

Diseño de un modelo multicriterio para la selección de proveedores de categoría compra
en la empresa Ecopetrol S.A

Juan Sebastián Triviño Camacho

Ingeniería Industrial, Universidad Santo Tomas

2281664. Ingeniería Industrial

Director

Ing. Julián David Silva Rodríguez

Mg. Ingeniería Industrial

Co-Director

Ing. Carlos Andrés Quiroz Castellanos

Mg. Ingeniería Industrial

Junio 07 de 2023

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios por permitirme cursar esta carrera y guiar mi camino; a mis padres, a quienes quiero y admiro mucho, a toda mi familia y amigos, los cuales fueron un gran apoyo.

Gran agradecimiento a los docentes de la Universidad Santo Tomás, quienes me aportaron conocimiento y experiencia en mi formación como Ingeniero Industrial. A mi tutor el Ing. Julián Silva, el cual me acompañó en la construcción de este trabajo, quien me guio, mostró y aportó conocimiento para culminar este trabajo de grado.

Dedicatoria

Este trabajo de grado lo dedico a Dios, por ser el patrocinador de toda la fortaleza y la perseverancia para llevarlo a cabo. A mi familia, a mis padres José Saúl y Roció, especialmente a mi Tía Sonia, por brindarme ese apoyo y ese amor necesario para convertirme en un gran profesional y ser humano.

También quiero agradecer a mis abuelos Rosa y Ezequiel, los cuales han sido mis compañeros y pilares de vida, quienes me ayudaron a formarme en mi carrera con ética, amor, responsabilidad y sencillez.

Finalmente, a todas las personas que participaron en el proceso investigativo, quienes compartieron su conocimiento, apoyo y experiencia, para lograr realizar este aporte al área de la Ingeniería. Gracias.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	2
Dedicatoria	3
Lista de figuras.....	6
Lista de Ecuaciones.....	9
Lista de Anexos	10
Resumen	11
Abstract	12
Definición del Problema	13
1.1 Justificación.....	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
Estado del Arte.....	20
2.1 Aplicación del modelo AHP en países extranjeros.....	20
2.2 Aplicación del modelo AHP en Colombia y su importancia en la cadena de abastecimiento	24
Marco Teórico	32
3.1 Selección de los criterios.....	32
3.2 Método Delphi	33
3.3 Modelo AHP (Analytical Hierarchy Process).....	34
Marco normativo	41
Marco conceptual.....	43
Marco Metodológico	44
6.1 Diseño de estudio.....	44
6.2 Estructura metodológica	44
6.2.1 Diagnóstico y recolección de información de la selección de proveedores en la	

empresa Ecopetrol S.A	44
6.3 Población.....	45
6.3.1 Recolección y determinación de los criterios	46
6.3.2 Aplicación Modelo AHP.....	47
6.3.3 Validación del modelo AHP	49
Resultados y análisis	50
7.1 Diagnóstico y recolección de información de la selección de proveedores en la empresa Ecopetrol S.A	50
7.1.1 Diagnóstico de Ecopetrol S.A	50
7.1.2 Estructura Organizacional	53
7.1.3 Red de la Cadena de suministro de Ecopetrol S.A	56
7.1.4 Modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento	58
7.2 Definición de criterio a través del método Delphi.....	62
7.2.1 Cuestionarios.....	62
7.3 Desarrollo del modelo AHP.....	69
7.4 Validación del modelo AHP	75
7.4.1 Validación a partir del Softwre AHP-OS:	77
Conclusiones y Recomendaciones.....	82
Referencias	85
Anexos	93
Anexo 1.....	93
Anexo 2.....	94
Anexo 3.....	95

Lista de figuras

Figura 1.	Pasos para la selección de Proveedores.....	25
Figura 2.	Fases del método Delphi	33
Figura 3.	Estructura del modelo AHP	35
Figura 4.	Diagrama de Aplicación de modelo AHP para un problema	47
Figura 5.	Proceso productivo de petróleo y gas Ecopetrol S.A.	51
Figura 6.	Marco Estratégico Ecopetrol S.A.	52
Figura 7.	Estructura organizacional.....	54
Figura 8.	Organización de la vicepresidencia del Upstream	55
Figura 9.	Red estructural Supply chain management	56
Figura 10.	Estructura general del modelo operativo de gestión de abastecimiento	59
Figura 11.	Identificación de proveedores potenciales	61
Figura 12.	Nivel de escolaridad de los expertos participantes en el método Delphi.....	63
Figura 13.	Título de pregrado adquirido por los expertos	64
Figura 14.	Años de experiencia en el campo de abastecimiento de la empresa Ecopetrol S.A	65
Figura 15.	Cargos de los expertos encuestados.....	65
Figura 16.	Frecuencia de contacto de los expertos con los proveedores.....	66
Figura 17.	Diagrama de Pareto sobre los criterios seleccionados por el consenso entre expertos	68
Figura 18.	Organigrama por jerarquía del modelo AHP	69
Figura 19.	Información de los proveedores respecto a los criterios.....	70
Figura 20.	Ponderación de los criterios	71
Figura 21.	Ponderación de las alternativas	73

Figura 22.	Matriz de selección de proveedor	73
Figura 23.	Organigrama con ponderación de criterios y alternativas	74
Figura 24.	Relación de consistencia	76
Figura 25.	Desarrollo del modelo AHP en el Software AHP-OS	77
Figura 26.	Uso de la calculadora de prioridad AHP	78
Figura 27.	Establecimiento de la importancia de cada criterio.....	79

Lista de tablas

Tabla 1.	Juicios de Valor Saaty	36
Tabla 2.	Juicios de Valor Saaty	37
Tabla 3.	Marco normativo	41

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1	 3835
Ecuación 2	 3935
Ecuación 3	 35
Ecuación 4	 35
Ecuación 5	 36
Ecuación 6	 36
Ecuación 7	 37
Ecuación 8	 37
Ecuación 9	 71
Ecuación 10	 71
Ecuación 11	 71

Lista de Anexos

Anexo 1	9397
Anexo 2	98
Anexo 3	99

Resumen

Actualmente, la industria de hidrocarburos es una de las más importantes a nivel global debido al uso y funcionalidad del crudo. En países como Colombia no es la excepción, este sector es de los más importantes e influyentes en la economía. Dentro de las empresas de hidrocarburos que se destacan está Ecopetrol S.A., siendo de las principales empresas petroleras de Colombia y América Latina, reconocida como la organización más influyente a nivel económico y ambiental por sus proyectos de energía sostenible y extracción de gas y crudo.

Por ser una organización de gran importancia y alcance, enfrenta desafíos en la toma de decisiones asertivas y estratégicas con un enfoque integral, en el cual se tengan en cuenta múltiples factores, perspectivas y criterios. Es por ello, que se implementa el método de análisis jerárquico como herramienta para la toma de decisiones holísticas, desglosando una situación compleja en diferentes criterios a evaluar, de forma sistemática y coherente; este método le permite a la organización jerarquizar los criterios por grado de importancia, enfocando la decisión hacia uno o varios objetivos específicos.

De esta manera, el presente trabajo enfoca su objetivo principal hacia el diseño de un Modelo Multicriterio AHP como herramienta flexible que permita y facilite a Ecopetrol S.A. la selección de proveedores estratégicos, considerando los costos de contratación o compra y todos los requisitos sociales, de experiencia, ambientales y técnicos. Se presenta un diseño, implementación y validación del modelo, así como sus potenciales aplicaciones y beneficios para Ecopetrol.

Palabras clave: Ecopetrol, Modelo multicriterio AHP, proveedores, criterios, Colombia.

Abstract

Currently the hydrocarbon industry is one of the most important globally due to the use and functionality of crude oil. In countries like Colombia it is no exception, this sector is one of the most important and influential in the economy. Among the hydrocarbon companies that stand out is Ecopetrol S.A., being one of the main oil companies in Colombia and Latin America, recognized as the most influential organization at an economic and environmental level for its sustainable energy projects and gas and crude oil extraction.

As an organization of great importance and scope, it faces challenges in making assertive and strategic decisions with a comprehensive approach, in which multiple factors, perspectives and criteria are taken into account. That is why the hierarchical analysis method is implemented as a tool for holistic decision-making, breaking down a complex situation into different criteria to be evaluated, in a systematic and coherent way; This method allows the organization to rank the criteria by degree of importance, focusing the decision towards one or several specific objectives. In this way, this work focuses its main objective towards the design of a Multicriteria AHP Model as a flexible tool that allows and facilitates Ecopetrol S.A. the selection of strategic suppliers, considering the costs of contracting or purchasing and all social and experience requirements, environmental and technical. The design, implementation and validation process of the model is presented, as well as its potential applications and benefits for Ecopetrol.

Key words: *Ecopetrol, AHP multicriteria model, suppliers, criteria, Colombia.*

Definición del Problema

Actualmente las empresas de diferentes sectores han desarrollado nuevos procesos y mejoras dentro de sus empresas para ser más competitivas frente al mercado actual, una de estas mejoras fue la creación de cadenas de suministros dentro de cada una de las empresas, las cuales le permiten estudiar la totalidad de su cadena de producción, desde los proveedores hasta los clientes. Dentro de esta mejora de la cadena de valor, ahora se puede llevar un seguimiento y control de los proveedores que se necesitan y los que no para mejorar su producto o servicio. Esta selección de proveedores se usa para el cumplimiento de los objetivos de la organización, como lo puede ser los costos totales, tiempos de producción, tiempos de transporte, cumplimiento de entrega completa en buenas condiciones y ganancias de los productos o servicios. (Ventocilla, A. J. P., & Eskenazy, E. J. M.,2023).

Actualmente, en las empresas dedicadas a la producción y extracción de hidrocarburos, principalmente al petróleo y el gas, tienen un constante cambio debido a la gran volatilidad de los precios del petróleo y a también lidian con conflictos con las comunidades de las regionales. A su vez, se le suma la crisis económica que genero la pandemia del año 2020 ocasionada por el virus SRAS-CoV-2, que ocasiono que el barril de petróleo disminuyera su precio de 60 USD a 20 USD, también disminuyendo la producción en un 10% debido a la detención de procesos por el SRAS-CoV-2. Esto ocasiono grandes pérdidas para todas las empresas petroleras en acciones, como lo indicó WTI (Lyon, David R, 2020).

Debido a la pandemia, muchas organizaciones evolucionaron en su gestión de toda su cadena de abastecimiento, para así ejecutar soluciones óptimas para las distintas circunstancias que se presenten en la industria, ya que en la industrial de *OIL and GAS* usa recursos no renovables, se

genera un mayor enfoque gestionar de manera eficientemente el impacto de P&G (Pérdidas y Ganancias).

De acuerdo con al informe anual más reciente de Ecopetrol (“violencia a empresas petroleras con atentados y explosiones a oleoductos” Ibarra, 2018), el cliente estatal petrolero más activo en Colombia, fue registrado un derrame de crudo de 3.7 millones de barriles en el año 2018. Esto se debe a varios factores, incluyendo el conflicto interno en el país, que incluye violencia contra empresas petroleras y explosiones en oleoductos. No obstante, hay un elemento adicional en esa estadística que no se puede comparar con la violencia, y es el error operativo que puede cometer un operador dentro de Ecopetrol S.A o cualquier empresa de servicio de petróleo y gas en el área. Los incidentes en la operación de extracción de petróleo crudo causados por proveedores que no cumplen con los estándares de trabajo generaron las pérdidas más altas de barriles de petróleo de la historia del país entre 2009 y 2014. (Ibarra, 2018).

Se sabe que una buena administración de proveedores eficiente debe cumplir con métricas de cumplimiento, tiempos, equipo, capacitación, costos, entre otros, para que esta industria funcione de manera óptima. Es esencial que la gerencia evalúe, seleccione y desempeñe a los proveedores al momento de comprar o solicitar un servicio para que pueda la mejor decisión en términos de costo-servicio-beneficio, especialmente en Colombia, donde los errores pueden aumentar y las leyes y sanciones son cada vez más rigurosas y costosas.

Haciendo hincapié en la evaluación de proveedores, esta abarca un amplio panorama de características que debe tener cada uno de los contratistas, pero se resalta más que todo su flexibilidad en la cadena de suministro por el comportamiento del terreno en el que se desarrolle las actividades, para así evitar conflicto tanto con las comunidades locales. También es importante

destacar que la industria petrolera en Colombia experimentó dificultades tanto en sus relaciones con los proveedores, como con los precios del barril alrededor del año 2015. (Pinzón, 2015).

La producción de petróleo y energía en Colombia presenta numerosos desafíos en los próximos años, no solo debido a los cambios políticos y ambientales, sino también para el progreso económico sostenible del país. Esto se debe principalmente a que esta industria proporciona la mayor cantidad de recursos al pueblo colombiano, con las exportaciones de petróleo crudo y sus derivados que representan el 33% del mercado (*Observatory of Economic Complexity*, 2018). Adicionalmente, para Ecopetrol es de mayor importancia la relación con sus contratistas como Schlumberger, Halliburton y Baker Hughes, para así brindar un excelente servicio, de entrega de productos en el tiempo establecido, entre otros aspectos, especialmente considerando que Ecopetrol fue la empresa con mayores ingresos operativos en el país en 2018.

Ecopetrol S. A. como empresa líder de hidrocarburos, cuenta con una cadena de abastecimiento y suministro externo sujeta a revisión y seguimiento periódica que le permita minimizar los riesgos y proyectar estrategias y acciones de mejora. Las posibles falencias o fallas en el proceso de suministros de Ecopetrol S.A. pueden llevar a seleccionar proveedores que no están totalmente capacitados, afectando las operaciones de la empresa, tal como lo menciona el director Carlos León, del programa de contaduría pública y el grupo de investigación de la Fundación Universitaria San Martín (FUSM) “Algunas de las causas por las cuales las empresas cierran son por mala gestión de recursos económicos y de personal. Tienen por poco conocimiento de su sector y de actualización, especialmente en innovación” Berumen, S. A., & Llamazares Redondo, F. (2007). Vol 20 No(34), pag 65-87

De esta manera, se pueden generar riesgos para los equipos de producción, errores de mantenimiento y lotes de materiales defectuosos que lleven al incumplimiento de procesos,

logística, tiempos y, por lo tanto, encaminan un re trabajo y retrasos en los despachos de producto, perdidas de materia prima y cánones de bajo cumplimiento de contratos de suministro al cliente; causando pérdidas a la empresa y afectaciones en los tiempos, disponibilidad, calidad, responsabilidad social y ambiental los cuales son uno de los principales objetivos dentro de Ecopetrol S.A.

Por estos motivos es necesario responder a la pregunta: ¿Qué herramienta, metodología o modelo se debería utilizaría para seleccionar y evaluar proveedores de la empresa Ecopetrol S.A. en Colombia, que tenga en cuenta varios factores y variables operacionales, con el fin de disminuir los riesgos y errores en la operación, desastres ambientales, pérdidas millonarias y conflictos sociopolíticos?

1.1 Justificación

La gestión de materiales y el control de proveedores aportan en los procesos de calidad y cumplimiento de metas de las empresas, tal como lo refiere Trujillo, (2022, p. 2) “Para generar una operación óptima en la industria de hidrocarburos, se debe contar con un equipo confiable o gestión de proveedores eficiente, que cumplan unas métricas de cumplimiento, responsabilidades, costos, tiempos, entre otros”.

En el caso de Ecopetrol S.A., la selección de proveedores adecuados es aún más crítica e importante debido al carácter de la empresa y el sector en la que opera; siendo Ecopetrol S.A. una de las principales compañías más influyentes en Colombia en la industria de hidrocarburos, necesita de un proceso de gestión de compras óptimo que asegure el suministro de materiales y servicios, que contribuya la reducción de costos, mejorando las relaciones con los contratistas y cumplimiento con los tiempos de entrega, priorizando una contratación transparente y ética. Perfeccionando la cadena de abastecimiento y la selección de proveedores como punto importante para la empresa y para el rendimiento de las operaciones en las distintas regionales; impactando de manera positiva la calidad de los procesos de extracción, producción, transporte y comercialización de crudo.

Por lo tanto, el diseño y la aplicación de un modelo multicriterio para la selección de proveedores de aprovisionamiento de materiales en la empresa Ecopetrol S.A., se convierte en una necesidad institucional que los lleve a ser más competitivos, a mejorar la gestión de los productos y servicios ofertados en términos de calidad, tiempos y expectativas del cliente; así mismo, permitirá evidenciar de manera más efectiva los costos de producción, los gastos, manteniendo la eficiencia desde el punto de vista operativo.

El diseño de este modelo multicriterio le permitirá a Ecopetrol S.A. establecer un sistema clave de toma de decisiones, para la selección de proveedores y la cadena de abastecimiento; lo que permitirá ver un panorama mucho más amplio en el que se mostraran riesgos, criterios de evaluación y categorías por servicio o producto con valores cuantificados lo que permitirá interpretar de manera más precisa y rápida la mejor decisión, este modelo permitirá a su vez apoyar a el área de gestión contra actual, almacenamiento, abastecimiento en la vicepresidencia del *Upstream* dentro de Ecopetrol S.A., lo que se traducirá en un mayor valor agregado para la organización dentro de los procesos de mejora continua, implementación de nuevas tecnologías y para la satisfacción de los clientes. Y ayudando a fortalecer las relaciones con proveedores claves y con el entorno de los procesos operativos, brindando disponibilidad, calidad, responsabilidad social y ambiental, los cuales son uno de los principales objetivos dentro de Ecopetrol S.A.

Para implementar o analizar el modelo, se realizará una validación en una empresa multinacional que presta servicios petroleros con sede en Colombia, sin revelar ninguna información confidencial relacionada con las compras. Esto permitirá evaluar cada uno de los criterios, factores y comportamientos al emplear este modelo en la selección y evaluación de los contratistas y proveedores. Así mismo, un panel de expertos importantes de la empresa recibirá comentarios de la herramienta a través de encuestas y entrevistas. Esto servirá como base para futuros estudios de caso o aplicaciones del modelo en empresas del sector de P&G, también creará la posibilidad de que este modelo se utilice en otras empresas a nivel global.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un modelo multicriterio para la selección de proveedores de categoría compra de motores de perforación para la empresa Ecopetrol S.A.

1.2.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar el proceso de selección de proveedores en el área bajo estudio.

Construir un modelo matemático que permita realizar la selección de proveedores para la empresa Ecopetrol S.A.

Validar el modelo propuesto y evaluar posibles escenarios de mejora.

Estado del Arte

Desde hace más de quince (15) años, se ha realizado diferentes investigaciones a nivel global que presentan una variedad de modelos y metodologías generales para la selección y evaluación de proveedores. Debido a la globalización y el crecimiento de las compañías multinacionales, las empresas se han visto en la necesidad de crear una división encargada de la gestión de proveedores. Esto se debe al papel tan importante que cumple la cadena de suministro y a que su funcionalidad depende del control y conocimiento que se tenga sobre factores como costos, servicio al cliente, tiempos de producción, transporte, entre otros aspectos. (Trujillo. G, 2022)

Para este estudio, se utilizaron más de treinta (30) artículos científicos enfocados a las metodologías de evaluación y selección de proveedores dentro de organizaciones, pero especialmente en la industria de petróleo y gas (O&G).

Como lo menciona la editorial la República en 2021, en su publicación “Es loco pensar en la Economía sin el Petróleo”. En Colombia no se han realizado muchos estudios sobre el proceso de selección o el estudio de la evaluación y selección de los contratistas de diferentes empresas de latino américa, no solo en Ecopetrol S.A. En el caso de Colombia la industria de gas y petróleo es una de las más fuertes debido a su participación en el PIB del 2.1%, lo que representa el 12% de los ingresos al país. (Trujillo. G, 2022)

2.1 Aplicación del modelo AHP en países extranjeros

La aplicación de este modelo se a dado generalmente en el estudio de la cadena de suministro de las distintas empresas, específicamente en la industria de gas y petróleo.

En el estudio "Selección de proveedores en la industria del petróleo y gas" realizado por Yazdi, A. K. (2022), se utiliza como base la economía Iraní, ya que es uno de los países con más

producción de petróleo actualmente. Lo cual, si esta industria aumenta su valor y su participación en el PIB, la economía de Irán prosperara más. Para poder lograr ese aumento en la economía se iniciaron planes de estudio para la selección de contratistas, puesto que es un elemento esencial en las operaciones de la industria de gas y petróleo, y al hacer una buena elección los procesos y la cadena de suministro aumentara su valor y su eficiencia.

Además, este estudio muestra cómo los métodos de análisis de decisiones multicriterio (MCDA) pueden ser utilizados para clasificar jerárquicamente los contratistas en la industria de O&G en situaciones inciertas. Se analizó una empresa iraní para demostrar la eficiencia del modelo de decisión. Este ejemplo evidencio el gran campo a analizar dentro de la empresa para la selección de un buen proveedor, pero se evidencio que la lealtad y la confianza entre los contratistas tradicionales, generan un aumento de eficiencia y utilidad en los procesos. Lo cual demuestra que este modelo se adapta al entorno en el cual se desarrolle este modelo. (Yazdi, Wanke, Hanne, Abdi, & Sarfaraz, 2022).

