

Selección de proveedores de insumos críticos en términos de sostenibilidad, a través de la metodología multicriterio, en una empresa del sector azucarero *

Hugo Ferney Ocampo-Murillo

Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, Cali - Colombia

hfocampo@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9045-2689>

Martha Lucía Quintero-Garzón

Profesora Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle, Cali - Colombia

martha.quintero@correounivalle.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-8069-019X>

RESUMEN

Se presentan aquí, los resultados de una investigación teórico-práctica, en la cual se abarcó el eslabón de suministro, en una cadena de abastecimiento, en una empresa del sector azucarero en el Valle del Cauca. Para la selección de proveedores de insumos críticos, se aplicó la metodología multicriterio, considerando criterios que iban más allá del costo, tomando como referencia una clasificación de insumos de acuerdo a su criticidad en términos de sostenibilidad, para el proceso productivo. Inicialmente, se hizo una caracterización y una selección de los insumos críticos, en términos de sostenibilidad. Igualmente, se identificaron los proveedores para los insumos seleccionados. Luego, y en consenso con un comité escogido al interior de la empresa, se seleccionó y aplicó el método de jerarquía analítica AHP (Analytic Hierarchy Process). Finalmente, se tomó la decisión más acorde a los requerimientos reales de la organización, los cuales consideraban como criterio principal la sostenibilidad, para alcanzar la competitividad y el desarrollo sostenible. Esto contribuirá con el tiempo, a que la organización sea económicamente viable, ambientalmente soportable y socialmente equitativa.

PALABRAS CLAVE

Cadena de abastecimiento; sostenibilidad; insumo; proveedor; análisis de decisión multicriterio; selección

CLASIFICACIÓN JEL

L81

Suppliers' selection of critical supplies in terms of sustainability, through the use of multi-criteria methodology, in sugar sector Company

ABSTRACT

We undertake a theoretical-practical investigation in which we study the supply function carried out by a company in the sugar sector at the Valle del Cauca. For the selection of critical input suppliers, we apply a multi-criteria methodology in which we take into account other criteria besides cost by considering a supplies' classification based on how critical these supplies are for the production process in

Recibido: 05/06/2019 Aceptado: 10/01/2020

* El presente artículo es de naturaleza investigativa y no necesitó ningún tipo de financiación, realizado como caso de estudio aplicado en una empresa. En él se realiza la aplicación de proceso analítico jerárquico para la selección de proveedores de insumos críticos de acuerdo con la sostenibilidad en una empresa del sector azucarero. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) Published by Universidad Libre - Cali, Colombia.

Cómo citar este artículo: OCAMPO-MURILLO, Hugo Ferney; QUINTERO-GARZÓN, Martha Lucía. Selección de proveedores de insumos críticos en términos de sostenibilidad, a través de la metodología multicriterio, en una empresa del sector azucarero. *En:* Entramado. Julio - Diciembre, 2020. vol. 16, no. 2, p. 24-44. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6436>



terms of sustainability. Initially, we classify and select supplies that are more critical in regards to sustainability. Likewise, the suppliers for the selected inputs were identified. Then, in agreement with a committee chosen within the company, we select and apply the analytical hierarchy method AHP (Analytic Hierarchy Process). Finally, according to the real requirements of the organization, the most appropriate decision is made, which considers sustainability as the main criterion to achieve competitiveness and sustainable development. This will contribute to an economically feasible, environmentally bearable, and socially equitable company.

KEYWORDS

Supply chain; sustainability; supplies, supplier; multicriteria decision analysis; selection

JEL CLASSIFICATION

L81

Seleção de fornecedores de inputs críticos em termos de sustentabilidade, através da metodologia multicritério, numa empresa do sector do açúcar

R E S U M O

São aqui apresentados os resultados de uma investigação teórico-prática, que abrangeu o elo de abastecimento de uma cadeia de abastecimento de uma empresa do sector do açúcar no Valle del Cauca. Para a seleção de fornecedores de inputs críticos foi aplicada a metodologia multicritérios, considerando critérios que iam além do custo, tomando como referência uma classificação dos inputs de acordo com a sua criticidade em termos de sustentabilidade, para o processo produtivo. Inicialmente, foi feita uma caracterização e seleção de inputs críticos em termos de sustentabilidade. Do mesmo modo, foram identificados os fornecedores dos factores de produção seleccionados. Em seguida, e em consenso com um comité escolhido na empresa, foi seleccionado e aplicado o método AHP (Analytic Hierarchy Process). Finalmente, foi tomada a decisão mais consentânea com os requisitos reais da organização, que considerou a sustentabilidade como o principal critério para alcançar a competitividade e o desenvolvimento sustentável. Isto contribuirá, com o tempo, para tornar a organização economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente equitativa.

PALAVRAS-CHAVE

Cadeia de abastecimento; sustentabilidade; input; fornecedor; análise de decisão multicritério; seleção

CLASSIFICAÇÃO JEL

L81

I. Introducción

Actualmente, la globalización y la responsabilidad social empresarial (RSE), han impulsado a las organizaciones, en su camino hacia el crecimiento y la competitividad. Para ello, deben gestionar sus cadenas de abastecimiento con una mirada global, que permita optimizar los recursos y ofrecer productos de calidad, que atiendan de forma rápida los requerimientos de los clientes en el mercado.

Dentro de la gestión de las cadenas de abastecimiento, un proceso importante es el abastecimiento de materias primas y/o insumos, el cual es necesario para realizar el proceso misional y operacional de toda compañía. Por ende, es de vital importancia contar con insumos que cumplan

con los más altos estándares, para finalmente garantizar productos en esa misma clasificación.

Para llevar a cabo lo anterior, los encargados del aprovisionamiento en las compañías deben buscar y seleccionar proveedores que garanticen una serie de características que dependerán de las intenciones propias de las compañías en el marco de su objetivo misional; por lo que se hace indispensable o relevante contar con métodos de selección de proveedores claros y definidos que permitan tener control sobre el proceso inicial del aprovisionamiento.

De acuerdo a [Barreneche \(2010\)](#), la selección de proveedores es una actividad que realizan todas las

empresas, dado que, para poner en marcha sus procesos necesitan de una serie de insumos los cuales impactaran directamente en el producto final y sus condiciones de calidad. Por tal motivo, la selección de proveedores óptimos puede traducirse en productos finales que garanticen una alta competitividad de las empresas.

La selección de proveedores hace parte del proceso de abastecimiento en las cadenas de suministro y su adecuada gestión podrá traer grandes beneficios para las compañías en su rendimiento global; lo anterior lo reflejan autores como [Chopra y Meindl \(2008\)](#) y [Ballou \(2004\)](#), quienes coinciden en que la efectividad de las cadenas de abastecimiento, radica en su adecuada gestión en todos los procesos y actividades correspondientes para cada uno de los eslabones.

Adicionalmente, de acuerdo con lo expuesto por [González y Garza \(2003\)](#), seleccionar un proveedor es un problema de decisión de múltiples atributos, el cual se resuelve normalmente de forma empírica. Sin embargo, en la actualidad con los robustos sistemas de calidad de las organizaciones, implementan técnicas matemáticas en la toma de decisiones que se convierten en una herramienta eficaz para la adecuada gestión.

Por lo anterior, y teniendo en cuenta, que la organización donde se realizó esta investigación, tomaba las decisiones de selección de proveedores basada en métodos empíricos, se propuso como objetivo, seleccionar los proveedores de los insumos críticos en términos de sostenibilidad, usando una metodología multicriterio, que permitiera guiar a la empresa hacia una mejora significativa en los procesos de gestión y calidad, que le permitieran ser más competitiva en el sector azucarero.

Después de una revisión bibliográfica, se socializaron las diferentes técnicas consultadas con el comité escogido de la compañía y se decidió que la herramienta más práctica para este caso, era una de las técnicas multicriterio discretas, más conocida como proceso de jerarquía analítica (*AHP*-

Analytic Hierarcy Process), por su fácil entendimiento y aplicación para la organización. Esto debido a la explicación y motivación, que se hizo, en el manejo de la información, de tal forma, que el proceso de implementación de esta metodología, pareciera lo más amigable posible, para el personal involucrado.

Para complementar el artículo, se presenta a continuación un marco teórico que sustenta las temáticas tratadas en la investigación; igualmente, se plantea una metodología, por medio de la cual, se lograron los objetivos propuestos; se presentan los resultados y una discusión de los mismos, al igual que unas conclusiones y las referencias bibliográficas.

2. Marco teórico

Según, [Sarache, W., Castrillón, Ó., & Ortiz, L. \(2009\)](#), la selección de proveedores es una decisión de múltiples criterios y de impacto estratégico en las organizaciones. Los mismos autores muestran que el paradigma del múltiple criterio se presenta como una ayuda efectiva en la práctica de la toma de decisiones y gestión de las organizaciones; por lo anterior la selección de una herramienta multicriterio es de gran ayuda en la selección de proveedores para las empresas.

