

**MODELO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO PARA LA
DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS.**

LUIS JAVIER LÓPEZ GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRÍA DE PROFUNDIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS
CON ÉNFASIS EN GERENCIA Y ECONOMÍA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA
FEBRERO 2018**

**MODELO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO PARA LA
DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS**

LUIS JAVIER LÓPEZ GONZÁLEZ

**Tesis para optar por el título de
Magister en Ingeniería de Petróleo y Gas**

Director:

**JAIME ALEJANDRO CANAL, M.A.degree in the economics of international
trade in european integration**

Co - Director:

LUIS LÓPEZ SALGAR, MBA.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
MAESTRÍA DE PROFUNDIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS
CON ÉNFASIS EN GERENCIA Y ECONOMÍA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

DEDICATORIA

*Para mi familia
Que siempre me ha apoyado
En la superación de los retos
Que se me han presentado en la vida
Javier*

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	12
3. MARCO DE REFERENCIA	12
4. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS ASOCIADOS AL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE PRODUCCIÓN.	22
5. IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUB-CRITERIOS DE RIESGOS ASOCIADOS A LA DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE PRODUCCIÓN.	25
6. PROPUESTA DEL MODELO DEL PROCESO ANALITICO JERARQUICO DIFUSO.	29
7. ANALISIS Y RESULTADOS	30
8. CONCLUSIONES	38
9. RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Campos de aplicación clasificados por objetivos	14
Gráfica 2. Modelo de gestión de portafolio de proyectos.	15
Gráfica 3. Explicación de jerarquía	17
Gráfica 4. Definición de prioridades	17
Gráfica 5. (Izq.) Función de membresía de la escala lingüística para la valoración de criterios. (Der.) Función de membresía de la escala lingüística para la priorización de alternativas	19
Gráfica 6. Representación gráfica de FNRM y Escala lingüística para el mapeo de la valoración de alternativas	22
Gráfica 7. Estimaciones de producción de Petróleo en Colombia	23
Gráfica 8. Aporte del FAHP al desarrollo de algunas actividades de la fase de identificación, evaluación y selección del portafolio de proyectos Modelo PPM.	30
Gráfica 9. Estructura de criterios para la definición del portafolio	31
Gráfica 10. Valoración de criterios	32
Gráfica 11. Valoración de componentes	33
Gráfica 12. Valoración de criterios, sub-criterios y componentes	34
Gráfica 13. Análisis de impacto en la selección del portafolio de proyectos de inversión de producción al solo tener en cuenta el criterio financiero.	37
Gráfica 14. Flujo de actividades a seguir para realizar el modelo de FAHP para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escala lingüística para la valoración de criterios	19
Tabla 2. Escala lingüística para la valoración de alternativas	19
Tabla 3. Criterios y sub-criterios asociados al portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos	24
Tabla 4. Lista de categorías y riesgos del portafolio de proyectos	26
Tabla 5. Identificación de sub - criterios de riesgo en la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos	28
Tabla 6. Resultados de la evaluación difusa de cada componente.	35
Tabla 7. Resultados aplicación del método WCM	35
Tabla 8. Resultados aplicación del método FT	35
Tabla 9. Resultados aplicación Método FNRM	36

RESUMEN

TITULO

MODELO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO PARA LA DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS.*

AUTOR

LUIS JAVIER LÓPEZ GONZÁLEZ**

PALABRAS CLAVES

Portafolio, FAHP.

DESCRIPCIÓN

Con la drástica caída del precio del barril de crudo desde finales del 2014, los inversionistas y las empresas, han tomado una posición muy cauta y conservadora al momento de realizar sus inversiones.

Adicionalmente, los menores precios han reducido drásticamente los márgenes de los nuevos proyectos, forzando a algunas compañías a aprobar proyectos con precios de equilibrio muy cercanos a los precios de mercado actuales, por lo que cualquier tipo de desviación en las variables bajo las cuales se evaluó el caso de negocio al momento de aprobación, podrían fácilmente convertir estos proyectos en no rentables.

Lo anterior se debe a que al momento de valorar el riesgo y otros factores, se suele hacer basado en la experiencia o en datos históricos, no obstante, en el caso particular del riesgo, se cuenta con herramientas muy poderosas para su análisis, pero en ocasiones por la cultura organizacional o la complejidad de la herramienta, pocas veces se usan.

Bajo este contexto, en este trabajo de grado se presenta un modelo del Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP) para la definición del portafolio de proyectos de inversión de hidrocarburos, con lo cual se brinda una herramienta práctica y fácil de usar para soportar las decisiones frente a los diferentes criterios y componentes del portafolio.

*Trabajo de grado - Tesis

**Facultad de Ingeniería fisicoquímica, Programa: Maestría en Ingeniería de Petróleo y Gas,
Director: Jaime Alejandro Canal.

SUMMARY

TITLE

MODEL OF THE FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS FOR THE DEFINITION OF THE PORTFOLIO OF HYDROCARBON INVESTMENT PROJECTS.

AUTHOR

LUIS JAVIER LÓPEZ GONZÁLEZ **

KEY WORDS

Portfolio, FAHP.

SUMMARY

With the abrupt drop in the price of the oil barrel since the end of 2014, investors and companies have taken a very cautious and conservative position when making their investments.

Moreover, these low prices have drastically reduced new projects, forcing some companies to approve projects with equilibrium prices very close to current market prices, so any deviation in the variables, after the time of approval, could easily turn these projects into unprofitable.

This is due to the fact that when assessing risk and other factors, it is usually done based on experience or historical data, however, in the particular case of risk, there are very powerful tools for analysis, but in Sometimes because of the organizational culture or the complexity of the tool, they are rarely used.

Under this context, this paper presents a model of the Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) for the definition of the portfolio of hydrocarbon investment projects, which provides a practical and easy-to-use tool to support decisions regarding the different criteria and components of the portfolio.

*Trabajo de grado - Tesis

**Facultad de Ingeniería fisicoquímica, Programa: Maestría en Ingeniería de Petróleo y Gas,
Director: Jaime Alejandro Canal.

INTRODUCCIÓN

Con base en las cambiantes condiciones del entorno del sector de petrolero y teniendo presente la drástica caída del precio del barril de crudo desde finales del 2014, los inversionistas y las empresas, han tomado una posición muy cauta y conservadora al momento de realizar sus inversiones.

A pesar de que dos años después el precio del barril de crudo se ha recuperado en un 20%, varios campos y proyectos petroleros en el país se han visto afectados negativamente al momento de cumplir con sus metas de producción o con sus promesas de valor respectivamente. Adicionalmente, los menores precios han reducido drásticamente los márgenes de los nuevos proyectos, forzando a algunas compañías aprobar proyectos con precios de equilibrio muy cercanos a los precios de mercado actuales, por lo que cualquier tipo de desviación en las variables bajo las cuales se evaluó el caso de negocio al momento de aprobación, podrían fácilmente convertir estos proyectos en no rentables.

Actualmente, al momento de priorizar inversiones no se está comparando la totalidad de las variables de todas y cada una de las opciones bajo un mismo esquema, dado que se hace énfasis en la valoración del costo y en el tiempo, pero la valoración del riesgo y otros factores no se están teniendo en cuenta como factores claves de decisión y priorización, dado que en ocasiones no siempre se cuenta con toda la información necesaria para realizar la toma de decisiones. Sin embargo, por la premura del tiempo y el compromiso con el cumplimiento de las metas, las decisiones se deben tomar con la mejor información que se tenga en el momento. Lo anterior se debe a que al momento de valorar el riesgo y otros factores, se suele hacer basado en la experiencia o en datos históricos, no obstante, en el caso particular del riesgo, se cuenta con herramientas muy poderosas para su análisis, pero en ocasiones por la cultura organizacional o la complejidad de la herramienta, pocas veces se usan.

Con base en lo anterior, en este documento se presenta un modelo del proceso analítico jerárquico difuso para realizar la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos, donde se definen los criterios y sub-criterios asociados al portafolio de proyectos de inversión de producción y sus riesgos, mostrando su aplicación a un caso de estudio.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un modelo del proceso analítico jerárquico difuso para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos aplicado en un caso de estudio.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los criterios y sub- criterios asociados al portafolio de proyectos de inversión de producción.
- ✓ Determinar los criterios y sub-criterios de riesgos asociados a la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción.
- ✓ Definir un modelo del proceso analítico jerárquico difuso.
- ✓ Realizar la definición del portafolio de proyectos de inversión de hidrocarburos con el modelo del proceso analítico jerárquico difuso, aplicado a un caso de estudio.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A partir de la investigación realizada de fuentes indexadas, a continuación se enuncian algunos aspectos de interés.