Sepehri en 2013 publicó otra investigación en la edición 74 de la revista de Ciencias Sociales y de comportamiento que también se aplica al Geo Mercado de Irán. Este documento examina un modelo propuesto que incorpora políticas y requisitos de primer nivel para identificar el principal objetivo de la organización. En pocas palabras, crea un marco fundamental que identifica la mejor elección dentro de todas las opciones de proveedores que tiene la empresa, siempre enfocado en el objetivo principal de la organización. (Sepehri, M, 2013).

El modelo organiza tres áreas para la aplicación del modelo dentro de las empresas de O&G en Irán:

1. Monitoreo del modelo, 2. Diseño del modelo – Estrategia y 3. Gestión de la cartera de proveedores – Realización.

El autor sostiene que la elección de proveedores no se basa únicamente en su precio o calidad, sino también en sus asociaciones estratégicas y perspectivas de crecimiento. (Sepehri, 2013).

La herramienta de decisión se aplicó en proyectos de O&G en Irán, donde actualmente la gran mayoría de los proyectos utilizan proveedores locales e internacionales. de servicios. La selección estratégica de la cartera de proveedores de este tipo ahorro costos y posibles fallas en los procesos operativos dentro de las actividades en general, y los suministros han sido más eficientes y de alta calidad. (Sepehri,2013)

Los modelos de decisión multicriterio aplicados en diferentes empresas aplican la misma metodología, en la investigación de *Annals of Operations Research* se puede ver cómo comenzaron a crear el modelo entrevistando a expertos en la industria, figuras importantes del gobierno del Ministerio de Energía y organizaciones ambientales para establecer categorías de sustentabilidad. Estos cuestionarios recolectaron la experiencia de los participantes en cuanto a proyectos energéticos. Con cierta cantidad de criterios organizados según su importancia, gracias al conocimiento de los expertos. Esta metodología también fue aplicada en Irán en el estudio de la cadena de suministro de la empresa para determinar ciertos criterios que están enfocados a los objetivos de la empresa. Todo esto utilizando el conocimiento y experiencia de los expertos en la industria.

La aplicación de un modelo Delphi ha sido siempre necesario en la selección de criterio y de proveedores, en la investigación de *Evaluating supplier selection criteria for oil and gas projects in the UAE using AHP and Delphi* de Luzon, B., & El-Sayegh, S. (2016) aplicaron cuestionarios de 23 preguntas, distribuidas según la especialidad de O&G en los Emiratos Árabes Unidos. Posteriormente se crearon 2 grupos principales con 5 criterios cada uno, el primero con datos técnicos y el segundo con datos sobre la infraestructura.

Para determinar el valor de importancia que cada criterio tiene dentro del modelo, se realiza mediante el método Delphi, a partir de este método se determina el orden jerárquico de todos los criterios y subcriterio. Generalmente en las organizaciones los criterios comerciales y técnicos tienen el mayor porcentaje de importancia que los específicos de la organización. (Luzon & El-Sayegh, 2016)

La metodología Delphi se ha aplicado en diversos campos de estudio, siempre con el objetivo de recolectar la suficiente información para mejorar una actividad, para así obtener resultados en menos tiempo, con menos costos y con un estándar de calidad alto. Este método consiste en realizar encuestas a personas expertas en el tema a solucionar, para poder tomar diferentes puntos de vista de la situación. A partir de estas perspectivas, se crea un grupo con las personas que participaron y las respuestas, para llegar a un mutuo acuerdo, creando así un consenso para la solución de la situación o problemática.

Para llegar a la mejor solución de un problema se deben realizar varias pruebas, no solo con un modelo. El autor utiliza el modelo AHP (procesos de jerarquía analítica), puesto que este hace mucho énfasis en este mismo modelo. El modelo AHP ha sido utilizado numerosas veces en empresas petroleras, como lo fue en Tailandia, este constante uso se debe a que permite ver un panorama más amplio de la situación y cuantificar los criterios principales de cada proceso o problema a solucionar, sin dejar de lado ningún criterio (Nathavat & Siri-on, 2014).

Posteriormente, se utiliza el modelo Analytical Hierarchy Process (AHP) para analizar los datos recopilados de un cuestionario para determinar el grado de importancia relativa. Para ello, se ponderan los puntajes de desempeño para cada criterio y se determinan las puntuaciones de desempeño generales ponderadas.

La importancia de cada uno de los criterios y subcriterios, se realiza a través del modelo AHP, esto teniendo en cuenta el consenso de todos los expertos en los cuestionarios, gracias al método Delphi.

2.2 Aplicación del modelo AHP en Colombia y su importancia en la cadena de abastecimiento

La logística empresarial ha tenido un gran auge Colombia en los últimos diez (10) años, debido a la expansión de su estudio de mejora de la administración de la red de abastecimiento en las empresas, gracias a las nuevas tendencias del comercio en el mundo. El cual nos permite ver un mundo globalizado en el que la competitividad, la eficiencia y eficacia de sus procesos son los pilares para tener una empresa que destaque en la industria en la que se ubica la empresa objetivo en este caso, Ecopetrol S.A.

Para llegar a tener dichas ventajas que le ofrece el mercado globalizado actual, las empresas deben crear estrategias competitivas, las cuales aumenten el valor de sus productos o servicios y a su vez la disminución de las inversiones operacionales de la empresa. Logrando así la simplificación de los procesos, la mejor solución es la aplicación de prácticas colaborativas de la triada (abastecimiento-fabricación-distribución) en la que se encuentra el área de abastecimiento el cual es el foco central de este estudio.

La selección de contratistas o proveedores es un proceso crucial dentro de la cadena de abastecimiento, debido a que permite optimizar gastos y prevenir riesgos asociados a las compras y adquisiciones de materias primas o servicios no útiles dentro del proceso operativo. Para llevar a cabo este proceso de manera efectiva es necesario contar con criterios claros y definidos para la empresa, para esto se diseñó un modelo multicriterio para la selección del mejor proveedor de categoría compra en la empresa Ecopetrol S.A

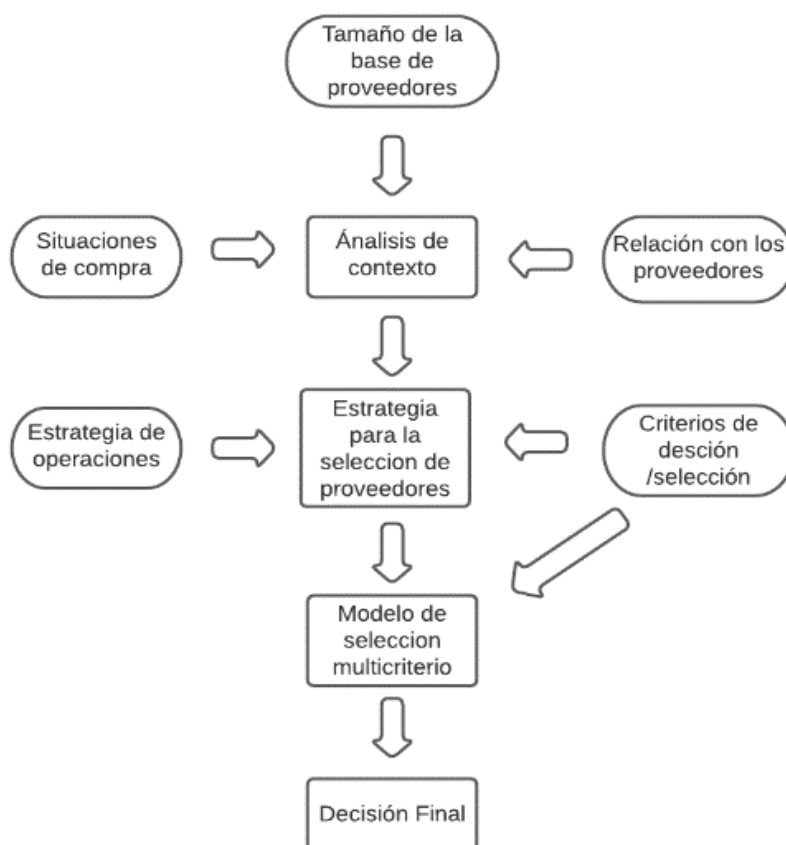
Los proveedores son eje fundamental en cada empresa, una buena gestión en su selección permite identificar las habilidades del proveedor para reaccionar o responder ante situaciones y operar dentro de políticas de colaboración conjunta, pero sin descuidar los atributos tradicionalmente valorados como los costos, la calidad, el servicio, los tiempos y los términos de pago. Este proceso abarca muchos criterios como lo puede ser la calidad, los tiempos de entrega, precios o la demanda volátil que hay en el mercado lo cual dificulta su ejecución. Por lo tanto, es primordial que Ecopetrol S.A realice una evaluación constante de sus proveedores actuales y proveedores objetivo para garantizar el constante suministro de materiales e insumos de calidad, a tiempo y a precios competitivos. La rentabilidad y la reputación de una empresa pueden verse significativamente afectadas por la elección del mejor proveedor o proveedores. Esta última es vital para Ecopetrol S.A, ya que actualmente se lleva un proceso de reducción de la contaminación y priorizar la vida (Sarache, Castrillon & Ortiz, 2009).

Dentro del análisis del modelo y la selección, varios aportes literarios mencionan que hay 3 temas principales a desarrollar: (a) La administración de proveedores, (b) Selección de contratistas de forma estratégica, y (c) Apoyo del modelo de decisión multicriterio.

Siguiendo el estudio literario de los tres (3) temas principales se encontró una relación en estos grupos, a partir de los cuales se pudo construir un diagrama de flujo como se ve en la figura 1, que describe los pasos a seguir para una buena selección de proveedores.

Figura 1.

Pasos para la selección de Proveedores



Nota. Figura adaptada de Selection of suppliers: an Approach to the state of the art, (2009)

Para poder realizar esta radiografía general de la organización es primordial analizar el sector en el cual se encuentra la empresa, para así adentrarnos dentro de la cadena de abastecimiento de la organización y determinar la situación operacional en la que se encuentran las compras, esta área ocupa más del 70% de los costos Totales de la organización (Sarache, Castrillon & Ortíz, 2009), por lo cual, se debe implementar una buena gestión del proceso de compras, dado el impacto que tienen dentro de la cartera de la organización y su impacto en la competitividad de la organización.

La siguiente etapa para considerar la importancia de la evolución de competencias de cadenas de abastecimiento; resalta la relación con los proveedores, puesto que la organización no depende solo de como fabrica sus productos para tener éxito, sino que es una red completa de asociados los

cuales permiten que el producto pueda competir y ganar valor en el mercado, por esto la empresa debe competir de manera colaborativa, mejorando su competitividad, agilidad y compromiso, a la par que reducen costos. Tal como lo mencionan Sarache, Castrillon & Ortíz en la aproximación al estado del arte, “las bases para tener éxito en la industria son las buenas relaciones con proveedores y clientes”, (2009).

En las situaciones de compra posibles se pueden determinar tres tipos: Compra por primera vez, compras modificadas y recompras rutinarias. En la primera categoría, las compras hechas por primera vez se aplican en el lanzamiento de un nuevo producto o servicio y también cuando no existe un contrato previo con el proveedor, esta categoría tiene un alto nivel de volatilidad por lo que se tarda un buen tiempo en la negociación del contrato y esta se efectúa a través de una única compra, por esto se deben especificar muy claramente los objetivos, garantías y condiciones para establecer la compra.

En las compras modificadas existen tres tipos: (a) Compras a proveedores de confianza, (b) compras a proveedores nuevos y (c) compras de nuevos productos a proveedores de confianza. En estos tipos de compra el nivel de incertidumbre está dentro del promedio, por lo que los procesos de contratación son más cortos, esta categoría de compra tiene una gran característica ya que el mismo proveedor puede solicitar que se reevalúe los términos y condiciones de la negociación, para así llegar a un acuerdo mutuo, estos casos ocurren generalmente en relaciones colaborativas entre cliente y proveedor (Sarache, Castrillon & Ortíz, 2009).

En cuanto a los caso de recompra de producto, normalmente se aplican cuando ya hay una relación previa con el proveedor y ya se conocen los términos de compra. Debido a esto se basa en contratos establecidos en los que se fijan precios y términos de la negociación.

La base de proveedores requeridos hace énfasis en dos posibles situaciones, abastecimiento con fuente única, la cual se enfoca en un solo proveedor considerado como el mejor con el cual se puede tener una relación estrecha, y con fuente múltiple, esta situación tiene un gran número de proveedores objetivos de los cuales puede elegir todos o varios de estos, esta última no permite crear buenas relaciones con los proveedores debido a su gran extensión y complejidad. Llevando el enfoque a la industria de hidrocarburos, en la cual se aplicará el modelo, el abastecimiento con fuente múltiple es muy beneficiosa, debido a que las operaciones que se realizan en Ecopetrol S.A deben estar en ejecución constante y no pueden existir paradas en los procesos porque significaría sanciones y pérdida de capital. Por lo tanto, la base de proveedores que le permite a Ecopetrol S.A o a empresas con un mercado muy volátil y dinámico, mejorar los tiempos de entrega, el portafolio de productos, la maquinaria, precio de compra y ofertas de otros proveedores, es el abastecimiento por fuente múltiple (Sarache, Castrillon & Ortíz, 2009).

Para ejecutar todas las categorías y tipos de selección de proveedores debe existir un objetivo o estrategia, la cual debe ir alineada con los procesos a realizar. Es fundamental que las metas de abastecimiento se fijen según varios criterios, como los costos, calidad, experiencia, plazos de entrega y garantías. Estos criterios deben tener un nombre específico, ser cuantitativos, poder ser comparados con varias condiciones operacionales y estar alineado a la empresa.

Como lo menciona Huang y Keskar (2007), “El elemento fundamental para garantizar el éxito de un proceso de selección de proveedores se sustenta en determinar cuidadosamente aquellos criterios que responden a la estrategia y a los objetivos de la organización; de igual manera, sugieren revisar continuamente los criterios y analizar su grado de concordancia con las condiciones del mercado y de la competencia, de forma tal que se puedan actualizar constantemente”.

Posterior a la definición de los criterios principales de selección junto con su importancia, se selecciona el proveedor o proveedores idóneos, utilizando en este caso el modelo de decisión multicriterio.

“El análisis multicriterio es un modelo enfocado en la toma de decisiones a partir de criterios comunes involucrando a todos los actores” (Fernández, 2010), para la solución de problemas, como lo es en este caso la selección en el proveedor idóneo para el abastecimiento de materiales. Se podría definir como un modelo de simplificación de problemas, utilizando información de los distintos actores, respetando los intereses y preferencias de los actores (Fernández, 2010).

Este método tiene se originó en el área de la ingeniería industrial y las ciencias económicas, desde 1970, el análisis multicriterio o llamado “ayuda multicriterio a la decisión”; es considerado una herramienta científica y su uso en contextos en los que se necesite de una solución a un problema, mediante la intervención de varios puntos de vista ha evolucionado y está en constante mejora. (Fernández, 2010).

Antes de aplicar el método de decisión se debe identificar qué tipo de problema se quiere solucionar e identificar los factores de intervención por medio de la modelo multicriterio difusa o AHP (Análisis Jerárquico de Procesos). Es necesario tener un conjunto limitada de criterios que tengan un enfoque hacia los objetivos de la empresa, una tabla de estimación de valor de cada uno de los criterios y un resultado consolidado para realizar una distribución, según el objetivo del modelo (Fernández, 2010).

La aplicación de este modelo genera ciertas ventajas y límites, las principales ventajas son: la simplificación de las situaciones complejas, además de determinar criterios descompone y estructura el estudio permitiendo avanzar hacia la meta propuesta. También, permite que la comprensión e interpretación de los criterios formulados previamente sean sencillos y

comprensibles para el grupo de evaluación, lo que hace que se puedan seguir con claridad las indicaciones. A su vez, ayuda a la aclaración de debates en temas conflictivos y desarrolla una constante comunicación de los actores del problema, se podría definir también como una herramienta de negociación de gran utilidad (Fernández, 2010).

Los límites que tiene la aplicación de este modelo son comúnmente el tiempo de estudio y la recolección de datos, estas dos variables se presentan por la dimensión del sector en el que se esté aplicando este método, ya que si no se dispone de acuerdos previos con los proveedores y de los datos requeridos por cada actor, retrasara el proceso de desarrollo de solución de este modelo; debido a que al empezar el estudio con un nuevo proveedor pueden surgir nuevas discusiones por motivos de negociación. Por esto, es recomendable tener una relación previa con el proveedor con el cual se quiere evaluar la posibilidad de compra o de firmar un contrato (Fernández, 2010).

La aplicación del modelo multicriterio tiene un gran alcance, este puede aplicarse desde la decisión de una compra hasta una decisión de peso mayor en una gran organización. Este modelo está presente en la industria de O&G y en varios nichos de mercado como lo es también la industria del transporte, aviación, deportes, entre otras

En Colombia y en el mundo ha sido de los modelos más utilizados en las organizaciones para la toma de decisiones, debido a que el modelo AHP abarca gran cantidad de criterios, por su simplicidad, facilidad y flexibilidad de aplicación. (Guerrero, L. C. U., 2016).

En Colombia se desarrolló un caso de estudio de aplicación del modelo AHP, en la determinación de alternativas para el suministro de gas natural en Colombia. Este estudio analizo el contexto actual del gas en Colombia, resaltando su importancia y capacidad de respaldo si existiera una reducción de capacidad hidroeléctrica en las ciudades, el estudio centra su foco en la búsqueda y análisis de nuevas alternativas de abastecimiento o reducción de emisiones en la

generación de energía, fuentes de energía y selección de nuevas tecnologías de suministro. En el estudio se evidencio que el gas que se tiene no puede cubrir la demanda de gas que tiene el país, por la exportación de gas se realizó en el año 2007 a Venezuela. Para esto, se implementó el modelo AHP para evaluar las alternativas de suministro de gas natural en Colombia que involucran recursos financieros y tiempos. (Osorio Gómez, J. 2008)

Este modelo ha sido muy utilizado en la selección y evaluación de proveedores, lo cual busca específicamente estandarizar y sistematizar la selección de las alternativas. En Ecuador la selección de posibles proveedores se da por subasta inversa, es decir, se contrata al proveedor que ofrece sus servicios a menor precio. Dentro de este estudio se utilizaron tres (3) modelos: AHP, PROMETHEE y ELECTRE. Estos modelos permitieron no solo seleccionar sino ampliar el panorama de selección de las alternativas, mostrando que la selección de los proveedores no solo radica en el costo de contratación o compra, sino en los criterios y subcriterios que tienen más valor para la organización. Como resultado de la aplicación del modelo AHP, se determinó la importancia de cada criterio frente al objetivo principal de la organización, por consiguiente, se determinó el valor de cada subcriterio dentro de cada criterio. Como conclusión se determinó que las 3 herramientas de decisión coinciden en que el criterio de experiencia general es el principal, pero hay una disonancia en los subcriterio, enunciando que el subcriterio de flexibilidad tiene el menor valor de los criterios.

Al aplicar los modelos se evidencio la importancia de los criterios y se recomendó utilizar los modelos evaluados especialmente el modelo AHP y ELECTRE en la evaluación de los criterios se demostró que existía mayor convergencia en su ranking de prioridades. (Maldonado Benalcázar, A. 2020)

Marco Teórico

Para la correcta selección de proveedores se optó por el modelo multicriterio AHP (Análisis de jerarquía de procesos) debido a su gran capacidad de incluir varios criterios dentro de las decisiones y realizar una ponderación a criterio basado en las metas de la organización en este caso Ecopetrol S.A.

Este modelo utiliza matrices de comparación y ponderación para determinar la importancia de cada criterio establecido y de cada proveedor. Además de ponderar los criterios, este modelo de decisión permite que exista cierta incertidumbre en el momento de tomar ciertos juicios sobre los proveedores, lo que permite que su resultado se adapte a la realidad de la organización.

Para diseñar un modelo es necesario seguir este proceso:

3.1 Selección de los criterios

El diseño de un modelo multicriterio se basa y en el caso que se esté resolviendo. Antes de realizar la organización de criterios y calcular la población de los proveedores, se debe seleccionar que área o tipo de proveedor se va a evaluar, esto con el fin de recolectar toda la información disponible para realizar la construcción de las matrices. Luego de seleccionar el área objetivo se idéntica el problema a solucionar, esto se analiza según si se están cumpliendo con las metas de la empresa. Estas metas son establecidas por la organización para establecer su base de proveedores, y así seleccionar objetivamente a los proveedores.

Los criterios deben ser elegidos por un acuerdo entre las áreas que intervienen en este proceso o están interesadas, con el fin de que los criterios sigan acorde a los objetivos de la organización y así no afectar la organización en su visión o metas a largo y mediano plazo. Los criterios surgen de una lluvia de ideas o la utilización del método Delphi (González y Ríos, 2003).

