

**APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS PARA LA
PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA**



Universidad
Tecnológica
de Pereira

FRANCO MEJÍA JUAN JOSÉ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2013**

**APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS PARA LA
PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA
ELÉCTRICA**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero industrial



Universidad
Tecnológica
de Pereira

FRANCO MEJÍA JUAN JOSÉ

Directora del trabajo de grado:
Ing. M.Sc. ELIANA MIRLEDY TORO OCAMPO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA
2013**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

*Dedicado a mis padres
Gloria, Jorge y Herberth, por ser la
razón de mis logros su cariño,
comprensión y fortaleza.*

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de Planeación Financiera de CLENSA que depositó toda su confianza y actuó con voluntad desde la concepción de este proyecto.

A Eliana Toro, quien me acompañó con paciencia e inmensa disposición.

CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.2. ANTECEDENTES.....	14
1.2.1. MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO.....	14
1.2.2. ANÁLISIS DE ARTÍCULOS RELACIONADOS.....	14
1.2.2.1. RAILWAY PROJECTS PRIORITIZATION FOR INVESTMENT: APPLICATION OF GOAL PROGRAMMING (2007).....	15
1.2.2.2. USING ANALYTIC NETWORK PROCESS AND GOAL PROGRAMMING FOR INTERDEPENDENT INFORMATION SYSTEM PROJECT SELECTION (2000).....	17
1.2.2.3. METHODOLOGICAL APPROACH FOR ESTIMATING THE BENEFITS AND COSTS OF SMART GRID DEMONSTRATION PROJECTS (2010).....	19
1.2.2.4. A METHOD FOR THE EFFICIENT PRIORITIZATION OF INFRASTRUCTURE RENEWAL PROJECTS (2006).....	21
1.2.2.5. R&D PROJECT SELECTION USING THE ANALYTIC NETWORK PROCESS (2002).....	23
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
2. JUSTIFICACIÓN.....	26
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	27
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. MARCO REFERENCIAL.....	28
4.1. MARCO TEÓRICO.....	28
4.1.1. GP - PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS.....	28
4.1.2. MCA – ANÁLISIS MULTICRITERIO.....	28
4.1.3. GAM – MATRIZ DE LOGRO DE LA META.....	29
4.1.4. MÉTODO SCORING (PUNTUACIÓN).....	29
4.2. MARCO CONCEPTUAL.....	29
4.2.1. DEFINICIONES Y CONCEPTOS QUE APLICA CLENSA REFERENTES A LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN.....	29
4.2.2. CONCEPTOS TEÓRICOS.....	33
4.3. MARCO INSTITUCIONAL.....	35
4.3.1. HISTORIA.....	35

4.3.2.	ORIENTACIÓN.....	36
4.3.3.	MISIÓN.....	36
4.3.4.	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS.....	36
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	37
5.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
5.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	37
5.3.	DESARROLLO METODOLÓGICO	38
5.3.1.	FASE I: DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	38
5.3.2.	FASE II: IDENTIFICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO	38
5.3.3.	FASE III: OBTENCIÓN DE UNA SOLUCIÓN A PARTIR DEL MODELO	38
5.3.4.	FASE IV: PRUEBA DEL MODELO.....	38
5.3.5.	FASE V: VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN.....	38
6.	MODELO PROPUESTO.....	39
6.1.	ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO	39
6.2.	ANÁLISIS MULTICRITERIO	40
6.3.	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	40
6.4.	IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	42
6.5.	ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES.....	45
6.6.	IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	47
6.7.	DESIGNACIÓN DEL EQUIPO DE JUICIO Y EQUIPO TÉCNICO	48
6.8.	EMISIÓN DE JUICIOS.....	48
6.9.	RESULTADO AMC	52
6.10.	PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS	53
6.10.1.	PARÁMETROS BÁSICOS DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS.....	53
6.10.2.	ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES	53
6.10.2.1.	VARIABLES DE DECISIÓN	54
6.10.2.2.	FUNCIÓN OBJETIVO	54
6.10.2.3.	CONSIDERACIONES IMPORTANTES	55
6.10.2.4.	RESTRICCIONES BLANDAS	55
6.10.2.4.1.	RESTRICCIÓN ASOCIADA AL CRECIMIENTO RENTABLE DE LA COMPAÑÍA.....	57
6.10.2.4.2.	RESTRICCIÓN ASOCIADA A LA EXCELENCIA TECNOLÓGICA Y OPERATIVA.....	58
6.10.2.4.3.	RESTRICCIÓN ASOCIADA AL FORTALECIMIENTO DEL SERVICIO Y DE LA INTERACCIÓN CON LOS CLIENTES.....	58
6.10.2.5.	RESTRICCIONES RÍGIDAS.....	58
6.10.2.5.1.	RESTRICCIÓN ASOCIADA A LA SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL.....	58

6.10.2.5.2. RESTRICCIÓN ASOCIADA AL PRESUPUESTO DESTINADO A LA INVERSIÓN.....	59
6.11. EJECUCIÓN DEL MODELO.....	60
7. RESULTADOS	61
8. CONCLUSIONES	62
9. RECOMENDACIONES.....	63
9.1. FACTORES CLAVES PARA EL ÉXITO:.....	63
9.2. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS:	63
10. BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS DE VÍAS FÉRREAS.....	15
TABLA 2. POSIBLES COMBINACIONES DE ALTERNATIVAS SELECCIONADAS Y PRESUPUESTO TOTAL PARA CADA CONJUNTO	17
TABLA 3. IDONEIDAD DE LOS MÉTODOS DE SELECCIÓN DE PROYECTOS PARA DIFERENTES PROBLEMAS DE INFORMACIÓN	19
TABLA 4. COMPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL MODELO ORIGINAL AHP Y LA SOLUCIÓN DEL MODELO ANP	19
TABLA 5. COSTO DE INVERSIÓN ANUAL DE CLENSA (MILLONES DE PESOS COLOMBIANOS).....	25
TABLA 6. PONDERACIÓN DE LOS INDICADORES PARA CADA GRUPO DE PROYECTOS	46
TABLA 7. CALIFICACIÓN DEL OBJETIVO ESTRATÉGICO 1.....	49
TABLA 8. PONDERACIÓN DEL OBJETIVO ESTRATÉGICO 2.....	50
TABLA 9. CALIFICACIÓN DEL OBJETIVO ESTRATÉGICO 3.....	51
TABLA 10. CALIFICACIÓN DEL OBJETIVO ESTRATÉGICO 4.....	52
TABLA 11. MATRIZ B. RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO	52
TABLA 12. ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES.....	54
TABLA 13. MATRIZ D NORMALIZADA	57
TABLA 14. MODELO IMPUTADO EN WINQSB. (PRESUPUESTO EN MILLONES DE PESOS)	60
TABLA 15. PROYECTOS SELECCIONADOS PARA DIFERENTES MONTOS DE CAPITAL DISPONIBLE (MILLONES DE PESOS).....	61

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE LOS PROYECTOS.....	22
GRÁFICO 2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE INVERSIÓN	29
GRÁFICO 3. PROCESO DE EJECUCIÓN DEL MODELO.	39

RESUMEN

Ante la necesidad de procesos organizacionales eficientes, este trabajo utiliza técnicas de toma de decisión como el Análisis Multicriterio y la Programación por Objetivos para generar un modelo que permita elegir entre una lista de alternativas, los proyectos a los cuales se debe dirigir la inversión de una compañía, de manera que se logre el máximo cumplimiento de los objetivos organizacionales y teniendo en cuenta los límites de capital.

