad
Económicos	SC1.7	0,364	Sociales	SC3.1	0,341
	SC1.1	0,208		SC3.6	0,224
	SC1.3	0,143		SC3.2	0,177
	SC1.5	0,126		SC3.3	0,108
	SC1.2	0,072		SC3.5	0,085
	SC1.6	0,063		SC3.4	0,064
	SC1.4	0,024		Técnicos	SC4.3
Ambientales	SC2.4	0,450	SC4.1		0,327
	SC2.1	0,415	SC4.2		0,173
	SC2.2	0,070	SC4.4		0,063
	SC2.3	0,064	SC4.5	0,035	
			Legales	SC5.2	0,490
				SC5.3	0,451
				SC5.1	0,059

3.5. Preferencias de alternativas

Al considerar las decisiones sobre la gestión de residuos de vidrio para el eslabón Fabricante de envases de vidrio, se obtiene como resultado que la alternativa preferida para el fabricante es la Alternativa 2: "Reciclaje con recolección indirecta" con una valoración final de 43,7%, seguida de la Alternativa 1: "Reciclaje con recolección directa" con un valoración de 39,6%% y por último la Alternativa 3: "No hacer nada, disposición final en un relleno sanitario" con una puntuación de 16,7%, como se puede observar en la Figura 5.

Figura 5

Resultado de preferencias de alternativas del modelo multicriterio para el fabricante con Expert Choice



El fabricante tiene una planta de producción de envases, en donde realiza el reciclaje del residuo del vidrio que ha sido recolectado; se cuenta con centros de recolección ubicados en diferentes lugares del país, esta recolección se realiza por otras entidades o personas naturales que llevan el vidrio de los envases hasta sus centros de recolección el cuál es comprado por el fabricante. De igual manera, sus clientes, empresas embotelladoras también

recolectan el producto que cumple su ciclo de vida y se convierte en casco para vendérselo a su proveedor de envases.

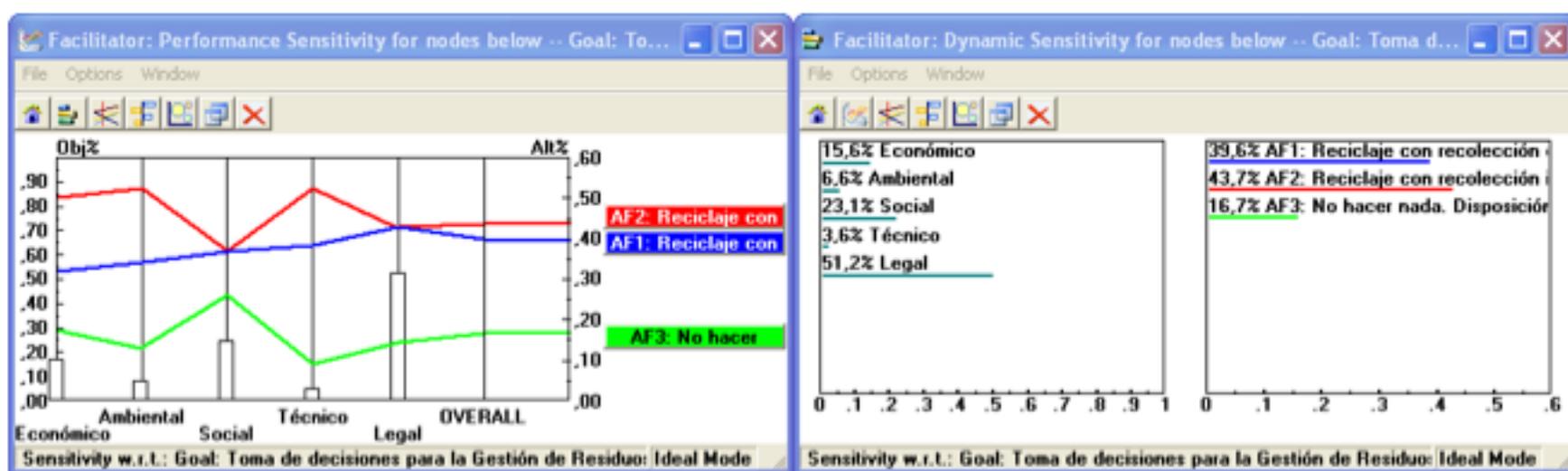
Con lo anterior, se puede indicar que el modelo de toma de decisión de la gestión de residuo aplicado a la cadena de suministro del vidrio para el fabricante de envases es pertinente, y arroja resultados de selección de alternativas acordes a lo que busca la empresa.

3.6. Análisis de sensibilidad del modelo de toma de decisiones del eslabón fabricante

Se realizó una propuesta de análisis de sensibilidad para revisar el impacto que tiene la variación del peso de cada criterio en la selección o preferencia de las respectivas alternativas. En la Figura 8 se puede evidenciar en la parte izquierda que el criterio legal es el que tiene mayor peso (51,2%) y que la alternativa más preferida en cada comparación considerando todos los criterios es la Alternativa 2, correspondiente a la línea roja que está por encima de las otras dos líneas; en la parte derecha de la gráfica se observan los porcentajes puntuales de prioridad de cada criterio y la preferencia resultante de alternativas.