3.2 Método Delphi

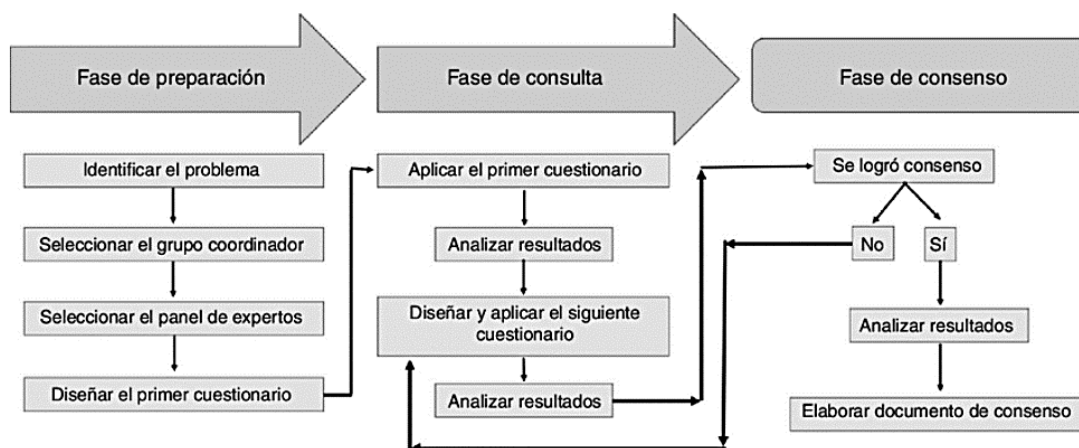
Es un estudio de la fuerza aérea de Estados Unidos, en 1950, para la selección de un sistema industrial óptimo que permitiera estimar el número de bombas atómicas necesario para reducir la producción de municiones. Este método fue publicado en 1975, como un modelo de estructuración grupal, para tratar un problema específico. Este método facilita la comunicación y formulación de ideas entre los expertos, generando acuerdos entre sus opiniones, por medio de la aplicación de cuestionarios dentro del grupo de expertos seleccionado (Cardona, 2020).

Antes de realizar el desarrollo del modelo AHP es necesario aplicar el método Delphi. Este método recolecta las opiniones de los expertos con el fin de mejorar la toma de decisiones en el modelo AHP. Esta recolección de datos se realiza mediante cuestionario o entrevistas, y posterior a la recolección se crea un grupo con los profesionales en el tema, para llegar a un acuerdo, lo que permitirá determinar criterios y metas de la empresa y consistencia en los datos recolectados. La opinión de los expertos se utilizará para encontrar la solución adecuada al problema estudiado.

Esta selección de los participantes se hace en base a su experiencia, tiempo en la empresa y área en el cual están trabajando actualmente en la organización, la mayoría son especialistas que llevan más de 5 años en la empresa. Cabe aclarar que la importancia de cada uno de los participantes tiene la misma importancia, por lo cual, si unos participantes tienen un cargo más importante, esto no afectará en el peso de la opinión del profesional que participe en los cuestionarios. Así el sesgo se reduce en gran medida y para disminuir aún más ese porcentaje de error, se procura que los participantes no se conozcan, así la solución de los cuestionarios es más transparente. El proceso para aplicar la metodología Delphi se muestra a continuación en la figura 2.

Figura 2.

Fases del método Delphi



Nota. Tomado de El método Delphi en la investigación en reumatología. Fernández, Ávila, 2019

En esta figura se puede observar que el modelo Delphi dividido en tres (3) fases: 1. La preparación, 2. Consulta y 3. Consenso. En la que se especifica cada paso a seguir para determinar los criterios necesarios dentro de la selección de los proveedores.

3.3 Modelo AHP (Analytical Hierarchy Process)

El método de análisis jerárquico se utiliza en situaciones en las que se deben tener en cuenta varios criterios, los cuales deben ser priorizados y valorados, para seleccionar una alternativa, la cual debe ser la más acertada para la mejora de la empresa. Este modelo utiliza un diagrama de árbol jerárquico que ilustra los criterios a evaluar y las posibles alternativas a el problema a solucionar (Figura 3, Jiménez y Sánchez, 2020).

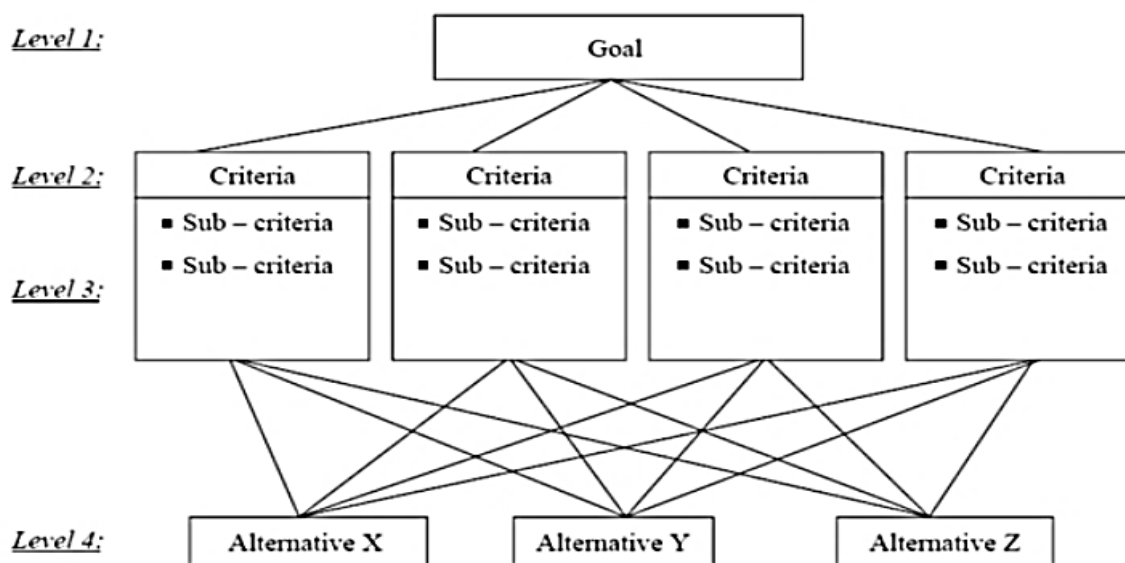
Este modelo se utiliza principalmente para la selección de una alternativa teniendo en cuenta el grado de importancia o valor de cada criterio determinado, puede ser utilizado tanto para decisiones simples de la vida cotidiana o para estudios de inversión o compra empresarial. Permite que la intuición y la experiencia de un grupo de profesionales se cuantifique para llegar una solución acertada.

El modelo AHP fue desarrollado por Saaty con el fin de seleccionar la mejor opción para una organización, mediante la comparación de pares. El método de selección multicriterio AHP, cumple la función de descomponer la situación o problema en criterios y subcriterio, los cuales son organizados de manera jerárquica según la importancia que tena cada uno de estos. La principal ventaja del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) radica en su capacidad para clasificar las opciones según su eficacia para cumplir objetivos contradictorios entre sí.

En la figura 3 se puede evidenciar como se realizaría el proceso de jerarquización de los criterios, este es uno de los pasos de mayor importancia en la construcción del modelo. Esta figura se organiza de arriba abajo, ubicando en primer lugar el objetivo principal de la empresa y posterior a esta los criterios, como tercer nivel tenemos las posibles alternativas (los posibles proveedores).

Figura 3.

Estructura del modelo AHP



Nota. Tomado de Development of an assessment system for supplier quality management. International Journal of Quality & Reliability Management Chin et al,2006.

Según el modelo AHP para cada uno de los criterios y alternativas se debe hacer una comparación y para este proceso se utilizan nueve niveles, como se muestra en la figura 4. Estos valores que se le da a cada nivel representan el nivel de importancia de cada criterio o alternativa respecto a los demás, ya si tienen igual importancia, mayor importancia o menor importancia.

Tabla 1.

Juicios de Valor Saaty

Level of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two criteria contribute equally to the performance of the supplier
3	Weak importance of one over another	Experience and judgement slightly favor one criterion over another
5	Essential or strong importance	Experience and judgement strongly favor one criterion over another
7	Demonstrated importance	A criterion is strongly favored and its dominance is demonstrated in practice
9	Absolute importance	The evidence favoring one criterion over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments	When compromise is needed

Nota. Tomado de Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. Saaty, 1994

En términos teórico matemático, el procedimiento es el siguiente para la creación del modelo AHP:

Identificación del problema. Antes de empezar con la construcción del modelo se debe definir qué problemática se quiere abordar, delimitando la población, muestra y expertos que van a ser necesarios para la solución del problema.

Definición del objetivo. En este paso se define hacia donde se quiere llegar con la solución del problema, así se tendrá un mejor norte sobre lo que se quiere lograr a mediano o largo plazo.

Identificación de criterios. En este paso se establecen los criterios que se deben tener en cuenta para darle solución a la pregunta que surge de la identificación del problema, estos criterios se establecen gracias al método Delphi, en el cual se reúnen un grupo de expertos y se determina el número de criterios y su nivel de importancia.

Identificación de alternativas. En esta etapa las alternativas se definen como las posibles soluciones que puede tener el problema, a partir de estas alternativas se desarrolla el modelo multicriterio. Estas alternativas surgen en la reunión de expertos o también de información recolectada.

Nivel de jerarquía de los criterios. Después de establecer los criterios y las alternativas se establece la importancia que tienen los criterios, para esto se utilizan los juicios de valor de Saaty, como se muestra en la tabla 1, a continuación.

Tabla 2.

Juicios de Valor Saaty

JUICIOS DE VALOR DE SAATY	
1	Igual importancia
2	Moderadamente más importante un elemento que otro
3	Fuertemente más importante un elemento que en otro
4	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro

5 Importancia extrema de un elemento frente a otro

Nota. Adaptada de Desarrollo de un modelo multicriterio para la selección y priorización de criterios para proyectos de voluntariado global en Colombia, Jiménez Amorocho, A. S., & Sánchez Urbina, D. F. (2020).

Estos juicios permiten interpretar cuantitativamente las conclusiones de los expertos, después de realizarles las encuestas y muestran que criterio tiene más valor que otros.

Matrices pareadas. Como último paso están las matrices pareadas, estas matrices permiten determinar el porcentaje que tiene cada criterio y alternativa, para así compararlos de manera cuantitativa.

La construcción de las matrices se realiza a partir del vector prioridad de cada uno de los criterios, para obtener la matriz normalizada, esta última nos indica el porcentaje de importancia de cada criterio con respecto al objetivo principal de la organización. Esta matriz es aplicada tanto para los criterios como para las alternativas, así mismo se realizará una suma total de los porcentajes de cada criterio con respecto a cada alternativa. Por último, se calcula la priorización de cada uno del criterio, donde se establece el peso final de cada criterio.

En términos matemáticos se construye de la siguiente manera:

Etapas 1

Se tiene que $A = \{A_{bb} = 1, 2, \dots, m\}$ son los criterios. La comparación de pares se presenta como m , en una matriz $M \times M$, donde cada elemento tiene la importancia según el criterio que sea, como se evidencia en la Ecuación (1): (Saaty, 1994)

Ecuación 1

$$C = (d_{ab}), a, n = 1, \dots, m \quad (1)$$

Etapas 2

La priorización está dada por u (vector propio): (Saaty,1994)

Ecuación 2

$$Cu = \lambda_{max}u \quad (2)$$

Etapas 3

El índice de consistencia(CI) es: (Saaty,1994)

Ecuación 3

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (3)$$

Etapas 4

La relación de consistencia final (CR): (Saaty,1994)

Ecuación 4

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Etapas 5

Para el ratio de consistencia es importante que este no supere el valor de El límite superior , ya que si lo hace demuestra que los datos de los criterios no tienen un orden concreto y no existe cohesión en los valores dados. (Saaty,1994)

Ecuación 5

$$C = (d_{ab}) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{u_1}{u_2} & \dots & \frac{u_1}{u_n} \\ \frac{u_2}{u_1} & 1 & \dots & \frac{u_2}{u_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{u_m}{u_1} & \frac{u_m}{u_2} & & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Etapas 6

Calculo del vector de la matriz ponderada:

$$CR = CI/RI$$

El Formula de la relación de consistencia (CR): (Saaty,1994)

Ecuación 6

$$CR = 100 \left(\frac{CI}{RI} \right) \quad (6)$$

Etapas 7

Ponderación de la importancia de las funciones objetivas:

Ecuación 7

$$1 = R_{11} \times w_1 + R_{p2} \times w_2 + \dots + R_{pd} \times w_d \quad (7)$$

Ecuación 8

$$p = R_{p1} \times w_1 + R_{p2} \times w_2 + \dots + R_{pd} \times w_d \quad (8)$$

Marco normativo

Dentro de las normativas que se requieren para realizar un diseño el cual cumpla las metas de la organización se deben tener en cuenta las normas mostradas en la tabla 3.

Tabla 3.

Marco normativo

Norma	Aplicación en la selección de proveedores
ISO 9000:2000	Las normas ISO 9000:2000 están conformadas por el sistema de gestión de la calidad, los cuales se enfocan en el cumplimiento de los requisitos que garantizan la correcta ejecución de los procesos solicitados por el cliente; en este caso, los requisitos que solicita Ecopetrol a los proveedores. Este sistema permite que los proveedores demuestren a la organización su capacidad de satisfacer la demanda del bien o servicio que se solicita según los lineamientos presentados. Las cuales están vinculan los criterios que busca Ecopetrol S.A en sus procesos de compra y selección de proveedores para el abastecimiento de materiales. (ISO 9000:2000 Sistemas de Gestión de la Calidad. Conceptos y Vocabulario)
ICONTEC	Para la selección de proveedores las normas ICONTEC permiten a los proveedores obtener un certificado de cumplimiento de los siguientes procesos: 1. Certificación de Calidad: Si un proveedor cuenta con una certificación ICONTEC en calidad (por ejemplo, bajo la norma ISO 9001 adaptada a Colombia), indica que el proveedor ha implementado un sistema de gestión de calidad que cumple con estándares reconocidos. Esto puede ser un criterio importante al evaluar y seleccionar proveedores. 2. Responsabilidad Ambiental: Las empresas que buscan proveedores comprometidos con prácticas sostenibles pueden dar preferencia a aquellos que cuentan con certificaciones ambientales otorgadas o reconocidas por ICONTEC. 3. Seguridad y Salud en el Trabajo: Las normas relacionadas con la seguridad y salud ocupacional pueden ser relevantes, especialmente si la empresa busca proveedores que operen en sectores industriales o de alto riesgo.

4. Criterios Técnicos Específicos: Dependiendo del sector o producto en cuestión, puede haber normas ICONTEC específicas que establezcan criterios técnicos que los proveedores deben cumplir.
5. Transparencia y Credibilidad: Trabajar con proveedores que siguen y están certificados bajo normas ICONTEC puede mejorar la percepción de transparencia y credibilidad de una empresa ante sus *stakeholders* (personas interesadas en la organización como: los empleados, los accionistas, los clientes, los proveedores, los gobiernos y las comunidades.).
6. Uniformidad y Estándares Comunes: Al adoptar normas ICONTEC en procesos de selección, las empresas pueden asegurarse de que todos los proveedores potenciales estén evaluados bajo los mismos criterios y estándares, lo que facilita la comparación y selección. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC))

ISO 9001:2015

Para la selección de proveedores se debe pasar por varios filtros, la cláusula 8.4, se enfoca en “El control de los procesos, producción y servicios suministrados externamente”. Lo cual nos indica que los servicios o productos ofrecidos por los proveedores deben cumplir con los requisitos en su totalidad. Pero quien determina los requisitos es la empresa solicitante del servicio o el bien, asegurándose de su propia gestión de proveedores y de calidad de su cadena de abastecimiento. (González Muñoz, I. B, 2018)

Marco conceptual

Proveedor

Empresa o persona encargada de suministrar bienes o servicios a entidades u organizaciones (José Ruiz, 2014).

Cadena de Abastecimiento

Es un conjunto de procedimientos para administrar de manera eficiente la adquisición, producción y distribución de un producto o servicio, desde la obtención de los recursos necesarios hasta la entrega al cliente final. El objetivo es maximizar la eficiencia y reducir los costos de producción. (José Ruiz, 2014).

Metas

Se define como el objetivo que se quiere lograr en un tiempo y espacio determinado (José Ruiz, 2014).

Objetivos

Determina la dirección en la que se quiere llevar a cabo el proyecto.

Criterios

Son los estándares que validan la aceptación de las decisiones.

Base de proveedores

Conjunto de proveedores con los que cuenta una empresa para adquirir los bienes y servicios necesarios para su óptima operación (Harker,1987).

Modelo Multicriterio AHP

Modelo de toma de decisiones la cual prioriza y evalúa cada una de las alternativas según varios criterios organizados jerárquicamente (Saaty, T. L.,1980).

Marco Metodológico

6.1 Diseño de estudio

El presente estudio tiene un enfoque netamente cuantitativo debido a que el fin último de este trabajo de grado es diseñar un modelo multicriterio, a su vez es una investigación aplicada de tipo descriptiva en la recolección de datos, ya que en la recolección de datos se le aplicaron cuestionarios a los expertos para determinar la opinión y criterios a tener en cuenta por cada uno de los expertos, lo cual permite recolectar y analizar la opinión de los expertos de manera individual y grupal sin que sea alterada la información. A su vez es una investigación de tipo explicativa, puesto que este tipo de estudio no se ha realizado en el sector de O&G en Colombia, específicamente en Ecopetrol S.A, junto a esto el estudio se centra en mostrar detalles del problema a solucionar, proporcionando nueva información respecto a la aplicación de un modelo multicriterio AHP en el país de Colombia en el sector energético del gas y petróleo.

6.2 Estructura metodológica

En el presente estudio la metodología que se va a seguir va a estar dada por Saaty (Saaty, T. L.,1980). También llamado método de proceso de jerarquía analítica, como se menciona en Dulanto, (2016). Para el diseño de este modelo se deben seguir las siguientes etapas:

6.2.1 Diagnóstico y recolección de información de la selección de proveedores en la empresa Ecopetrol S.A

Para plantear el modelo AHP es necesario conocer el contexto en el cual se va a ejecutar el modelo, en este caso el sector en el cual está presente la empresa, además de conocer el entorno empresarial de la empresa se debe conocer el objetivo de la empresa y su modelo de selección de proveedores. El proceso para el desarrollo de este modelo se realiza a partir de la metodología planteada por Saaty. (Saaty, T. L.,1980).

6.3 Población

La población a estudiar dentro del proyecto de grado se dirige a los proveedores de categoría compras, específicamente proveedores de motores de combustión para la perforación de pozos. La muestra de esta población es muy variable, debido a que depende del número de proveedores que ingresen en el sistema SIPROE y superen los filtros dentro del modelo, para este caso de estudio se tomó una muestra de 4 proveedores (A, B, C y D) los cuales superaron los filtros del modelo operativo de gestión del abastecimiento, los nombres de los proveedores se mantienen de forma confidencial debido a que fue uno de los requisitos de la empresa Ecopetrol S.A. para utilizar la información de estos proveedores.

En el desarrollo de la investigación se utiliza el método Delphi para la identificación de los criterios y de su importancia según los expertos. El método Delphi no abarca una muestra grande, este método se enfoca en los juicios de los expertos y la experiencia que estos tienen en su campo de trabajo, en este caso la muestra es de 10 expertos del equipo DAU (Departamento de abastecimiento del *Upstream*).

Para la selección de estos participantes se plantaron los siguientes requisitos:

1. Trabajadores del área del *Upstream* de la empresa Ecopetrol S.A.
2. Profesionales con más de cinco (5) años de experiencia en el área de abastecimiento.
3. Profesionales que pertenezcan al área de gestión de abastecimiento del *Upstream*.

En esta investigación se reunieron diez (10) expertos, pertenecientes a las áreas de *Upstream*, abastecimiento, finanzas, portafolio y perforación, las cual les se encargaba de hacer un seguimiento, control y evaluación a los contratos y contratación de proveedores para el abastecimiento de las diferentes regionales.

6.3.1 Recolección y determinación de los criterios

Para comenzar con el diseño del modelo AHP se utilizó el método Delphi. La técnica Delphi ha sido ampliamente utilizada en diversos proyectos. Como se mencionó en el marco teórico el principal objetivo de este método es recolectar las opiniones de los expertos, de forma confiable y coherente, para tomar la mejor decisión en el desarrollo del modelo AHP.

El desarrollo del método Delphi se ejecutó como se muestra en la figura 2. En la primera fase se realizó un diagnóstico de la empresa Ecopetrol S.A. en el cual se identificó el contexto de la organización sobre la selección de contratistas y el problema a solucionar con la aplicación del modelo de decisión.

Como segundo punto se seleccionaron los participantes, esta selección se llevó a cabo de forma específica teniendo en cuenta aspectos como el cargo dentro de la empresa, el área de trabajo dentro de la organización, la experiencia, el nivel académico y el contacto que tiene la persona con los proveedores. Todo esto para permitir encuestar a las personas idóneas para la solución del problema. Antes de realizar los cuestionarios, a cada posible participante se le conoció en persona y se le realizaron 3 preguntas.