Por ello, es importante conocer no sólo la conceptualización de algunos términos, sino la relación y su cohesión para la selección de los proveedores, en una cadena de suministros.

2.1. Gestión de la cadena de suministro

La cadena de suministro es definida como el conjunto de proveedores y clientes que se encuentran conectados en sentido directo desde el proveedor inicial hasta el cliente final; de acuerdo a esto, la cadena de suministro o *supply chain* (SC) abarca todas las actividades asociadas con el flujo y transformación de bienes e información, desde la fase de materias primas hasta el usuario final. En la [Figura 1](#), se puede ver un claro ejemplo de los eslabones que se presentan en una cadena de suministro tradicional.



Figura 1. Cadena de suministro tradicional
Fuente: Vilana (2010).

La administración de la cadena de suministro o SCM (*Supply chain management*), considera la adecuada gestión de recursos para la obtención resultados óptimos al momento de generar procesos y entregar el producto final, para ello se requiere que el análisis sea integrado, evitando errores de estudiar la cadena de suministro de una empresa como eslabones que no presentan relación. Por ende, se afirma que la administración de la cadena de suministro consiste en la integración de actividades a través de relaciones mejoradas que permitan adquirir una ventaja competitiva sostenible, mediante la gestión de sistemas de información, aprovisionamiento y compras, programación de la producción, tramitación de pedidos, gestión de inventarios, almacenamiento, servicio al cliente y servicio posventa ([Vilana, 2010](#)).

Cabe resaltar que la gestión de la cadena de suministro presenta dos aspectos fundamentales: el primero, consiste en una gestión de la cadena interna, la cual administra los procesos entre los departamentos de una organización única; el segundo, consiste en administración de las relaciones de una organización con proveedores y clientes. Este segundo aspecto mencionado, presenta un enfoque holístico que permite ver la cadena de suministro como una red de empresas y actividades que lleva a cabo las funciones de desarrollo de productos, obtención de materiales de los proveedores, movimiento de materiales entre instalaciones, producción de productos, distribución de bienes terminados a los clientes y servicio posventa.

La gestión de la cadena de suministro se compone de tres elementos:

- **Procesos de negocio:** son aquellos que pueden atravesar las fronteras intra e íter organizacional, independientemente de la estructura formal. Son siete: gestión de la relación con el cliente, gestión del servicio al cliente, gestión de la demanda, cumplimiento del pedido, gestión del flujo de producción, aprovisionamiento, desarrollo de producto y comercialización.
- **Componentes de gestión:** hace referencia a componentes de la gestión que son comunes a todos los procesos de negocio y miembros de la cadena de suministro; donde se hace importante la gestión de estos componentes comunes, debido a que ellos determinan cómo son gestionados y estructurados los procesos de negocio y, por tanto, la cadena de suministro.
- **Estructura:** esta debe estar definida de acuerdo a consideraciones como complejidad del producto, número de proveedores disponibles y disponibilidad de materias primas. Las dimensiones a considerar

incluyen la longitud de la cadena de suministro y, el número de proveedores y clientes. La relación más apropiada será aquella que mejor se ajuste al conjunto de circunstancias específicas.

Para que la gestión se lleve a cabo de la mejor manera posible, se necesita que la cadena de suministros, sea sostenible. A continuación, se presenta esa relación.

Sostenibilidad de la cadena de suministro

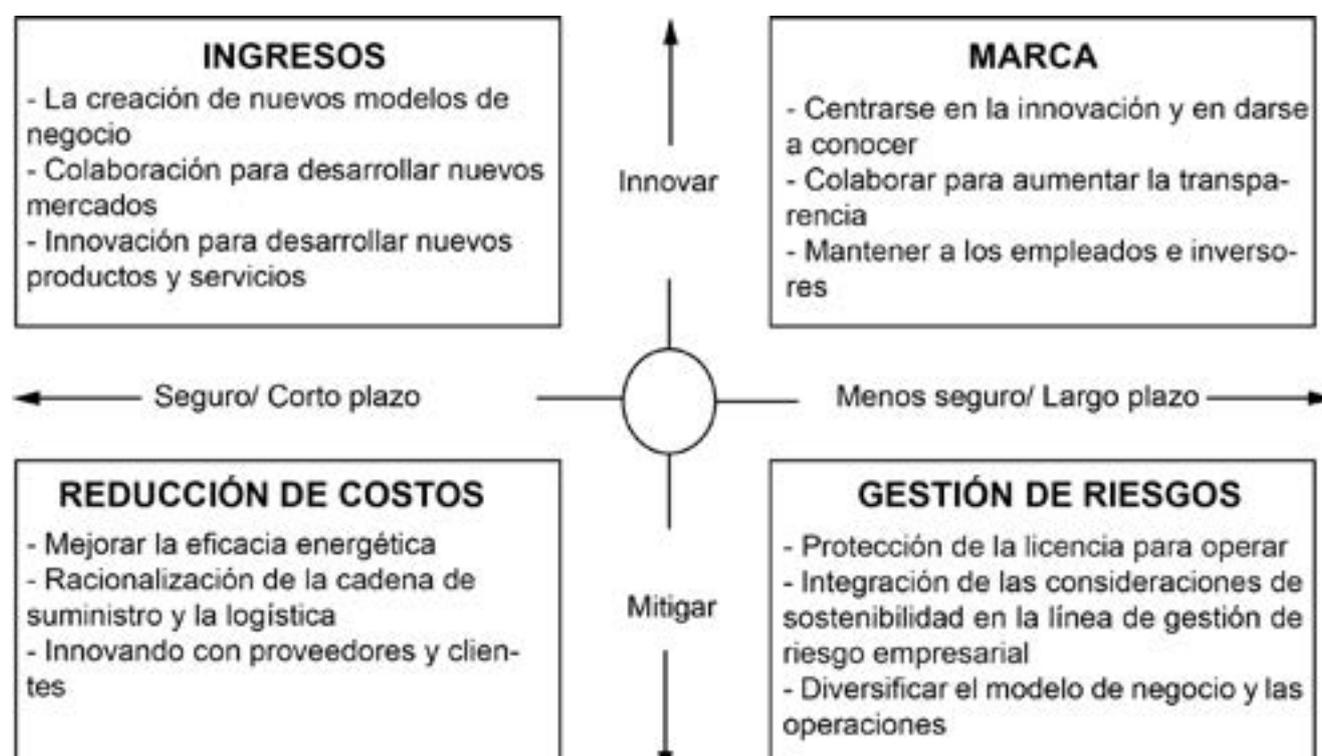
La sostenibilidad de una cadena de suministro se refiere a la coordinación e integración de procesos inter-organizacionales entre los miembros de la cadena para cumplir sus objetivos sociales, medioambientales y económicos. Una cadena de suministro sostenible se define como la integración entre la gestión de materiales, información y flujos de capital considerando las dimensiones económicas, sociales y ecológicas. Al momento de hablar de sostenibilidad en la cadena de suministro debe considerarse la participación de los diferentes eslabones que la conforman como son: proveedores, productores, operadores logísticos y otros relacionados ([Riveros y Rodríguez, 2016](#)).

Las ideas principales al referirse a una cadena de abastecimiento sostenible son el asegurar la viabilidad a largo plazo y la continuidad del negocio, buscando un mejor uso de los recursos y logrando así impactar no solo el aspecto económico sino también el ambiental y el social. Se afirma entonces, que una cadena de suministro sostenible se da entre el aprovechamiento y control de los recursos y, la vigilancia y trazabilidad de todo el proceso ([Ávila, 2014](#)).

La sostenibilidad debe involucrar diferentes factores como lo son: los participantes de la cadena de abastecimiento, las instituciones, el contexto comercial, y los aspectos sociales e institucionales. Adicionalmente, la sostenibilidad económica se encuentra asociada al desarrollo económico y sostenible, el cual permite afrontar las dificultades del presente sin poner en peligro las generaciones futuras ([Castillo, 2011](#)).

Con el fin de lograr una cadena de suministro sostenible se considera la estrategia de gerencia de proveedores, lo cual permite asegurar la calidad e integridad del bien o servicio final, mitigar riesgos e incrementar el rendimiento. Cabe resaltar la importancia de los proveedores al relacionarse con el concepto de sostenibilidad, debido a que el lograr sinergia con éstos, representa una fuente alta de competitividad, debido a que la empresa depende de sus propias operaciones y para determinadas extensiones en las operaciones de sus miembros la cadena de suministro, es decir, sus proveedores ([Ávila, 2014](#)).

Una adecuada gestión de proveedores para una cadena de abastecimiento sostenible significa cambios positivos en los aspectos: ingresos, marca, costos y riesgos (Hanifan, Sharma, & Mehta, 2012).