Según Fouladgar et al, utilizaron el proceso analítico jerárquico difuso y la técnica de VIKOR (En serbio VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Renseje) para definir una estrategia mezclando una técnica para selección de alternativas con una de optimización multi-criterio de sistemas complejos para selección y priorización de un portafolio de proyectos. Los autores definen 6 criterios para seleccionar proyectos óptimos desde el punto de vista de costos (riesgos y periodo de retorno de la inversión) y beneficios (rentabilidad, flexibilidad y sostenibilidad).¹

Según lo definido por Yawei la teoría de conjuntos difusos, provee una herramienta poderosa para tratar con los problemas al momento de la toma de las decisiones,

¹ FOULADGAR, Mohammad Majid; YAZDANI-CHAMZINI, Abdolreza; ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras; YAKHCHALI, Siamak Haji; GHASEMPOURABADI, Mohammad Hossein. "PROJECT PORTFOLIO SELECTION USING FUZZY AHP AND VIKOR TECHNIQUES". 2012, Vol. 11, No. 1 (25), p. 231-231.

dado que nos permite cualificar información imprecisa, con el objetivo de tomar decisiones basados en datos vagos e incompletos.²

De acuerdo a Roisenberg et al., en un ámbito de análisis de riesgos para prospectos exploratorios, una forma de representar la incertidumbre para la toma de decisiones es a través de modelos híbridos de probabilidad y lógica difusa, donde el riesgo es modelado como una variable aleatoria con su respectiva función de probabilidad. Adicionalmente, el riesgo asociado a cada factor de inversión es representado en un sistema difuso, el cual, a través de la simulación logra estimar un cálculo del riesgo total de toda la inversión.³

En lo desarrollado por Chinbat y Takakuwa, se propone una herramienta de ingeniería para administrar los riesgos asociados con los proyectos de mejora de desarrollo de minería abierta, donde a partir de las distribuciones de probabilidad de éxito en los proyectos analizados, se demuestran las ventajas de usar la simulación para analizar la gestión de proyectos haciendo énfasis en la mitigación de los riesgos asociados.⁴

Para analizar el perfil de riesgo del inversionista, en lo propuesto por Tsaur (2013), se define un modelo difuso como estrategia para la selección del portafolio, obteniendo unos resultados muy relevantes en función del perfil.

De acuerdo a lo planteado por Danesh et al., el rol de la Gestión del Portafolio de Proyectos (GPP) se basa en evaluar, seleccionar y priorizar nuevos proyectos, como también, la revisión de la priorización y la posible eliminación y reducción de proyectos que están en progreso. Además comentan que en la literatura, GPP es un método de toma de decisiones estratégicas que compromete determinación, reduce y diversifica el riesgo. Como objetivo en su publicación, esperan mejorar en las organizaciones los conocimientos de los métodos multi-criterio de toma de decisiones y sus interdependencias con el portafolio, aplicando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) desde la óptica académica y la empresarial.⁵

Kuber et al. analizan cerca de 190 publicaciones entre 2004 y 2016, para definir el estado del arte de las aplicaciones del FAHP. De su revisión encuentran como

² YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

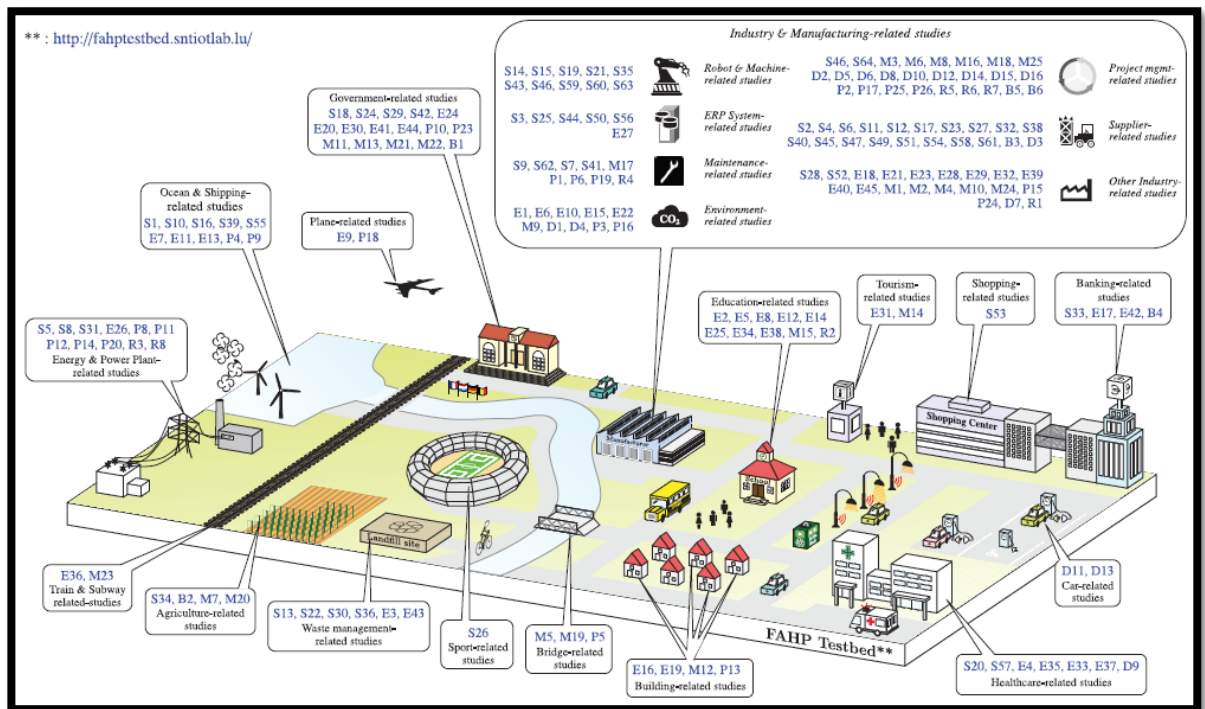
³ ROISENBERG, Mauro; SCHOENINGER, Cíntia; RODRIGUES DA SILVA Reneu. “A hybrid fuzzy-probabilistic system for risk analysis in petroleum exploration prospects”. Expert Systems with Applications. 2009

⁴ CHINBAT, Undram, TAKAKUWA, Soemon, “Using simulation analysis for mining project risk management”. Proceedings of the 2009 winter simulation conference. Graduate School Of Economics and Bussines Administration, Nagoya University. Japan, 2009.

⁵ DANESH, D et al. Using Analytic Hierarchy Process as a Decision-Making Tool in Project Portfolio Management. International Journal Of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 2015, Vol: 9, No:12.

primer aspecto relevante que su mayor aplicabilidad es en temas de manufactura y gobierno, segundo, encuentran que en Asia es la aplicación más usada en temas de evaluación y selección y tercero, el 43% de los investigadores combinan la técnica de FAHP con otras herramientas. A continuación en la Gráfica 1 se observan algunos de sus campos de aplicación clasificados por objetivos específicos.⁶

Gráfica 1. Campos de aplicación clasificados por objetivos



Fuente: Tomado de KUBLER, Sylvain;ROBERT, Jérémy;DERIGENT, William;VOISIN, Alexandre;LE TRAON, Yves."A state-of the-art survey &testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications". In Expert Systems with Applications. 2016, Vol. 65, p. 398-422

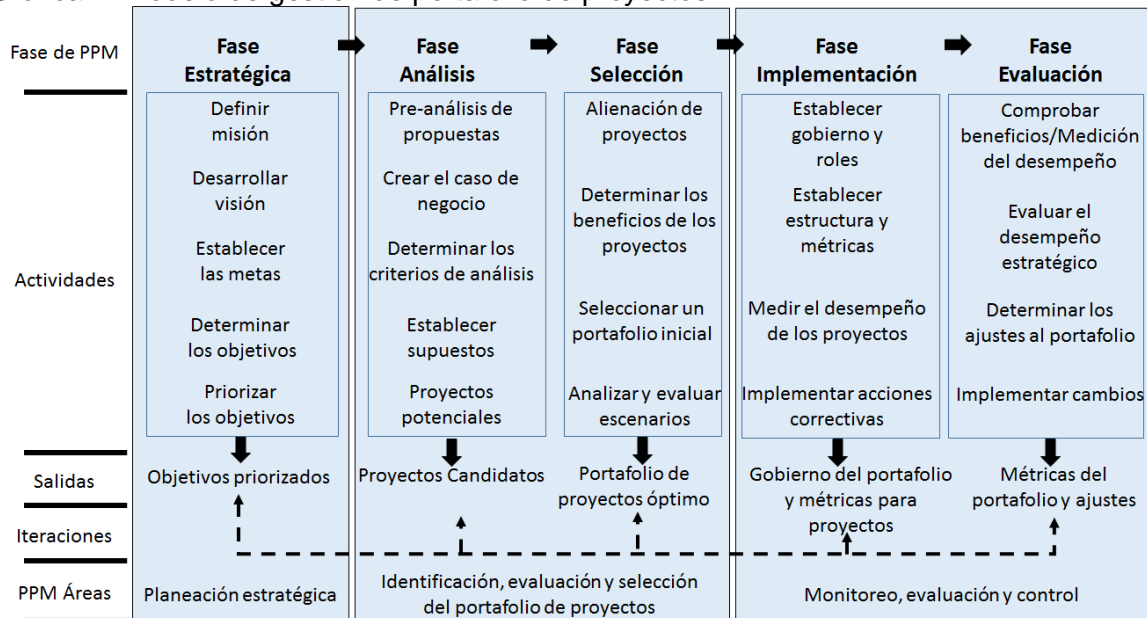
Con base en los trabajos anteriormente mencionados se propone en este documento definir un modelo del Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP) para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.