1. ¿Participaría en un estudio el cual se quiere construir un modelo de decisión multicriterio para la selección de contratistas o proveedores?
2. ¿Está dispuesto a compartir su conocimiento para la creación de ciertos criterios?
3. ¿Se encuentra trabajando actualmente en el área de abastecimiento o Upstream?

Estas preguntas se realizaron con el fin de identificar cierto posibles participantes, así eliminando a los participantes los cuales no hacían parte del área en el cual está enfocado este estudio.

Como tercer punto se construyeron 3 cuestionarios en los que se le realizaron varias preguntas sobre su cargo en la organización, su experiencia laboral y varias preguntas sobre los criterios de selección de proveedores de categoría compra de motores a combustión. Este cuestionario se creó con el fin de identificar los expertos y su conocimiento sobre el tema, junto a esto se realizó preguntas sobre los criterios a tener en cuenta, como validación de ciertos criterios propuestos por anteriores investigaciones mencionadas en el estado del arte del presente trabajo.

Como cuarto punto se analizaron los resultados obtenidos de los encuestados y se determinó que expertos estarían dentro del estudio. A partir de este análisis se construyó un segundo cuestionario, el cual se realizaron preguntas sobre los criterios a tener en cuenta en la selección de proveedores de categoría compra.

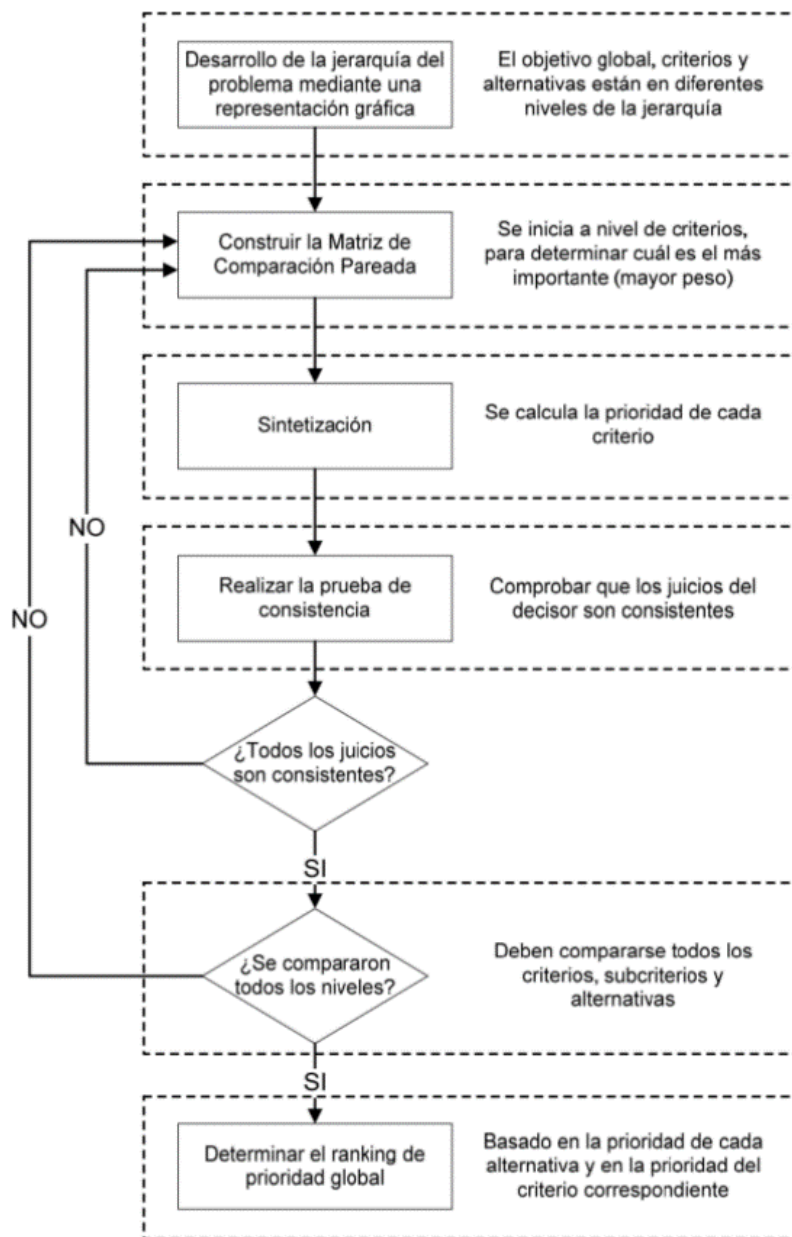
Como quinto punto se analizaron los datos obtenidos por el segundo cuestionario, a partir de estos resultados se realiza la confirmación de las preguntas realizadas en el primer cuestionario respecto a los criterios de selección y se determina los criterios que fueron seleccionados por los expertos, gracias al acuerdo de selección de importancia por los expertos. Como último punto se establece los criterios de selección que van a ser utilizados para la aplicación del modelo de decisión AHP.

6.3.2 Aplicación Modelo AHP

Después de obtener los resultados finales del método Delphi se inicia con la ejecución del modelo AHP, como se mencionó en el marco teórico anteriormente. Este modelo se ejecuta por medio de pasos.

Figura 4.

Diagrama de Aplicación de modelo AHP para un problema



Nota. Tomado de rojas ,2016

La *figura 5* nos muestra claramente las actividades a realizar para la construcción del modelo AHP, este modelo permitió validar la información recolectada en el método Delphi, a su vez tomado estos datos se realizó la construcción de las matrices por pares, para determinar el porcentaje de importancia de cada uno, para así construir un sistema de evaluación de proveedores. (Saaty. 2001)

Para el desarrollo del modelo se utilizó un software AHP-OS, es uno de los software más usados y útiles para la aplicación de estos modelos, también existen más programas como lo son EasyHP, MS Excel, The expert choice, entre otras que son utilizadas para el cálculo numérico de los modelos AHP.

6.3.3 Validación del modelo AHP

Este caso de estudio se tomaron cuatro proveedores reales localizados afuera y dentro de Colombia, algunos de estos tienen operación activa en territorio nacional. Como se mencionó previamente por protección de datos, políticas de manejo de datos de Ecopetrol S.A. y por confidencialidad, los nombres legales, contactos comerciales, rendimiento y demás datos de los proveedores se mantendrán en anónimo. Así mismo, los datos e información de los expertos que participaron en los cuestionarios se mantendrán en anónimo. Solamente la información que se tienen de los proveedores y expertos, es la que se utilizara dentro el diseño del modelo de selección de proveedores.

Por esto, a los cuatro proveedores seleccionados para este estudio de caso se les llamarán “A, B, C y D”, los cuales se desempeñan en la venta de motores de combustión (gasolina o diésel) para la perforación de pozos en territorio *Onshore*.

Después de realizado el modelo AHP y realizado la puntuación de los criterios establecidos, se realiza una suma de la puntuación que obtuvo cada proveedor en todos los criterios para así obtener el rendimiento ponderado de cada proveedor. Como paso final se realizó el análisis de los valores obtenidos para poder seleccionar el mejor proveedor de motores de combustión para perforación de pozos en la empresa Ecopetrol S.A.

Resultados y análisis

7.1 Diagnóstico y recolección de información de la selección de proveedores en la empresa Ecopetrol S.A

La construcción de un modelo de decisión en el sector petrolero, primero se debe realizar un estudio de la empresa Ecopetrol S.A. y de los modelos que se utilizan en la empresa actualmente para la selección de proveedores. Esto permitirá identificar los alcances, la estructura de la organización, la selección de los proveedores, como influye en las operaciones de la organización, desventajas y oportunidades. Los factores que son de importancia conocer como lo es el modelo de selección de contratistas o proveedores, el análisis del sector petrolero, la cadena de producción, actividades actuales y proyecciones de la empresa, para determinar los requisitos dados por la empresa y los clientes más importantes del país en el sector petrolero.

7.1.1 Diagnóstico de Ecopetrol S.A

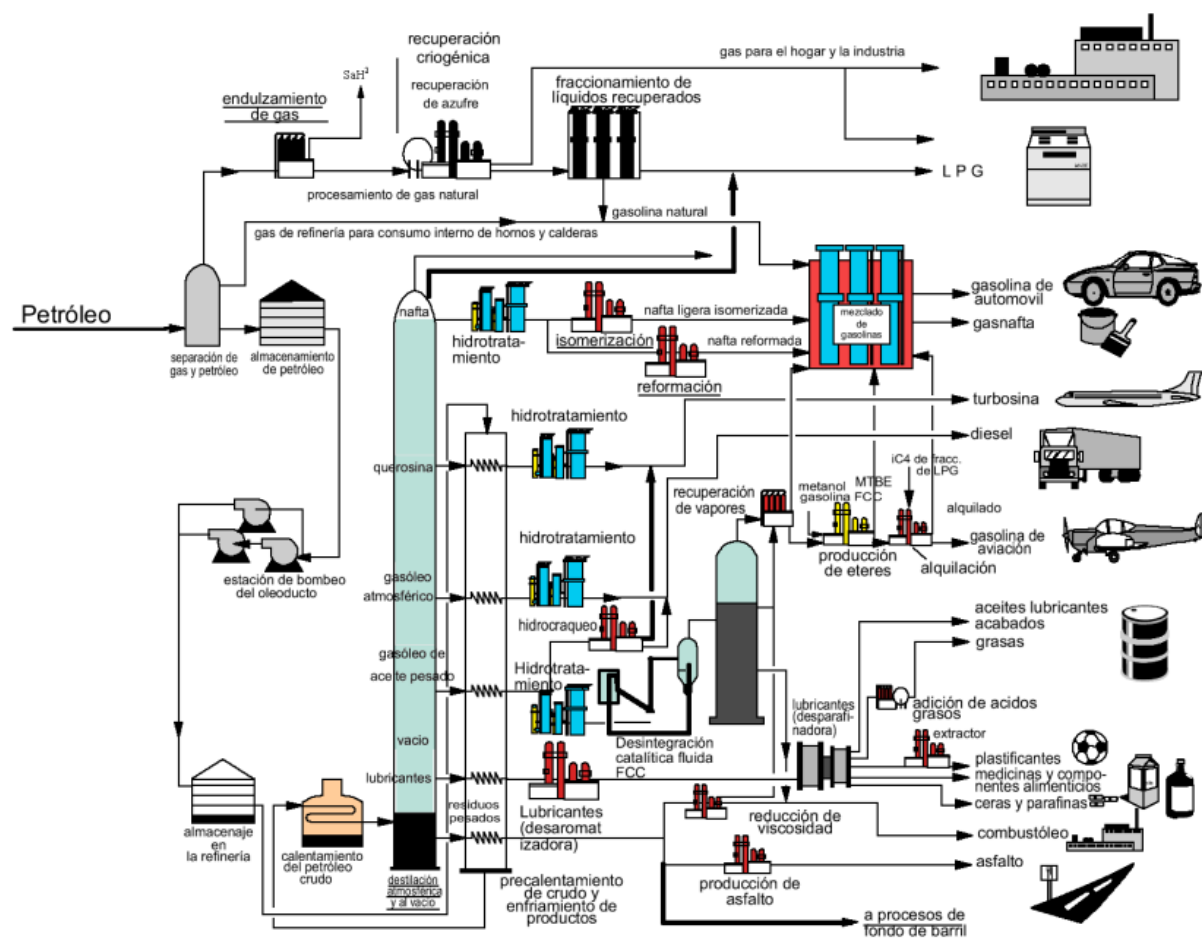
Ecopetrol S.A. es una empresa colombiana que opera bajo la forma de una sociedad anónima, está vinculada al Ministerio de Minas y Energía. Ecopetrol como compañía energética integrada que abarca todos los aspectos de la cadena de hidrocarburos, incluyendo exploración, producción, transporte, refinación y comercialización. Cuenta con una infraestructura lineal, como la transmisión de energía y concesiones viales. Ecopetrol es una de las empresas más importantes en Colombia, siendo responsable del 60% de la producción total de gas y petróleo en el país. Además, forma parte de las cuatro principales compañías petroleras de América Latina y se encuentra entre las 35 petroleras más grandes a nivel mundial (Ecopetrol, 2021).

La mayoría de la infraestructura de transporte y refinación del país está involucrada con la empresa, con una red de 8.124 kilómetros de oleoducto y poliducto a lo largo de todo el país, también cuenta con pozos de extracción en el centro, sur, oriente y norte del país, dos refinerías,

puertos para exportación e importación de crudo en ambas costas, como se observó Ecopetrol tiene una infraestructura muy robusta y bien estructurada la cual le permite competir a nivel internacional como se mencionó anteriormente. A su vez cuenta con el más alto estudio y conocimiento geológico de las diversas cuencas, tiene una política fuerte de respeto por las comunidades y el entorno, donde se llevan a cabo las actividades de exploración y producción de gas y petróleo, es una empresa reconocida por su buena gestión ambiental, tanto en el Upstream (exploración y producción) como en el *downstream* (refinación, petroquímica y biocombustibles). Estas operaciones de producción de gas y petróleo se muestran en la figura 5, donde se observó todo el proceso y la importancia que tiene este producto en nuestra vida cotidiana (Ecopetrol, 2021).

Figura 5.

Proceso productivo de petróleo y gas Ecopetrol S.A.

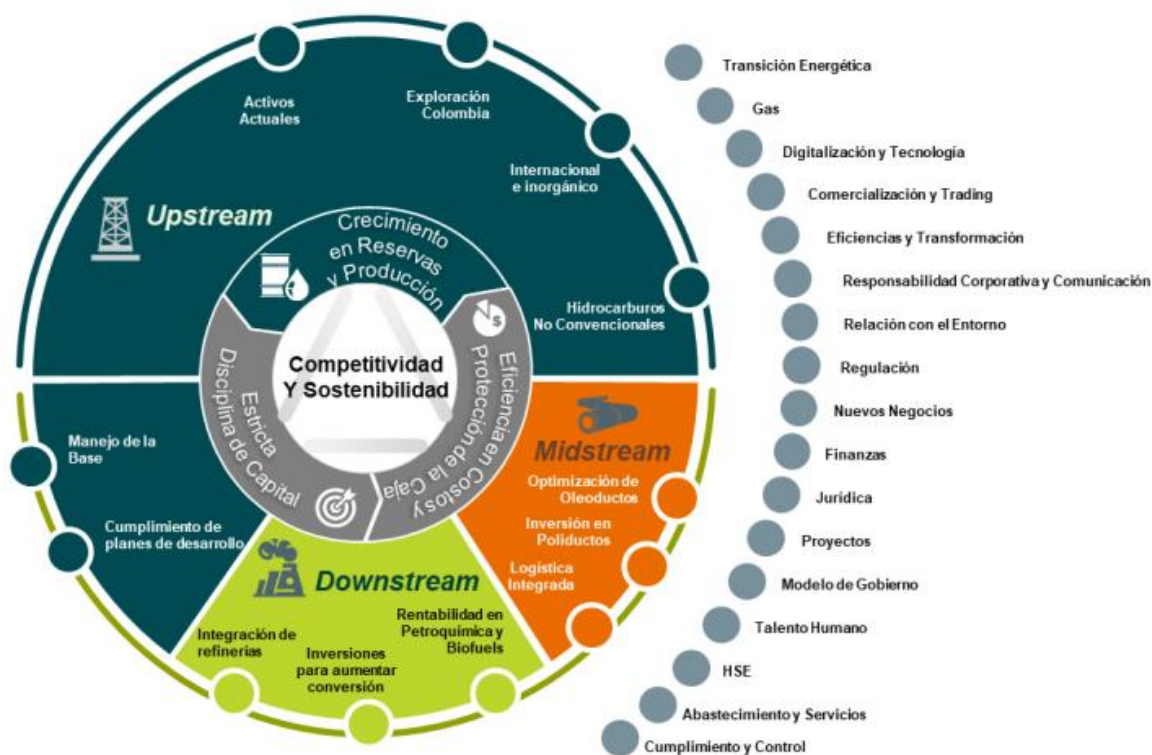


Nota. Tomado de estudios SCM de Ecopetrol S.A 2014

Como se observó en la *figura 6* se muestra todo el proceso productivo de gas y petróleo dentro de la empresa Ecopetrol, estos procesos hacen parte de la cadena de producción en la empresa en la cual el crudo llega a la refinería (refinaría de Cartagena o de Barrancabermeja), se somete a un proceso de destilación el petróleo y a partir de ahí se encamina el proceso productivo del gas y del combustible, que posteriormente serán entregados a los consumidores finales. Para explicar mejor todo el proceso operativo que se lleva a cabo dentro de la empresa Ecopetrol S.A se puede analizar en la *figura 6*.

Figura 6.

Marco Estratégico Ecopetrol S.A.



Nota. Plan estratégico Ecopetrol S.A 2021

En la figura 6 se explica claramente todas las etapas de los procesos operativos dentro de Ecopetrol S.A., dividiendo el plan estratégico en tres (3) etapas: 1. *Upstream*, 2. *Midstream* y 3. *Downstream*.

La clasificación de estas etapas se da por las operaciones que se realizan dentro de la misma. En la etapa del *Upstream* se encuentra todo el proceso de exploración, sísmica y extracción del crudo, en el *Midstream* se encuentra en transporte del crudo por el oleoducto y toda la logística de transporte del crudo, por último, está el *Downstream* en el que se realiza todo el proceso de venta de los derivados del crudo ya posteriormente refinados y la puesta de estos en el mercado.

7.1.2 Estructura Organizacional

Para la gestión de estos procesos existen varias vicepresidencias dentro de la organización, estas vicepresidencias están ubicadas y distribuidas en el organigrama de la figura 8, cada una a

su vez subdividida en distintas áreas con diferentes objetivos específicos.

Dentro de estas vicepresidencias, las encargadas de realizar la planeación, control de los proveedores y firma de contratos con los proveedores son las vicepresidencias de abastecimiento y *Upstream*. Por esto es importante estudiar la estructura y el modelo operativo de estas dos (2) vicepresidencias.

Figura 7.

Estructura organizacional



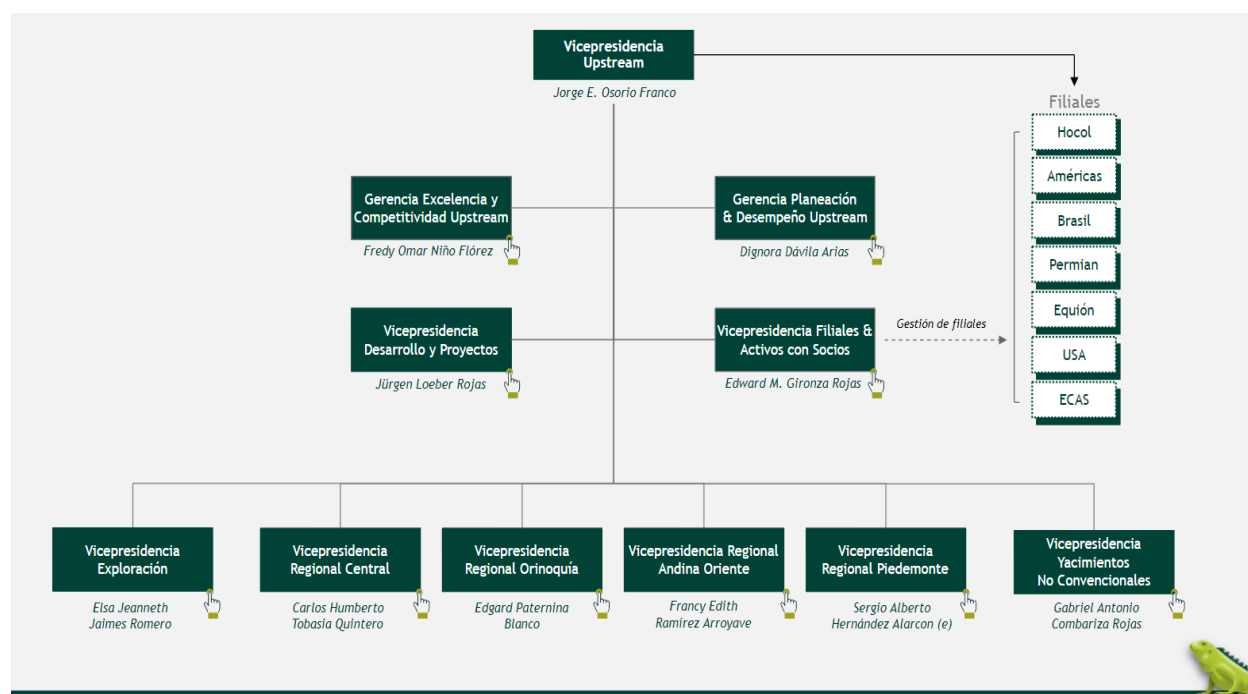
Nota. Ecopetrol S.A. 2023

La vicepresidencia del *Upstream*, es una de las vicepresidencias que se encuentran en la estructura organizacional de Ecopetrol, como se observó en la *figura 7*. Esta vicepresidencia es una de las más importantes, ya que el *Upstream* indica el inicio de la cadena de abastecimiento del petróleo y gas en Ecopetrol, este sector se enfoca en la planeación, exploración y perforación del petróleo y gas en Ecopetrol. Esta área es de las más importantes, puesto que realiza la exploración de posibles pozos petroleros dentro de las regionales y gestiona todas las operaciones y contratos vinculados con la perforación y extracción del crudo.