En la  , se observa una cadena de suministros sostenible.

Igualmente, existen unos retos que se encuentran relacionados con el concepto de una cadena de abastecimiento sostenible. Éstos se categorizan en tres: estratégico, regulatorio y financiero.

Reto estratégico: se busca que el interés de los proveedores se encuentre acoplado con las expectativas de los stakeholders.

Reto regulatorio: consiste en lograr que la información requerida en consultas o generación de informes se encuentre disponible en el momento exacto en el que sea solicitada.

Reto financiero: aplicar operaciones estratégicas que permitan la reducción de costos y otros indicadores académicos.

Los beneficios que permite la cadena en cuestión son el aumentar la confianza con los proveedores, mejorar el posicionamiento de la empresa ante los inversionistas, incentivar a los trabajadores a proponer nuevas técnicas de innovación, ahorrar recursos y reducir residuos.

Para lograr una cadena de abastecimiento sostenible, las empresas deben seguir una serie de pasos entre los cuales se encuentran: realizar el mapa de su cadena de suministro, comunicar las expectativas, evaluar el rendimiento de los proveedores, desarrollar programas de capacitación, conducir la mejora del rendimiento y unirse a la colaboración de la industria (Ávila, 2014).

2.2. Inventarios de insumos

Los inventarios son definidos como un activo de la compañía y son un aspecto importante de la cadena de suministro, debido a que afectan directamente el nivel de respuesta y la eficiencia de la cadena (Vidal, 2004).

Los inventarios de insumos son aquellos en los que se contabilizan los materiales que no han sido modificados por el proceso productivo de las empresas. Para esta clase de



Figura 2. Cadena de suministro sostenible
Fuente: Hanifan (2012)

inventarios como para todo lo que se defina como un inventario se debe aplicar una adecuada gestión, la cual consiste en una serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos. Para ello, se implementa un sistema de inventarios, el cual, es responsable de ordenar y recibir los bienes; de coordinar la colocación de los pedidos y hacerle seguimiento al mismo. Además, el sistema debe mantener un control para responder a preguntas como: ¿El proveedor ha recibido el pedido?, ¿Éste ha sido despachado?, ¿Las fechas son correctas?, ¿Existen procedimientos para hacer un nuevo pedido o devolver la mercancía indeseable? (FIAEP, 2014).

Costos de inventarios: La gestión de inventarios de acuerdo a FIAEP (2014), implica dos costos básicos:

- **Costos de penalización:** por inexistencia de mercancías: son proporcionales a las ventas perdidas por inexistencia del producto, produce problemas de pérdida de imagen en la empresa.
- **Costos de almacenamiento:** representan los costos del capital inmovilizado como de gestión física y administrativa.

De acuerdo con Vidal (2009), los factores de costos que se evalúan en la gestión de inventarios son:

- **Valor unitario del ítem:** este valor se expresa en \$/ unidad, se representa con el símbolo v .
- **Tasa de costo de llevar o mantener inventario:** este costo comprende los costos de servicio del inventario (almacenamiento y manejo), el costo del espacio utilizado, los costos de capital y los costos de riesgo del inventario (los costos de obsolescencia, daños y filtraciones y, los seguros e impuestos). Es representado con el símbolo r .
- **Costo de alistamiento:** se encuentra simbolizado con una A y corresponde a los costos de procesamiento, transmisión, manejo y compra de la orden de inventario. Cabe resaltar que se debe diferenciar entre un costo de ordenamiento para un comerciante y para un productor, ya que para el primero éste representa costos de preparación de formatos, correos, llamadas, autorización de pedidos, manejo de facturas y transporte de la orden; en tanto para un productor se refiere a los rubros relacionados con el montaje de maquinaria fija, transmisión y control de ordenes entre plantas, entre otros de alistamiento en el proceso productivo.

- **Costo de faltante de inventario:** se produce una vez se recibe una orden y no se cuenta con la cantidad de inventario suficiente para suplirla (Vidal, 2009).

2.3. Selección de proveedores

El principio fundamental de la selección de proveedores es la calidad, al considerar que la selección de proveedores es un proceso necesario en toda la organización o en la cadena de suministro. Generalmente, el departamento de compras es el encargado de la búsqueda y selección del proveedor que se ajusta en mayor medida a las necesidades de la empresa.

La selección de proveedores es considerada como un problema multicriterio, el cual incluye factores cuantitativos y cualitativos. Cabe resaltar que para seleccionar al mejor proveedor es necesario hacer una compensación entre estos factores tangibles e intangibles entre los que puede haber conflicto. Se considera que actualmente la selección de proveedores también se encuentra ligado a la optimización de costos y mejora de la variedad de la gama de productos para satisfacer las necesidades del consumidor.

En las técnicas tradicionales de selección de proveedores se cuenta como criterio de decisión el precio y se contrata con diferentes proveedores la compra de un mismo insumo o material, esto con la finalidad de evitar una dependencia del 100%, con un solo proveedor, evitar el monopolio y obtener mejores condiciones al momento de llevar a cabo la negociación. Sin embargo, el enfoque actual de la gestión de proveedores procura mantener una relación estable con determinados proveedores. Se tiende a reducir el número de proveedores e incluso mantener relaciones con un proveedor único para un producto (Virsedá, 2011).

En la Tabla 1, Virsedá (2011), presenta las ventajas del nuevo enfoque, tener uno o varios proveedores, aunque el proceso de selección de proveedores puede llegar a ser muy distinto. Conforme se reduce el número de proveedores también aumenta la dependencia de ellos y el proceso de selección es más complejo y, por lo tanto, no es suficiente con desarrollar una lista estándar de criterios y aplicarla independientemente del proceso. Todo ello hace que aumente el coste asociada a la búsqueda de proveedor.

Para llevar a cabo una adecuada selección de proveedores se debe considerar:

- Evaluar las necesidades y definir los objetivos.
- Reunir un grupo de proveedores.
- Entrevista con los proveedores.
- Seleccionar y aplicar un método.

Tabla 1.
Comparación de alternativas en selección de proveedores.

Varios Proveedores	Proveedor Único
Se asegura la continuidad del suministro en caso de problemas.	Mayor facilidad para coordinar las relaciones y para manejar los flujos de materiales e información.
Se evita el riesgo de excesiva dependencia del proveedor, si nos convertimos en su único cliente.	Menor tiempo y esfuerzo para promover relaciones más estrechas con el proveedor y para evaluar su actuación.
Se disminuyen los costes de cambio de proveedor	Calidad, plazos y servicios más uniformes.
Posibilidad de contratar proveedores cuya capacidad no podría absorber toda la demanda.	Se mejora la responsabilidad del proveedor. Es posible utilizar mejor la capacidad de los proveedores, Disminución de los costes de transporte y distribución, así como la posibilidad de reducir el inventario total en el proceso. Posibilidad de concentrar útiles, herramientas e instalaciones específicas costosas en una sola fuente.

Fuente: Virseda (2011), p.2.

Los criterios de evaluación de proveedores de acuerdo a [Virsedá \(2011\)](#), se presentan en la [Tabla 1](#), donde se hace una comparación que la mayoría de los autores que tratan este tema mencionan, el estudio de Dickson, el cual describe la importancia de 23 criterios clasificados con respecto a su importancia observada a comienzos de los sesenta.

En ese momento, los criterios más significativos eran calidad, entrega a tiempo, rendimiento y garantía y políticas de demanda. En el estudio de Virseda, se manejan 19 recursos y se consideraron 13 criterios. Todos ellos destacaron calidad como uno de los criterios que se debe tener en cuenta y más del 50% de los autores consideran coste, efectividad en la entrega y servicio como otros criterios importantes.

2.4. Toma de decisiones bajo múltiples criterios

La toma de decisiones bajo múltiples criterios se basa en que, para una adecuada toma de decisiones, se deben considerar diferentes metas, que permitan el alcance de objetivos globales de decisión. Al momento de llevar a cabo el ejercicio de toma de decisiones se debe identificar, si el problema es de solución estándar clásico, problemas difusos o problemas donde no existe un método de solución definido. El análisis multicriterio es una herramienta adecuada para este último grupo de problemas, debido a que permite considerar múltiples criterios de una manera explícita, estructurar el problema, así como ofrecer un modelo que ofrezca una decisión racional, explicada y justificada ([Morales, 2011](#)).

Los elementos característicos de la toma de decisiones de acuerdo a [Morales \(2011\)](#) son:

- **Metas:** es lo que se desea lograr en términos de estados específicos de tiempo y espacio.
- **Objetivos:** son los que indican la dirección en la que se debe enfocar el desarrollo del proyecto.
- **Criterios:** son los estándares de juicio o reglas que validan la aceptabilidad de la decisión.
- **Atributos:** son las características, cualidades o parámetros de desempeño de las alternativas a considerar para tomar la decisión.
- **Alternativas:** son las posibles decisiones que favorecen el logro de las metas establecidas.