Para la elaboración del modelo, se analizó el caso de selección de proyectos de inversión de una compañía colombiana de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica. Teniendo en cuenta las particularidades de su actividad, se establecieron herramientas de medición para tales alternativas de inversión respecto a su aporte con la visión de la organización.

El resultado de este trabajo es un proceso que incluye desde la recolección de propuestas de inversión, pasando por los sub-procesos de manejo de información necesarios, que combinados con los modelos matemáticos de Análisis Multicriterio y la Programación por Objetivos, deriva finalmente en la emisión de juicios de aceptación o rechazo sobre las propuestas planteadas.

ABSTRACT

Given the need for efficient processes, this paper uses decision-making techniques such as multi-criteria analysis and goal programming to generate a model which can be used to choose from a list of alternatives, projects to where the investment of a company should be directed, so as to achieve maximum compliance with organizational objectives and taking into account the limits of capital.

During the development of the model, was examined the case of investment projects selection of a Colombian distribution company, generation and sale of electricity. Taking into account the particularities of this doing, were established measurement tools for such investment alternatives with relation to their contribution to the vision of the organization.

The result of this work is a process that involves from collecting proposals for investment, through the necessary sub-processes for information management, which combined with mathematical models of multi-criteria analysis and goal programming, finally drift in making judgments about acceptance or rejection of the proposals.

INTRODUCCIÓN

Las organizaciones realizan grandes esfuerzos para lograr una mayor eficiencia en sus procesos, buscando así obtener mejores resultados. La sistematización de dichos procesos fue protagonista de los textos de administración desde finales del siglo XIX. Posteriormente cobraron relevancia los modelos de gestión flexibles que permitieran a las empresas adaptarse rápidamente a los cambios del medio.

Haciendo una sinergia entre ambas postulaciones, se podría llegar a una tercera tesis que expone la importancia para las compañías de adaptarse a un entorno cambiante, pudiendo sistematizar rápidamente cada nuevo proceso organizacional. Por ello es indispensable desarrollar mecanismos que permitan dinamizar la toma de decisiones.

Analizando el caso particular del macro-proceso de construcción del presupuesto anual de CLENSA, se identifica la oportunidad de definir un modelo que permita a la Empresa priorizar y asegurar el retorno de capital sobre los proyectos de inversión que son presentados por las gerencias en cuanto a la aprobación de su ejecución, desaprobación o aplazamiento.

Algunos de estos proyectos por sus características admiten les sea realizada una evaluación financiera. Sin embargo en algunos otros no es posible detectar de una manera sencilla el valor económico que aportan a la organización. Este último es el caso de los proyectos de arquitectura de red, que son proyectos que cambian la morfología de una sección de la red eléctrica por lo que es casi imposible calcular el beneficio que obtiene CLENSA por ese cambio. Ya que este no es el caso de la mayoría de los proyectos, los cuales permiten además de las evaluaciones financieras, les sean realizadas algunas evaluaciones cualitativas, se puede establecer un modelo que combine el Proceso de Multicriterio y la Programación por Objetivos, para seleccionar entre muchas, las alternativas más apropiadas para invertir en un periodo determinado.

La Programación por Objetivos es un modelo de optimización matemático donde se formulan varias “metas” (criterios de priorización) como restricciones rígidas o flexibles y una función objetivo que busca minimizar las desviaciones de dichas metas. A su vez el Análisis Multicriterio se utiliza para emitir un juicio comparativo entre indicadores o medidas heterogéneas, lo que será útil en la comparación de evaluaciones cualitativas y cuantitativas.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo se puede priorizar la inversión de CLENSA en los proyectos de infraestructura eléctrica de acuerdo a la planeación estratégica y al capital disponible para inversión de la Compañía?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Mercado eléctrico colombiano

La acelerada dinámica que vive por estos días la economía colombiana, obliga a las empresas a llevar un elevado ritmo de crecimiento que les permita por lo menos mantenerse competitivas. Este fenómeno se evidencia más fuertemente en el sector minero-energético, donde se han generado nuevos espacios de crecimiento para las empresas locales en mercados internacionales, así como también se ha visto la llegada de grandes capitales extranjeros destinados a ese fragmento de la economía nacional. Ambos factores están cambiando las reglas de juego del sector, lo que a su vez afecta rápidamente los estilos de dirección de las compañías, principalmente aquellas que quieran tener un papel de liderazgo en la región. Tal es el caso de CLENSA y su socio estratégico Colcapitales, quienes ven entre sus posibilidades la comercialización de energía en otros países de Latinoamérica. Lo anterior va muy de la mano con los planes del Gobierno Nacional que se empeña en perfilar a Colombia como un país exportador de energía eléctrica.

Para lograrlo, CLENSA debe cuidar muy especialmente sus inversiones de manera que tanto los proyectos locales, como los proyectos de internacionalización contribuyan al crecimiento rentable y sostenible.

Alinear perfectamente los procesos internos con los objetivos estratégicos, será indispensable para el futuro de la organización, y es allí donde radica la importancia de este documento.

1.2.2. Análisis de artículos relacionados

A continuación se presenta un compendio de artículos especializados que enmarcan las temáticas que se emplearán en el desarrollo de esta investigación.

1.2.2.1. Railway projects prioritization for investment: application of goal programming (2007)

Autores:

Aoife Ahern y Gabriel Anandarajah,
School of Architecture, Landscape and Civil Engineering.
University College Dublin.
Earlsfort Terrace, Ireland

Disponible en la web:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X06000771>

Objetivo:

Este estudio pretende utilizar un modelo que combina la programación por objetivos y el análisis Multicriterio y busca la priorización de los proyectos identificados para la inversión y alcanzar el mayor cumplimiento posible de objetivos cualitativos y cuantitativos sin sobrepasar el límite de capital disponible.

Identificación del problema:

El sistema de ferrocarriles de Irlanda se vio enfrentado a la necesidad de una renovación de grandes proporciones. Para ello se plantearon varias alternativas que abarcaban desde la modernización de la infraestructura existente, hasta la construcción de nuevos tramos de vías férreas. La información disponible para escoger los proyectos más convenientes incluye datos económicos y normativos.