⁶ KUBLER, Sylvain;ROBERT, Jérémy;DERIGENT, William;VOISIN, Alexandre;LE TRAON, Yves."A state-of the-art survey &testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications". In Expert Systems with Applications. 2016, Vol. 65, p. 398-422

2.2. MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

Un modelo de gestión de portafolio de proyectos (Portfolio Project Management - PPM por sus siglas en inglés) está compuesto por 5 fases y 3 áreas, las fases son la estratégica, de análisis, de selección, de implementación y de evaluación, las áreas son la de planeación estratégica, el área de identificación, evaluación y selección del portafolio y el área de monitoreo, evaluación y control⁷. A continuación en la Gráfica 2 se ilustra el modelo PPM.

Gráfica 2. Modelo de gestión de portafolio de proyectos.



Fuente: Modificado de BIBLE, Michel; BIVINS, Susan. “Mastering Project Portfolio Management – A Systems approach to achieving strategic objectives”. 2011. p.4-42. ISBN. 978-1-60427-066-2.

Cada una de las fases tiene un grupo de actividades a realizar, a partir de las cuales se pueden obtener unas salidas, como lo son los objetivos priorizados, los proyectos candidatos, el portafolio de proyectos óptimo, el gobierno de portafolio y las métricas para los proyectos y finalmente las métricas del portafolio y los ajustes requeridos. Cabe aclarar que el modelo PPM es cíclico e iterativo, dado que se debe adaptar tanto a los factores internos como externos que influyan en la empresa.

Saber qué proyectos se deben realizar para maximizar los retornos de inversión, son de las decisiones más importantes, pero a la vez más difíciles y complejas de

⁷ BIBLE, Michel; BIVINS, Susan. “Mastering Project Portfolio Management – A Systems approach to achieving strategic objectives”. 2011. p.4-42. ISBN. 978-1-60427-066-2.

tomar. Para implementar y mantener un proceso efectivo de PPM con una selección óptima del portafolio, se debe tener la habilidad de estructurar las decisiones. Es allí donde el Proceso Analítico Jerárquico (Analytical Hierarchy Process, AHP por sus siglas en inglés) provee un método para estructurar las decisiones dentro de la jerarquización de objetivos, alternativas y comparaciones para llegar a tomar cualquier decisión compleja, incluyendo, la selección óptima del portafolio de proyectos.

Con respecto a las comparaciones, es importante definir la manera en la que se van a usar e interpretar los números, dado que tiene gran relevancia si se usa una escala nominal, ordinaria, de intervalos o de razón.

Escala nominal: Es usada para identificar, por ejemplo: La cédula, el código postal, etc.

Escala ordinaria: Mantiene las propiedades de la escala nominal y se le suma la propiedad de orden, dado que el número indica orden ascendente o descendente. Por ejemplo un grupo de 10 empleados puede ser ordenado con relación a su mejor desempeño, sin embargo, no significa que la diferencia entre el desempeño de el primero y el segundo, es igual a la del octavo y el noveno. En otras palabras, los intervalos entre los números no tienen significancia.

Escala Intervalo: Mantiene las propiedades de la escala ordinaria y se le suma la propiedad de significancia. Por ejemplo la diferencia entre 10 y 20°F es la misma entre 70 y 80°F. Entonces sacar el promedio de la temperatura tiene significancia. Sin embargo no quiere decir, que 80°F es cuatro veces más caliente que 20°F.

Escala Razón: Mantiene las propiedades del intervalo y se le suma la propiedad que entre las razones hay significancia. Un buen ejemplo son las horas, dado que entre las 3 y 6 de la tarde, es igual a la diferencia de horas entre las 9 y 12 de la noche (Escala de intervalo) y 6 horas es el doble de 3 horas (Escala de Razón).

AHP usa números de escala de razón para representar la importancia relativa para los criterios y las alternativas.

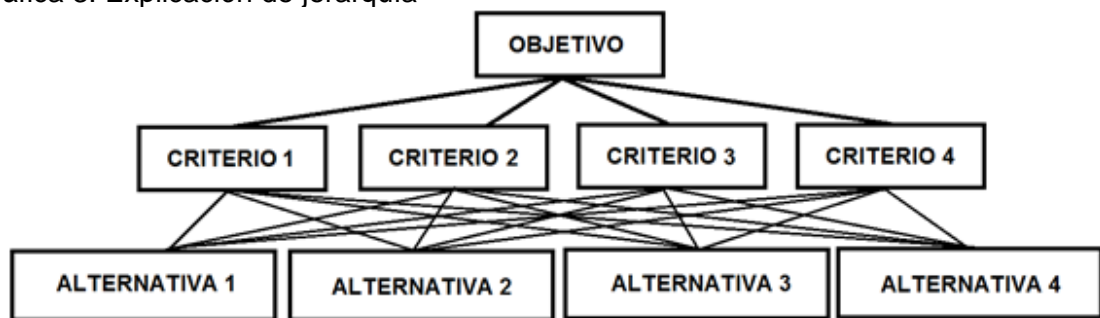
De acuerdo con Satty⁸ (2012) citado por López (2014), el AHP tiene en cuenta los siguientes pasos generales:

⁸ SAATY, T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Third Edition. 2012

1. Modelar el problema como una jerarquía
2. Definir las prioridades

Con relación a la modelación del problema como una jerarquía, se hace para tener un mejor entendimiento y conocimiento del problema descomponiéndolo en partes más pequeñas, de tal manera que se pueda analizar hasta el nivel de detalle requerido. En la Gráfica 3 se observa la explicación de una jerarquía donde el problema u objetivo a resolver se ubica en la parte superior como nodo padre, y de allí se desprenden los nodos hijos, que para este caso, son los criterios a analizar teniendo en cuenta las posibles alternativas.

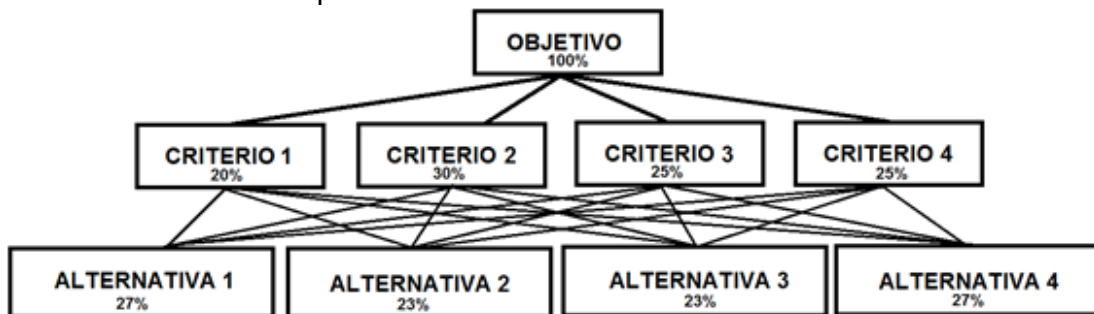
Gráfica 3. Explicación de jerarquía



Fuente: Modificado de SAATY, T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Third Edition. 2012.

Para definir las prioridades, se comparan a través de evaluaciones subjetivas las importancias relativas de los nodos hijos con relación al nodo padre, para posteriormente encontrar las prioridades locales de cada nodo y así encontrar la mejor alternativa. En la Gráfica 4 se observa un ejemplo del resultado.

Gráfica 4. Definición de prioridades



Fuente: Modificado de SAATY, T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Third Edition. 2012.

Para introducir el Proceso Analítico Jerárquico Difuso (FAHP por sus siglas en inglés), se realiza un cambio al momento de definir las prioridades, teniendo en

cuenta una escala difusa en lugar de la escala de razón para calcular la importancia relativa que tiene un nodo sobre otro.

De acuerdo con Yawei et al., la importancia relativa y la evaluación de los criterios es asignada por los tomadores de decisión, donde sus opiniones son expresadas a través de variables lingüísticas basados en números difusos.⁹

Para esto, se construyen primero unos conjuntos de variables lingüísticas para ayudar a los tomadores de decisión al momento de realizar sus valoraciones, incluyendo los siguientes pasos:

1. Una función de membresía de variables lingüísticas para la valoración de los criterios.
2. Una función de membresía de variables lingüísticas para valoración de las alternativas.

Para lo cual se tienen presente las siguientes definiciones.

Definición 1. Sea X un conjunto no vacío. Se define un conjunto difuso A en X caracterizado por la siguiente función de membresía.

$$A: X \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

Definición 2. Se define un número difuso triangular bajo la tripleta (a_1, a_2, a_3) , cuya función de membresía cumple lo siguiente.

$$A = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ (x - a_1)/(a_2 - a_1) & a_1 \leq x \leq a_2 \\ (a_3 - x)/(a_3 - a_2) & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

Definición 3. Sean A y B dos números difusos triangulares (a_1, a_2, a_3) y (b_1, b_2, b_3) respectivamente, se definen las siguiente operaciones entre ellos.

$$\begin{aligned} A + B &= (a_1, a_2, a_3) + (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \\ A - B &= (a_1, a_2, a_3) - (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \\ A \times B &= (a_1, a_2, a_3) \times (b_1, b_2, b_3) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \\ A / B &= (a_1, a_2, a_3) / (b_1, b_2, b_3) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3) \\ A^r &= (a_1^r, a_2^r, a_3^r) \end{aligned} \quad (3)$$

⁹ YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

En la Tabla 1 y en la Tabla 2, se definen las escalas lingüísticas a usar para la valoración de criterios y la priorización de alternativas y se ilustran ambas escalas en la Gráfica 5.