2.4.1. Clasificación de las técnicas multicriterio

Las técnicas multicriterio de acuerdo a [Cabello \(2017\)](#), se clasifican en dos grupos generales:

Las técnicas multicriterio discretas: son aquellas que utilizan una matriz decisional para el análisis de los diferentes criterios discretos. Para la elaboración de la matriz decisional deben definirse las diferentes alternativas, representadas como m y un conjunto de n alternativas; formando así una matriz n x m. Cabe resaltar, que este enfoque guarda la consistencia en el ámbito teórico, siendo útil para contextos decisionales en los que el número de alternativas factibles sea reducido.

Entre las técnicas multicriterio discretas se tienen:

- **Método de superación: método Electre (*Elimination and choice translating algorithm*):** es un método que

Tabla 2.
Criterios para la evaluación de proveedores.

Estudio de Dickson	Estudio de Virseda
1. Calidad	1. Calidad
2. Entrega	2. Precio/coste
3. Rendimiento	3. Efectividad en la entrega
4. Garantía y políticas de demanda	4. Servicio
5. Capacidad de producción	5. Situación financiera
6. Precio	6. Tiempo de entrega
7. Capacidad Técnica	7. Habilidad técnica
8. Posición financiera	8. Flexibilidad
9. Cumplimiento de los procedimientos	9. Capacidad de producción
10. Sistema de comunicación	10. Desarrollo
11. Reputación y posición en la industria	11. Actitud de gestión
12. Deseo de negocio	12. Tasa de cumplimiento
13. Administración y organización	13. Localización geográfica
14. Control de funcionamiento	
15. Servido de reputación	
16. Actitud	
17. Impresión	
18. Habilidad de embalaje	
19. Relaciones laborales	
20. Localización geográfica	
21. Cantidad de negocios anteriores	
22. Formación	
23. Acuerdos recíprocos	

Fuente: Virseda (2011), p.2.

ha sido reformado con la finalidad de obtener mejores resultados; existen entonces el Electre II, Electre III y Electre IV. Estos métodos se basan en el axioma de comparabilidad parcial fundamental. Cada estructura de preferencia utilizada recoge diferentes tipos de criterios de acuerdo a la complejidad de formulación y la naturaleza del problema.

El método Electre es una técnica que permite reducir el tamaño, el conjunto de soluciones eficientes, mediante la participación de subconjuntos. Adicionalmente, esta técnica utiliza pseudocriterios, matriz decisional, matriz de concordancia, matriz de discordancia, y grafo de superación del método

- **Método de jerarquía analítica (AHP- Analytic Hierarchy Process):** Es un método que combina aspectos tangibles e intangibles con el fin de obtener en una escala de razón, las prioridades asociadas a las diferentes alternativas.

Según Saaty (2008), el proceso de jerarquía analítica (AHP), es una teoría de medición a través de comparaciones por pares y se basa en los juicios de expertos para derivar escalas de prioridad. Son estas escalas las que miden los intangibles en términos relativos. Las comparaciones se realizan utilizando una escala de juicios absolutos que representa, cuánto más, un elemento dominio, a otro con respecto a un determinado atributo. Los juicios pueden ser inconsistentes y cómo medir inconsistencias y mejorar los juicios, esa es una preocupación del AHP, por ello, hay que hacer cuanto sea posible para mejorar la consistencia. Las escalas de prioridad derivadas son sintetizadas, multiplicando por la prioridad de sus nodos principales.

En otras palabras, esta técnica se caracteriza por modelar el problema de forma gráfica, para ello, utiliza una estructura jerárquica. Adicionalmente, usa una comparación por pares y una escala válida para la toma de decisiones. El AHP se caracteriza por facilitar la organización de información de los problemas, su descomposición, análisis por partes y sintonización.

Esta herramienta consta de cuatro axiomas: el primero consiste en la intensidad de preferencias; el segundo indica que los elementos que son comparados deben ser del mismo orden de magnitud respecto a una misma propiedad; el tercero dice, que es posible determinar y controlar el tipo de dependencia de los elementos de dos niveles consecutivos en la jerarquía y dentro del mismo nivel, el cuarto axioma consiste en que las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas. Al considerar estos axiomas se determina la formulación y resolución del problema de decisión como una jerarquía y se hacen explícitos los juicios en forma de comparación por pares.

- **Método axiomático de Arroe - Raynaud:** Este método asocia los problemas multicriterio con la teoría de la elección social, donde se considera que cada criterio es un agente social, generando así una correlación perfecta entre los problemas y la elección social.

Las técnicas multicriterio continuas: se caracterizan porque la cantidad de alternativas que considera el decisor son infinitas. Esta clase de técnicas son utilizadas en ambientes de certeza, es decir, que se cuenta con información completa acerca de los estados de la naturaleza que se van a presentar en momentos posteriores. Cabe resaltar que, en ocasiones, no se hace posible optimizar simultáneamente todos los objetivos, debido a que se presentan conflictos entre los mismos o se carece de recursos necesarios para la ejecución.

- **Matriz de pagos:** Es un método que permite cuantificar el nivel de conflicto existente entre los objetivos considerados. La dimensión de la matriz coincide con el número de objetivos y se obtiene mediante la optimización individual de éstos, calculando los valores obtenidos por el resto de objetivos en cada solución óptima. En la diagonal principal de la matriz se identifican dos puntos principales uno es el punto ideal y el otro el punto anti-ideal.

Técnicas generadoras del conjunto eficiente: Es una técnica que se caracteriza por extraer las soluciones eficientes del conjunto de soluciones factibles. Estas soluciones eficientes son denominadas óptimas de Pareto y son aquellas en las que no se puede alcanzar una mejora en el objetivo sin que empeore ningún otro. Entre estas técnicas se encuentra el método de las ponderaciones, el método de las restricciones y el método simplex multicriterio.

Técnicas con información a priori: Se caracterizan por la necesidad de conocer información referente a las

preferencias del decisor. El objetivo de estas técnicas es determinar las soluciones que mejor se adapten a dichas preferencias.

2.4.2. Aplicaciones de la toma de decisiones bajo múltiples criterios

Debido a que se considera que la toma de decisiones es fundamental en la búsqueda de la eficiencia y productividad de las empresas, de los sectores industriales y de las regiones; se utilizan las técnicas multicriterio para la toma de decisiones en dichos escenarios, esto por sus características entre las que se encuentra la intervención de múltiples variables o criterios de selección.

Según [Cabello \(2017\)](#), algunas de las aplicaciones de la toma de decisiones bajo múltiples criterios son: selección de carteras, licitación pública, determinación del impacto ambiental y valoración de los activos medioambientales, reemplazo de los equipos industriales, la selección de proveedores, entre otras.

- **Selección de carteras:** en este caso los métodos multicriterio permiten identificar la cartera de activos óptima para el conjunto de criterios tenidos en consideración. Entre las técnicas aplicadas a este caso específico se encuentran las desarrolladas por Baumol, Brewster y Philippatos, así como la programación por metas y el proceso analítico jerárquico (AHP).
- **Licitación pública:** en esta aplicación se estudia cual es el mejor proyecto, además, que ahorre recursos al estado. Los métodos más utilizados consisten en establecer una serie de criterios y su peso relativo; también se utiliza el método AHP mediante la aplicación de números fuzzy.
- **Determinación del impacto ambiental y valoración de los activos medioambientales:** los métodos multicriterio son útiles para la determinación de alternativas, identificación y valoración de los impactos ambientales; permitiendo obtener las mejores soluciones para el conjunto de objetivos. Una de las metodologías utilizadas para el desarrollo de estas soluciones es el método AHP.
- **Reemplazo de equipos industriales:** este estudio surgió debido a la necesidad de determinar el momento óptimo para el reemplazo de los equipos industriales, este problema nace en el año 1933 y desde entonces se ha realizado enriquecedores estudios. El contexto de esta situación indica que los modelos de reemplazo tienen una naturaleza de múltiples metas y objetivos por alcanzar, motivo por el cual las técnicas multicrite-

rio son de alta utilidad, permitiendo la incorporación de variables tecnológicas y técnicas al análisis. Entre las técnicas utilizadas se encuentran la de indicador integral de reemplazo (IIR) y el método AHP.

- **Selección de proveedores:** esta es una de las actividades significativas para el correcto funcionamiento de las compañías. Para la selección del proveedor se deben considerar aspectos diferentes al precio, incluyendo así factores de calidad, fiabilidad y confianza. De acuerdo a esto, se indica entonces, que la decisión de selección de proveedor corresponde al ámbito multicriterio y de impacto estratégico. Se considera que una de las metodologías multicriterio más acertada para este caso es el método AHP, el cual ha sido implementado por diferentes autores. Otras técnicas utilizadas son el método Electre II y la programación por objetivos difusa.