La siguiente tabla muestra la información disponible de cada proyecto:

Proyectos	Monto de la inversión	Ingresos Anuales	Beneficios Cualitativos			
			QG1	QG2	QG3	QG3
Cork suburban	123.6	6.3	3	4	3	4
Limerick jutn.-Rossalare (LDMU)	33.4	4.1	3	3	2	3
Limerick-shannon-ennis	116.8	3.5	1	3	2	1
Limerick-ballybrophy	28.9	3.5	2	3	2	2
Galway to cork (via Limerick)	289.8	12.2	2	3	2	2
Navan-drogheda	109.8	3.4	2	1	2	1
Atholne-mullingar	154.2	1.8	1	3	2	0
Derry-letterkenny	150.6	1.2	1	3	1	2
Western corridor-sligo to cork	571.7	13.4	1	3	2	1
Connolly st,-navan (direct)	407.5	4.3	1	2	1	1
Total	1986	54	17	28	19	17

Tabla 1. Identificación de proyectos de vías férreas.

Técnica de solución:

Se combinaron varias técnicas: Primero se usa el Análisis Multicriterio (MCA) y una Matriz de Logro de Metas (GAM) para puntuar los atributos cualitativos de cada proyecto dentro de una escala de calificación de 1 a 4, con el fin de hacer computables variables cuantitativas y cualitativas.

Posteriormente se utiliza la Programación por Objetivos, específicamente un modelo de Programación Entera (WeightedIntegerGoalProgramming - WIGP) que permite restricciones tanto rígidas (el monto límite de inversión), como flexibles. Para evitar un sesgo en el resultado debido a las diferencias en unidades de medida y en la magnitud de la escala entre los atributos, las restricciones en este trabajo se normalizaron utilizando las técnicas de normalización euclidiana.

Atributos:

Como criterios de priorización se señalaron 4 atributos cualitativos y 3 atributos cuantitativos. Donde los beneficios cualitativos u objetivos cualitativos que se califican a los proyectos son:

- QG1 (Qualitative Goal 1): Proveer servicios de transporte de pasajeros y de carga de alta calidad.
- QG2: Cumplir con la normatividad local, regional y nacional sobre uso del suelo.
- QG3: Mejorar la calidad del medio ambiente.
- QG4: Asegurar que se cumplan las restricciones fundamentales (i. Estudios de factibilidad, ii. Estándares de seguridad y accesibilidad, iii. Documentación aprobada por los organismos públicos y estatutarios).

Codificación del problema:

Se utilizan variables de decisión X_i binarias:

- 0- Para los proyectos que no son seleccionados.
- 1- Para los proyectos que son seleccionados

Resultados:

Proyectos	Niveles de presupuesto para la inversión de capital (Millones de Euros)								
	100	200	300	400	500	600	800	900	1000
Cork suburban		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limerick jutn.-Rossalare (LDMU)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Limerick-shannon-ennis				✓		✓	✓	✓	✓
Limerick-ballybrophy	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Galway to cork (via Limerick)					✓	✓	✓	✓	
Navan-drogheda			✓				✓	✓	
Atholne-mullingar								✓	
Derry-letterkenny									
Western corridor-sligo to cork									✓
Connolly st,-navan (direct)									
Número de proyectos seleccionados	2	3	4	4	4	5	6	7	5

Tabla 2. Posibles combinaciones de alternativas seleccionadas y presupuesto total para cada conjunto

Conclusión:

El modelo permite determinar el grupo óptimo de proyectos de inversión para diferentes niveles de capital disponible, al mismo tiempo que maximiza la contribución a las metas. Sin embargo, aunque el objetivo haya sido maximizar todos los atributos, en este ejercicio, la decisión de inversión depende de las consideraciones de los responsables de dicha decisión, por lo que se es susceptible a evaluaciones subjetivas.

1.2.2.2. Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection (2000)

Autores:

Jin Woo Lee y SoungHie Kim
Advanced Institute of Science and Technology.
School of Management.
Seoul. Korea

Disponible en la web:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030505489900057X>

Objetivo:

Desarrollar una metodología de selección de proyectos de sistemas de información cuyos parámetros o criterios de decisión presentan una relación interdependiente.

Identificación del problema:

Las situaciones con las que se enfrentan las compañías generalmente involucran factores interdependientes: Su manejo apropiado garantizará en cierta medida beneficios reflejados en ahorro monetario y ventajas no económicas. Es necesario entonces definir modelos que permitan manejar tales factores. En este caso, los autores se disponen a elegir el mejor modelo que les ayude a calificar sistemas de manejo de la información y para ello deciden utilizar un Proceso de Análisis en Red (ANP) con un modelo de Programación por Objetivos.

Técnica de solución:

Este documento hace un recorrido por posibles técnicas de solución al problema, identificando que muy pocos logran superar el obstáculo que plantea con la interdependencia de los criterios de selección. Por ello se propone una mejora en la metodología de selección de proyectos mediante el proceso de análisis de red (ANP), que es un proceso de Análisis Multicriterio, el cual, a diferencia del proceso de análisis jerárquico AHP, refleja las interdependencias entre los criterios de evaluación y los proyectos candidatos. Posterior al análisis de red, se utiliza un modelo de Programación por Objetivos binario (ZOGP).

La siguiente tabla ilustra la capacidad de diferentes técnicas de selección y su capacidad de afrontar diferentes problemas de información.

Método	Parámetros desconocidos	Multi criterio	Interdependencia
AHP (Proceso de análisis jerárquico)	Sí	No	No
GP (Programación por objetivos)	No	Sí	No
AHP & GP	No	Sí	No
Programación dinámica	No	Sí	Sí
Programación lineal	No	Sí	No
Programación cuadrática-lineal	No	Sí	Sí
Programación cuadrática	No	Sí	Sí
Programación no lineal	No	Sí	Sí
ANP (Proceso de análisis de red) & ZOGP (Programación por objetivos binaria)	No	Sí	Sí

Tabla 3. Idoneidad de los métodos de selección de proyectos para diferentes problemas de información

Codificación del problema:

Se utilizan variables de decisión X_i binarias:

- 0- Para los proyectos que no sean seleccionados.
- 1- Para los proyectos que sean seleccionados.

Resultados:

Para comparar la eficiencia del modelo de programación por objetivos (GP) mejorado con el proceso de análisis en red (ANP), se ejecutó junto a un modelo de análisis jerárquico (AHP) original.

Los resultados de los dos modelos, son conjuntos diferentes de sistemas de manejo de información.

Comparación de la solución del modelo original de AHP y la solución del modelo ANP	
	Proyectos Seleccionados
AHP Original (asumiendo que se usa el orden del Ranking AHP)	1, 5, 6
Solución ANP-ZOGP	2, 4, 5, 6

Tabla 4. Comparación de la solución del modelo original AHP y la solución del modelo ANP

Análisis:

Aunque el modelo se aplica a proyectos de sistemas de información, se detectó la utilidad de este método para resolver problemas de distintas áreas teniendo múltiples criterios de decisión con relaciones de interdependencia o no.