Esta vicepresidencia está subdividida en distintas gerencias, regionales y filiales, como se puede ver en la *figura 8*.

Figura 8.

Organización de la vicepresidencia del Upstream



Nota. Ecopetrol, 2023

Esta vicepresidencia tiene cuatro (4) principales gerencias, dentro de las cuales se encuentra la gerencia de planeación y desempeño *Upstream*, esta gerencia es de las más importantes en

cuanto a temas de planeación y contratación con proveedores, ya que esta dirección se enfoca en “establecer una visión estratégica e integrada de oportunidades futuras y del desempeño transversal del segmento *Upstream* en proyectos de corto mediano y largo plazo. Esta área lidera los procesos de planeación y la gestión del desempeño de los equipos regionales y los equipos técnicos, mediante la gestión del abastecimiento. Es el interlocutor principal entre las áreas de finanzas, estratégicas y abastecimiento, creando proyecciones y tiempos de respuesta adecuados para la organización.” (Ecopetrol,2023).

La vicepresidencia de abastecimiento y servicios es responsable de garantizar el constante, efectivo y razonable suministro de bienes y servicios para todas las operaciones en las regionales de Ecopetrol S.A. Utilizando el modelo de abastecimiento estratégico pre establecido en la organización, con el fin de mejorar la administración y desarrollo de procesos dentro de Ecopetrol S.A. siempre siendo respaldados por un protocolo de ética y buena conducta de la organización.

7.1.3 Red de la Cadena de suministro de Ecopetrol S.A

La red estructural de la cadena de suministros de Ecopetrol S.A está conformada como se muestra en la figura 10.

Figura 9.

Red estructural Supply chain management

RED ESTRUCTURAL SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ECOPETROL S.A

PROVEEDORES 3 NIVEL	PROVEEDORES 2 NIVEL	PROVEEDORES 1 NIVEL	ECOPETROL	CLIENTES 1 NIVEL	CLIENTES 2 NIVEL	CLIENTES 3 NIVEL	CLIENTES FINALES
• ECOPETROL • HOCOL • OCCIDENTAL DE COLOMBIA • EQION • PETROBRAS • TEPMA • MANSAROVAR • META PETROLEUM • CEPESA • NEXEN • OCENSA • PERENCO • HUPECOL • ETC	Son subcontratistas de un proveedor contratado por la empresa para ofrecer bienes y/o servicios en virtud de su contrato con la empresa. Entre estas tenemos a la Fábrica de Catalizadores CARIOCA y Fábrica de Catalizadores GRACE.	Los proveedores de tercer nivel están enfocados a un acercamiento más amistoso con los clientes de Ecopetrol S.A		La empresa Ecopetrol S.A. cuenta con clientes de primer nivel alrededor del mundo y son los siguientes: Induquímica Colombiana, Megisulfatos, Industria Básicas de Caldas, Productos químicos Panamericanos.	Los clientes que conforman este grupo son aquellos en donde la presentación del producto es totalmente remota y reside sobre él	Hidroeléctricas, termoeléctricas, proyectos petroleros, minería, estructuras y empresas minoristas.	Son todas aquellas personas que ejercen la profesión de químicos y todas las empresas que utilizan este producto para otros procesos como es la vulcanización del caucho y en la fabricación de otros tipos de aceros.

Note. Fuente propia

Dentro de la red se puede observar la secuencia del flujo de información, materia prima(crudo) y recursos. Dentro de este esquema existe mayor cantidad de proveedores dentro de la cadena de abastecimiento, esto es debido a que para la extracción de petróleo y transporte de este producto se hace necesaria la contratación de empresas de servicio, como lo pueden ser de transporte, de mantenimiento, quipos de perforación, equipos de sísmica, entre otros.

Ecopetrol no solo requiere materia prima para ejecutar sus procesos operativos, necesita de una gran cantidad de contratistas y proveedores, los cuales cada uno de ellos cumplen una función específica dentro de las operaciones de los pozos de las regionales, es debido a esto su importancia. Los proveedores y contratistas son el pilar fundamental para ejecutar y mantener las operaciones en los pozos, ya sea *onshore* u offshore, entiendo como *onshore* las operaciones en Ecopetrol en tierra y offshore las operaciones realizadas en cuerpos de agua, en este caso mar pacífico y Caribe.

Dentro de las operaciones de Ecopetrol, estas tienen cierto porcentaje de procesos y actividades, las cuales son ejecutadas específicamente por Ecopetrol y sus funcionarios, pero debido a la gran magnitud de procesos y trabajos a realizar dentro de la organización es mucho más rentable realizar acuerdos con contratistas para ejecutar ciertas actividades dentro de los procesos operativos. Estos procesos, que son ejecutados ya sean por contratistas o por Ecopetrol, son gestionados y planificados por diferentes vicepresidencias que están ubicadas dentro de la estructura organizacional de Ecopetrol S.A.

7.1.4 Modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento

El área de abastecimiento junto con el área del *Upstream* utilizan un modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento, este modelo detalla los procesos operativos de abastecimiento de bienes y servicios en Ecopetrol, el cual se diseñó con base en la identificación de mejores prácticas nacionales e internacionales derivadas de literatura pública, de empresas y construcción de expertos en abastecimiento, con el objetivo de transformar y mejorar el desempeño de la empresa. Mostrando un marco y una estructura a seguir en cada uno de los procesos, asegurando la entrega de valor a la organización bajo parámetros de ética, transparencia y diligencia. (Ecopetrol,2023)

Este modelo es aplicado para todas las compras y contrataciones desarrolladas dentro de Ecopetrol S.A. Exceptuando la comercialización de crudo, la compra de energía eléctrica, soluciones logísticas integrales (transporte, cargue y descargue de productos de Ecopetrol), operaciones financieras (manejo de pagos, recaudos, transferencias, mensajería electrónica, extractos, entre otros) procesos de compra para nuevos negocios y procesos de gestión de convenios y patrocinios. Este modelo tiene como objetivo principal asegurar el suministro efectivo, responsable y sostenible a largo plazo de bienes y servicios, de forma segmentada, en

términos de costos, oportunidades, desempeño, calidad y nivel de riesgo. La estructura que lleva este modelo está dada por 5 actividades clave como lo muestra la figura 10.

Figura 10.

Estructura general del modelo operativo de gestión de abastecimiento

PLANEACIÓN DE ABASTECIMIENTO	APROVISIONAMIENTO	GESTIÓN DE CONTRATOS	LOGÍSTICA Y GESTIÓN DE INVENTARIOS
Anticipar y planear la atención de compras y contratos, mediante la gestión estratégica de categorías, basada en el Plan de Abastecimiento Integral y la implementación de estrategias y alternativas para actividades no planeadas.	Ejecutar las compras y contrataciones de la organización, asegurando niveles óptimos de costo, oportunidad y calidad del bien y/o servicio planeado.	Asegurar el debido inicio, ejecución, cierre y balance final de contratos, con una adecuada gestión de eventualidades, optimo ciclo de pago y la evaluación del desempeño del contratista, bajo un enfoque técnico y segmentado por complejidad de contratos.	Gestionar integralmente el proceso de logística y administración de inventarios de la cadena de suministro de bienes de Ecopetrol (no incluye materias primas), determinando la cantidad y oportunidad óptima del inventario y el gobierno de catálogo.
Estructurar las necesidades de compras y contratación desde la perspectiva técnica y comercial.			
GESTION DE PROVEEDORES			
Gerenciar Proveedores de manera diferenciada para apalancar la eficiencia del proceso de Abastecimiento y la viabilización de la operación de forma responsable y sostenible, así como promover y solicitar el cumplimiento de las disposiciones sobre inhabilidades, incompatibilidades y conflictos de interés; sobre prevención del fraude, el soborno, la corrupción, el lavado de activos y la financiación del terrorismo; y sobre la libre competencia.			

Nota. Modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento. Ecopetrol 2021

El área de planeación de abastecimiento se centra en anticipar y planear la atención de las necesidades de compra y contratistas de Ecopetrol, utilizando la gestión estratégica de categorías, basada en el PAI (Plan de abastecimiento integral). Esta actividad recolecta la demanda interna de servicios y bienes dentro de las diferentes regionales para así organizar por regionales las necesidades presentes y posteriormente solicitarlas. Aparte de detectar las necesidades, se centra en siempre incorporar la perspectiva de generación de valor dentro del grupo Ecopetrol. En esta actividad participan la vicepresidencia de abastecimiento.

En el área de aprovisionamiento ejecuta compras y contrataciones, asegurando niveles de

calidad, costo y oportunidad de los contratos con proveedores. Siempre con el enfoque de apalancar las regionales y el desarrollo local, siempre previniendo el riesgo de parálisis de una planta de las regionales.

La gestión de contratos es el conjunto de operaciones que ejecutan, cierran y realizan el balance de los contratos, teniendo en cuenta posibles eventualidades y haciendo la evaluación del desempeño del contratista durante todo el transcurso del contrato, según la complejidad técnica de los contratos. Dentro de la clasificación por complejidad existen tres (3) clases como se muestra a continuación: Tier 1: Técnica compleja, Tier 2: Técnica media y Tier 3: Técnica básica.

Esta clasificación permite determinar qué tipo de procedimiento y seguimiento se debe ejecutar en cada uno de los contratos, la Tier 1 es la operación que requiere más personal y seguimiento debido a su complejidad en campo, como lo pueden ser obras civiles o inspección de tanques o tuberías de crudo en Ecopetrol. La Tier 2 y 3 son operaciones de muy poca complejidad, son actividades más administrativas y de fácil solución.

Logística y gestión de inventarios es el principal gestor de la cadena de suministro de los bienes de Ecopetrol, en cuanto a la utilización y determinación de cantidad óptima de los inventarios y catálogos para su alineación con la gestión del recibo, almacenamiento y despacho de materiales. Esta área asegura el cumplimiento de las órdenes de compra, optimización del inventario, operaciones en bodega y patios, ejecuta los conteos de inventario, traslada el material entre bodegas y asegura el cierre de las operaciones logísticas dentro de las bodegas.

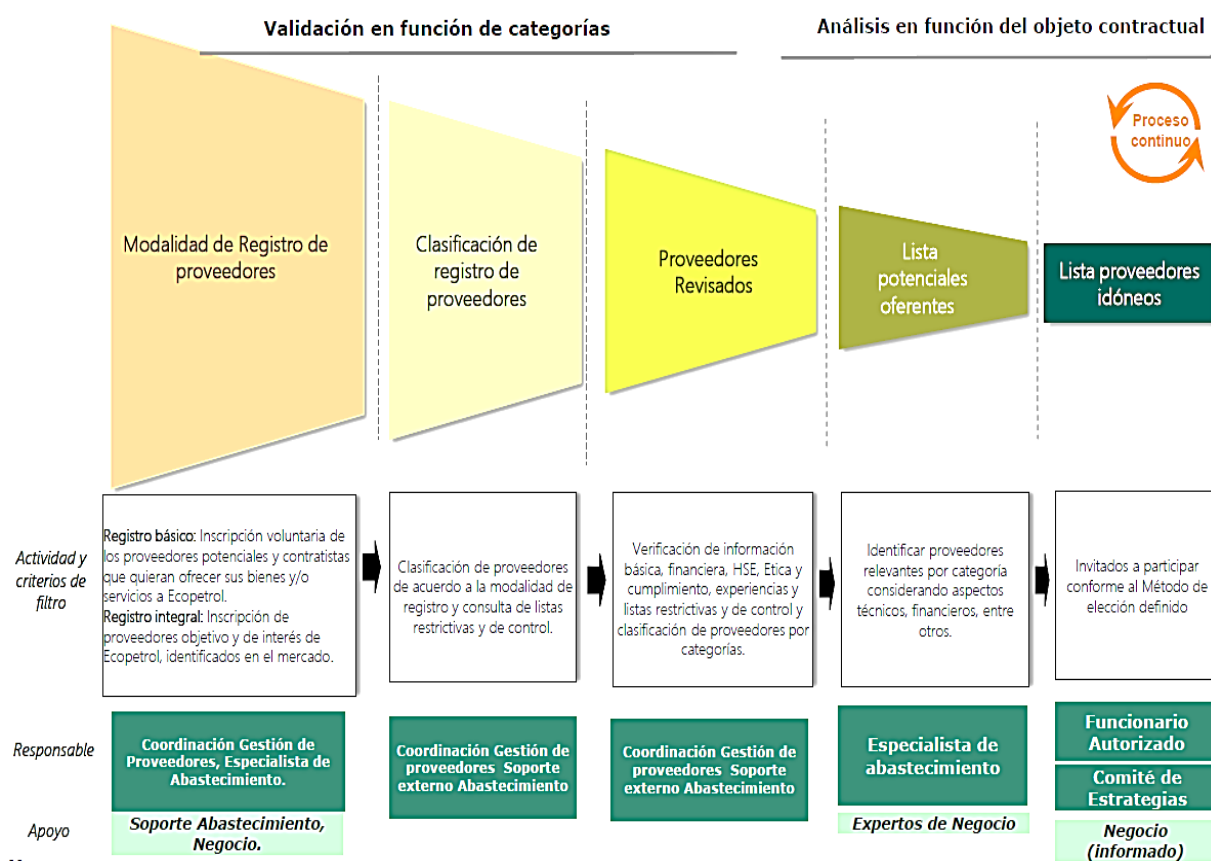
La Gestión de proveedores se enfoca en el apalancamiento de los procesos de abastecimiento y viabilizarían de las operaciones de forma responsable y sostenible, a través de la consolidación de una matriz de proveedores y acciones a desarrollar, identificación de proveedores por categoría, registro de proveedores objetivo y verificación de auto registro de los proveedores

en la página SIPROE (Sistema de información de proveedores Ecopetrol S.A.)

Para la identificación de futuros proveedores, se aplican cinco (5) filtros, los cuales se encuentran dentro del portal de auto registro de proveedores SIPROE, en este portal virtual los proveedores registran toda la información que requiere Ecopetrol para poder evaluar a los proveedores. Para poder ser seleccionado cada uno de los proveedores va a pasar por estos 5 filtros como se muestra en la figura 11.

Figura 11.

Identificación de proveedores potenciales



Nota. Modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento. Ecopetrol S.A. 2021

En la primera fase se registra toda la información requerida por Ecopetrol, este registro puede ser básico o integral, esto depende del tipo de proveedor. En la segunda fase se clasifica el

proveedor según la información suministrada por el mismo, dentro del modelo de abastecimiento, existen 14 categorías dentro de las que puede ser calificado el proveedor como se muestra a continuación: 1. Servicios de perforación, completamiento y subsuelo, 2. Sísmica, 3. Offshore, 4. Químicos catalizadores, 5. Tubería, 6. Obras por especialidad, 7. Mantenimiento, 8. Energía, 9. Ingeniería, 10. Consultoría y prestación de servicios, 11. Salud, 12. Servicios administrativos y generales, 13. Transporte y logística y 14. Compras.

En la tercera fase se valida toda la información suministrada por el proveedor y se descartan los proveedores que no cumplen con el cumplimiento mínimo legal que necesita Ecopetrol en sus operaciones. En la cuarta fase se identifican los posibles proveedores por categoría, considerando los aspectos técnicos, financieros, entre otros, y la última fase se definen la lista de proveedores idóneos para cada categoría. Este proceso se repite constantemente y cada vez son más los proveedores que realizan estos procesos de inscripción para hacer parte de las operaciones de Ecopetrol.

Luego de ejecutado el modelo operativo, los proveedores que fueron designados como posibles proveedores pasan a la fase de selección, pero esta selección se realiza de manera subjetiva, ya que el profesional encargado de escoger el proveedor, selecciona la mejor opción según sus juicios, más no por un proceso previamente establecido, lo cual implica que esta decisión tenga cierta variabilidad no medible y poca evidencia de porque se seleccionó dicho proveedor.

7.2 Definición de criterio a través del método Delphi

7.2.1 Cuestionarios

Antes de empezar a desarrollar el modelo Delphi se requirió analizar y conocer a los expertos que van a participar dentro de este método, su nivel de estudio, la interacción y conocimiento que tienen sobre la selección de proveedores. Se realizó un cuestionario (revisar

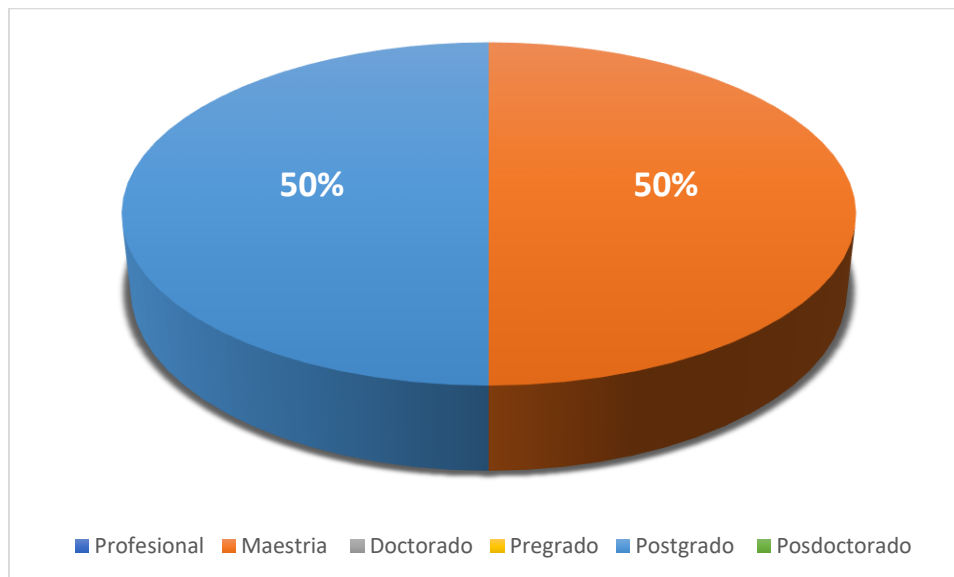
Anexo 1) en la que se le realizaron 6 preguntas, las cuales cumplieron el objetivo de recolectar información de los expertos y los tipos de criterios que se deben tener en cuenta para la selección de proveedores.

A continuación, se mostrará los resultados obtenidos por los cuestionarios aplicados a los expertos sobre el conocimiento de los modelos de selección de proveedores en la empresa Ecopetrol S.A.

Los expertos tienen que ser personas altamente clasificadas en el conocimiento de gestión de contratos del abastecimiento de la empresa, para saber esto se aplicaron las siguientes preguntas a través de un cuestionario proporcionado al grupo de trabajo de abastecimiento y *Upstream*.

Figura 12.

Nivel de escolaridad de los expertos participantes en el método Delphi



Fuente. Elaboración propia

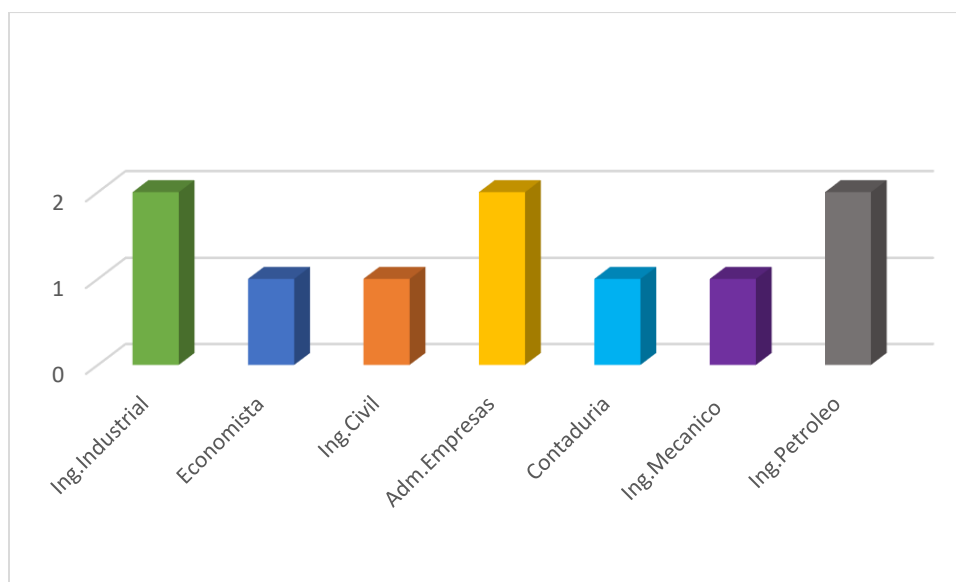
Dentro del modelo solo deben participar profesionales altamente clasificados como se observa en la *figura 12*, el 100% de los participantes tienen un nivel de escolaridad superior o igual

a postgrado. Lo cual demuestra su amplio conocimiento y formación dentro de las carreras o áreas en las que trabajan.