3. Metodología

Son diversos los métodos y/o mecanismos existentes en la literatura y en la práctica, para la selección de proveedores. Por lo tanto, es necesario que cada empresa evalúe cual es el mecanismo que mejor se ajusta a su operación y capacidad para hacer la toma de decisiones más apropiada a sus necesidades.

Para efectos prácticos y atendiendo al conocimiento y habilidad del recurso humano de la empresa caso de estudio, se decidió que el método más apropiado para este caso era el proceso analítico jerárquico (AHP). Esto debido al conocimiento y la facilidad en la transferencia del mismo, por parte de los autores; y, al manejo y practicidad para los expertos que intervinieron en el problema.

Además, el AHP se caracteriza por facilitar la organización de información de los problemas, su descomposición, análisis por partes y sintonización; haciendo mucho más fácil el manejo y aplicación del método.

Adicionalmente, para aplicar el método, se consideró lo siguiente:

A partir de un listado de insumos críticos, de la empresa caso de estudio del año 2014 y de acuerdo a criterios del área de calidad, que tenían que ver con insumos indispensables en cantidad y calidad, se escogieron los tres insumos más críticos.

Para ello, se pidió a un grupo de expertos del área de calidad, hacer una selección de los insumos más importantes de acuerdo a las condiciones y políticas de sostenibilidad de la compañía considerando aspectos como productividad, inocuidad y calidad.

De acuerdo a esas condiciones en términos de sostenibilidad, se determinó que el insumo más crítico era el hidróxido de calcio, seguido de una serie de compuestos químicos entre los cuales se fundamentó su selección, en los niveles de consumo y contaminación que podían producir, además de la importancia dentro del sistema productivo de la empresa.

Para dar alcance a este trabajo y desarrollar el modelo de selección, se escogieron los tres insumos más críticos en el proceso productivo. Determinando, por tanto, que los insumos a valorar serían:

- Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Profloc 932 (floculante)
- Alcohol anhidro

Alternativas de proveedores: Después de haber seleccionado los tres insumos para el desarrollo del trabajo, se procedió a analizar los posibles proveedores de dichos insumos teniendo en cuenta que cumplieran con las condiciones mínimas exigidas por la empresa. Entre las condiciones analizadas se tuvieron: información general del proveedor, ubicación, precio contra competencia, legalidad, derechos humanos, medio ambiente, prácticas laborales, prácticas éticas. En la , se aprecian los proveedores para los insumos.

Tabla 3.
Proveedores por insumo.

Criticidad	Insumo	Proveedor
1	Hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$	PRODECALES S.A. CALTEK S.A.S PROTECNICA INGENIERIA SAS
2	Profloc 932 (floculante)	CHEMICAL COACHING SERVICES SAS LIPESA COLOMBIA SA
3	Alcohol anhidro	CONQUIMICA SUCROAL S.A.

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber definido los insumos de trabajo, los posibles proveedores y el método AHP, se procedió a hacer la aplicación de dicho método con los datos del estudio. Para ello, se desarrollaron los siguientes pasos, que se toman como una adaptación de lo propuesto por [García y Lamata \(2009\)](#).

Paso 1: Definición del objetivo general. Consiste en indicar el objetivo general del problema e identificar los criterios y/o subcriterios que más influyen.

Paso 2: Definición del árbol de decisión: Consiste en crear el árbol de decisión con criterios, subcriterios y alternativas del sistema de selección.

Paso 3: Definición expertos que evalúan el sistema: Consiste en la definición de los expertos que con sus juicios valoran el sistema comparando importancias entre criterios, subcriterios y alternativas.

Paso 4: Evaluación por parte de los expertos: Consiste en la valoración de los expertos a las comparaciones por pares entre criterios, subcriterios y alternativas de acuerdo al árbol de decisión de cada insumo.

Paso 5: Selección de proveedores: Consiste en seleccionar el mejor proveedor para cada insumo a partir de la ponderación entre el peso global de los subcriterios y el peso de cada alternativa en los mismos.

Paso 1: Definición del objetivo general. En tal sentido, el objetivo general en este caso fue seleccionar el proveedor más adecuado para cada insumo correspondiente y, los criterios y subcriterios. De acuerdo a lo establecido por la empresa caso de estudio.

Para la selección de criterios y subcriterios, se tuvo en cuenta lo establecido por la empresa, en sus políticas de calidad y sostenibilidad, que buscan mejorar su competitividad. En los cuales las variables de sostenibilidad estaban asociadas con la viabilidad económica, medio ambiente y cumplimiento legal. Igualmente, en los criterios de calidad, se tomaron en cuenta el cumplimiento en general de las especificaciones, los plazos de entrega y el precio. Además, de criterios de mercado, como capacidad de adaptación e innovación. En la [Tabla 4](#), se muestran estos criterios y subcriterios:

Paso 2: Definición del árbol de decisión. En este paso, se llevó a cabo la valoración de los elementos a través de la comparación por pares. En esta etapa se utilizó la escala de valoración propuesta por Saaty (citado en [García-Gomez, 2013](#)) (Ver [Tabla 5](#)).

En la [Tabla 6](#), se observa la relación del árbol de decisión del insumo hidróxido de calcio con los criterios, subcriterios y posibles proveedores; en la [Tabla 7](#), se observa el árbol de decisión del insumo alcohol anhidro, con los criterios, subcriterios y posibles proveedores, y en la [Tabla 8](#), se observa el árbol de decisión del insumo floculante, con los criterios, subcriterios y posibles proveedores.

Paso 3: Definición expertos que evalúan el sistema. Los expertos se seleccionaron, teniendo en cuenta, que eran los involucrados directos, en la toma de decisión de la compra de insumos.

- E1: Jefe de compras
- E2: Jefe de Calidad
- E3: Jefe de producción

4. Resultados

De acuerdo a [Sarache, Castrillón y Ortiz \(2009\)](#), la selección de proveedores es una decisión de múltiples criterios y de impacto estratégico en las organizaciones. Igualmente, muestran que el paradigma del múltiple criterio se presenta como una ayuda efectiva en la práctica de la toma de decisiones y gestión de las organizaciones; por tanto, la selección de una herramienta multicriterio es de gran ayuda en la selección de proveedores para las empresas.

En la actualidad, la empresa caso de estudio, toma las decisiones de selección de proveedores basada en métodos

empíricos, por tanto, los resultados que se presentan de esta investigación son pertinentes, puesto que pretenden guiar a la empresa hacia una mejora significativa en los procesos de gestión y calidad, que le permitirán ser más competitiva en su sector.

Para efectos prácticos se desarrollaron los pasos mencionados, de la siguiente manera:

Tabla 4.
Criterios y subcriterios del sistema.

	CRITERIOS		
	De Sostenibilidad	De Mercado	De Calidad
	Viabilidad Económica	Capacidad de adaptación	Cumplimiento especificaciones
SUBCRITERIOS	Cumplimiento de ley	Innovación	Plazo de entrega
	Gestión ambiental		Precio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.
Escala de valoración de Saaty

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda
2,4,6, y 9	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar.	

Fuente: García (2013).