1.2.2.3. Methodological approach for estimating the benefits and costs of smart grid demonstration projects (2010)

Autores:

M. Wakefield
 Electric Power Research Institute EPRI
 Palo Alto, CA

A. Faruqui and R. Hledik
The Brattle Group
San Francisco, CA

S. Bossart
National Energy Technology Laboratory
Morgantown, WV

C. Lamontagne, F. Small and D. Walls
Navigant Consulting, Inc.
Boston, MA

R. Lee
Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, TN

B. Renz
Renz Consulting, LLC
Columbus, OH

D. Violett
Summit Blue Consulting
Boulder, CO

Disponible en la web:

http://www.smartgridnews.com/artman/uploads/1/1020342EstimateBCSmartGridD emo2010_1_1_.pdf

Objetivos:

El propósito de este documento es presentar un marco metodológico que proponga una técnica estándar para estimar los costos y beneficios de los proyectos SmartGrid.

Resumen:

Entendiendo que una SmartGrid es una red eléctrica que utiliza la tecnología de información y comunicaciones de forma automatizada para mejorar la eficiencia, la fiabilidad, la economía y la sostenibilidad de la producción y distribución de electricidad, este trabajo logra estandarizar una metodología para el estudio de este tipo de proyectos, documentando una secuencia paso a paso. Abarca desde

la identificación de las relaciones entre los beneficiarios de los proyectos, hasta la categorización de los beneficios. El marco metodológico expone los estudios de beneficio-costos, factibilidad, incertidumbre, y comprende también problemas relacionados con la monetización de las estimaciones e indisponibilidad de información para evaluar las alternativas.

Conclusiones:

El trabajo logra enunciar una amplia franja de beneficios de las SmartGrids, y los procedimientos lógicos para estimarlos.

Gran parte de los beneficios identificados en este trabajo, pueden ser medidos a otros proyectos de infraestructura eléctrica, lo que puede resultar en aportes importantes a este trabajo de grado.

1.2.2.4. A method for the efficient prioritization of infrastructure renewal projects (2006)

Autores:

D.M. Karydas
Department of Technology Management, Quality and Reliability Engineering
TechnischeUniversiteit Eindhoven

J.F. Gifun
Department of Facilities
Massachusetts Institute of Technology

Disponible en la web:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832004002935>

Objetivo:

Este estudio pretende lograr la asignación óptima de fondos destinados para la restauración de los edificios del campus del MIT.

Técnica de solución:

Se recurre a la metodología MAUT (Multi-AttributeUtilityTheory) desarrollada por el MIT, la cual resulta útil para comparar las alternativas de inversión según sus fortalezas y debilidades respecto a los múltiples objetivos de interés para el tomador de decisiones. Esto se logra estableciendo categorías de impacto y

midiendo el desempeño de cada alternativa frente a las categorías, como se puede ver en siguiente cuadro:

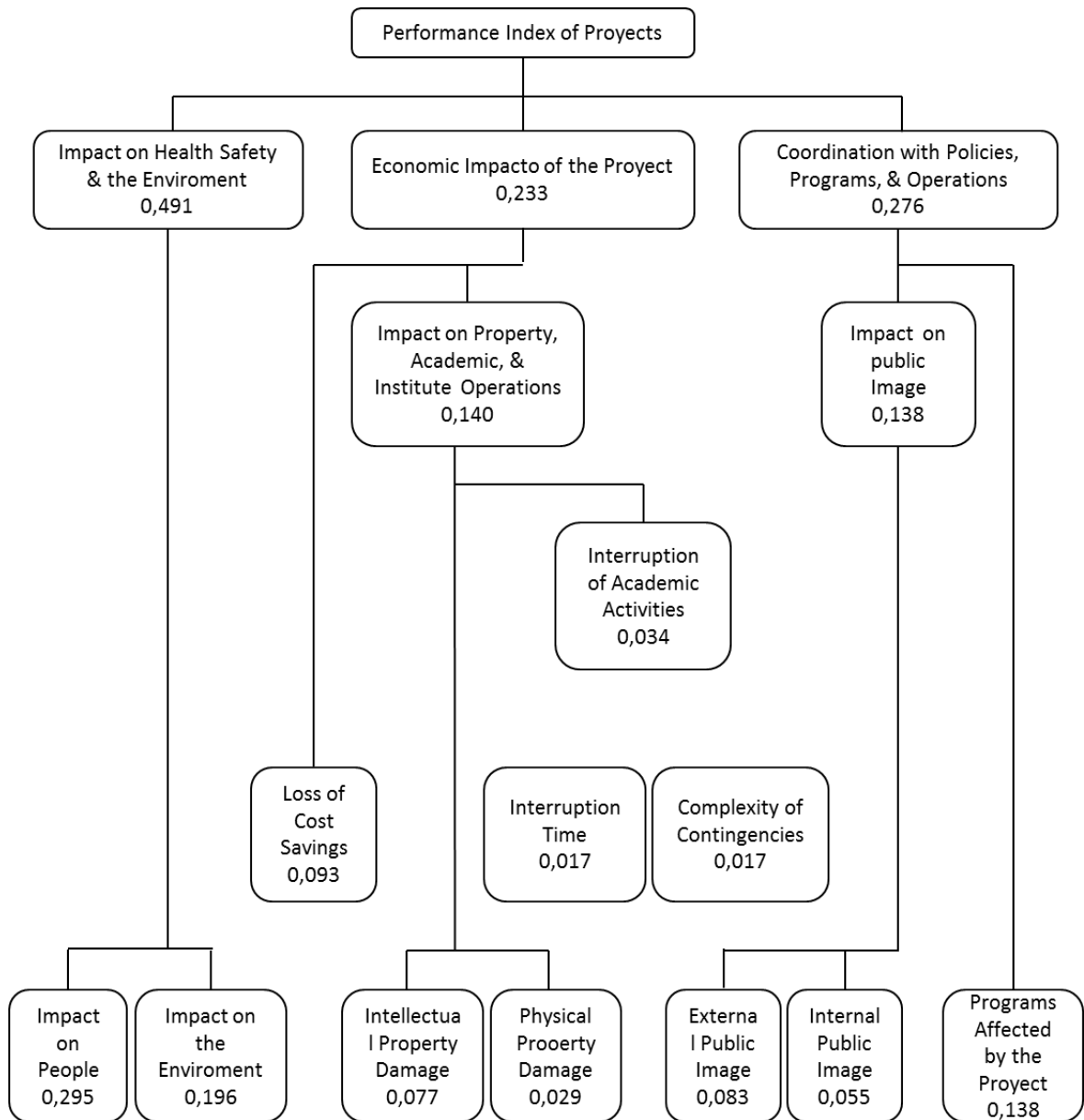


Gráfico 1. Índice de Rendimiento de los Proyectos

Codificación del problema:

La “Teoría de la Utilidad” (MAUT) es un enfoque sistemático para la cuantificación de las preferencias de un individuo. Por ello se utiliza para asignar a las alternativas un valor numérico en una cierta medida de interés dentro de una escala de 0-1, donde el 0 representa el de menor preferencia y 1 la mayor preferencia. Esto permite la comparación directa de muchos parámetros de diversa naturaleza.