Así como su nivel académico es importante conocer qué carrera académica está enfocada este grado académico en la *figura 13* se evidencio que en el grupo de expertos la gran mayoría son Ingenieros industriales, administradores de empresas e ingeniero de petróleos, también se encuentran dentro del grupo de participantes con un 10% de participación cada uno, economistas, ingenieros civiles, contadores e ingenieros mecánicos.

Figura 13.

Título de pregrado adquirido por los expertos



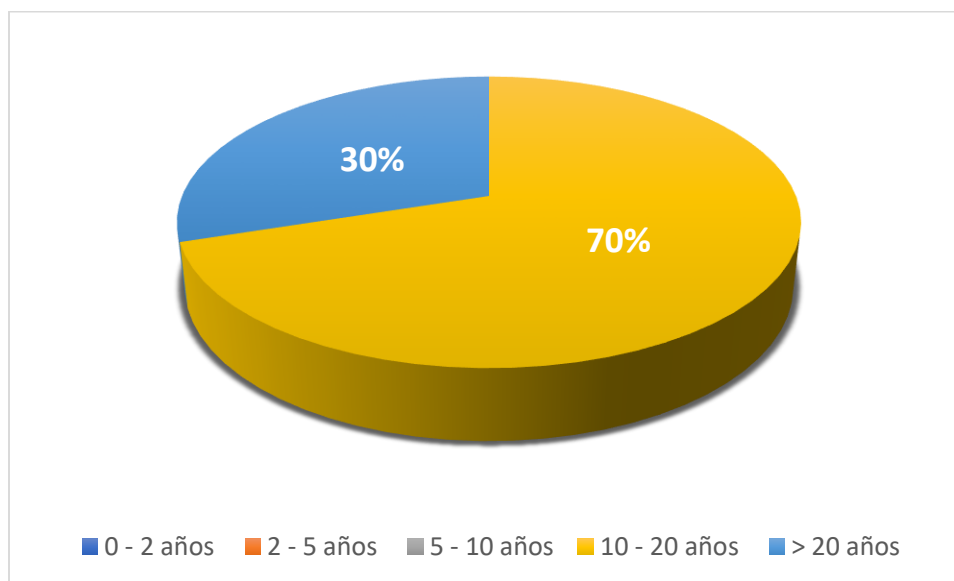
Fuente. Elaboración propia

A su vez la experiencia de los expertos con los proveedores es importante en este caso de estudio, ya que demuestra que al conocimiento del participante se le suma los años de experiencia en los que ha ejercido su labor, por eso es de alta importancia encuestar a expertos que tengan más de cinco (5) años de experiencia en el área de abastecimiento de la industria de petróleo y gas.

Como se muestra en la *figura 14* la experiencia de los expertos.

Figura 14.

Años de experiencia en el campo de abastecimiento de la empresa Ecopetrol S.A



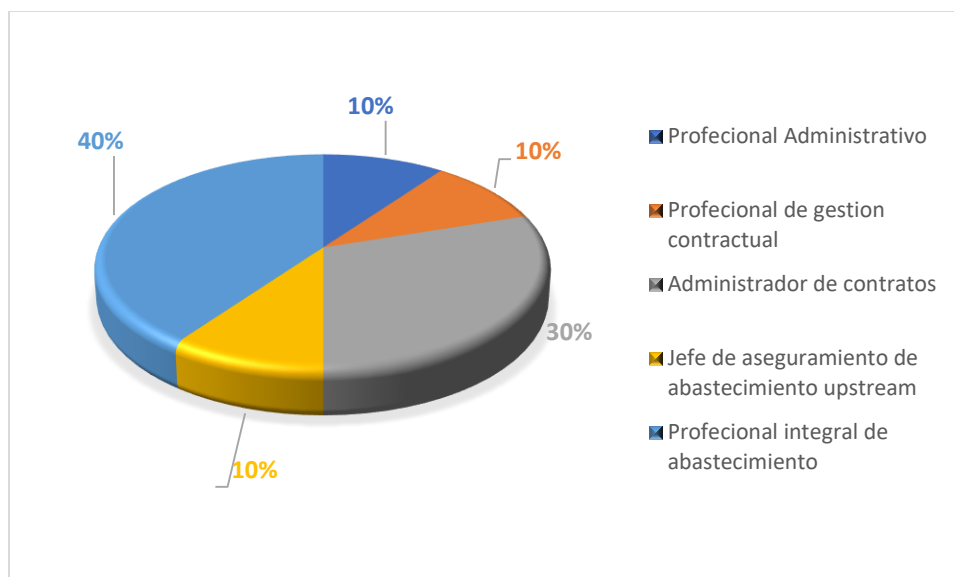
Fuente. Elaboración propia

En la figura 14 se observó que el 70% de los expertos cuentan una experiencia de 10 a 20 años en el área de abastecimiento de la empresa Ecopetrol S.A. Lo cual demostró que los participantes son los idóneos para establecer criterios de evaluación gracias a la gran experiencia que tienen dentro del área de abastecimiento en la empresa Ecopetrol S.A.

Dentro del ámbito organizacional de la empresa también es importante conocer el cargo de los participantes dentro de la empresa, para determinar que los expertos que participan dentro del método hacen parte del área de abastecimiento, gestión de contratos con proveedores o Upstream.

Figura 15.

Cargos de los expertos encuestados



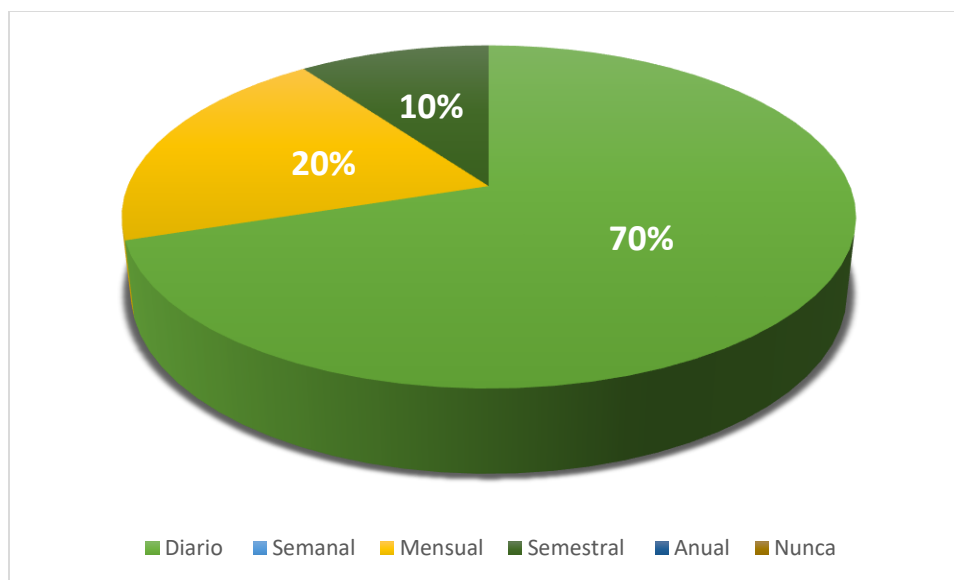
Fuente. Elaboración propia

Como se ve en la *figura 15*, el 40% de los participantes pertenecen al área de la gestión integral del abastecimiento, el 50% hacen parte del control y gestión de contratos del PAI (Plan de Abastecimiento Integrado) y también dentro de los expertos se encuentra el jefe de departamento de aseguramiento de abastecimiento Upstream. Todos los expertos tienen un puesto en el que se relaciona directamente con el abastecimiento o gestión de los contratos con proveedores de la empresa Ecopetrol S.A.

También se le pregunto a los expertos que tanto contacto tiene con los proveedores a lo largo del año, como se muestra en la *figura 16*.

Figura 16.

Frecuencia de contacto de los expertos con los proveedores



Fuente. Elaboración propia

La información recolectada en la *figura 16* permitió demostrar que tanto tiempo los expertos evalúan e interactúan con los proveedores en sus puestos de trabajo, para así verificar el contacto directo que se tiene con los proveedores. Este punto es importante ya que se necesita de ese conocimiento de evaluación de los proveedores, para identificar qué puntos clave se evalúan cuando se contacta con el proveedor.

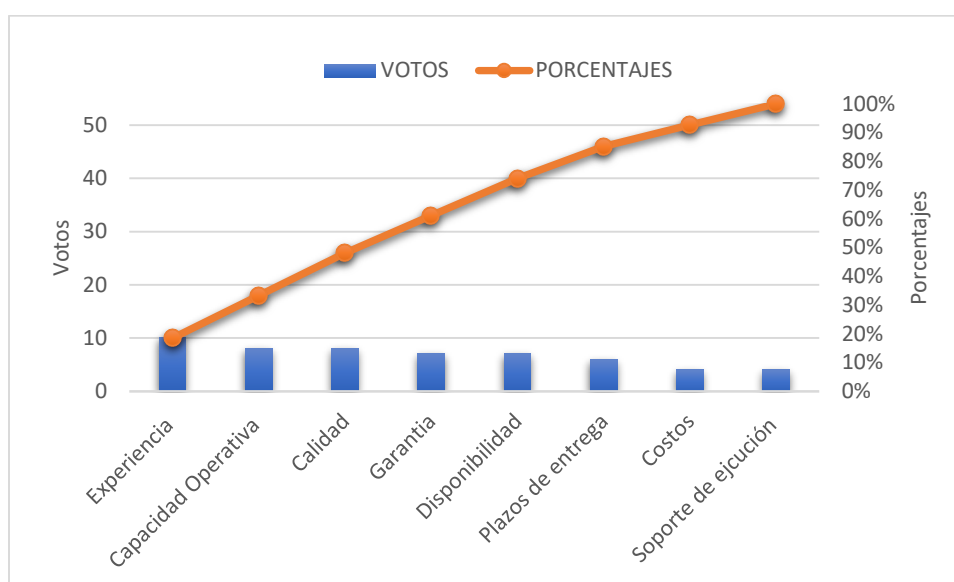
Posteriormente se realizó un segundo cuestionario en el que se le preguntó a los expertos por los criterios de selección de los proveedores. Este cuestionario se realizó para verificar que todos los expertos están de acuerdo y en concordancia con los criterios mencionados en el primer cuestionario a su vez validar los criterios que anteriormente los participantes mencionaron en el primer cuestionario. (revisar el Anexo 2).

Teniendo en cuenta la información recolectada por los cuestionarios anteriores se le preguntó a los expertos qué criterios se toman en cuenta al momento de seleccionar un proveedor de categoría de compra, llegando a un consenso entre los 10 expertos de que existen 8 criterios principales que se toma en cuenta a la hora de determinar esta decisión. Este acuerdo grupal se

llevó a cabo, gracias a la experiencia y conocimiento de los expertos en el área de abastecimiento y la cantidad de votos que los expertos realizaron según el orden de importancia de los criterios, mencionados en el segundo cuestionario.

Figura 17.

Diagrama de Pareto sobre los criterios seleccionados por el consenso entre expertos



Fuente. Elaboración propia

Dentro de los datos recolectados en el cuestionario dos (2), como se muestra en la *figura 17*, se determinó los criterios que se utilizaran para la selección de los proveedores de categoría compra de motores de combustión serían los siguientes: 1. Experiencia, 2. Plazos de entrega, 3. Calidad, 4. Capacidad operativa, 5. Costos, 6. Soporte de ejecución, 7. Disponibilidad, 8. Garantía.

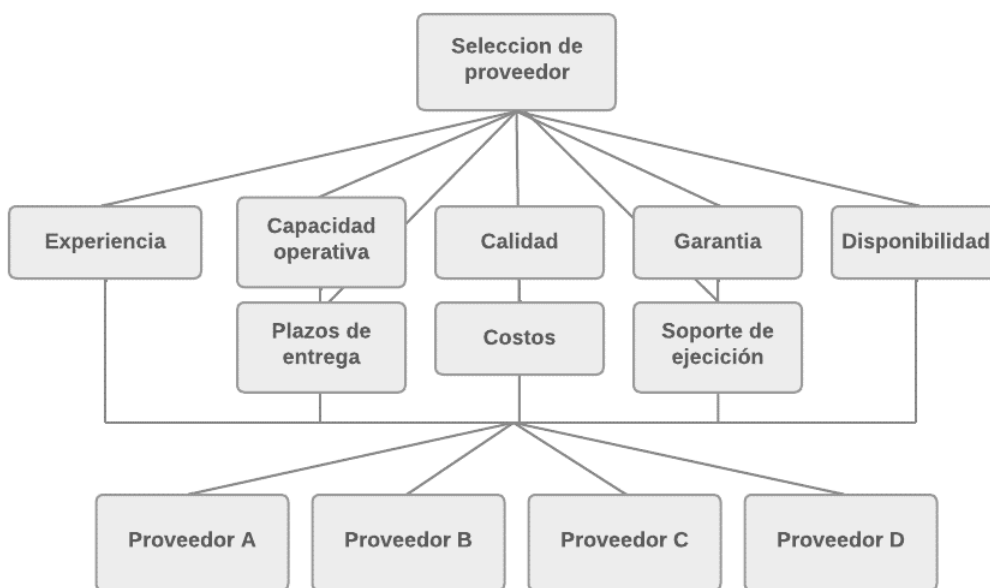
Estos criterios fueron organizados de mayor a menor como lo muestra la *figura 17*, este orden se dio gracias al número de veces que se votó por el orden de los criterios según su prioridad a la hora de seleccionar un proveedor, según los datos recolectados por el cuestionario número dos (2). (Consulte el Anexo 2)

7.3 Desarrollo del modelo AHP

Luego de recolectados los resultados finales del método Delphi se realiza el análisis del modelo AHP. Para estructurar el modelo primero se estructuro el problema en tres niveles en un organigrama empezando por el objetivo a lograr hasta las alternativas, como se muestra en la figura 18.

Figura 18.

Organigrama por jerarquía del modelo AHP



Fuente. Elaboración propia

En este organigrama solamente se tienen 8 criterios principales, en este caso de estudio no se aplicaron subcriterios debido a que se enfocó en solo una categoría de proveedor así los criterios son más específicos a la hora de ser evaluados. En la figura 18 se evidencian las cuatro (4) alternativas o proveedores que van a ser evaluados en el modelo AHP, pero antes de ponderar las alternativas se debe conocer la importancia de cada criterio.

Para la selección de los cuatro (4) proveedores que van a estar presentes dentro del estudio, se consultó el Modelo operativo del proceso de gestión de abastecimiento el cual descarta a los proveedores que se inscriben, pero no cumplen con los mínimos requisitos que solicita Ecopetrol y selecciona a los proveedores que posiblemente pueden ser seleccionados como proveedor idóneo, así como se mencionó se tomaron los proveedores que pasaron los filtros para convertirse en proveedores de categoría compra: motores de combustión. También se consultó el PAI (plan de abastecimiento integrado) de la empresa Ecopetrol S.A para obtener los datos de los proveedores de los criterios que se establecieron en el método Delphi.

Para construir el modelo AHP se utilizó la herramienta Microsoft Excel en la que primero se tabuló los datos de cada proveedor dados por Ecopetrol S.A, en el que se conoció la experiencia, capacidad operativa, calidad, garantía, disponibilidad, plazos de entrega, costos y soporte de ejecución, como se muestra en la figura 19.

Figura 19.

Información de los proveedores respecto a los criterios

COMPRAS ROTATIVAS(Motor de combustión (Gas, oil, fuel-oil, gasoline, Diesel) y sus partes)								
CRITERIOS								
PROVEEDOR	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución
A	12	Estandar	ALTA	SI	SI	153	\$ 4.000.000,00	SI
B	15	Buena	ALTA	SI	SI	180	\$ 4.000.000,00	SI
C	10	Estandar	MEDIA	SI	SI	153	\$ 4.000.000,00	SI
D	9	Estandar	MEDIA	SI	SI	88	\$ 3.600.000,00	NO

Fuente. Elaboración propia

En la figura 19 se menciona a los motores de perforación como compras rotativas ya que la compra de estos motores generalmente se realiza mediante cuotas, las cuales se van pagando mensualmente, se le llama rotativa a esta compra ya que cada vez que se cumple con las cuotas de la deuda, el dinero que estaba predispuesto para el pago de la deuda queda a disposición de la

organización. Así mismo la información en el criterio de costos de cada uno de los proveedores es el valor de la cuota a pagar mensualmente. Debido a los permisos impuestos por Ecopetrol no fue posible acceder a más datos respecto a los proveedores y a la organización, por esto no se aclara la cantidad de cuotas, precio total a pagar a cada proveedor, nombre de los proveedores y demás datos.

A partir de esta información y la información obtenida por el método Delphi se realizó la ponderación de los criterios, para determinar qué criterios son los más importante y en qué porcentaje (consultar Anexo 3), como se observa en la figura 20.

Figura 20.

Ponderación de los criterios

Ponderación de criterios									
Criterios	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución	
Experiencia	1	3	3	3	3	5	5	7	
Capacidad Operativa	1/3	1	3	3	3	5	5	7	
Calidad	1/3	1/3	1	1	3	3	5	5	
Garantía	1/3	1/3	1	1	3	3	5	5	
Disponibilidad	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	5	5	
Plazos de entrega	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	3	3	
Costos	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3	
Soporte de ejecución	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	
TOTAL	2,876190476	5,542857143	9,066666667	9,066666667	13,73333333	20,66666667	29,33333333	36	
MATRIZ NORMALIZADA									
	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución	PONDERACIÓN
Experiencia	0,35	0,54	0,33	0,33	0,22	0,24	0,17	0,19	29,7%
Capacidad Operativa	0,12	0,18	0,33	0,33	0,22	0,24	0,17	0,19	22,3%
Calidad	0,12	0,06	0,11	0,11	0,22	0,15	0,17	0,14	13,4%
Garantía	0,12	0,06	0,11	0,11	0,22	0,15	0,17	0,14	13,4%
Disponibilidad	0,12	0,06	0,04	0,04	0,07	0,15	0,17	0,14	9,7%
Plazos de entrega	0,07	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,10	0,08	5,5%
Costos	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,08	3,7%
Soporte de ejecución	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	2,4%

Fuente. Elaboración propia

Esta ponderación se realizó utilizando los juicios de Saaty, así como se evidencio en la figura 20. Se comparó cada fila de la matriz con cada uno de los criterios de cada columna, al ser iguales los criterios se le designa el valor de uno (1) debido a que su importancia es igual, en la comparación de dos (2) criterios diferentes, se le designa un valor de tres (3) si es moderadamente importante, cinco (5) si es fuertemente importante, siete (7) si es muchos más importante o nueve

(9) que indica que es de importancia extrema. En la comparación entre el criterio de experiencia y los plazos de entrega se le dio un juicio de valor de cinco (5) respecto al criterio de experiencia, ya que este es fuertemente más importante que el criterio de plazos de entrega dentro de la empresa Ecopetrol según la importancia que le dieron los expertos en el método Delphi.

Cuando se comparan las columnas con las filas se realizó utilizando los mismos juicios de Saaty, pero de forma negativa respecto a la importancia de los criterios de la siguiente manera: Cuando un criterio es moderadamente menos importante se utilizó $1/3$, cuando es fuertemente menos importante se usa $1/5$, si es mucho menos importante se usó $1/7$ y cuando es mínimamente importante se usa $1/9$. Al comparar los plazos de entrega con el criterio de experiencia, se le da una ponderación de $1/5$, lo cual significa que el criterio de plazos de entrega es fuertemente menos importante con respecto al criterio de experiencia. Así mismo, se realizaron todas las comparaciones dentro del matriz.

Paso siguiente a la construcción de la matriz de ponderación de los criterios se construyó una segunda, la matriz normalizada en esta se tomó cada valor clasificado según los juicios de Saaty y se dividió en la suma total de cada criterio para así realizar un promedio de todos los criterios, lo que concluyó en los porcentajes de importancia en la columna de ponderación de la figura 20.

Esta ponderación nos permitió identificar en qué porcentaje los criterios tiene más peso sobre los otros dándole así un orden a los criterios.

Como segundo paso se realizó la ponderación de las alternativas, en esta ponderación se utilizó la información de la *figura 19*, para clasificar cada una de las comparaciones entre los proveedores, como se evidencia en la *figura 21*.