Figura 3. Árbol de decisión hidróxido de calcio
Fuente: Elaboración propia

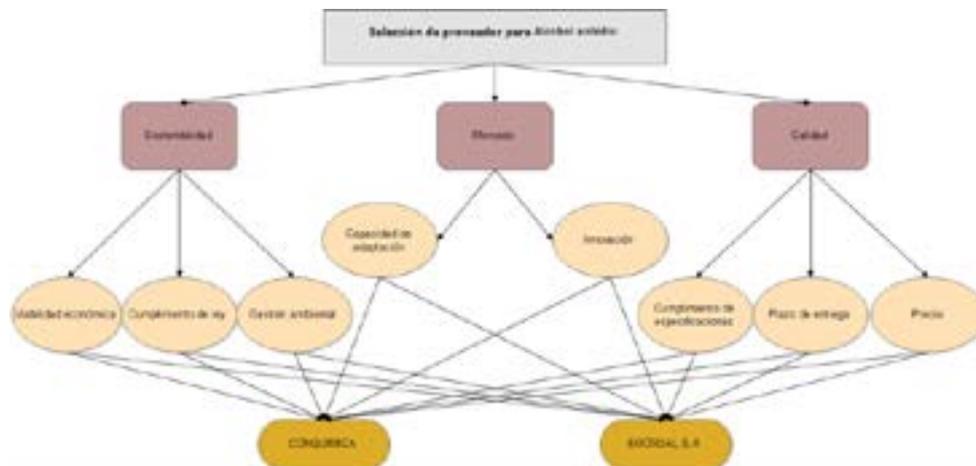


Figura 4. Árbol de decisión alcohol anhidro
Fuente: Elaboración propia

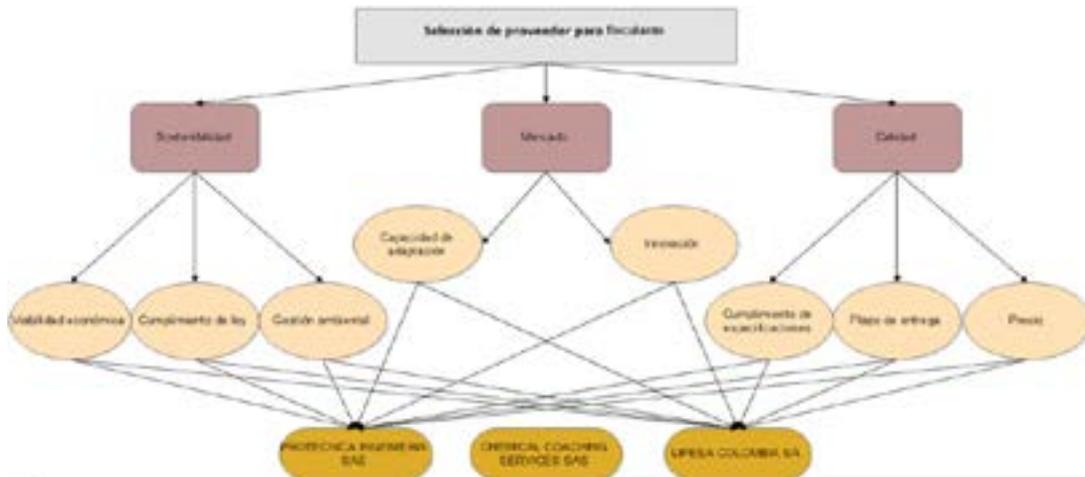


Figura 5. Árbol de decisión floculante
Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Evaluación por parte de los expertos. En este caso, se presentó a cada uno de los expertos, un conjunto de matrices en las que inicialmente compararon los criterios entre ellos mismos, posteriormente los subcriterios de cada criterio y finalmente las alternativas para cada subcriterio.

Para efectos de guía en la valoración de los expertos, en la *Tabla 6*, se presentan las notaciones que se usaron en

las matrices para referirse a los criterios y subcriterios; en la *Tabla 7*, se presentan las notaciones que se usaron en las matrices para referirse a las alternativas del insumo hidróxido de calcio; en la *Tabla 8*, se presentan las notaciones que se usaron en las matrices para referirse a las alternativas del insumo floculante, y en la *Tabla 9*, se presentan las notaciones que se usaron en las matrices para referirse a las alternativas del insumo alcohol anhidro.

Tabla 6.
Notación para criterios y subcriterios.

SUBCRITERIOS		Criterios
Notación	Descripción	
SC1.1	Viabilidad Económica	Sostenibilidad C1
SC1.2	Cumplimiento de ley	
SC1.3	Gestión ambiental	
SC2.1	Capacidad de adaptación	Mercado C2
SC2.2	Innovación	
SC3.1	Cumplimiento especificaciones	Calidad C3
SC3.2	Plazo de entrega	
SC3.3	Precio	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.
Notación para alternativas del insumo I (hidróxido de calcio).

Notación	Descripción
AI1.1	PRODECALES S.A.
AI1.2	CALTEK S.A.S

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8.
Notación para alternativas del insumo 2 (Floculante).

Notación	Descripción
AI2.1	PROTECNICA INGENIERIA SAS
AI2.2	CHEMICAL COACHING SERVICES SAS
AI2.3	LIPESA COLOMBIA SA

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.
Notación para alternativas del insumo 3 (Alcohol anhidro).

Notación	Descripción
AI3.1	CONQUIMICA
AI3.2	SUCROAL S.A.

Fuente: Elaboración propia

Después de haber socializado las notaciones de guía a cada uno de los expertos, se procedió a entrevistarlos de manera individual y se les pidió que, de acuerdo a su experiencia, realizaran la comparación por pares. Esto se fue registrando en cada una de las plantillas del sistema definido. El proceso se realizó en un intervalo de un mes, con sesiones de 2 horas semanales con cada uno de los expertos.

Cabe anotar en este punto que, para la valoración, tanto de criterios, como de subcriterios y alternativas, se realizó un diseño propio de las plantillas en MS EXCEL.

También es importante aclarar, que en la valoración de los criterios y los subcriterios se determina la importancia

de estos frente al objetivo-meta, mientras que en las alternativas es la preferencia que da el decisor de cada una de éstas con respecto a los criterios.

Valoración de criterios: Como primera parte de la evaluación, se solicitó a los tres expertos valorar la matriz de comparación de criterios.

En la [Tabla 10](#), se evidencia la valoración comparativa para los pares de criterios realizada por el experto 1. En la [Tabla 11](#), se presenta la valoración comparativa para los pares de criterios realizada por el experto 2 y en la [Tabla 12](#), la valoración comparativa para los pares de criterios realizada por el experto 3.

Tabla 10.
Comparación de criterios - Experto 1.

	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	1	0,11111111	0,14285714
Mercado	9	1	3
Calidad	7	0,33333333	1
TOTAL	17	1,44444444	4,14285714

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.
Comparación de criterios - Experto 2.

	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	1	3	0,14285714
Mercado	0,33333333	1	0,11111111
Calidad	7	9	1
TOTAL	8,33333333	13	1,25396825

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.
Comparación de criterios - Experto 3.

	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	1	0,33333333	0,33333333
Mercado	3	1	1
Calidad	3	1	1
TOTAL	7	2,33333333	2,33333333

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se consolidaron las valoraciones en una sola matriz de pares de criterios. Para ello, se hizo la productoria de las 3 matrices, obteniendo como resultado la matriz de la .

En cuanto a la matriz consolidada, a cada valor de la matriz se le elevó a una potencia de $1/n$, donde n es el número de

expertos, en este caso 3. Así pues, la matriz consolidada de criterios quedó como se muestra en la .

Después de obtener la matriz consolidada se procedió a normalizar dicha matriz, de tal manera, que cada valor se divide por el total de su columna correspondiente. Así, se obtuvo la .

Tabla 13.
Productoria de matices de expertos.

PRODUCTORIA	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	1	0,11111111	0,00680272
Mercado	9	1	0,33333333
Calidad	147	3	1
TOTAL	157	4,11111111	1,34013605

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14.
Matriz consolidada de criterios.

CONSOLIDADA	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	1	0,48074986	0,18947891
Mercado	2,080083823	1	0,69336127
Calidad	5,277632088	1,44224957	1
TOTAL	8,357715911	2,92299943	1,88284019

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.
Matriz normalizada de criterios.

Normalización	Sostenibilidad	Mercado	Calidad
Sostenibilidad	0,11964992	0,16447142	0,10063462
Mercado	0,24888185	0,34211433	0,24873096
Calidad	0,63146823	0,49341425	0,74619289

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, al hacer el promedio de cada fila de la matriz normalizada, se obtuvo el vector de pesos para cada uno de los criterios (Ver). De acuerdo con la información de la Tabla, se puede decir que el peso de los criterios del sistema es de 62,3% para calidad, 27,9% para mercado y 12,8% para sostenibilidad.

Valoración de subcriterios: Para realizar la valoración de subcriterios se procedió de la misma manera que con los criterios, teniendo en cuenta que se debe comparar entre pares de subcriterios, que correspondan al mismo criterio. Así pues, los vectores de pesos de subcriterios para cada uno de los criterios se muestran en Tablas 17, 18 y 19.

En la , se presentan los vectores de peso del subcriterio de sostenibilidad, se puede decir que el peso de

los subcriterios del criterio sostenibilidad es de 47,2% para gestión ambiental, 27,5% para viabilidad económica y 25,1% para cumplimiento de ley.

En la , se presentan los vectores de peso del subcriterio de mercado, de acuerdo con la información, se evidencia que el peso de los subcriterios del criterio mercado es de 67,5% para innovación y 32,4% para capacidad de adaptación.

En la , se presentan los vectores de peso del subcriterio de calidad. De acuerdo con esta información se puede decir que el peso de los subcriterios del criterio calidad es de 41,8% para plazo de entrega; 30,7% para precio y 27,4% para cumplimiento especificaciones.

Tabla 16.
Vector de pesos de criterios.

CRITERIOS	Vector de Pesos
Sostenibilidad	0,12825199
Mercado	0,27990905
Calidad	0,62369179

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17.
Vector de pesos de subcriterios de sostenibilidad.

Sostenibilidad	Vector de Peso
SC1.1	0,27593091
SC1.2	0,25115146
SC1.3	0,47291763

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.
Vector de pesos de subcriterios de mercado.

Mercado	Vector de Peso
SC2.1	0,32466649
SC2.2	0,67533351

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.
Vector de pesos de subcriterios de calidad.