Tabla 1. Escala lingüística para la valoración de criterios

Escala lingüística	Valoración difusa		
	Inferior	Medio	Superior
Muy alto	0.90	1.00	1.00
Alto	0.70	0.85	1.00
Moderadamente alto	0.50	0.70	0.90
Moderado	0.30	0.50	0.70
Moderadamente bajo	0.10	0.30	0.50
Bajo	0.00	0.15	0.30
Muy bajo	0.00	0.00	0.10

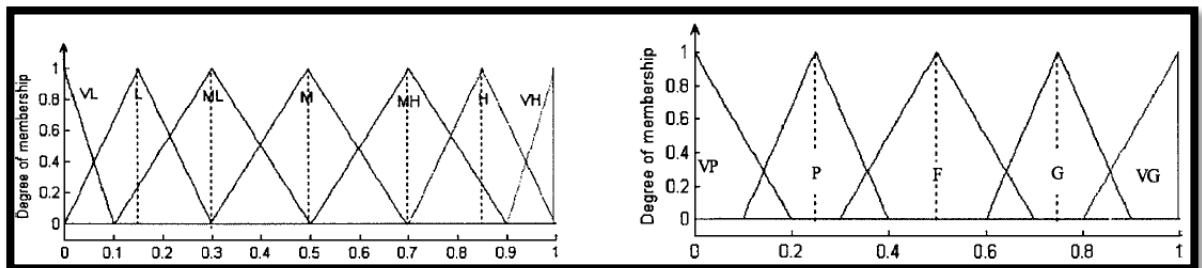
Fuente: Modificado de YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

Tabla 2. Escala lingüística para la valoración de alternativas

Escala lingüística	Valoración difusa		
	Inferior	Medio	Superior
Muy bueno	0.80	1.00	1.00
Bueno	0.60	0.75	0.90
Suficiente	0.30	0.50	0.70
Deficiente	0.10	0.25	0.40
Muy deficiente	0.00	0.00	0.20

Fuente: Modificado de YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

Gráfica 5. (Izq.) Función de membresía de la escala lingüística para la valoración de criterios. (Der.) Función de membresía de la escala lingüística para la priorización de alternativas



Fuente: Modificado de YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

Con base en las Tabla 1 y Tabla 2, se propone un método para calcular la importancia relativa a través de la creación de matrices para la comparación por pares, donde se tienen en cuenta las siguientes valoraciones:

1. Cuando el Criterio i es mejor que el Criterio j, $e_{ij} = 1, e_{ji} = 0$
2. Cuando el Criterio i es igual al Criterio j, $e_{ij} = e_{ji} = 0.5$
3. Cuando el Criterio i es menos importante que el Criterio j, $e_{ij} = 0, e_{ji} = 1$

Obteniendo de esta manera la siguiente matriz de comparación por pares de nxn, donde n es la cantidad de criterios a comparar. Posteriormente se suman los valores de las filas y de acuerdo a los resultados se van asociando a las Tabla 1 y Tabla 2.

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & \cdots & e_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{1n} & \cdots & e_{nn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Una vez realizadas las comparaciones tanto para la valoración de los criterios como de las alternativas, se pueden definir los siguientes números difusos c_i y r_{ij} , donde c_i , es la valoración del criterio i y r_{ij} es la valoración lingüística de la alternativa j con respecto al criterio i, con lo cual se realiza la evaluación difusa de cada alternativa como:

$$ED_j^* = \sum_{i=0}^m (c_i \times r_{ij}) \quad (5)$$

ED_j^* Puede ser expresada en términos de (a_1^j, a_2^j, a_3^j) y para asegurar que mantiene la propiedad de pertenecer al intervalo entre 0 y 1, se deben normalizar con la siguiente formula.

$$ED_j = \left(\frac{a_1^j}{a_3^*}, \frac{a_2^j}{a_3^*}, \frac{a_3^j}{a_3^*} \right) = \frac{ED_j^*}{a_3^*} \quad (6)$$

Donde $a_3^* = \max_j a_3^j$ es el máximo valor de a_3^j de la valoración de las alternativas.

Para efectos comparativos con relación a la priorización de las alternativas, se proponen las siguientes aproximaciones de métodos difusos con base a ED_j , los cuales están descritos en detalle en Yawei et al. (2007):

1. Weight Center Method– WCM

Es un método sencillo de usar el cual está definido por la siguiente formula:

$$WCM_j = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad (7)$$

Se prioriza ordenando WCM_j de mayor a menor.

2. Fuzzy TOPSIS Method - FT

D_j^+ Definido la distancia entre la mejor solución y ED_j

D_j^- Definido la distancia entre la peor solución y ED_j

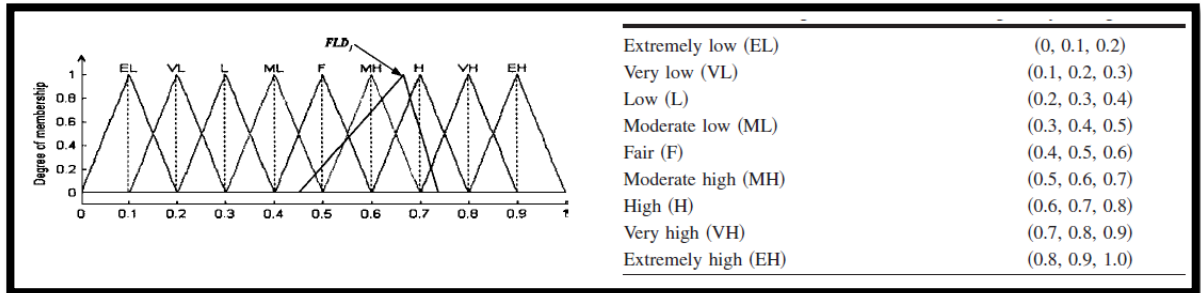
$$FT_j = \frac{D_j^+}{D_j^- + D_j^+} \quad (8)$$

Se prioriza ordenando FT_j de menor a mayor.

3. Fuzzy Number Recognition Method - FNRM

Consiste en encontrar la distancia euclidiana del ED_j con relación a cada una de las siguientes variables lingüísticas.

Gráfica 6. Representación gráfica de FNRM y Escala lingüística para el mapeo de la valoración de alternativas



Fuente: Modificado de YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007

3. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS Y SUBCRITERIOS ASOCIADOS AL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE PRODUCCIÓN.

En la definición de escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos en Colombia, se consideran unas variables asociadas a las actividades de exploración y producción en los ámbitos técnicos, operacionales, económicos, político, social, sectorial, regional, y regulatorio entre otros, los cuales les permiten identificar las siguientes variables críticas actuales y futuras¹⁰.

1. Hallazgos de hidrocarburos convencionales (crudo y gas).
2. Potencial de crudos pesados (especialmente en la cuenca de los llanos)
3. Potencial de no convencionales (gas asociado al carbón, shale gas, shale oil, arenas bituminosas)
4. Factor de recobro de hidrocarburos
5. Precio internacional de energéticos (precio de referencia del barril de crudo)
6. Política estatal petrolera (Government Take)
7. Factores medio ambientales (restricción de la actividad de E&P por razones ambientales)
8. Factores socio culturales, nivel de conflicto (restricción de la actividad de E&P por razones sociales).

Por otra parte, la UPME¹¹ comenta que espera contar con un portafolio de proyectos financiado por capital foráneo, que permita al país mantener el equilibrio entre la producción y la incorporación de reservas, a pesar de las implicaciones técnicas

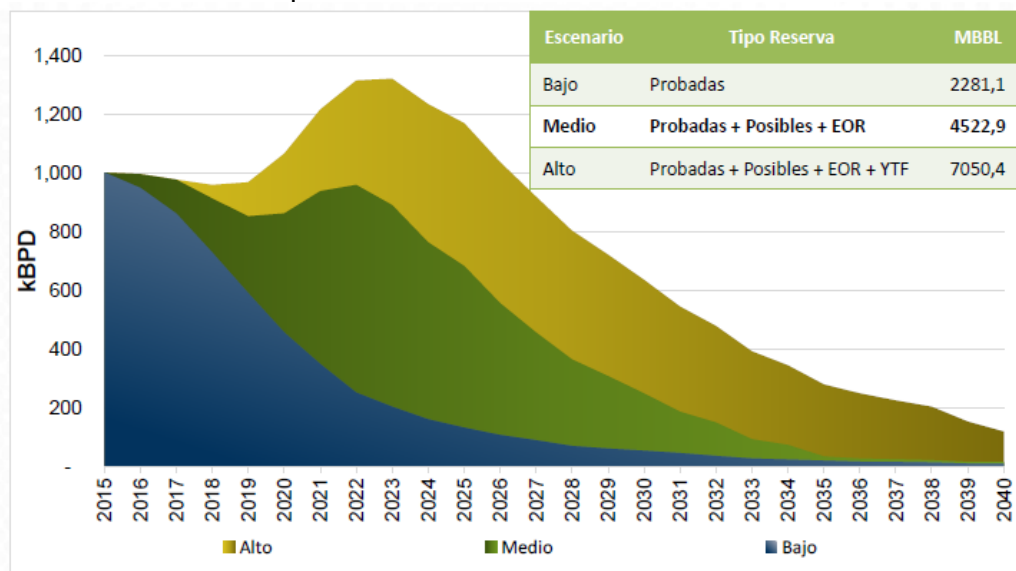
¹⁰ UPME – Escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos. Unidad de Planeación Minero Energética.2012.