Figura 21.*Ponderación de las alternativas*

Ponderación de los proveedores									
Criterio 1: Experiencia						Matriz Normalizada			
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	1	1/3	3	5		0,220588235	0,178571429	0,409090909	0,357142857
B	3	1	3	5		0,661764706	0,535714286	0,409090909	0,357142857
C	1/3	1/3	1	3		0,073529412	0,178571429	0,136363636	0,214285714
D	1/5	1/5	1/3	1		0,044117647	0,107142857	0,045454545	0,071428571
Total	4,533333333	1,866666667	7,333333333	14					
Criterio 2: Capacidad Operativa						Matriz Normalizada			
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	1	1/5	1	1		0,125	0,125	0,125	0,125
B	5	1	5	5		0,625	0,625	0,625	0,625
C	1	1/5	1	1		0,125	0,125	0,125	0,125
D	1	1/5	1	1		0,125	0,125	0,125	0,125
Total	8	1,6	8	8					
Criterio 3: Calidad						Matriz Normalizada			
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	1	1	3	3		0,375	0,375	0,375	0,375
B	1	1	3	3		0,375	0,375	0,375	0,375
C	1/3	1/3	1	1		0,125	0,125	0,125	0,125
D	1/3	1/3	1	1		0,125	0,125	0,125	0,125
Total	2,666666667	2,666666667	8	8					

Fuente. Elaboración propia

Para la ponderación de las alternativas se realizó un proceso similar a la ponderación de los criterios, primero se construyó la matriz clasificada con los juicios de Saaty, pero los criterios a tener en cuenta fueron las características de cada uno de los proveedores como se observó en la figura 19. Luego se construyó la matriz normalizada para obtener el vector promedio, este vector nos indica la calificación de cada proveedor respecto a cada criterio, según la información suministrada por Ecopetrol S.A (figura 19). Este proceso se realizó para cada criterio establecido.

Posterior a la ponderación de las alternativas se construyó la matriz de priorización o selección de los proveedores, como se muestra en la figura 22.

Figura 22.*Matriz de selección de proveedor*

Criterios / Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	8	Priorización
A	0,291348358	0,125	0,25	0,25	0,25	0,19154283	0,125	0,3	0,23
B	0,490928189	0,625	0,25	0,25	0,25	0,07666812	0,125	0,3	0,39
C	0,150687548	0,125	0,25	0,25	0,25	0,17231206	0,125	0,3	0,18
D	0,067035905	0,125	0,25	0,25	0,25	0,55947698	0,625	0,1	0,20
Ponderación	29,7%	22,3%	13,4%	13,4%	9,7%	5,5%	3,7%	2,4%	

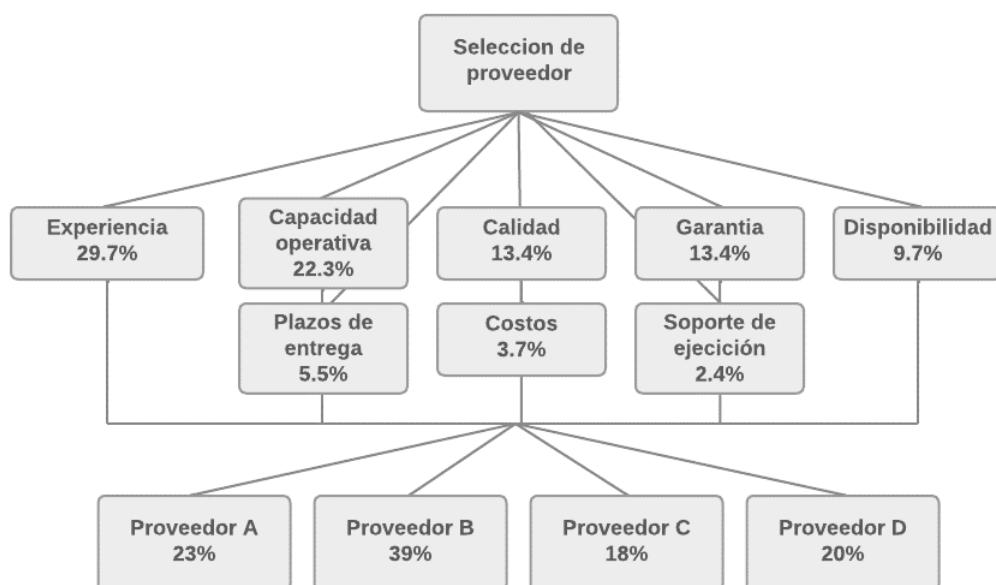
Fuente. Elaboración propia

En esta matriz se ubicaron todas las calificaciones que obtuvieron los proveedores en cada criterio, a partir de estos resultados se realizó una suma producto de todas las clasificaciones del proveedor y se multiplico por la importancia de cada criterio, para obtener la clasificación final de cada proveedor y así identificar la alternativa idónea.

A partir de las ponderaciones de los criterios y alternativas se realizó un organigrama, con los porcentajes de importancia de los criterio y priorización de las alternativas como se muestra en la figura 23.

Figura 23.

Organigrama con ponderación de criterios y alternativas



Fuente. Elaboración propia

Como se observó en la gráfica 23 en el presente caso de estudio se determinó que el proveedor B tiene una priorización del 0.39 (indica la acumulación de los valores obtenidos en cada uno de los criterios según las características del proveedor), lo que nos indica que es el proveedor idóneo a ser seleccionado para este estudio de caso respecto a los demás proveedores.

7.4 Validación del modelo AHP

Como menciona Díaz Castellanos, E. E (2016) en su estudio sobre la validación de un modelo matemático, menciona que para realizar la validación de los resultados obtenidos por los jueces o expertos en el modelo AHP se debe realizar una prueba de consistencia, donde los criterios de aceptación y las alternativas deben cumplir un CR (ratio de consistencia) menor al 0.10. De este modo la validación se realizó de la siguiente manera:

Posterior a la construcción de las matrices para los criterios y las alternativas se realizó la validación de congruencia de los datos expuestos por los expertos en cada una de las matrices, hallando el vector normalizado de cada criterio ponderado respecto a las alternativas. Para hallar el vector normalizado se realizó la multiplicación de las dos matrices (matriz de ponderación y normalizada) y así obtener la suma de todos los valores (revisar *figura 21*)(revisar Anexo 3). Con estos datos vamos a obtener el índice de consistencia y el índice de consistencia aleatoria, para hallar el índice de consistencia, se resta a la suma total de la multiplicación de las matrices, el número total de criterio para posteriormente dividirlo en siete (se obtuvo de restarle al número total de criterios uno) como se muestra en la *ecuación 9*. Para hallar el índice de aleatoriedad se multiplico la constante 1.98 por el número de criterios menos 2, para así dividirlo en el total de criterio establecidos, como se observa en la *ecuación 10*. Estos dos índices ahora nos permiten halla CR (Consistency Ratio) o Relación de consistencia para evaluar la congruencia de los datos

suministrados por los expertos, para hallar el CR se divide el índice de consistencia sobre el índice de consistencia aleatoria, como se muestra en la *ecuación 11*. Para validar que los datos sean congruentes con los criterios y su ponderación, el CR debe ser inferior a 0.1, como se muestra en la figura 22 a continuación.

Ecuación 9

$$\text{Indice de consistencia} = \frac{(8.922 - 8)}{(8 - 1)} = 0.1317$$

Ecuación 10

$$\text{Indice de consistencia aleatoria} = \frac{(1.98 * (8 - 2))}{(8)} = 1.485$$

Ecuación 11

$$CR = \frac{\text{indice de consistencia}}{\text{Indice de consistencia aleatoria}} = 0.0887 < 0.1$$

Figura 24.

Relación de consistencia

AxP		
2,684521941	Indice de consistencia	0,1317447
2,040686809	Indice de consistencia aleatoria	1,485
1,200586951	CR (relación de consistencia)	0,08871697
1,200586951		
0,828104816	CR < 0,1	Esta bien
0,462877888		
0,303363159		
0,201484356		
8,922212871		

Fuente. Elaboración propia

La validación se realizó con todas las matrices de ponderación junto con las matrices normalizadas, obteniendo como resultado los CR inferiores a 0.10 en todas las matrices, demostrando así la congruencia y validez de los datos dentro de las matrices. (revisar Anexo 3)

7.4.1 Validación a partir del Software AHP-OS:

A su vez, para validar el proceso de validación del modelo AHP se utilizó el Software AHP-OS, en el que se completarían los datos requeridos en el modelo para comprobar la construcción del modelo, como se muestra a continuación en las figuras 25 y 26. Este Software se usó como comprobación de los cálculos realizados en las hojas de Excel previamente mencionadas en el capítulo de resultados, lo cual incluye matrices, ponderación y cálculo del CR (ratio de consistencia).

Figura 25.

Desarrollo del modelo AHP en el Software AHP-OS

Nombres de criterios AHP

Por favor, completalos

AHP priorities	
Nombre de los Criterios	
1	Experiencia
2	Capacidad operativa
3	Calidad
4	Garantía
5	Disponibilidad
6	Plazos de entrega
7	Costos
8	Soporte de ejecución
máx. 45 carácter ea.	
OK	

Fuente: Elaboración propia

Figura 26.

Uso de la calculadora de prioridad AHP

[AHP-OS](#) [Latest News](#)

Calculadora de prioridad AHP

Language: [English](#) [Deutsch](#) [Español](#) [Português](#)

Criterios AHP

Seleccione el número y los nombres de los criterios, luego comience por la comparación de pares comparaciones para calcular prioridades usando el proceso de jerarquía analítica.

Seleccione el número de criterios:

Ingrese el número y los nombres (2 - 20) OK

Comparación por pares

28 pairwise comparison(s). Haga la comparación por pares de todos los criterios. Cuando esté completo, click *Check Consistency* para obtener las prioridades.

Con respecto a AHP priorities, que criterio es mas importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

	Cuál prefiere A - AHP priorities - o B?		Igual	¿Cuánto más?
1	☒ Experiencia	☐ Capacidad operativa	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
2	☒ Experiencia	☐ Calidad	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
3	☒ Experiencia	☐ Garantía	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
4	☒ Experiencia	☐ Disponibilidad	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
5	☒ Experiencia	☐ Plazos de entrega	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
6	☒ Experiencia	☐ Costos	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

Fuente. Elaboración propia

Para el uso del Software se utilizó la calculadora de prioridades AHP, en la que se utilizaron los juicios de los expertos para cada uno de los criterios establecidos como lo muestra la *figura 20*, en la calculadora se evaluaron los criterios con los juicios de Saaty, mencionados en el marco teórico. En esta calculadora se ingresaron todos los datos recolectados en el método Delphi, para obtener como resultado la matriz de decisión (figura 20).

Figura 27.

Establecimiento de la importancia de cada criterio

Prioridades resultantes

Prioridades

Estos son los pesos resultantes para los criterios basados en sus comparaciones por pares:

Cat		Prioridad	Rank	(+)	(-)
1	Experiencia	30.5%	1	15.5%	15.5%
2	Capacidad operativa	22.9%	2	9.9%	9.9%
3	Calidad	13.3%	3	5.5%	5.5%
4	Garantía	13.3%	3	5.5%	5.5%
5	Disponibilidad	9.2%	5	4.3%	4.3%
6	Plazos de entrega	5.2%	6	2.0%	2.0%
7	Costos	3.4%	7	1.8%	1.8%
8	Soporte de ejecución	2.3%	8	0.9%	0.9%

Número de comparaciones = 28
Ratio de consistencia CR = 7.2%

Matriz de decisiones

Los pesos resultantes se basan en el vector propio principal de la matriz de decisión:

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	7.00
2	0.33	1	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	7.00
3	0.33	0.33	1	1.00	3.00	3.00	5.00	5.00
4	0.33	0.33	1.00	1	3.00	3.00	5.00	5.00
5	0.33	0.33	0.33	0.33	1	3.00	5.00	5.00
6	0.20	0.20	0.33	0.33	0.33	1	3.00	3.00
7	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.33	1	3.00
8	0.14	0.14	0.20	0.20	0.20	0.33	0.33	1

Principal auto valor = 8.710
Solución autovector: 7 iterations, delta = 2.3E-9

Fuente. Elaboración propia

Como se muestra en la figura 27 se determinó la importancia mostrando el criterio de la experiencia como el más importante con una prioridad del 30% sobre los demás criterios y a su vez se validó la selección de los expertos, hecha en el método Delphi. Para la comprobación de los juicios hechos por los expertos, se evidencio en la figura 27 que el CR (ratio de consistencia) es menor al 10%, lo cual indica que son óptimos los juicios y tienen sentido en el método Delphi. El máximo valor de CR que se obtuvo fue de 7.2%, como se muestra en la *figura 27*.

7.4.2 Validación del modelo AHP con los expertos

A su vez, se validó el modelo presentándolo a los expertos que participaron en las encuestas del método Delphi. Esta validación se llevó a cabo en una reunión sistemática que se realiza periódicamente dentro de Ecopetrol S.A., para realizar una evaluación de las actividades a desarrollar y que se están ejecutando dentro de las operaciones de abastecimiento o *Upstream*. En

esta reunión se le presentó a los expertos el desarrollo del modelo, primero dándoles a entender que es el modelo multicriterio AHP, cuál es su función y sus posibles aplicaciones. Posteriormente, se les mostró el desarrollo del modelo AHP paso a paso, mostrando la utilidad de las encuestas que ellos mismo completaron previamente, como se mostró en el marco teórico anteriormente.

A partir de la explicación del modelo se les mostró la selección final del modelo, para reafirmar esta decisión según la opinión de los expertos, llegando a un mutuo acuerdo, el cual afirma que el proveedor idóneo según los objetivos y el enfoque que tiene Ecopetrol S.A. dentro de sus operaciones, para la selección del mejor proveedor de motores a combustión es el proveedor B, como se evidencio en la *figura 23*.

Conclusiones y Recomendaciones

En los últimos años se ha visto un incremento de estudios empresariales centrados en los procesos de las cadenas de suministro y en la toma de decisiones asertivas dentro de las organizaciones, buscando siempre optimizar su SCM. Es por esto, que se han planteado nuevas metodologías y modelos que permitan mejorar los procesos operativos, mediante la cuantificación de los datos y medición de variables cualitativas.

El presente trabajo de grado se caracterizó por implementar dos (2) modelos para la recolección de datos y los insumos de información, uno cuantitativo (AHP) y otro cualitativa (Delphi). Se realizó una evaluación de los factores necesarios para seleccionar un proveedor dentro de la empresa Ecopetrol S.A simplificando toda la información cualitativa en datos numéricos, los cuales le permitan a los trabajadores del área de abastecimiento tener evidencia sólida y verificable de cada una de las propuestas, y así, hacer una selección de proveedores más acertada y respaldada. Al respecto, se pudo concluir que la aplicación de los modelos cuantitativo y cualitativo permitieron diseñar un modelo AHP el cual brinda soportar con evidencias reales la selección de la mejor alternativa de proveedores en la categoría de compras de motor de perforación de pozos; así mismo, al permitir seleccionar el proveedor, valida la selección.

Este proceso metodológico de estudio aporta claridad, define lineamientos de manera eficiente para la recolección y determinación de datos clave que guíen las decisiones de la organización hacia su objetivo principal.

El diseño del diagnóstico organizacional, los procesos y modelos de selección de proveedores dentro de la empresa Ecopetrol S.A, aportaron toda la información necesaria y específica para visibilizar el modelo aplicado dentro de la organización. Situación que evidenció los diferentes vacíos o puntos de mejora que se debían abordar. El diagnóstico permitió visualizar

el panorama en el que influye la selección de proveedores dentro de la empresa, así se identificaron las áreas objetivo a profundizar y demás aplicaciones en las que este modelo puede ser útil, como lo son las diferentes categorías de proveedores dentro de la organización.

Con la recopilación de la información de los expertos en el área de abastecimiento, se definen los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar cierto tipo de proveedores dentro de la organización. Gracias a este método se diseñó un modelo de ocho (8) criterios con su importancia, para posteriormente diseñar y validar el modelo de decisión de proveedores. La selección y el análisis de los criterios permitió valorar, comparar y evaluar las matrices para cada proveedor (de manera anónima); información que permite diseñar y validar el modelo por medio del software buscando verificar la certeza del proceso y del cumplimiento de los criterios establecidos.

El diseño de un modelo único para la selección del proveedor idóneo en la empresa Ecopetrol S.A. es una herramienta de ayuda para los trabajadores de la organización en la toma de decisiones, conformado por la metodología Delphi y AHP; estas metodologías fueron seleccionadas para este presente caso de estudio teniendo en cuenta el fuerte respaldo de casos de éxito en investigaciones pasadas en la industria de O&G en otros países como Irán, ya que a nivel regional y de Colombia no se encontraron estudios exitosos. Demostrando que el modelo AHP es flexible y eficiente en cuanto a la adaptación a los problemas de toma de decisión, en la que se involucra varios criterios a tener en cuenta, evaluando la importancia de cada uno.

El método Delphi permite tener una visión más clara y acertada para la captura de datos, brinda aportes de expertos a través de la participación en los cuestionarios, logrando obtener una visión más real del entorno en el que se vayan a ejecutar estas metodologías. Así mismo, se puede concluir que es una gran herramienta para organizar la información difícil de cuantificar y validar

debido a su gran variabilidad y cantidad, no solo permite resolver el problema, sino que direcciona dentro de la empresa Ecopetrol un nuevo proceso a implementar dentro de la estructura empresarial ya establecida; facilitando la toma de decisiones, disminuyendo el tiempo y los riesgos de contrataciones erradas que se realicen al interior de la organización.

Dentro de la economía colombiana el sector del petróleo tiene una gran participación del 25.36% de las ventas extranjeras lo cual muestra que es uno de los sectores de mayor comercialización. La importancia de este sector en Colombia es evidente y el desequilibrio o alteración de este afectaría de manera directa e indirecta varios sectores. Por lo cual la aplicación de este modelo no solo permite estandarizar la selección de los proveedores, sino que brinda una herramienta de ayuda no solo para Ecopetrol sino para la gran cantidad de empresas de varios sectores. Como se evidencio en el estudio de caso, es una solución matemática para la selección de proveedores y su rendimiento durante la selección del proveedor seleccionado.

A partir de la aplicación de este modelo podrían servir como ejemplo para la aplicación en otros sectores como lo puede ser el sector de transporte, el cual es un sector importante en el contexto colombiano, permitiendo la toma de decisiones asertiva debido al gran crecimiento poblacional que se está viviendo actualmente en las principales ciudades de Colombia.

Por ultimo este modelo podría ser ejecutado también por una inteligencia artificial, para esto se realizaría un soporte de programación y matemático adicional, aplicando un modelo híbrido. Los resultados de este nuevo modelo podrían ser útiles para realizar una futura aplicación de este modelo en la organización y así evaluar su impacto en el rendimiento de la cadena de abastecimiento de la organización aplicada.

Referencias

- Argyris, C. (1976). Single-Loop and Double-Loop Models in Research on Decision Making. *Administrative Science Quarterly*, 21(3), 363–375. <https://doi.org/10.2307/2391848>
- Ávila Mogollón, R. M. (1996). *Proyecto regional. Santiago, Chile, 2000. Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible*. Santiago: Proyecto FAO.
- Avetta. *Dificultades de abastecimiento de petróleo y gas*. Retrieved from <https://www.avetta.com/es/blog/4-dificultades-del-abastecimiento-de-petroleo-y-gas-con-soluciones>
- Bertier, P. y Bouroche, J. M. (1981). *Analyse des données multidimensionnelles*. Paris: PUF.
- Bertier, P. (1973). *La méthode Electre II: une application au media planning*. In M. Ross(ed.), *Operational research* 72 (pp. 291-302). New York: North Holland Publishing Co.
- Berumen, S. A. (2005). An Approach to Local and Regional Competitiveness. *Cuadernos De Administración*, 18(29).
https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/5269
- Berumen, S. A. (2006). *Una aproximación a los indicadores de la competitividad local y factores de la producción*. *Cuadernos De Administración*, 19(31).
https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/5238
- Berumen, S. A., & Llamazares Redondo, F. (2007). *La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente*. *Cuadernos de administración*, 20(34), 65-87.
- Boletín Oficial del Estado (2002, 5 de enero). *Orden de 17 de diciembre del Ministerio de Economía*. BOE: Madrid.

- Osorio Gómez, J. C., Herrera Umaña, M. F., & Vinasco, M. A. (2008). Modelo para la evaluación del desempeño de los proveedores utilizando AHP. *Ingeniería y Desarrollo*, (23), 43-58.
- Cardona Arango, F. A. (2020). *Diseño de una herramienta metodológica para gestionar el modelo AHP en algunas pymes de la ciudad de Medellín*. Departamento de Biblioteca y Extensión Cultural. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/5179>
- Crew, A. (2004). *Trade's paradigm under analysis*. Johannesburg: St. Andrew.
- Chin, K.S., Yeung, I., & Pun, K.F. (2006). *Development of an assessment system for supplier quality management*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(7), 743-765.
- Darling, A. (2004). *Establishing priorities for the preservation of historic cities*. Washington: Inter-American Development Bank (IADB).
- Díaz Castellanos, E. E., Díaz Ramos, C., Barroso Moreno, L. A., & Pico González, B. (2016). Estudio Empírico Para La Validación De Un Modelo Matemático Que Mide El Desempeño Corporativo En Industrias Manufactureras (Empirical Study for the Validation of a Mathematical Model to Measure Corporate Performance in Manufacturing). *Revista Global de Negocios*, 4(1), 21-33.
- De Vicente, M. A. (1999). *Ayuda multicriterio a la decisión: problemática de los criterios en los métodos de sobreclasificación*. Madrid: Dykinson.
- Dulanto Gómez, J. R. (2016). *Marco metodológico DELPHI-AHP para la gestión de la innovación tecnológica en los institutos públicos de investigación (IPIs)*. Universidad Peruana Cayetano Heredia. <https://1library.co/document/z11lp3ez-metodologico-delphi-gestion-innovacion-tecnologica-institutos-publicos-investigacion.html>

Editorial La República. (2021). Es loco pensar en la Economía sin el Petróleo.