Calidad	Vector de Peso
SC3.1	0,27428337
SC3.2	0,41849348
SC3.3	0,30722315

Fuente: Elaboración propia

Dado que el último nivel de los árboles de decisión en el que se puede comparar las alternativas, es el de los subcriterios, se procedió a realizar el cálculo del peso global (w), dentro del sistema de cada uno de los subcriterios. Lo anterior se logró, multiplicando los pesos de los subcriterios dentro de cada criterio, por el respectivo peso del criterio dentro del sistema (Ver).

De acuerdo a la Tabla 20, el subcriterio con mayor peso en el sistema es el plazo de entrega con un 26,1%; seguido del precio con un 19,1%; por su parte el subcriterio de menor peso en el sistema es el cumplimiento de ley con un 3,2%.

Es importante aclarar que esta valoración de criterios y subcriterios es la misma para los tres insumos seleccionados.

Valoración de alternativas: Para realizar la valoración de alternativas se procedió de la misma manera que con los criterios y subcriterios, teniendo en cuenta que se debía comparar entre pares de alternativas, para cada uno de los subcriterios de último nivel.

Así pues, los vectores de pesos de las alternativas para cada uno de los subcriterios se muestran en las Tablas 21, 22 y 23 correspondientes a cada uno de los 3 insumos seleccionados (Ver Tablas 21, 22 y 23).

De acuerdo a la , la alternativa Caltek S.A.S es mejor en 5 subcriterios y la alternativa Prodecales S.A, es mejor en 3 subcriterios.

En la , se presentan los vectores de pesos de las alternativas del floculante para cada uno de los subcriterios y de acuerdo con los datos presentados en dicha tabla, la alternativa Chemical coaching services SAS es mejor en 5 subcriterios y la alternativa Lipesa Colombia S.A. es mejor en 3 subcriterios.

En la , se presentan los vectores de pesos de las alternativas del alcohol anhidro, para cada uno de los subcriterios y con base en los datos presentados en dicha tabla, la alternativa Conquímica es mejor en 4 subcriterios y la alternativa Sucroal S.A. es mejor en 3 subcriterios.

Tabla 20.
Pesos globales de los subcriterios.

	Sostenibilidad	Mercado	Calidad	W
	0,128251985	0,27990905	0,62369179	
SC1.1	0,275930914			0,03538869
SC1.2	0,251151459			0,03221067
SC1.3	0,472917628			0,06065262
SC2.1		0,32466649		0,09087709
SC2.2		0,67533351		0,18903196
SC3.1			0,27428337	0,17106829
SC3.2			0,41849348	0,26101095
SC3.3			0,30722315	0,19161255

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21.
Pesos de las alternativas del hidróxido de calcio para cada subcriterio.

Insumo 1	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC3.1	SC3.2	SC3.3
A11.1	0,2194	0,2194	0,2500	0,7806	0,8251	0,1593	0,4512	0,8483
A11.2	0,7806	0,7806	0,7500	0,2194	0,1749	0,8407	0,5488	0,1517

Fuente: Elaboración propia. (A11.1: Prodecales. A11.2: Caltek)

Tabla 22.

Pesos de las alternativas del floculante para cada subcriterio.

Insumo 2	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC3.1	SC3.2	SC3.3
AI2.1	0,0997	0,0935	0,0906	0,1133	0,1424	0,0826	0,0770	0,1073
AI2.2	0,5216	0,5727	0,5823	0,5094	0,3512	0,5603	0,3236	0,1904
AI2.3	0,3787	0,3338	0,3271	0,3772	0,5065	0,3571	0,5994	0,7024

Fuente: Elaboración propia. (AI 2.1: Protecnic; AI2.2: Chemical Coaching; AI2.3: Lipesa).

Tabla 23.

Pesos de las alternativas del alcohol anhidro para cada subcriterio.

Insumo 3	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC3.1	SC3.2	SC3.3
AI3.1	0,7806	0,8083	0,7115	0,2194	0,2500	0,7115	0,5000	0,1917
AI3.2	0,2194	0,1917	0,2885	0,7806	0,7500	0,2885	0,5000	0,8083

Fuente: Elaboración propia. (AI3.1: Conquímica; AI3.2: Sucroal).

Paso 5: Selección de proveedores: En las siguientes Tablas se observan los resultados finales del método de selección para los respectivos insumos.

En la , se presenta el resultado final, para seleccionar el proveedor del hidróxido de calcio y de acuerdo a lo presentado en esta, el proveedor seleccionado para el hidróxido de calcio, es Prodecales S.A, con un peso del 56%.

En la , se presenta el resultado final, para seleccionar el proveedor del floculante. De acuerdo con la información de la Tabla, el proveedor seleccionado para el

floculante, es Chemical coaching services SAS con un peso del 53% (Ver Tabla 25).

En la , se presenta el resultado final, para seleccionar el proveedor del alcohol anhidro el cual fue Sucroal SA con un peso del 58% (Ver Tabla 26).

De acuerdo a la aplicación de la metodología, se puede concluir que la empresa caso de estudio, debe seleccionar para el insumo hidróxido de calcio el proveedor Prodecales, para el insumo Floculante Profloc 932 el proveedor Chemical Coaching Services SAS y para el insumo Alcohol Anhidro el proveedor Sucroal S.A.

Tabla 24.

Resultado final para el hidróxido de calcio.

ALTERNATIVA	PESO
AI1.1	56%
AI1.2	47%

Fuente: Elaboración propia. (AI1.1: Prodecales. AI1.2: Caltek)

Tabla 25.

Resultado final para el floculante.

ALTERNATIVA	PESO
AI2.1	10%
AI2.2	40%
AI2.3	53%

Fuente: Elaboración propia. (AI 2.1: Protecnic; AI2.2: Chemical Coaching; AI2.3: Lipesa).

Tabla 26.
Resultado final para el alcohol anhidro.

ALTERNATIVA	PESO
AI3.1	45%
AI3.2	58%

Fuente: Elaboración propia. (AI3.1: Conquímica; AI3.2: Sucroal).

5. Discusión de resultados

La metodología multicriterio es una herramienta que permite de una manera ordena y gráfica, la solución a problemas que tienen o requieren el manejo de diversas variables, para su solución. Además, con la información suministrada se pueda hacer un análisis de la importancia de aspectos relevantes y la interacción entre los mismo, a través de la realización de un modelo jerárquico formado por tres niveles que son, las metas, los criterios y las alternativas.

Estos análisis igualmente, requieren no sólo del conocimiento de la misma metodología, sino del concurso de expertos en el tema o problema a tratar, con quienes se debe trabajar de manera mancomunada, para la solución del mismo.

Después de determinar cuál era el problema a solucionar y que esta metodología era la mejor ayuda para dar solución al problema, se procedió a determinar unos criterios, subcriterios y alternativas, que ayudaron a los expertos de acuerdo a su conocimiento sobre el tema, a aportar una serie de soluciones que trajo consigo, un peso o porcentaje, de su conocimiento sobre el tema que, de otra manera, no se podría determinar solo con el uso de operaciones matemáticas.

La metodología aplicada permitió identificar diversas relaciones entre los criterios y subcriterios, que fueron escogidos por la importancia o relación que representaban en la solución del problema, y que consideraban, además, la importancia por sus políticas de calidad, mercadeo, compras, sostenibilidad, etc., para la entidad que requería de la solución de dicho problema.

Después de la escogencia de estos criterios y subcriterios, se procede a hacer una serie de relaciones entre ellos, primero de criterios con criterios, de lo cual resulta una matriz que luego los expertos valoraron, teniendo en cuenta la importancia de los mismos frente al objetivo-meta, de la misma manera se procede con la valoración de los subcriterios, teniendo en cuenta que se debía comparar entre pares de subcriterios, que correspondían al mismo criterio.

Luego, se pide a los expertos que, de acuerdo a sus conocimientos, procedan a hacer las comparaciones respectivas y dar un juicio, haciendo uso de una escala válida para la toma de decisiones. Con esta información y después de proceder a hacer los análisis respectivos, estos valores se normalizaron, para continuar con el proceso.

Con relación a la valoración de alternativas, se procedió a hacer el análisis de la misma manera que con los criterios y subcriterios, teniendo en cuenta que se debía comparar entre pares de alternativas (en este caso los proveedores por insumo), para cada uno de los subcriterios de último nivel.

Después de determinar estos valores, se procedió a seleccionar el mejor proveedor para cada insumo a partir de la ponderación entre el peso global de los subcriterios y el peso de cada alternativa en los mismos.

Cabe anotar, que el análisis de la información aquí presentada, se hizo gracias al respaldo de una base conceptual de actualidad en el tema de estudio, que soportó la argumentación en cada uno de los pasos de la metodología.