¹¹ UPME – Cadena del petróleo. Unidad de Planeación Minero Energética. Diciembre 2013.

que pueda tener el desarrollo de los yacimientos no convencionales y los proyectos costa afuera.

Con relación a las estimaciones de producción de petróleo en Colombia, según la UPME¹², estaban definidas en tres escenarios, el escenario bajo en 2281.1 MBBL teniendo en cuenta las reservas probadas, el medio de 4522.9 MBBL con reservas probadas más posibles más EOR, y el escenario alto de 7050.4 MBBL con reservas probadas más posibles más EOR más YTF. A continuación en la Gráfica 7 se observa la proyección de cada escenario y el tipo de reservas tenidas en cuenta.

Gráfica 7. Estimaciones de producción de Petróleo en Colombia



Fuente: Modificado de UPME. Avance – Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos 2016 -2036. Unidad de Planeación Minero Energética. Subdirección de Hidrocarburos. Abril de 2016

Para un ámbito empresarial, el objetivo primario del portafolio de proyectos de inversión de producción es la explotación de las reservas probadas, donde a nivel de proyectos se planea, ejecuta y controla el cumplimiento de las restricciones a nivel de alcance, tiempo, costos, riesgos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, involucrados, compras y contratación, y a nivel de portafolio se asegura desde la alineación estratégica hasta la medición del desempeño y la comprobación de beneficios, en este caso la producción de hidrocarburos.

Al momento de definir el portafolio de proyectos, se analiza la alineación con los siguientes criterios:

1. Alineación con los objetivos estratégicos.

¹² UPME – Cadena del petróleo. Unidad de Planeación Minero Energética. Diciembre 2016

2. Precios de referencia del crudo.
3. Afectaciones y/o impactos con el entorno como lo son las comunidades y el medio ambiente.
4. Históricos y proyecciones de costos de levantamiento.
5. Indicadores financieros.
6. Elasticidad de la oferta y la demanda.
7. Economía nacional e internacional
8. Exposición internacional
9. Tasa de interés.
10. Estado del arte de la tecnología.
11. Normatividad nacional e internacional, entre muchas otras.

Con base en lo anterior y de acuerdo a lo propuesto por Fatman ¹³, se toman de referencia para el caso de estudio los siguientes criterios y sub-criterios para asociarlos a la toma de decisiones de la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.

Tabla 3. Criterios y sub-criterios asociados al portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos

No.	Criterio	Sub – Criterio
1	Financiero	VPN
2	Financiero	Margen por barril
3	Financiero	Reservas
4	Financiero	Producción 2 primeros años
5	Financiero	Tiempo de repago
6	Financiero	Costo de Desarrollo
7	Entorno	Económico
8	Entorno	Político
9	Entorno	Tecnología
10	Entorno	Estructura del mercado
11	Estratégico	Alineación estratégica
12	Estratégico	Inversionistas
13	Estratégico	Normativo
14	Nivel de definición	Caso de negocio

¹³ FATMAN, Tiryaki; BEYZA, Ahlatcioglu. “Fuzzy portfolio selection using fuzzy analytic hierarchy process”. 2009. Information Sciences, p. 53-69.

No.	Criterio	Sub – Criterio
15	Nivel de definición	Estimación de costos
16	Nivel de definición	Beneficios identificados
17	Nivel de definición	Recursos humanos

4. IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUB-CRITERIOS DE RIESGOS ASOCIADOS A LA DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN DE PRODUCCIÓN.

La encuesta de Ernst & Young citada por Buchtik muestra que gran parte de los proyectos no cumplen con sus objetivos o finalizan con sobrecostos y/o después del plazo establecido.¹⁴

- 50% de los proyectos sobrepasan el presupuesto inicial.
- 58% de ellos se entregan tarde.
- 42% tiene algún defecto luego de terminarse.
- 30% a 40% del costo del proyecto deriva en retrabajos.
- 59% de los gerentes generales o financieros reconocen que no siguen un proceso estructurado de gestión de riesgos de proyectos.
- Más del 70% de los proyectos no logran los objetivos esperados.

Según Buchtik, la gestión de riesgos en el portafolio de proyectos y/o programas tiene una visión más global que la gestión de riesgos en proyectos, cuenta con unos pasos similares de gestión, en cuanto a su planificación, identificación, documentación, análisis, definición y ejecución de planes de mitigación, monitoreo y control.¹⁵

Además define los siguientes tipos y categorías de riesgos de portafolio:

Fuentes de riesgos internos:

- Baja capacidad de gestión de la organización.
- Cambio de prioridades.
- Decisiones de los ejecutivos.
- Interdependencias internas.
- Cambios en el financiamiento.

Fuentes de riesgos externos:

¹⁴ BUCHTIK, Liliana. “Secretos para dominar la gestión de portafolios de programas y proyectos”. Buchtik Global. 2016. p.277-301.ISBN: 978-9974-91-280-9

¹⁵ BUCHTIK, Liliana. “Secretos para dominar la gestión de portafolios de programas y proyectos”. Buchtik Global. 2016. p.277-301.ISBN: 978-9974-91-280-9

- Conformidad con el sistema tributario.
- Interdependencias externas.
- Acciones de la competencia.
- Desastres naturales.
- Cambios en el escenario geopolítico.

Fuentes de riesgos estructurales:

- Estructura jerárquica y forma de operar.
- Calidad y capacidad de gestión de portafolios.
- Planes demasiado ambiciosos.

Fuentes de riesgos de ejecución:

- Capacidad de ejecutar, coordinar y controlar el portafolio.
- Gestión del cambio.
- Estrategia cambiante o inconsistente.

De acuerdo al Project Management Institute citado por Hofman et al. (2017) se describen tres categorías en la gestión de riesgos en portafolio, los estructurales, los generales y por componentes. Los riesgos estructurales están asociados con la composición del grupo de proyectos y de las potenciales interdependencias que hay entre los componentes. Los riesgos de los componentes, son los riesgos de los proyectos que el gerente del proyecto necesita escalar al nivel del portafolio para su información o acción. Los riesgos generales consideran las interdependencias entre los proyectos como tal.

En Hofman et al. (2017) se toma una muestra de 35 riesgos asociados a los portafolios de proyectos, los cuales se listan a continuación.

Tabla 4. Lista de categorías y riesgos del portafolio de proyectos

Componente
1. Cambios significativos en el ambiente del proyecto o del programa
2. Cambios en el enfoque de los involucrados claves del proyectos o programa
3. Cambios significativos en los parámetros particulares de los elementos del portafolio
4. Definiciones impropias de priorizaciones para particulares elementos del portafolio
5. Problemas con los flujos de información y comunicación dentro de los elementos del portafolio

6. Riesgos ignorados por los gerentes de los elementos del portafolio.
7. Falta de desarrollo metodológico dentro del alcance de los elementos del portafolio
8. Acciones impropias por parte del comité de dirección del proyecto
9. Conflictos entre los proyectos y los programas que están dentro del portafolio
10. Conflictos entre los gerentes de los elementos del portafolio y los tomadores de decisión en la empresa
11. Falta de competencias en los gerentes de programas y proyectos
12. Aumento de riesgo desde la aplicación de tecnologías de innovación en los elementos del portafolio.
Estructurales
13. Portafolios muy largos desde el punto de vista de la capacidad de ejecución.
14. Fragmentación significativa del portafolio
15. Estructura jerárquica complicada de la gestión del portafolio
16. Homogeneidad significativa del portafolio.
17. Rango de diversidad amplia del portafolio desde el punto de vista de los ejecutores
18. Desalineación entre la estructura del portafolio y la alineación estratégica
19. Balance del portafolio impropio.
Generales
20. Falta de transferencia de información y conocimiento entre los elementos del portafolio
21. Control impropio sobre el ciclo de vida de los proyectos y programas
22. Disponibilidad de recursos necesarios para la ejecución de los trabajos del portafolio.
23. Falta de coordinación en el desarrollo de los recursos claves de ejecución del portafolio
24. Relaciones entre productos creados por los elementos del portafolio.
25. Problemas con el acceso a la financiación
26. Falta de liquidez en la financiación del portafolio.
27. Colapso financiero del portafolio
28. No hay alineación entre los elementos claves de la estrategia y la estrategia del portafolio
29. Conflictos entre los objetivos de proyectos y programas de los elementos del portafolio
30. Falta de involucramiento a nivel estratégico y táctico en la ejecución del portafolio
31. Falta de competencias en el gerente de portafolio y en las estructuras que lo soportan
32. Incremento en los riesgos por desconocimiento en la estimación de costos de la ejecución de los elementos del portafolio seleccionado.
33. Riesgos relacionados con la estabilidad del personal del equipo de gestión del portafolio y la posibilidad de perder gerentes claves
34. Falta de desarrollo metodológico entre los estándares y el alcance de la gestión de portafolios
35. Formulación de contratos de precio fijo en los elementos del portafolio.

Adaptado de Hofman et al. (2017)

Varias de las fuentes de riesgos comentadas anteriormente, fueron catalogadas en la Tabla 3 dentro de los criterios de entorno, financiero, estratégico y nivel de definición.