Conclusión:

Este modelo puede ayudar a establecer criterios de evaluación más coherentes, eficaces y a manejar la subjetividad del evaluador, lo cual va a demandar especial atención durante el desarrollo de este trabajo de grado.

1.2.2.5. R&D project selection using the analytic network process (2002)

Autores:

Laura M. Meade
Graduate School of Management
Irving, Texas

Adrien Presley
Truman State University
Kirksville, Missouri

Disponible en la web:

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=985748X

Objetivo:

Este documento busca seleccionar proyectos de investigación y desarrollo para destinar la inversión de una organización, mediante un proceso de análisis de red.

Planteamiento y tratamiento del problema:

El estudio recoge datos relevantes sobre temas relacionados, como lo son la necesidad de corresponder las estrategias corporativas con los criterios de selección, la necesidad de considerar beneficios cualitativos y los riesgos de los proyectos candidatos, además de la necesidad de conciliar e integrar los requerimientos y deseos de las diferentes partes interesadas, las cuales serán en este trabajo los diferentes departamentos de una pequeña compañía de tecnología en Estados Unidos

Desarrollo:

Se elabora una recopilación y descripción breve de varios métodos de selección, pasando por el proceso de análisis jerárquico, el proceso de análisis de red, y la Programación por Objetivos.

Finalmente, y después de sustentar las ventajas del proceso de análisis de red profundizando en las particularidades del caso de estudio, se aplica este método.

Para la aplicación del modelo, se consideran factores de decisión que guiarán al evaluador en el momento de escoger los proyectos. Entre ellos se encuentran:

- Factores técnicos: Relacionados con probabilidad de éxito técnico y disponibilidad de recursos.
- Factores mercadológicos, asociados con la probabilidad de éxito comercial, competencia, demanda, etc.
- Factores organizacionales, que tienen en cuenta la cultura interna de la organización, alineamiento con estrategias, regulaciones, y seguridad.

Resultados:

Este estudio proporciona datos valiosos a los profesionales e investigadores, proponiendo un modelo genérico de selección de proyectos, mediante la demostración de un nuevo enfoque del ANP. Esta herramienta de toma de decisiones estratégicas ayudó a la Compañía analizada en este caso, mejorando su sistema actual de gestión de la investigación y el desarrollo. El modelo propone una actualización del sistema actual. Finalmente, el estudio ayudó a verificar que el ANP es eficaz y eficiente para la toma de decisiones.

Conclusión:

La información suministrada por este documento es de inmenso valor para este trabajo de grado porque ilustra la manera de adaptar y relacionar las metas de las organizaciones con los criterios de selección del modelo, lo cual resulta primordial para alcanzar los objetivos planteados en el anteproyecto

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CLENSA lleva a cabo al final de cada año, un complejo macro-proceso para la construcción del presupuesto del periodo siguiente. Dicho presupuesto se compone articulando cuatro grandes rubros: Ingresos operacionales; costos y gastos de operación; ingresos y gastos no operacionales; e inversión, los cuales son el resultado de proyecciones económicas, evaluaciones financieras, análisis de fenómenos medioambientales, políticas y direccionamiento corporativo,

decisiones gubernamentales, y otros factores internos y externos a la organización.

Un proceso bastante engorroso dentro de la elaboración del presupuesto de CLENSA, es la conformación del presupuesto de las inversiones, dada la gran cantidad de proyectos propuestos y su clasificación. La selección de los proyectos en los cuales se invertirá para cada año es de gran trascendencia dado que las decisiones que se tomen al respecto, establecen los ingresos futuros de la Compañía, su tasa de crecimiento y su productividad. Son además estas inversiones las que hacen a CLENSA una Empresa sostenible y determinan su perdurabilidad en el mercado. Por ello es indispensable escoger las alternativas más beneficiosas, de manera que se garantice un uso eficiente de los recursos.

Dada la relevancia de la evaluación del presupuesto de inversión, su análisis y composición demanda de varias revisiones y recortes a los montos propuestos, por lo cual resulta inmensamente útil establecer una metodología que agilice y estandarice dicho proceso. Una posible solución es diseñar un modelo que priorice las alternativas de inversión, de acuerdo a los criterios establecidos por la Empresa, y tenga en cuenta la disponibilidad de recursos durante cada período.

Las características particulares de las inversiones de CLENSA, obligan a generar una solución específica para este caso. La Empresa hace, entre otras, una clasificación de los proyectos según el departamento ejecutor, como se puede ver a continuación:

Clasificación por gerencia		Presupuesto 2011		Presupuesto 2012	
1	INVERSIONES EN GENERACION	22.529	19%	26.385	22%
2	INVERSIONES GESTION DE ENERGIA	1.365	1%	1.876	2%
3	INVERSIONES DISTRIBUCION	54.616	46%	70,721	60%
4	INVERSIONES EN COMERCIAL	655	1%	113	0%
5	INVERSIONES AREA DE OPERACIONES	11.579	10%	1.843	2%
6	INVERSIONES EN AREAS DE APOYO	27.870	23%	17.675	15%
TOTAL INVERSIÓN RECURRENTE EPSA		118.615	100%	118.615	100%
		Presupuesto 2011		Presupuesto 2012	
7	INVERSIONES CRECIMIENTO Y DESARROLLO	142.081		178.863	
TOTAL INVERSIÓN NO RECURRENTE EPSA		142.081		178.863	

Tabla 5. Costo de inversión anual de CLENSA (Millones de Pesos Colombianos)

2. JUSTIFICACIÓN

Una razón de ser de la ingeniería industrial es la de incrementar la productividad de las organizaciones, lo cual se puede lograr agilizando los procesos y mejorando la calidad de los resultados. La propuesta actual nace de la observación del proceso de construcción del presupuesto anual de CLENSA, en el cual algunas tareas demandan gran cantidad de tiempo, algunas otras no se logran con la mayor eficiencia o se reprocessa mucha información. Dada la celeridad con la cual deben consolidarse los datos para lograr la aprobación del resultado por parte de las diferentes instancias de la Empresa, se detecta claramente la oportunidad de desarrollar un trabajo que dinamice dicho proceso.

Como se había mencionado anteriormente, este trabajo se enfoca en la organización de los proyectos de inversión recurrentes mediante una matriz de priorización de las alternativas, que utiliza la Programación por Objetivos y el Análisis Multicriterio. Estas técnicas resultan especialmente útiles en la solución del problema dado que se pueden reprogramar fácilmente las restricciones, las variables o los parámetros, según las modificaciones en los lineamientos de selección, una o varias veces, lo cual suele ser frecuente a medida que se pasa de una instancia de aprobación a otra.