Figura 6

Estado inicial de preferencias de alternativas del fabricante considerando la prioridad de criterios



En la tabla 3, se encuentran los resultados del análisis de sensibilidad para el modelo del fabricante, se presenta el estado inicial y cada una de las variaciones de prioridad de los criterios con los resultados de preferencia de las alternativas. Como se mencionó anteriormente, en cualquiera de los escenarios la preferencia por las alternativas mantiene el mismo orden, en primer lugar la alternativa 2, en segundo lugar la alternativa 1 y en tercer y último lugar, la alternativa 3. La preferencia por la alternativa 2 en todos los casos fue mayor a 43 %, para la alternativa 1 mayor a 34% y para la alternativa 3 mayor a 12%. Además se puede observar que la mayor preferencia por la alternativa 2 se logra cuando la prioridad del criterio técnico es del 50%.

Tabla 3

Resumen de los escenarios del Análisis de Sensibilidad para el modelo multicriterio del Fabricante

Escenario	Criterio Económico [%]	Criterio Ambiental [%]	Criterio Social [%]	Criterio Técnico [%]	Criterio Legal [%]	Preferencia Alternativa 1er lugar [%]	Preferencia Alternativa 2do lugar [%]	Preferencia Alternativa 3er lugar [%]
Estado Inicial	15,6	6,6	23,1	3,6	51,2	A2 = 43,7	A1 = 39,6	A3 = 16,7
C. Económico 50%	50	26	15	7,8	1,2	A2 = 48,9	A1 = 34	A3 = 17
C. Ambiental 50%	4	50	28,8	14,9	2,3	A2 = 47,7	A1 = 35,8	A3 = 16,5

C. Social 50%	6,9	13,1	50	25,9	4,1	A2 = 44,2	A1 = 36,9	A3 = 19
C. Técnico 50%	13,44	25,3	3,5	50	7,8	A2 = 50,9	A1 = 36,8	A3 = 12,2

4. Conclusiones

Son diferentes las opciones que tienen los actores dentro de las cadenas de suministro para contribuir o generar un aporte a la sostenibilidad; sin embargo, tomar la mejor decisión no siempre corresponderá a una tarea fácil porque aunque se pueden tener objetivos claros, son tantos los factores o criterios involucrados que se puede presentar disparidad entre los juicios emitidos por algunos de ellos, en este sentido las herramientas multicriterio como el AHP, resultan de gran importancia para tomar una decisión de selección entre diferentes alternativas en un entorno de múltiples criterios.

En el modelo multicriterio del fabricante de envases de vidrio, los criterios más importantes son el legal seguido del social y después el criterio económico con 51,2%, 23,1% y 15,6% de prioridad respectivamente. Resultando como la mejor alternativa el reciclaje con recolección indirecta, que es coherente, puesto que cumple con los aspectos determinados como que se genera aprovechamiento del residuo, retorna al ciclo productivo y va ligado en el aspecto social por la existencia de empresas y asociaciones que pueden dedicarse a la recolección y/o recuperación del residuo para producir un ingreso en el momento de la venta al fabricante de envases. Aunque se cambie la prioridad de cada criterio hasta un 50% (en escenarios diferentes), la alternativa seleccionada mediante el uso de AHP continúa siendo la misma, reciclaje con recolección indirecta.

En Colombia se cuentan con políticas que promueven la gestión integral de los residuos sólidos como el vidrio, que resulta ser un material cien por ciento aprovechable, sin embargo, no se ha logrado generar un aprovechamiento del 100% de los residuos de vidrio generados por el incremento en el consumo de productos. Actualmente, las empresas y los municipios se encuentran generando aportes independientes representados en acciones que buscan mitigar el impacto social y ambiental negativo, encaminado a la sostenibilidad de las ciudades.

Finalmente, es importante analizar cada eslabón de la cadena de manera independiente del otro, porque en cada uno se pueden tomar decisiones independientes y no excluyentes, además pueden existir intereses y condiciones diferentes y que impactarían la gestión de los residuos desde el alcance que puede llegar a tener cada uno.

Referencias bibliográficas

- Achillas, C., Moussiopoulos, N., Karagiannidis, A., Baniyas, G., & Perkoulidis, G. (2013). The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 31(2), 115–29.
<https://doi.org/10.1177/0734242X12470203>
- Ayres, R. U. (1998). Industrial metabolism: work in progress. *Theory and Implementation of Economic Models for Sustainable Development*, Springer Netherlands, 195–228.
- Barker, T. J., & Zabinsky, Z. B. (2011). A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process. *Omega*, 39(5), 558–573.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.12.002>
- Chiou, C. Y., Chen, H. C., Yu, C. T., & Yeh, C. Y. (2012). Consideration Factors of Reverse Logistics Implementation -A Case Study of Taiwan's Electronics Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40(0), 375–381.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.203>
- CONPES. (2016). 3874. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de

Colombia, Departamento Nacional de Planeación, Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá D.C.