Con base en lo anterior y de acuerdo con lo propuesto por Miri et al. se toman de referencia para el caso de estudio los siguientes criterios y sub-criterios para asociarlos al criterio de riesgo en la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.¹⁶

Tabla 5. Identificación de sub - criterios de riesgo en la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos

No.	Criterio	Sub – Criterio
1	Riesgo	Precio de referencia
2	Riesgo	Cambios climáticos
3	Riesgo	Riesgo operacional de no hacer el proyecto
4	Riesgo	Riesgo de factibilidad o incapacidad de no hacer el proyecto

¹⁶ MIRI, Lavasani; YANG, Z; FINLAY, J; Wang, J.”Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells”.2011, Process Safety and Environmental Protection, p. 277-294.

5. PROPUESTA DEL MODELO DEL PROCESO ANALITICO JERARQUICO DIFUSO.

5.1. CASO DE ESTUDIO

Una empresa del sector de Hidrocarburos es tomada como ejemplo para ilustrar el modelo FAHP para la definición del portafolio de proyectos de inversión de hidrocarburos. Para la toma de decisiones, se ha tomado en cuenta los criterios y sub-criterios definidos en la Tabla 3 y

Tabla 5, los cuales fueron valorados por parte de un grupo de expertos usando el método de comparación por pares, tomando como base la escala lingüística definida en la Tabla 1 para obtener las importancias relativas. Actualmente, el portafolio cuenta con 5 componentes¹⁷ los cuales fueron valorados por parte del comité de portafolio usando el método de comparación por pares, basados en la escala lingüística definida en la Tabla 2 para la priorización de componentes. Para efectos comparativos de la definición y priorización del portafolio, se tendrán en cuenta los métodos difusos de FNRM, FT y WCM.

¹⁷Los componentes son sub-portafolio, programas y/o proyectos que conforman el portafolio. Buchtik (2016)

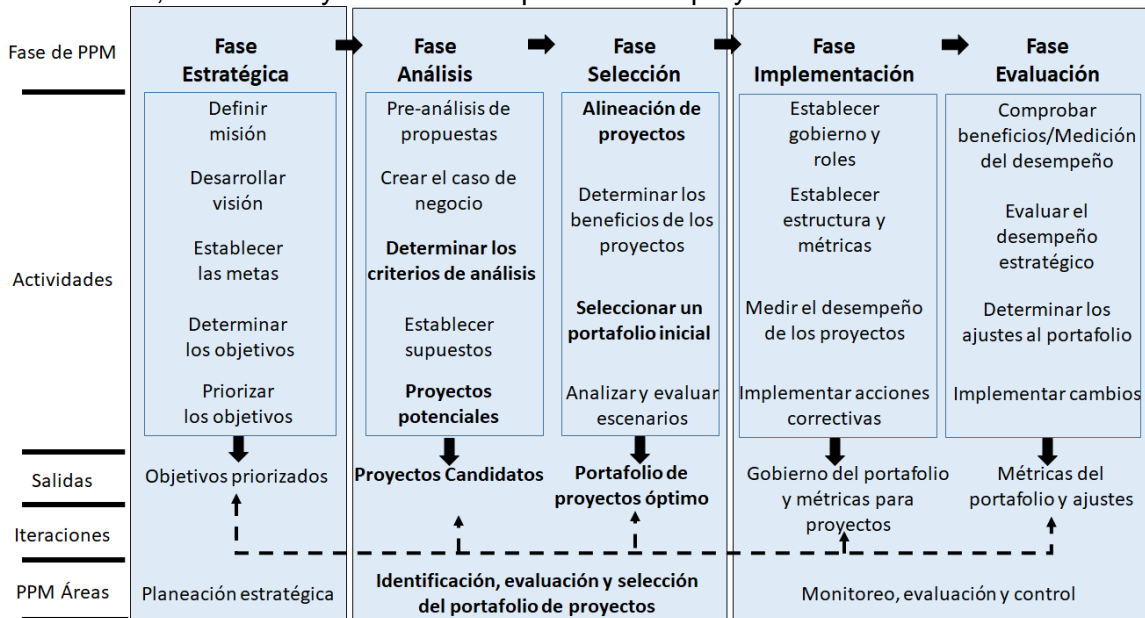
6. ANALISIS Y RESULTADOS

A continuación se explicarán los análisis y resultados obtenidos en el desarrollo del caso de estudio propuesto.

6.1. ESTRUCTURA DE LA DEFINICIÓN DEL PORTAFOLIO

De acuerdo al modelo definido en la Gráfica 2, el usar FAHP apoya el área de identificación, evaluación y selección del portafolio de proyectos en las actividades de determinar los criterios de análisis, la definición de los proyectos candidatos, selección de un portafolio inicial y el portafolio de proyectos óptimo, las cuales se resaltan en la Gráfica 8. Para efectos del caso de estudio, la selección de un portafolio inicial y el portafolio de proyectos óptimo se entenderá como la definición del portafolio.

Gráfica 8. Aporte del FAHP al desarrollo de algunas actividades de la fase de identificación, evaluación y selección del portafolio de proyectos Modelo PPM.

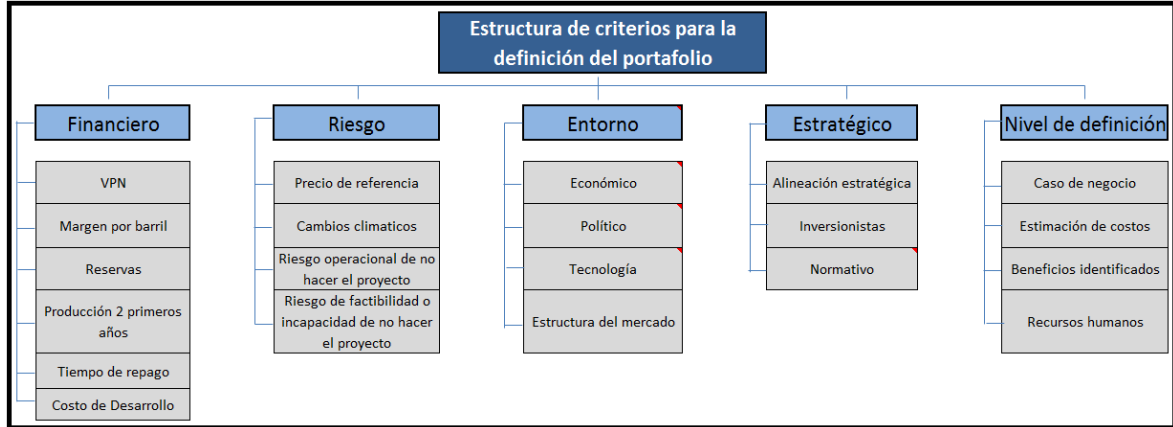


Fuente: Modificado de BIBLE, Michel; BIVINS, Susan. "Mastering Project Portfolio Management – A Systems approach to achieving strategic objectives". 2011. p.4-42. ISBN. 978-1-60427-066-2.

Con relación a la fase de análisis, para la actividad de determinar los criterios de análisis, en la Gráfica 9 se ilustra la estructura de criterios a tener en cuenta dentro del caso de estudio para realizar la definición del portafolio, teniendo como criterios aspectos financieros, de riesgos, de entorno, estratégicos, como también el nivel de

definición de los componentes. De igual forma, se desprenden de cada criterio los sub-criterios respectivos.

Gráfica 9. Estructura de criterios para la definición del portafolio



De esta manera, haciendo un símil con la Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT) para definir el 100% del alcance de un proyecto, con la estructura de criterios, se está definiendo el 100% del alcance de los criterios y sub-criterios a tener en cuenta para la definición del portafolio.

6.2. VALORACIÓN DE CRITERIOS

Para la valoración de criterios, se utilizó la técnica de comparación por pares. Interpretando los resultados para el Criterio 1 (C1) el valor 0.5 hace referencia a que el C1 es igual de importante al C2, C3, C4 y C5, y el valor de 1 hace referencia a que el C1 es más importante que el C3. De igual forma se hace para los demás criterios y sub-criterios.

Como se observa en la Gráfica 10, una vez diligenciada la matriz, se procede a sumar los resultados de cada criterio por las filas de la matriz, se les asigna una prioridad y se hace el mapeo con la escala lingüística definida en la Tabla 1, de tal forma, que:

- C1 correspondiente al criterio Financiero, queda clasificado en la escala lingüística “Alto”,
- C2 que es el criterio Riesgo queda clasificado como “Moderado”,
- C3 es el criterio Entorno y queda clasificado como “Moderadamente bajo”,
- C4 es el criterio Estratégico y queda clasificado como “Muy Alto” y finalmente,
- C5 que es el criterio Nivel de definición queda clasificado dentro de la escala lingüística como “Alto”.