El trabajo también busca lograr la aplicación de conceptos teóricos en escenarios reales. En este caso, se desarrolla en el marco de un convenio de práctica universitaria entre la Universidad Tecnológica de Pereira y CLENSA E.S.P. Por parte de la Empresa, el área responsable del proyecto, es la Gerencia de Planeación Financiera, a la cual corresponde la organización, consolidación y presentación del presupuesto anual.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un modelo que permita priorizar y seleccionar los proyectos de inversión en infraestructura eléctrica de CLENSA de acuerdo a los criterios establecidos por la Empresa y según la disponibilidad de recursos financieros para cada año.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión del estado del arte del problema de selección y priorización de proyectos de inversión.
- Identificar las variables y criterios de selección adecuados para la construcción del modelo.
- Precisar la metodología a implementar para la generación del modelo.
- Calibrar los parámetros del modelo con el fin de que el proceso de selección sea más eficiente.
- Construir una matriz parametrizada según los criterios de selección que opere las variables y obtenga una solución factible.
- Corroborar la efectividad del modelo evaluando los resultados obtenidos por este frente a los lineamientos de la Compañía.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO TEÓRICO

Los modelos de optimización se construyen para la toma de decisiones especialmente en la selección de un subconjunto opcional de proyectos que se identifican para la inversión. Estos modelos varían ampliamente en su grado de objetividad y confianza en los datos y en el formato de sus resultados. Entre las técnicas de optimización más usadas se ubica la programación lineal (LP por sus siglas en inglés) que optimiza un objetivo único y no puede incluir restricciones flexibles lo que deriva en la incapacidad, o al menos limitada capacidad de la LP para abordar directa o efectivamente los problemas con múltiples metas. Para evitar tal limitación, la teoría utilizada en este trabajo es la siguiente:

4.1.1. GP - PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS

La GP es un modelo matemático en el que uno o más objetivos son formulados como las restricciones y las funciones objetivo buscan reducir al mínimo la suma de las desviaciones absolutas de estos objetivos. Por ejemplo, una función de GP objetivo común sería minimizar el costo sujeto a limitaciones especiales del sistema, tales como limitaciones de la producción y la demanda.

Otra diferencia importante entre GP y LP es el concepto de restricciones blandas y rígidas. En un programa lineal, las restricciones se tratan como rígidas. Es decir, si la producción debe ser mayor que un valor dado, incluso una pequeña desviación negativa de ese valor no está permitida. GP permite tanto restricciones rígidas como blandas. Las restricciones suaves utilizan variables de desviación (por lo permiten tanto desviación positiva y negativa) que miden la diferencia entre el valor deseado (o meta) y el valor obtenido en el modelo.

4.1.2. MCA – Análisis Multicriterio

Análisis de criterios múltiples o Análisis Multicriterio (MCA) proporciona herramientas para estimar en valores numéricos, la información cualitativa que haya sido aportada. Esta técnica ofrece varios métodos para tomar decisiones o establecer preferencias entre los proyectos sobre la base de la importancia relativa asignada a los diversos criterios. El principal papel de MCA es permitir el manejo de grandes cantidades de información de manera consistente. Además, las bondades del MCA se pueden utilizar para identificar a una sola como la mejor alternativa, para clasificar las opciones, acortar la lista de alternativas para una

evaluación detallada posterior, o simplemente para distinguir entre aceptables o inaceptables las posibilidades.

4.1.3. GAM – Matriz de Logro de la Meta

La matriz de logro de la meta (GAM, por sus siglas en inglés) es aceptada como un procedimiento adecuado para la evaluación de las propuestas cuyos beneficios y costos no pueden ser cuantificados en valores monetarios y por lo tanto no puede incluirse en un análisis costo/beneficio convencional.

4.1.4. Método Scoring (Puntuación)

Una rama del Análisis Multi-Criterio, es el Método Scoring. Es una manera rápida y sencilla para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión Multi-criterio. El modelo para calcular es Score (Puntaje):

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

Donde:

r_{ij} = Rating (calificación o puntuación) de la Alternativa i en función del Criterio j

W_i = Ponderación para cada Criterio i

S_j = Resultado para la Alternativa j

4.2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se enuncian dos grupos de conceptos y definiciones que se abordan durante este trabajo. El primero de ellos se enfoca en la clasificación de los proyectos de inversión por parte de CLENSA y el segundo abarca elementos que podrían ser considerados como académicos.

4.2.1. Definiciones y conceptos que aplica CLENSA referentes a los proyectos de inversión

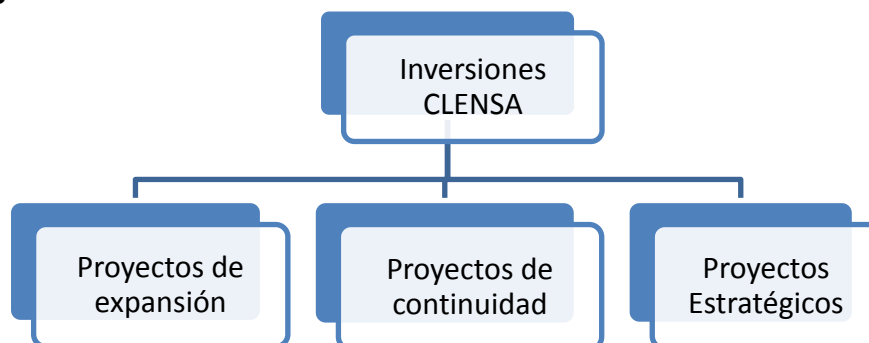


Gráfico 2. Clasificación según el tipo de inversión

Inversión

Desembolso cuyo valor podrá ser recuperado en el futuro gracias a la generación de flujos de efectivo en el tiempo. Ejemplos: proyectos que generan mayores ingresos a los actuales (*overhauling*, mantenimientos mayores, provisiones de servicio, repotenciaciones de líneas), reposición de un activo por uno nuevo, siempre y cuando se le de baja al activo remplazado (transformadores, torre, relés de protección, unidades constructivas), repotenciación del activo (aumento de su capacidad de producción), obras civiles y adecuaciones que valorizan el activo, recuperaciones del activo, prolongación de la vida útil del activo

Estas inversiones se destinan a oportunidades de nuevos negocios ya sea en generación, transmisión, distribución, o contactos y alianzas con entidades y comunidades, pero también pueden ser destinadas a proyectos dedicados a la ampliación o mejoramiento de la operación de los negocios en marcha.

Proyecto de expansión

Todo proyecto que permita el incremento de la cobertura del servicio, nuevas conexiones al STN, repotenciaciones de líneas, cambio de activos existentes por otros de mayor capacidad, construcción de circuitos nuevos, nuevas subestaciones. Se puede dividir en:

- Arquitectura de red.
- Nuevas plantas de generación.
- Provisiones de servicio.
- Construcción de nuevas subestaciones.
- Compra e instalación de nuevas unidades constructivas.