Contreras, F., Hanaki, K., Aramaki, T., & Connors, S. (2008). Application of analytical hierarchy process to analyze stakeholders preferences for municipal solid waste management plans, Boston, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 979–991.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.003>

Divahar, S. R., & Sudhahar, C. (2012). Selection of Reverse Logistics Provider Using AHP. *Procedia Engineering*, 38, 2005–2008.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.242>

Efendigil, T., Önüt, S., & Kongar, E. (2008). A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness. *Computers and Industrial Engineering*, 54(2), 269–287. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2007.07.009>

Garfi, M., Tondelli, S., & Bonoli, A. (2009). Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. *Waste Management*, 29(10), 2729–2739.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.019>

Hekkert, M. P., Joosten, L. A. ., Worrell, E., & Turkenburg, W. C. (2000). Reduction of CO2 emissions by improved management of material and product use: the case of primary packaging. *Resources, Conservation and Recycling*, 29(1–2), 33–64.

[https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00056-7)

Hekkert, M. P., Joosten, L. A. J., & Worrell, E. (2000). Reduction of CO2 emissions by improved management of material and product use: The case of transport packaging.

Resources, Conservation and Recycling, 30(1), 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0921-](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00046-X)

[3449\(00\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00046-X)

Herva, M., & Roca, E. (2013). Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 25, 77–84.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.005>

Jimenez, O., Matilla, I., Castro, K., & INPSICON Ltad. (2014). Informe sobre la política pública de inclusión de recicladores de oficio en la cadena de reciclaje.

Kaya, I. (2012). Evaluation of outsourcing alternatives under fuzzy environment for waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 60, 107–118.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.006>

Ko, Y. D., Noh, I., & Hwang, H. (2012). Cost benefits from standardization of the packaging glass bottles. *Computers and Industrial Engineering*, 62(3), 693–702.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.026>

LOURENÇO, J., BARBOSA, M., & CIRNE, L. (2016). A logística reversa aplicada a gestão de resíduos sólidos urbanos no Município de Campina Grande-PB. *Espacios*, 37(31), 13.

Retrieved from I

Lu, L. Y. Y. Y., Wu, C. H. H., & Kuo, T.-C. C. (2007). Environmental principles applicable to green supplier evaluation by using multi-objective decision analysis. *International Journal of Production Research*, 45(18–19), 4317–4331. <https://doi.org/10.1080/00207540701472694>

Osorio, J. O., Chud, V. ., Peña, C. C., H., V. C., F., M. L., & Torrés, P. (2013). Una aproximación multicriterio a la gestión integral de residuos sólidos en las cadenas de suministro. In *X Optima, VI Red - M. Universidad de Concepción*. Chile.

Quintero, P., Galvis, A., Marmolejo, L. F., & Collazos, H. (2007). Modelo conceptual de la selección de tecnologías para el manejo integral de residuos sólidos en localidades colombianas con menos de 50000 habitantes. In *Conferencia Latinoamericana de Saneamiento, Seminario Gestión de Residuos Sólidos*. Cali.

Realff, M. J., Ammons, J. C., & Newton, D. (2000). Strategic design of reverse production systems. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2–7), 991–996.

[https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(00\)00418-X](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(00)00418-X)

Rubio Lacoba, S., Miranda González, F. J., Chamorro Mera, A., & Valero Amaro, V. (2007). A reverse logistics system at grupo industrial alfonso gallardo. *Universia Business Review*, 88–

Soto, P. (2007). Cadenas de suministro de ciclo cerrado. *La Tribuna Del GREL*, 57, 18–19. Retrieved from <http://cel-logistica.org.mialias.net/subidasArticulos/26.pdf>

Subramoniam, R., Huisingh, D., Chinnam, R. B., & Subramoniam, S. (2013). Remanufacturing Decision-Making Framework (RDMF): Research validation using the analytical hierarchical process. *Journal of Cleaner Production*, 40, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.004>

Vego, G., Kučar-Dragičević, S., & Koprivanac, N. (2008). Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste Management*, 28(11), 2192–2201. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.10.002>

1. Docente tiempo completo. Universidad del Valle Sede Zarzal. Ingeniería Industrial. vivian.chud@correounivalle.edu.co

2. Docente tiempo completo. Escuela de Ingeniería industrial. Universidad del Valle. Ingeniería Industrial. juan.osorio@correounivalle.edu.co

3. Docente tiempo completo. Departamento de Operaciones y Sistemas. Universidad Autónoma de Occidente. Ingeniería Industrial. ccpena@uao.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 39 (Nº 22) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]