Gráfica 10. Valoración de criterios

Número de Criterios - N	
N	5

Factores	
C1	Financiero
C2	Riesgo
C3	Entorno
C4	Estrategico
C5	Nivel de definición

Valor	Preferencia
1	Más importante
0,5	Igual de importante
0	Menos importante

Matriz de comparación a nivel de criterios

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	Suma Fila	Prioridad	Conjunto lingüístico
C1	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	3	2	Alto
C2	0,5	0,5	1,0	0,0	0,5	2,5	4	Moderado
C3	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	5	Modaradamente bajo
C4	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	3,5	1	Muy alto
C5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	3	2	Alto

Escala lingüística para la valoración de los pesos en los criterios

Conjunto lingüístico	Valoración difusa	Prioridad
Muy alto	(0.9, 1.0, 1.0)	1
Alto	(0.7, 0.85, 1.0)	2
Moderadamente alto	(0.5, 0.7, 0.9)	3
Moderado	(0.3, 0.5, 0.7)	4
Modaradamente bajo	(0.1, 0.3, 0.5)	5
Bajo	(0, 0.15, 0.3)	6
Muy bajo	(0, 0, 0.1)	7

6.3. VALORACIÓN DE COMPONENTES

Para la valoración de componentes, también se utilizó la técnica de comparación por pares, teniendo presente el criterio y sub-criterio respectivo. Interpretando los resultados para el Componente A (Com1) con relación al criterio Nivel de definición y el sub-criterio Estimación de costos, el valor 0.5 hace referencia a que el Com1 es igual de importante al Com1, Com2, y Com5, el valor de 1 hace referencia a que el Com1 es más importante que el Com4 y el valor de 0 hace referencia a que el Com 1 es menos importante que el Com3. De igual forma se hace para los demás Componentes.

Como se observa en la Gráfica 11, una vez diligenciada la matriz, se procede a sumar los resultados de cada Componente por las filas de la matriz, se les asigna

una prioridad y se hace el mapeo con la escala lingüística definida en la Tabla 2, de tal forma, que:

- Com1 que representa al Componente A queda clasificado en la escala lingüística “Suficiente”,
- Com2 que representan al Componente B como “Deficiente”,
- Com3 que representa al Componente C como “Muy Bueno”,
- Com4 que representa al Componente D como “Bueno”, y finalmente
- Com5 que representa al Componente E queda clasificado dentro de la escala lingüística como “Deficiente”.

Gráfica 11. Valoración de componentes

Número de Componentes - N	
N	5
Factores	
Com1	Componente A
Com2	Componente B
Com3	Componente C
Com4	Componente D
Com5	Componente E

Valor	Preferencia
1	Más importante
0,5	Igual de importante
0	Menos importante

Matriz de comparación a nivel de Componentes

Componentes	Com1	Com2	Com3	Com4	Com5	Suma Fila	Prioridad	Conjunto lingüístico
Com1	0,5	0,5	0	1	0,5	2,5	3	Suficiente
Com2	0,5	0,5	0	0	0,5	1,5	4	Deficiente
Com3	1	1	0,5	0,5	1	4,0	1	Muy bueno
Com4	0	1,0	0,5	0,5	1	3,0	2	Bueno
Com5	0,5	0,5	0	0	0,5	1,5	4	Deficiente

Escala lingüística para la priorización de componentes

Conjunto lingüístico	Valoración difusa	Prioridad
Muy bueno	(0.8, 1.0, 1.0)	1
Bueno	(0.6, 0.75, 0.9)	2
Suficiente	(0.3, 0.5, 0.7)	3
Deficiente	(0.1, 0.25, 0.4)	4
Muy deficiente	(0, 0, 0.2)	5

6.4. Resultados consolidados de la valoración de criterios y componentes

A continuación en la

Gráfica 12, se observan los resultados de la valoración en las escalas lingüísticas definidas para criterios, sub-criterios y componentes.

Gráfica 12. Valoración de criterios, sub-criterios y componentes

Id	Criterio	SubCriterio	Valoración de criterios		Valoración de componentes				
			Criterio	SubCriterio	A	B	C	D	E
1	Financiero	VPN	Alto	Muy alto	Bueno	Suficiente	Muy deficiente	Muy bueno	Suficiente
2	Financiero	Margen por barril	Alto	Moderado	Muy bueno	Bueno	Deficiente	Muy bueno	Suficiente
3	Financiero	Reservas	Alto	Alto	Muy bueno	Deficiente	Muy bueno	Suficiente	Bueno
4	Financiero	Producción 2 primeros años	Alto	Moderado	Muy bueno	Suficiente	Bueno	Bueno	Suficiente
5	Financiero	Tiempo de repago	Alto	Alto	Suficiente	Bueno	Muy bueno	Deficiente	Bueno
6	Financiero	Costo de Desarrollo	Alto	Moderadamente alto	Bueno	Deficiente	Bueno	Muy bueno	Suficiente
7	Riesgo	Precio de referencia	Moderado	Alto	Suficiente	Bueno	Suficiente	Muy bueno	Bueno
8	Riesgo	Cambios climaticos	Moderado	Moderado	Suficiente	Bueno	Suficiente	Muy bueno	Bueno
9	Riesgo	Riesgo operacional de no hacer el proyecto	Moderado	Moderadamente alto	Muy bueno	Suficiente	Muy deficiente	Bueno	Suficiente
10	Riesgo	Riesgo de factibilidad o incapacidad de no hacer	Moderado	Muy alto	Muy bueno	Suficiente	Suficiente	Muy bueno	Bueno
11	Entorno	Económico	Moderadamente bajo	Moderadamente alto	Suficiente	Bueno	Muy bueno	Deficiente	Suficiente
12	Entorno	Político	Moderadamente bajo	Alto	Muy bueno	Deficiente	Suficiente	Muy deficiente	Bueno
13	Entorno	Tecnología	Moderadamente bajo	Muy alto	Bueno	Muy deficiente	Suficiente	Muy bueno	Bueno
14	Entorno	Estructura del mercado	Moderadamente bajo	Alto	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Suficiente	Bueno
15	Estrategico	Alineación estratégica	Muy alto	Muy alto	Bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	Suficiente
16	Estrategico	Inversionistas	Muy alto	Moderadamente alto	Muy bueno	Suficiente	Bueno	Suficiente	Deficiente
17	Estrategico	Normativo	Muy alto	Alto	Muy bueno	Bueno	Bueno	Suficiente	Muy deficiente
18	Nivel de definición	Caso de negocio	Alto	Muy alto	Bueno	Suficiente	Muy bueno	Suficiente	Bueno
19	Nivel de definición	Estimación de costos	Alto	Moderado	Suficiente	Deficiente	Muy bueno	Bueno	Deficiente
20	Nivel de definición	Beneficios identificados	Alto	Moderadamente alto	Bueno	Muy bueno	Suficiente	Bueno	Suficiente
21	Nivel de definición	Recursos humanos	Alto	Alto	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Bueno	Suficiente

De acuerdo a Chen (2001) citado por Yawei (2007), se procede a realizar las operaciones matemáticas requeridas para encontrar la evaluación difusa definida en la ecuación (6) para cada componente teniendo en cuenta sus respectivos criterios, sub-criterios y componentes, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de la evaluación difusa de cada componente.

ED_A	0.2844	0.6227	1.0000
ED_B	0.2021	0.4557	0.8124
ED_C	0.2177	0.4828	0.8470
ED_D	0.2348	0.5327	0.8857
ED_E	0.1557	0.4051	0.7999

Aplicando el método WCM definido en (7) se obtiene que el Com1 (componente A) es el que mayor peso tiene con un valor de 0.6357, por esta razón queda de primer orden de elegibilidad, seguido del Com4 (componente D), Com3 (componente C), Com2 (componente B) y Com5 (componente B), tal como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados aplicación del método WCM

	Peso	Elegibilidad
Com1	0.6357	1
Com2	0.4901	4
Com3	0.5158	3
Com4	0.5511	2
Com5	0.4536	5

En la Tabla 8 se listan los resultados de la aplicación del método FT definido en (8), donde el Com1 es el que menor peso tiene con un valor de 0.4003, seguido del Com4, Com3, Com2 y Com5.

Tabla 8. Resultados aplicación del método FT

	Peso	Elegibilidad
Com1	0.4003	1
Com2	0.5080	4
Com3	0.4875	3
Com4	0.4603	2
Com5	0.5362	5

Y finalmente en la Tabla 9 se observa el resultado de aplicar el método FNRM, al ser un resultado asociado a una valoración cualitativa, el Com1 y Com4 quedan clasificados como “Moderadamente alto” y los Com2, Com3 y Com5 quedan clasificados como “Suficiente”.

Tabla 9. Resultados aplicación Método FNRM

	Valoración	Elegibilidad
Com1	Moderadamente alto	1
Com2	Suficiente	4
Com3	Suficiente	3
Com4	Moderadamente alto	2
Com5	Suficiente	5

Como ejemplo adicional a este caso de estudio, a continuación en la

De esta manera, se logra estructurar la toma de decisión con relación a la definición del portafolio de proyectos de inversión de hidrocarburos a través del modelo del proceso analítico jerárquico difuso. Dicho modelo tiene la capacidad de tener en cuenta los criterios y sub-criterios asociados a la definición del portafolio y sus respectivos riesgos, así como también, la posibilidad de modelar las opiniones bajo la incertidumbre o falta de información mediante variables difusas. Adicionalmente, permite a los tomadores de decisión contar con una herramienta para analizar, soportar y evidenciar sus decisiones bajo un mismo esquema.

Gráfica 13 se observan los resultados del impacto en la selección del portafolio teniendo en cuenta únicamente el factor financiero. Allí se destaca un cambio en el orden de elegibilidad de la selección del portafolio para el Componente 2 y Componente 5, los cuales estaban en el lugar 4 y 5 y pasaron al lugar 5 y 4 respectivamente. En caso que se tuviera una limitación para invertir solo en los cuatro primeros componentes priorizados, el Componente 5 entraría en la clasificación y el Componente 2 quedaría por fuera de la selección del portafolio óptimo a desarrollar.