Proyecto de continuidad

Todo proyecto que permite la continuidad y sostenibilidad del negocio tales como:

- Modernización o reposición.
- Mantenimientos o reparaciones.
- Compra de equipos y herramientas.
- Permita disminuir las pérdidas.

Son algunos ejemplos las reposiciones de activos, mantenimientos mayores, compra de equipos y herramientas, planes de calidad, plan de protecciones, inversión de control de la medida, reposición de activos por siniestros, inversión en oficinas comerciales.

Proyecto estratégico

Todo proyecto que:

- Sea obligatorio por alguna normativa y/o regulación.
- Permita la eficiencia operativa (optimización de los recursos).
- Permita disminuir las pérdidas de energía..

Anteriormente también se enunció la clasificación de las inversiones por área ejecutora. Las definiciones de cada categoría se establecieron como sigue:

Inversiones en generación

Se clasifican aquí todas las obras que se realicen a las plantas de generación existentes, de la siguiente manera.

- Campamentos: Proyectos relacionados con las instalaciones asociadas a las centrales hidroeléctricas donde se encuentran terrenos y edificaciones para el funcionamiento de oficinas administrativas, almacenes, viviendas y demás infraestructura necesaria para la administración y alojamiento del personal que participa en la operación y mantenimiento de la central correspondiente.
- Casa de máquinas: Proyectos relacionados con las edificaciones (Ej: Talleres, herramientas, obra civil casa de máquinas), equipo electromecánicos principales (Ej.: Válvula de entrada, turbinas, generadores, reguladores de velocidad y tensión), equipos auxiliares (Ej.: Transformadores de alumbrado, sistemas de refrigeración, sistemas de aire comprimido, sistemas de drenaje, plantas de emergencia, sistemas de protección y control) y herramientas y equipos necesarios en el proceso de generación de energía.
- Presa: Proyectos relacionados con las obras civiles y edificaciones de la presa y embalse (Ej.: rebosaderos, túnel de carga y acceso, vías, embarcaderos, canales de conducción, tanques de carga, desarenadores), junto con los proyectos relacionados con el mejoramiento e incremento de la vida útil de los equipos electromecánicos asociados con la operación (Ej.: compuertas, grúas y sistemas de levante, dragas y equipos de arrastre, lanchas o barcas).
- Subestación: Proyectos relacionados con las obras civiles y edificaciones asociados con las subestaciones de la central (Ej.: cerramientos, pozos de contención de derrames, estructuras de la subestación, muros cortafuegos) y lo relacionado con los equipos de interrupción y maniobra (Ej.: interruptores, seccionadores, transformadores de potencia).

Inversiones en gestión de energía

Inversiones dedicadas al desarrollo de estrategias de expansión y cobertura, planeación de las redes de electrificación, operaciones de gestión comercial del transporte de energía, adecuación a las normas de explotación de recursos naturales, mantenimiento de la Base de Datos del Sistema de Información geográfica. Ej: Adquisición sistemas SCADA (Sistemas de recopilación y control de datos).

Inversiones en distribución

- Estudios: Incluye los costos derivados de la contratación de estudios para nuevos proyectos o planes específicos. Ej.: Estudios de factibilidad de la ejecución de un proyecto de inversión.
- Plan de expansión: Por esta posición se agrupan proyectos cuyo objetivo es el crecimiento del sistema o incremento de capacidad para lo cual se requiere construcción de nuevas líneas y subestaciones o aumento de potencia para transformación. Ej.: Construcción subestación Palmaseca y sus líneas o circuitos asociados, cambio de transformador de potencia de 25MVA por transformador de potencia de 50MVA. En el caso de redes de 34.5KV y 13.2KV, el plan de arquitectura de red se incluye en este concepto.
- Plan de reposición: Por esta posición se catalogan proyectos enfocados a la reposición de equipos, incremento de vida útil o mejoramiento del activo y actividades encaminadas a la calidad del servicio. Ej.: Reposición de transformadores de distribución, redes, planes de calidad de subestaciones, líneas y redes, retrofit de equipos, etc.
- Plan de protecciones: Se ubican aquí los planes de reposición de protecciones y actualización de tecnología de protecciones.
- Plan telecontrol: Inversión para reposición de equipos de telecontrol (RTU's), compra de tarjetas, actualización de tecnología de telecontrol, etc.
- Provisión del servicio: Obras a desarrollar para cumplimiento de requerimientos de nuevos suministros para clientes. Ej.: Construcción de redes en urbanizaciones, compra de redes de terceros, etc.
- Plan de normalización: Inversión para la ejecución de obras con el objetivo de recuperar las pérdidas y controlar la energía. Ej.: Cambios de red abierta por entorchada, normalización de redes en comunitarios, etc.
- Elementos de control: Se listan en esta categoría la compra e instalación de macromediciones y equipos para control de la medida.
- Laboratorio: Inversión en compra de equipos para calibración y actividades propias del laboratorio de medidores. Ej.: Compra de mesas de calibración, etc.

- Otras inversiones: Materiales para alquiler de medidores. Incluyen aquellas inversiones que no están relacionadas con los conceptos anteriores.
- Reposición de activos por siniestros: Se califican aquí las inversiones necesarias en los eventos que se presenten siniestros, Ej.: Atentados terroristas a líneas o subestaciones, incendios en subestaciones, derrumbe masivo de postes o torres por vendavales, etc.

Inversiones en área de operaciones

Inversiones dedicadas a la gestión e implantación de proyectos especiales, transformación de las unidades de negocios y áreas corporativas, optimización y gestión de calidad en los procesos.

Inversiones en comercial

Inversión destinada a las oficinas comerciales y otros proyectos enfocados a atención de clientes.

Inversiones en áreas de apoyo

Obras, equipos, software, y otros dedicados al mejoramiento de los procesos financieros, administrativos, logísticos, comerciales, jurídicos, de gestión de riesgo y de telecomunicaciones.

4.2.2. Conceptos teóricos

Algoritmo

Es un conjunto de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos.

Algoritmo Constructivo

Es un algoritmo que consiste en ir adicionando paso a paso componentes individuales de una solución hasta encontrar una solución factible.

Función Objetivo

La función objetivo define la medida de efectividad del sistema como una función matemática de las variables de decisión. La solución óptima será aquella que produzca el mejor valor de la función objetivo.

Heurísticas

Son algoritmos que encuentran soluciones de buena calidad para problemas combinatoriales complejos con esfuerzos computacionales relativamente pequeños, pero que desde el punto de vista teórico renuncian a encontrar la solución global del problema.

Investigación de Operaciones

Es la disciplina basada en técnicas y metodologías matemáticas empleada para guiar a los analistas en la toma de decisiones.