También es importante, aclarar que la información aquí consolidada, presentó de una manera sólida y clara, el resultado de una investigación donde se aplicó la metodología multicriterio en la selección de proveedores, en una empresa del sector azucarero. Buscando siempre, el desarrollo de la misma, de una manera lógica, que llevase una secuencia de fácil comprensión tanto para los expertos y las personas que tienen relación con el abastecimiento en la empresa caso de estudio, como de los lectores de este artículo.

Por último, es importante anotar, que lo realizado en esta investigación en cuanto a la aplicación de la metodología multicriterio y específicamente al método AHP, se hizo de tal manera, que se pudo comprobar, que la teoría funciona de una manera extraordinaria, pues tiene una lógica y secuencia muy clara, de cómo darle solución a un problema multicriterio. Además, se comprueba también, que la participación de expertos en el tema objeto de estudio, es supremamente adecuada y enriquecedora en la solución del problema y que no se necesita, que los expertos conozcan

previamente la técnica, para poder participar. También se puede decir, que explicar el funcionamiento de esta metodología no es complicado y que su utilización es adecuada y se puede aprovechar en la solución de diversos problemas en las empresas.

6. Conclusiones

A partir del desarrollo teórico-práctico de este trabajo se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- En la toma de decisiones organizacionales, se debe considerar como criterio principal la sostenibilidad en busca de la competitividad y el desarrollo sostenible. Esto contribuye con el tiempo, a que las organizaciones sean económicamente viables, ambientalmente soportables y socialmente equitativas.
- Las decisiones de selección de proveedores dentro de las compañías son claves para el adecuado funcionamiento de la cadena productiva y deben ser sistémicas, es decir, deben reflejar todos los aspectos que involucran una alta competitividad, así como también identificar todos los actores que deben participar de dichas decisiones.
- Son diversos los métodos y/o mecanismos existentes en la literatura y en la práctica, para tomar este tipo de decisiones. Por lo tanto, es necesario que cada empresa evalúe cual es el mecanismo que mejor se ajusta a su operación y capacidad, para hacer la toma de decisiones más apropiada para la compañía.
- A pesar que existen múltiples métodos que se pueden aplicar para la selección de proveedores, se debe usar, el que mejor se adapte a cada empresa. Para este caso se seleccionó el método AHP, por conocimiento, manejo y practicidad para los expertos que intervinieron en el problema.
- Los criterios y subcriterios elegidos, obedecieron a políticas de calidad y sostenibilidad de la empresa caso de estudio. Luego, las diversas relaciones que se dieron entre ellos y su grado de importancia, tuvo el aporte de unos expertos que fueron escogidos, por el conocimiento y su grado de decisión, en el proceso de compra y abastecimiento de la cadena de abastecimiento.
- Es importante resaltar, que las alternativas relacionadas con la escogencia de proveedores presentadas en esta investigación se dieron por la definición de requerimientos de la empresa caso de estudio, entre los cuales se tuvo: información general del proveedor, ubicación,

precio contra competencia, legalidad, derechos humanos, medio ambiente, prácticas laborales, prácticas éticas.

- Con relación a este punto de alternativas, se hizo un análisis de sensibilidad, con otra alternativa (proveedor), de uno de los insumos críticos seleccionados, que cumpliendo en su mayoría todos los requerimientos, menos el de ubicación (cercanía), se podía tener en cuenta en caso, que se tuviese alguna dificultad con el proveedor escogido.
- Con la aplicación de la metodología multicriterio y específicamente del método AHP, se seleccionaron los proveedores que cumplían los requerimientos de la empresa caso de estudio, con relación a los insumos que se priorizaron, de una lista de insumos suministrada.
- Es importante aclarar, que el método empleado en este trabajo puede ser empleado y replicado para la selección de proveedores, de cualquier tipo de insumo de cualquier empresa. ☰

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. ÁVILA GÓMEZ, Diana Carolina. Cadena de abastecimiento sostenible, iniciativa que contribuye en el crecimiento de las compañías y del país. Gerencia en logística integral. Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá. 2014. <https://pdfs.semanticscholar.org/0aee/8f151760ce25073837dea87112b851921dcf.pdf>
2. BALLOU, Ronald. Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición. Pearson educación. México. 2004.
3. BARRENECHE-GIRALDO, Daniel. Metodología para la evaluación y selección de proveedores. Departamento de ingeniería mecánica. Universidad EAFIT. 2010. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/425/Daniel_BerrenecheGiraldo_2010.pdf?sequence=1
4. CABELLO-HERCE, Adrián. Métodos de decisión multicriterio y sus aplicaciones. Universidad de la Rioja. Servicio de Publicaciones. Logroño. 2017. https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002504.pdf
5. CASTILLO MARTÍN, Patricia. Política económica: crecimiento económico, desarrollo económico, desarrollo sostenible. En: Revista Internacional del Mundo Económico y del Derecho. volumen III. 2011, p. 1-12. <http://www.revistainternacionaldelmundoeconomicoydelderecho.net/wp-content/uploads/RIMED-Pol%C3%ADtica-econ%C3%B3mica.pdf>
6. CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. Administración de la cadena de suministros. Estrategia, Planeación y Operaciones. Tercera Edición.

- Pearson educación, México. 2008. <https://ulisesmyl.files.wordpress.com/2015/08/administraciondelacadenadesuministrosunilchopra3raedicion-150527012321-lva1-app6891.pdf>
7. FUNDACIÓN IBEROAMERICANA DE ALTOS ESTUDIOS PROFESIONALES. (FIAEP). Control y manejo de inventario y almacén. 2014. <https://docplayer.es/420817-Control-y-manejo-de-inventario-y-almacen.html>
 8. GARCÍA-GÓMEZ, Alejandro. Metodología para la evaluación y selección de proveedores de servicios de mantenimiento. Proyecto de grado. Ingeniería Biomédica. Universidad Autónoma de Occidente. Cali. Mayo, 2013, p.30. <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/5130/1/TBM01501.pdf>
 11. GARCÍA-CASCALES, María Socorro; LAMATA, María Teresa. Selection of a cleaning system for engine maintenance based on the analytic hierarchy process. In: Computers & Industrial Engineering. Mayo, 2009. Vol. 56, no. 4 p. 1442-1452. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.015>
 12. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Aleida; GARZA-RÍOS, Rosario. Aplicación de las técnicas multicriteriales en la evaluación y selección de proveedores. En: Revista Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de La Habana. 2003. vol. 24 No. 2. P. 34-39. <http://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/189/173>
 13. HANIFAN, Gary; SHARMA, Aditya; MEHTA, Paras. Why a sustainable supply chain is good business? Accenture. In: The Journal of high-performance business. 2012. no. 3. https://www.accenture.com/r20150522r061611_w_/ph-en/_acnmedia/accenture/conversion-assets/outlook/documents/1/accenture-outlook-why-sustainable-supply-chain-is-good-business.pdf
 14. MORALES-FLORES, Francisco Javier. Aplicación de métodos de toma de decisiones multi-atributo en la definición de prioridades en la gestión de infraestructuras en san Luis potosí, México. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. 2011. http://oa.upm.es/9793/1/FranciscoMorales_TesisDoctoral.pdf
 15. RIVEROS BENÍTEZ, Ángela; RODRÍGUEZ MELO, Ángela Marcela. Gestión de la cadena de suministro de Bimbo. Misión empresarial. Administración en Logística y Producción. Universidad del Rosario. Bogotá, D.C. 2016. <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/12668/RiverosBenitez-angela-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 16. SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal Services Sciences, vol. 1, no. 1, 2008. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
 17. SARACHE CASTRO, William Ariel; CASTRILLÓN GÓMEZ, Ómar Danilo; ORTÍZ FRANCO, Luisa Fernanda. Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. Cuadernos de administración. Bogotá. Enero-junio 2009. vol. 22, no. 38. p. 145-167 <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v22n38/v22n38a08.pdf>
 18. VIDAL HOLGUÍN, Carlos Julio. Introducción a la logística y a los sistemas de almacenamiento e inventario. Escuela de ingeniería industrial y estadística. Editorial Universidad del Valle. Cali. 2004.
 19. VIDAL HOLGUÍN, Carlos Julio. Fundamentos de control y gestión de inventarios. Escuela de ingeniería industrial y estadística. Editorial Universidad del Valle. Cali. 2009. https://www.academia.edu/39266025/FUNDAMENTOS_DE_CONTROL_Y_GESTI%C3%93N_DE_INVENTARIOS
 20. VILANA ARTO, José Ramón. La gestión de la cadena de suministro. Nota técnica 2.01. Dirección de operaciones. Executive MBA. Escuela de organización industrial. 2010-2011. <https://es.slideshare.net/AgenciaExportadora/cadena-de-suministros-44892669>
 21. VIRSEDA GALLEGO, Laura. Revisión de los métodos, modelos y herramientas existentes para la selección de proveedores. Linköpings Universitet INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Junio, 2011. Resumen. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12130/PFC_LauraVirседаGallego_Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y