<https://www.larepublica.co/opinion/editorial/es-loco-pensar-en-la-economia-sin-el-petroleo3265492>

Fernández Bustillo, A. (2010). *Diseño de una herramienta de evaluación multicriterio*. Facultad de Informática UPM. <https://oa.upm.es/7304/>

Fernández-Ávila DG (2019), et al. *El método Delphi en la investigación en reumatología: ¿lo estamos haciendo bien?* RevColomb Reumatol. 2019.

González Muñoz, I. B., & Ramírez Gómez, C. A. (2018). Articulación de los sistemas de calidad, Consejo Nacional de Acreditación (CNA) y normas NTC-ISO 9001 para programas académicos de educación superior en instituciones públicas. *Tendencias*, 19(1), 187-203.

Guerrero, L. C. U., Marín, L. S. M., & Gómez, J. C. O. (2016). Selección multicriterio de aliado estratégico para la operación de carga terrestre. *Estudios Gerenciales*, 32(138), 35-43.

Goepel, K.D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy

González, A. G., & Ríos, R. G. (2003). *Aplicación de las técnicas multicriteriales en la evaluación y selección de proveedores*. Ingeniería Industrial, 24(2), 2.

Huang, S. and Keskar, H. (2007). *Comprehensive and configurable metrics for supplier selection*. International Journal of Production Economics, 27, 510-523.

Hammond, J. S., Keeney, R. L. y Raiffa, H. (2001). *Decisiones inteligentes: guía práctica para tomar mejores decisiones*. Barcelona: Gestión 2000.

Harker, P. T. (1987). *The incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process*.

- Mathematical Modelling*. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90503-3](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90503-3)
- Herbert A. Simon says. (1989). *The rethoric of decision making science*. Science, Technology & Human Values.
- ISO 9000:2000 *Sistemas de Gestión de la Calidad. Conceptos y Vocabulario*. Retrieved from <https://gestiondecalidadmpn.files.wordpress.com/2012/02/iso-9000-2000-sistemas-de-gestic3b3n-de-la-calidad-conceptos-y-vocabulario.pdf>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana (NTC) ISO 9001-2015
- Maldonado Benalcázar, A. (2020). Aplicación y análisis de metodologías multicriterio para la selección de proveedores. El caso de subasta inversa.
- Jiménez Amorocho, A. S., & Sánchez Urbina, D. F. (2020). *Desarrollo de un modelo multicriterio para la selección y priorización de criterios para proyectos de voluntariado global en Colombia* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Ibarra, T. (2018). Cifras de derrames de crudo en Colombia en los últimos años. Retrieved from <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/cifras-de-derrames-de-crudo-en-colombiaen-los-ultimos-anos-207664>
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). *Prospect theory: An analysis of decisions under risk*. Vol.47, No 2 (Mar, 1979). Published By: The Econometric Society.
<https://doi.org/10.2307/1914185>
- Sepehri, M. (2013). Strategic selection and empowerment of supplier portfolios case: Oil and gas industries in Iran doi://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.sbspro.2013.03.039
- Keeney, R. R. (1992). *Value-focused thinking: A Path to creative decision making*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

- <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674931985>
- Lage-Filho, L. (2004). *Venezuela: Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA)*. Caracas: Selección de Municipios para Desarrollo Local (SMDL).
- Langley, A. (1989). *In search of rationality: The purposes behind the use of formal analysis in organizations*. Administrative Science Quarterly.
- Lombardi, Pamplona, Oliveira, (2019). *Modelo AHP para comparação multiatributo de sustentabilidade*. DOI:10.14488/ENEGEP2019_TI_ST_298_1686_38132. Conference: ENEGEP 2019 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção
- López, J. C. E., Calderón, C. A. P., & Gómez, J. C. O. (2019). *Metodología multicriterio para la selección de proveedores bajo consideraciones de riesgo*. Scientia et technica, 24(2), 232-239.
- Luzon, B., & El-Sayegh, S. (2016). Evaluating supplier selection criteria for oil and gas projects in the UAE using AHP and Delphi. *International Journal of Construction Management*, 16(2), 175-183. doi:10.1080/15623599.2016.1146112
- Maldonado Benalcázar, A. (2020). *Aplicación y análisis de metodologías multicriterio para la selección de proveedores. El caso de subasta inversa*.
- Martínez, M. Q., Hernández, J. M. G., & Veintimilla, S. S. O. (2019). *Análisis comparativo para seleccionar una herramienta de reconocimiento de emociones aplicando el modelo AHP*. Revista UNIANDES Episteme, 6(3), 453-463.
- Ministerio de Administraciones Públicas de España (2007). *Inventario de operaciones estadísticas* (IOE). Madrid. Instituto Nacional de Estadísticas.
- <https://www.ine.es/dyngs/IOE/es/index.htm>
- Ministerio de Industria de España (2006). *Plan 1998-2005 de la Minería del Carbón y*

Desarrollo

- Alternativo de las Comarcas Mineras*. Madrid: RAE: Revista Asturiana de Economía, ISSN 1134-8291, N°. 10, 1997. págs. 295-314
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158> 2018, pp 469-487, <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Moreno-Jiménez, O. (2003). *Los métodos estadísticos en el nuevo método científico*. En J. M. Casas y A. Pulido, Información económica y técnicas de análisis en el siglo XXI (pp. 331-348). Madrid: INE.
- Monczka, R., Handfield, R., Giunipero, L. y Patterson, J. (2020). *Purchasing & Supply Chain Management*. Ed. Cengage Learning.
- Murphy, C. K. (1993). *Limits on the analytic hierarchy process from its consistency index*. *European Journal of Operational Research*. *European Journal of Operational Research*, 1993, vol. 65, issue 1, 138-139. [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377-2217\(93\)90148-G](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377-2217(93)90148-G)
- Nathavat, S., & Siri-on, S. (2014). Supplier performance evaluation using analytical hierarchy process: a case study of thai offshore oil & gas exploration and production company. *Journal of Business Behavioral Sciences*, 23(3) Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Supplier-Performance-Evaluation-%3A-A-Case-Study-of-%26-Sivapornpunlerd/bc324d3f83921cb720b562152e0f29797febb75d>
- Nelson, R. and Winter, S. G. (1977). *In search of a useful theory of innovation*. Research Policy. An evolutionary theory of economic change. (1982). Cambridge, Mass.: Harvard

- University Press. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(77\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(77)90029-4)
- Ocampo-Murillo, H. F., & Quintero-Garzón, M. L. (2020). *Selección de proveedores de insumos críticos en términos de sostenibilidad, a través de la metodología multicriterio, en una empresa del sector azucarero*. Entramado, 16(2), 24-44.
- Parot Silva, J. M., & González Araya, M. (2014). *Métodos multicriterio para la selección de en la cadena de suministro agroindustrial considerando series temporales para la predicción del desempeño* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ingeniería).
- Porta De La Cruz, Z. (2022). *Análisis de fallas de un Hidrociclón mediante la aplicación del modelo (AHP), para determinar el tipo de mantenimiento en la Compañía Minera Quenuales SA*.
- Process (AHP-OS). International Journal of the Analytic Hierarchy Process, Vol. 10 Issue 3
- Rentizelas, A., de Sousa Jabbour, A.B.L., Al Balushi, A.D. et al. Ann Oper Res. (2018). Social sustainability in the oil and gas industry: Institutional pressure and the management of sustainable supply chains *Annals of Operations Research*, Retrieved from <https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1007/s10479-018-2821-3>
- Ross, D. (2007). *Economic theory and cognitive science*. Boston: MIT Press.
- Roy, B. (1968). *Classement et choix en présence de points de vue multiples: la méthode Electre*. Revue Francaise d'Informatique et de Recherche Operationnelle.
- Roy, B. (1971) Problems and methods with multiple objective functions. *Mathematical Programming* **1**, 239–266 (1971). <https://doi.org/10.1007/BF01584088>
- Roy, B. (1990). *How to make a decision*. European Journal of Operational Research.
- Sarache Castro, W. A., Castrillón Gómez, Ó. D., & Ortiz Franco, L. F. (2009). *Selección de*

- proveedores: una aproximación al estado del arte. Cuadernos de administración*, 22(38), 145-168.
- Saaty, T. L. (1980). *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill.
- Sepehri, M. (2013). *Strategic selection and empowerment of supplier portfolios case: Oil and gas industries in Iran* doi://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.sbspro.2013.03.039
- Saaty, T. (1986). *Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process*. Management Science. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.7.841>
- Saaty, T. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. (1994a). Pittsburgh: RWS Publications. Chapter 3
- Trujillo, G. (2022). *Desarrollo de un modelo para la gestión de selección y evaluación de proveedores, para empresas de servicio de petróleo y gas en Colombia*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/43924>.
- Yazdi, A. K., Wanke, P. F., Hanne, T., Abdi, F., & Sarfaraz, A. H. (2022). *Supplier selection in the oil & gas industry: A comprehensive approach for multi-criteria decision analysis*. Socio-Economic Planning Sciences, 79, 101142. doi:https://doi-org.ezproxy.umng.edu.co/10.1016/j.seps.2021.101142
- Ventocilla, A. J. P., & Eskenazy, E. J. M. (2023). Diseño de Artefactos para la mejora de la Gestión de la Cadena de Suministros en una planta de Terminales de distribución de hidrocarburos líquidos, con la utilización de la Investigación en Ciencias del Diseño (DSR). *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E55), 294-310.

Anexos

Anexo 1

Primer cuestionario aplicado a los 10 participantes

						Organice los siguientes criterios para la selección de proveedores de mayor a menor según su importancia:
						1. Experiencia 2. Capacidad operativa 3. Calidad 4. Capacidad financiera 5. Disponibilidad 6. Plazos 7. Costos 8. Soporte de ejecución
Cuestionario #1	Nivel de escolaridad	Profesión	Nivel de experiencia	Cargo en la empresa	Frecuencia de contacto con los proveedores	
6/07/2023 9:49:44	Maestría	Administrador de empresas	10 - 20 años	Profesional Integral de Abastecimiento	Diario	1,3,4,5,2,6,7,8
6/07/2023 9:54:56	Maestría	Ingeniero de Petroleo	10 - 20 años	Profesional de Gestión Contractual	Diario	1,3,7,4,6,2,5,8
6/07/2023 9:58:52	Postgrado	Ingeniero de petroleo	10 - 20 años	Planeador Integral de Abastecimiento del Negocio	Diario	1,3,4,2,7,5,6,8
7/07/2023 10:48:56	Postgrado	Ingeniero industrial	10 - 20 años	Administrador de contratos	Diario	1,2,8,3,7,4,5,6
7/07/2023 13:44:30	Postgrado	Economista	> 20 años	Profesional Integral	Mensual	1 3 8 2 5 4 7 6
11/07/2023 14:11:18	Postgrado	ING. Mecánico	10 - 20 años	Profesional de abastecimiento	Mensual	1, 4, 3, 2, 7, 8, 5, 6
11/07/2023 19:55:29	Postgrado	Contaduria	10 - 20 años	Profesional Administrativo	Diario	1,3 ,4 , 7, 6, 2, 8
11/07/2023 10:17:11	Maestría	Ingeniera industrial	10 - 20 años	Administrador de contratos	Diario	1,3,8,2,4,5,7,6

12/07/2023 10:32:17	Maestría	Ingeniera Civil	> 20 años	Administrador de contratos de aseguramiento para el abastecimiento upstream	Diario	1,3,8,2,6,5,4,7
12/07/2023 10:50:24	Maestría	Administrador de empresas	> 20 años	Jefe de departamento aseguramiento abastecimiento upstream	Semestral	1, 2, 4, 3, 7, 8, 5, 6

Anexo 2

Segundo cuestionario aplicado a los 10 expertos

Cuestionario #2	¿Qué criterios considera usted, que se deben tener en cuenta para la selección de proveedores (de categoría compras)? (Nombre mínimo 4)	Organice de mayor a menor los criterios mencionados en el punto anterior. (Según el nivel de importancia que debe tener cada criterio)
30/07/2023 7:57:26	Experiencia, capacidad operativa, respaldo financiero, disponibilidad	1. Capacidad Financiero, 2. Experiencia, 3. Capacidad Operativa, 4. Disponibilidad
30/07/2023 8:05:04	Costo, plazo, experiencia, calidad, garantía, soporte en ejecución	Experiencia calidad garantía plazo costo soporte
30/07/2023 14:46:01	Calidad, cumplimiento, responsabilidad	Responsabilidad, calidad cumplimiento
31/07/2023 10:50:18	Experiencia, tiempos de respuesta, logística de entrega, puntualidad	1 2 3 4
31/07/2023 13:45:20	Experiencia	8,7,6,5,4,3,2,1
1/08/2023 10:20:13	Experiencia,calidad, plazos,capacidad operativa ,disponibilidad,plazos y costos	1,3,8,2,4,5,7,6
1/08/2023 10:23:48	1. Experiencia 2. Garantía 3.Capacidad operativa 4. Calidad 5. Capacidad financiera 6. Soporte de ejecución 7. Plazos 8. Costos	1,3,2,7,5,4,6,8

1/08/2023

10:25:26 Experiencia, capacidad operativa, calidad, plazos y costos 1,2,4,3,5

Experiencia/Capacidad

2/08/2023 operativa/Plazos/Calidad/Disponibilidad/Soporte de

10:35:06 ejecución/Costos 1,3,8,2,6,5,4,7

2/08/2023

10:52:24 Plazos, costos, experiencia, capacidad, operativa, calidad 3,1,6,5,4,2

Anexo 3

Construcción del modelo AHP en MS Excel

COMPRAS ROTATIVAS(Motor de combustión (Gas, oil, fuel-oil, gasoline, Diesel) y sus partes)								
CRITERIOS								
PROVEEDOR	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución
A	12	Estandar	ALTA	SI	SI	153	\$ 4.000.000,00	Si
B	15	Buena	ALTA	SI	SI	180	\$ 4.000.000,00	Si
C	10	Estandar	MEDIA	SI	SI	153	\$ 4.000.000,00	Si
D	9	Estandar	MEDIA	SI	SI	88	\$ 3.600.000,00	NO

Ponderación de criterios								
Criterios	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución
Experiencia	1	3	3	3	3	5	5	7
Capacidad Operativa	1/3	1	3	3	3	5	5	7
Calidad	1/3	1/3	1	1	3	3	5	5
Garantía	1/3	1/3	1	1	3	3	5	5
Disponibilidad	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	5	5
Plazos de entrega	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	3	3

Costos	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3
Soporte de ejecución	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1

TOTAL	2,8761904 76	5,5428571 43	9,0666666 67	9,066666 67	13,733333 33	20,666666 67	29,333333 33	36
--------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----

MATRIZ NORMALIZADA									PONDERACIÓN
	Experiencia	Capacidad Operativa	Calidad	Garantía	Disponibilidad	Plazos de entrega	Costos	Soporte de ejecución	
Experiencia	0,35	0,54	0,33	0,33	0,22	0,24	0,17	0,19	29,7%
Capacidad Operativa	0,12	0,18	0,33	0,33	0,22	0,24	0,17	0,19	22,3%
Calidad	0,12	0,06	0,11	0,11	0,22	0,15	0,17	0,14	13,4%
Garantía	0,12	0,06	0,11	0,11	0,22	0,15	0,17	0,14	13,4%
Disponibilidad	0,12	0,06	0,04	0,04	0,07	0,15	0,17	0,14	9,7%
Plazos de entrega	0,07	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05	0,10	0,08	5,5%
Costos	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,08	3,7%
Soporte de ejecución	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	2,4%

Escala de comparación PAREADA	
1	Igual importancia
3	moderadamente más importante un elemento que otro
5	fuertemente más importante un elemento que en otro
7	mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro
9	Importancia extrema de un elemento frente a otro

Criterio	CRITERIOS cuestionarios
Criterio 1	Experiencia
Criterio 2	Capacidad Operativa
Criterio 3	Calidad
Criterio 4	Garantía
Criterio 5	Disponibilidad
Criterio 6	Plazos de entrega
Criterio 7	Costos
Criterio 8	Soporte de ejecución

AxP		
2,684521941	Indice de consistencia	0,131744696
2,040686809	Indice de consistencia aleatoria	1,485
1,200586951	CR (relación de consistencia)	0,088716967

1,200586951	
0,828104816	CR < 0,1
0,462877888	
0,303363159	
0,201484356	
8,922212871	

Ponderación de los proveedores

Criterio 1 :	Experiencia			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1/3	3	5
B	3	1	3	5
C	1/3	1/3	1	3
D	1/5	1/5	1/3	1
Total	4,533333333	1,866666667	7,333333333	14

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,220588235	0,178571429	0,409090909	0,357142857	0,29134836
B	0,661764706	0,535714286	0,409090909	0,357142857	0,49092819
C	0,073529412	0,178571429	0,136363636	0,214285714	0,15068755
D	0,044117647	0,107142857	0,045454545	0,071428571	0,06703591

AxP	Indice de consistencia	
	0,093574399	
	Indice de consistencia aleatoria	
	0,99	
	CR (relación de consistencia)	
	0,094519595	
1,242233257		
2,152215432		
0,612554113	CR < 0,1	
0,273720397	Esta bien	
4,280723198		

Criterio 2:	Capacidad Operativa			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1/5	1	1
B	5	1	5	5
C	1	1/5	1	1
D	1	1/5	1	1
Total	8	1,6	8	8

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	

A	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
B	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
C	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
D	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125

AxP	Indice de consistencia			0
	Indice de consistencia aleatoria			0,99
	CR (relación de consistencia)			0,00
	CR < 0,1			Esta bien

Criterio 3:	Calidad			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1	3	3
B	1	1	3	3
C	1/3	1/3	1	1
D	1/3	1/3	1	1
Total	2,666666667	2,666666667	8	8

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
B	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
C	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
D	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125

AxP	Indice de consistencia			0
	Indice de consistencia aleatoria			0,99
	CR (relación de consistencia)			0,00
	CR < 0,1			Esta bien

Criterio 4:	Garantía			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1	1	1

B	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1
Total	4	4	4	4

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
D	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

AxP	Indice de consistencia		0
	Indice de consistencia aleatoria		0,99
	CR (relación de consistencia)		0,00
	CR < 0,1		Esta bien

Criterio 5 :	Disponibilidad			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1	1	1
B	1	1	1	1
C	1	1	1	1
D	1	1	1	1
Total	4	4	4	4

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
D	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

AxP	Indice de consistencia		0
	Indice de consistencia aleatoria		0,99
	CR (relación de consistencia)		0,00

1	
1	CR < 0,1
1	Esta bien
4	

Criterio 6 :	Plazos de entrega			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	3	1	1/3
B	1/3	1	1/3	1/5
C	1	3	1	1/5
D	3	5	5	1
Total	5,333333333	12	7,333333333	1,733333333

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,1875	0,25	0,136363636	0,192307692	0,19154283
B	0,0625	0,083333333	0,045454545	0,115384615	0,07666812
C	0,1875	0,25	0,136363636	0,115384615	0,17231206
D	0,5625	0,416666667	0,681818182	0,576923077	0,55947698

AxP	Indice de consistencia		0,058320383
	Indice de consistencia aleatoria		0,99
	CR (relación de consistencia)		0,06
	CR < 0,1		Esta bien
0,780351593			
0,309848485			
0,705754662			
2,37900641			
4,17496115			

Criterio 7 :	Costos			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1	1	1/5
B	1	1	1	1/5
C	1	1	1	1/5
D	5	5	5	1
Total	8	8	8	1,6

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125

B	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
C	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
D	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625

AxP	Indice de consistencia		0
	Indice de consistencia aleatoria		0,99
	CR (relación de consistencia)		0,00
	CR < 0,1		Esta bien

Criterio 8 :	Soporte de ejecución			
Proveedor	A	B	C	D
A	1	1	1	3
B	1	1	1	3
C	1	1	1	3
D	1/3	1/3	1/3	1
Total	3,333333333	3,333333333	3,333333333	10

Matriz Normalizada					Vector promedio
Proveedor	A	B	C	D	
A	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
B	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
C	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
D	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

AxP	Indice de consistencia		-1,4803E-16
	Indice de consistencia aleatoria		0,99
	CR (relación de consistencia)		0,00
	CR < 0,1		Esta bien

Criterios / Alternativas	1	2	3	4	5	6	7	8	Priorización
A	0,291348358	0,125	0,25	0,25	0,25	0,191542832	0,125	0,3	0,23

B	0,490928189	0,625	0,25	0,25	0,25	0,076668124	0,125	0,3	0,39
C	0,150687548	0,125	0,25	0,25	0,25	0,172312063	0,125	0,3	0,18
D	0,067035905	0,125	0,25	0,25	0,25	0,559476981	0,625	0,1	0,20
Ponderación	29,7%	22,3%	13,4%	13,4%	9,7%	5,5%	3,7%	2,4%	