De esta manera, se logra estructurar la toma de decisión con relación a la definición del portafolio de proyectos de inversión de hidrocarburos a través del modelo del proceso analítico jerárquico difuso. Dicho modelo tiene la capacidad de tener en cuenta los criterios y sub-criterios asociados a la definición del portafolio y sus respectivos riesgos, así como también, la posibilidad de modelar las opiniones bajo la incertidumbre o falta de información mediante variables difusas. Adicionalmente, permite a los tomadores de decisión contar con una herramienta para analizar, soportar y evidenciar sus decisiones bajo un mismo esquema.

Gráfica 13. Análisis de impacto en la selección del portafolio de proyectos de inversión de producción al solo tener en cuenta el criterio financiero.

Id	Criterio	SubCriterio	Valoración de criterios		Valoración de componentes				
			Criterio	SubCriterio	A	B	C	D	E
1	Financiero	VPN	Alto	Muy alto	Bueno	Suficiente	Muy deficiente	Muy bueno	Suficiente
2	Financiero	Margen por barril	Alto	Moderado	Muy bueno	Bueno	Deficiente	Muy bueno	Suficiente
3	Financiero	Reservas	Alto	Alto	Muy bueno	Deficiente	Muy bueno	Suficiente	Bueno
4	Financiero	Producción 2 primeros años	Alto	Moderado	Muy bueno	Suficiente	Bueno	Bueno	Suficiente
5	Financiero	Tiempo de repago	Alto	Alto	Suficiente	Bueno	Muy bueno	Deficiente	Bueno
6	Financiero	Costo de Desarrollo	Alto	Moderadamente alto	Bueno	Deficiente	Bueno	Muy bueno	Suficiente

ED_A	0.3042	0.6273	1.0000
ED_B	0.1572	0.3799	0.7235
ED_C	0.2372	0.4815	0.8150
ED_D	0.2649	0.5677	0.9002
ED_E	0.2096	0.4639	0.8545

WCM	Peso	Elegibilidad
Com1	0.6438	1
Com2	0.4202	5
Com3	0.5112	3
Com4	0.5776	2
Com5	0.5093	4

FT	Peso	Elegibilidad
Com1	0.3930	1
Com2	0.5653	5
Com3	0.4908	3
Com4	0.4391	2
Com5	0.4927	4

FNRM	Valoración	Elegibilidad
Com1	Moderadamente alto	1
Com2	Moderadamente bajo	5
Com3	Suficiente	3
Com4	Moderadamente alto	2
Com5	Suficiente	4

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se definió un modelo FAHP para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos. Para llegar a esta definición se realizó la identificación de criterios a nivel financiero, riesgo, entorno, estratégico y el nivel de definición asociados a la definición del portafolio, lo cual se comprobó a través de un caso de estudio.

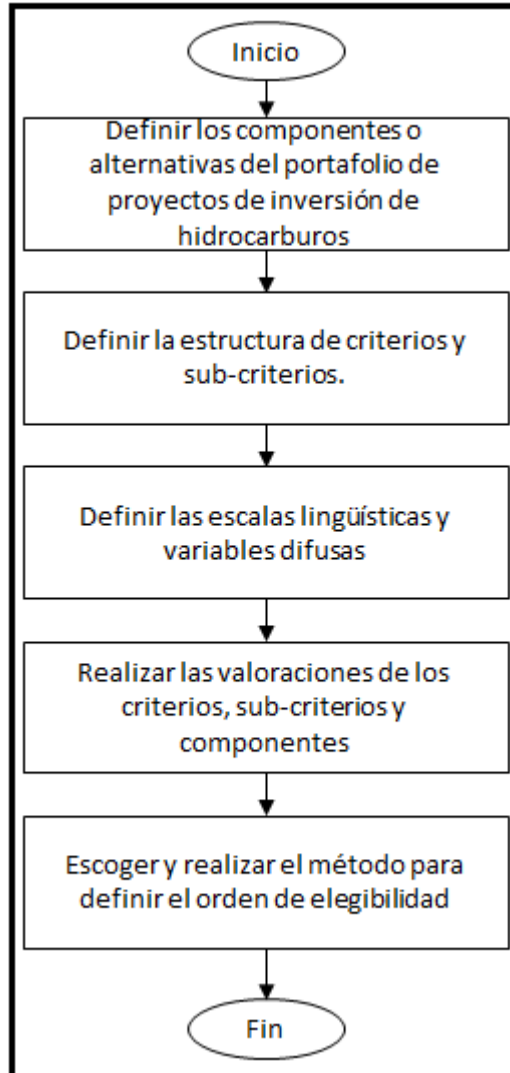
Con base en las escalas lingüísticas usadas, se facilitó la valoración de criterios por parte de los evaluadores, permitiendo a través de las comparaciones por pares la identificación de que opciones eran más, menos o igual de importantes.

Al usar los métodos de priorización difusos WCM y FT, se logra establecer una lista con el orden de elegibilidad de los componentes, lo cual es muy útil, al momento de tener que definir las inversiones que se van a realizar en el portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos. Con relación al método FRNM, a pesar de evidenciar también un orden de elegibilidad, carece de presión al momento de tener varios componentes con la misma valoración.

El uso de este modelo FAHP, permite determinar de una manera ágil y fácil, unos soportes claros y unificados para los tomadores de decisión frente a las inversiones en el portafolio de inversión de proyectos de producción de hidrocarburos.

Por último a manera de resumen, se ilustra en la Gráfica 14, el flujo de actividades a seguir para llevar a cabo del modelo FAHP para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.

Gráfica 14. Flujo de actividades a seguir para realizar el modelo de FAHP para la definición del portafolio de proyectos de inversión de producción de hidrocarburos.



8. RECOMENDACIONES

Como trabajos futuros de aplicación, se sugiere con mayor información de los criterios, realizar los análisis de distribuciones correspondientes diferentes a la triangular, donde a través de las pruebas de bondad y ajuste, se pueda aplicar la metodología difusa ajustada a la distribución real de los datos.

Para una segunda fase, se propone realizar una simulación en la cual se involucren los criterios identificados con sus distribuciones asociadas y se haga una caracterización de la estimación de la rentabilidad del portafolio.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLE, Michel; BIVINS, Susan. "Mastering Project Portfolio Management – A Systems approach to achieving strategic objectives". 2011. p.4-42. ISBN. 978-1-60427-066-2.

BUCHTIK, Liliana. "Secretos para dominar la gestión de portafolios de programas y proyectos". Buchtik Global. 2016. p.277-301. ISBN: 978-9974-91-280-9

CHEN, C.-T. "A fuzzy approach to select the location of the distribution center." Fuzzy Sets Syst. 2001. 118 (1), 65–73.

CHINBAT, Undram, TAKAKUWA, Soemon, "Using simulation analysis for mining project risk management". Proceedings of the 2009 winter simulation conference. Graduate School Of Economics and Bussines Administration, Nagoya University. Japan, 2009.

DANESH, D et al. Using Analytic Hierarchy Process as a Decision-Making Tool in Project Portfolio Management. International Journal Of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering, 2015, Vol: 9, No:12.

FATMAN, Tiryaki; BEYZA, Ahlatcioglu. "Fuzzy portfolio selection using fuzzy analytic hierarchy process". 2009. Information Sciences, p. 53-69.

FOULADGAR, Mohammad Majid; YAZDANI-CHAMZINI, Abdolreza; ZAVADSKAS, EdmundasKazimieras; YAKHCHALI, Siamak Haji; GHASEMPOURABADI, Mohammad Hossein. "PROJECT PORTFOLIO SELECTION USING FUZZY AHP AND VIKOR TECHNIQUES". 2012, Vol. 11, No. 1 (25), p. 231-231.

HOFMAN, Mariusz; SPALEK, Seweryn; GRELA, Grzegorz. "Shedding New Light on Project Portfolio Risk Management". MDPI. 2017

KUBLER, Sylvain;ROBERT, Jérémy;DERIGENT, William;VOISIN, Alexandre;LE TRAON, Yves."A state-of the-art survey &testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications". In Expert Systems with Applications. 2016, Vol. 65, p. 398-422

MIRI, Lavasani; YANG, Z; FINLAY, J; Wang, J."Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells".2011, Process Safety and EnviromentalProtection, p. 277-294.

LÓPEZ, L.J. Propuesta de un módulo de gestión de riesgos para proyectos de refinación con componentes de tecnologías de información (TI). Tesis de Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Bucaramanga: UIS. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Marzo 2014. p.17, 18.

ROISENBERG, Mauro; SCHOENINGER, Cíntia; RODRIGUES DA SILVA Reneu. "A hybrid fuzzy-probabilistic system for risk analysis in petroleum exploration prospects". Expert Systems with Applications. 2009

SAATY, T.L. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. Third Edition. 2012

TSAUR Ruey-Chyn, "Fuzzy portfolio model with different investor risk attitudes".European Journal Of Operational Reserarch. 2012.

UPME – Escenarios de oferta y demanda de hidrocarburos. Unidad de Planeación Minero Energética.2012.

UPME – Cadena del petróleo. Unidad de Planeación Minero Energética. Diciembre 2013.

UPME. Avance – Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos 2016 -2036. Unidad de Planeación Minero Energética. Subdirección de Hidrocarburos. Abril de 2016

YAWEI Li, XIANGTIAN Nie, SHOUYU Chen. Fuzzy Approach to prequalifying construction contractors. Journal of construction engineering and management, 133 (1):40-49. 2007