Metaheurísticas

Conjunto de técnicas de la rama de la programación matemática y ciencias de la computación empleadas para dar solución a una categoría de problemas que son definidos como de difícil solución a través de la exploración eficiente del espacio de soluciones.

Optimización

O programación matemática es una rama de las matemáticas que intenta dar respuesta a un tipo general de problemas donde se desea establecer la mejor solución para un función objetivo en un espacio de soluciones.

Parámetros de Decisión

Los parámetros son los valores conocidos que relacionan las variables de decisión con las restricciones y función objetivo.

Programación lineal

Es una técnica de programación matemática la cual se caracteriza porque tanto el espacio de soluciones como la función objetivo tienen un comportamiento lineal.

Restricciones

En programación matemática son las limitaciones tecnológicas, económicas y otras del sistema, y las cuales deben ser representadas en el modelo matemático para restringir las variables de decisión a un rango de valores factibles.

Variables de Decisión

Son las incógnitas en el proceso de optimización las cuales deben determinarse resolviendo el modelo matemático. A partir de estas se establece el conjunto de decisiones que se deben ejecutar para optimizar el problema.

WACC Weighted Average Cost Of Capital

El WACC es el rendimiento mínimo que una empresa debe ganar en una base de activos existente para satisfacer a sus acreedores, propietarios y otros proveedores de capital. En otras palabras, el WACC es la medida que permite identificar la rentabilidad mínima aceptable para las inversiones hechas por la empresa.

TIR Tasa Interna de Retorno

La TIR de una inversión es la tasa de descuento en la el Valor Presente Neto de los flujos negativos es igual al VPN de los flujos positivos. En un conjunto de proyectos con el mismo costo, el proyecto más deseable será el de la TIR más elevada.

IR Índice de Rentabilidad

Es un indicador financiero que identifica el rendimiento de cada unidad de moneda invertida, descontando al momento presente todos los flujos de caja de la inversión. Se obtiene calculando el cociente que resulta de dividir el VPN del proyecto entre el monto total de la inversión.

R B/C Relación Beneficio Costo

Se obtiene de la división de VPN de los ingresos sobre el VPN de los egresos del proyecto y también es un indicador de rendimiento. Si el Resultado es mayor que 1, se puede decir que la inversión está generando valor.

PRI Periodo de Recuperación de la Inversión

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

4.3. MARCO INSTITUCIONAL

4.3.1. Historia

CLENSA inició operaciones el 1 de enero de 1990, como resultado de la escisión de una Corporación Autónoma Regional, que a partir de la Ley 99 de 1993 debía independizar la gestión ambiental del negocio eléctrico, para lo cual se creó un nuevo ente que asumiera las funciones de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica para tal departamento, mientras que la Corporación se encargaría exclusivamente de la gestión ambiental.

4.3.2. Orientación

Desde sus inicios, mediante un proceso de privatización que es modelo para el país, CLENSA aporta beneficios para la región de influencia como ninguna otra compañía en Colombia.

La Empresa tiene como objetivos de responsabilidad social: contribuir con la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como mantener un diálogo constante con los grupos de interés, con el objeto de satisfacer las demandas y expectativas compartidas; promover un discurso global en el ámbito de la responsabilidad social, avalado por los hechos, e integrarla a la estrategia global de negocio.

CLENSA cuenta con un equipo humano conformado por 653 colaboradores directos y 1.300 indirectos.

4.3.3. Misión

Somos un Empresa de Energía que basada en el conocimiento de su gente, crece con rentabilidad, actúa con responsabilidad ante sus grupos de interés y trabaja permanentemente en la excelencia del servicio para sus clientes.

4.3.4. Objetivos estratégicos

1. Crecer con rentabilidad y promover la diversificación de la matriz energética.
2. Asegurar la excelencia tecnológica y operativa y promover la innovación.
3. Fortalecer el servicio y la interacción con los clientes.
4. Asegurar la sostenibilidad ambiental y social.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Definir el tipo de investigación es la base de la investigación que se va a realizar después de haber trabajado la fase de conceptualización del problema, puesto que tener clara la orientación es la clave para hacer una investigación exitosa.

En este caso será una Investigación de tipo Explicativo, ya que con ella se busca comprobar hipótesis causales y su realización supone el ánimo de contribuir al desarrollo del conocimiento científico, razón por la cual el rigor científico se constituye en un pilar fundamental para su elaboración.

También se puede considerar una investigación Aplicada por depender de descubrimientos y avances para ser utilizados en casos reales con el interés de conocer las consecuencias prácticas de tales conocimientos. En cuanto al marco temporal, se trata de un trabajo Vertical, dado que no es necesario realizar mediciones periódicas por espacios de tiempo prolongados para la consecución de los objetivos.

5.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo el objeto de estudio como etapa inicial del proceso se hace necesario estudiar los diferentes tipos de problemas de priorización de proyectos de inversión y técnicas de solución o revisión del estado del arte, posteriormente se formula y se implementa la metodología de solución y finalmente se validan los resultados obtenidos con casos de prueba de la literatura especializada. Para llevar a cabo estas etapas es de vital importancia determinar el método más adecuado para la investigación, que permita dar solución al problema.

Para el objeto de este trabajo, el método de investigación apropiado a seguir es el experimental, ya que con el desarrollo de la metodología de solución para el problema de priorización de proyectos de inversión se pretende encontrar una solución de calidad, efectiva y sobre todo óptima considerando la minimización de las desviaciones respecto a las restricciones planteadas en el modelo. Para lograr este objetivo se deben realizar varias pruebas y validar la solución encontrada con

el propósito de conocer si la metodología desarrollada es adecuada y presenta resultados de buena calidad.

5.3. DESARROLLO METODOLÓGICO

El desarrollo metodológico está dividido en cinco fases, las cuales describen el desarrollo del proyecto por medio de subítems. A continuación se mostraran las fases y su subdivisión.

5.3.1. FASE I: Diagnóstico del Problema

- Contexto del Problema.
- Determinar los Objetivos a alcanzar.

5.3.2. FASE II: Identificación de un Modelo Matemático

- Definir una estrategia matemática de solución.
- Definir Parámetros y Variables.
- Determinar la Función Objetivo.
- Determinar las Restricciones.

5.3.3. FASE III: Obtención de una Solución a partir del Modelo

- Adecuar el modelo matemático utilizando un lenguaje de programación apropiado, de tal manera que pueda ser implementado en una herramienta computacional como WinQSB.
- Obtener resultados del programa.

5.3.4. FASE IV: Prueba del Modelo

- Examinar de manera exhaustiva que todas restricciones del modelo se estén cumpliendo.
- Realizar las corridas necesarias, hasta estar completamente seguros que el modelo funciona sin ningún tipo de error.

5.3.5. FASE V: Validación de la Metodología de Solución

- Ejecutar la metodología de solución y someter el resultado al juicio de los expertos consultados.

6. MODELO PROPUESTO

La Empresa requiere que las alternativas de inversión seleccionadas vayan de la mano con la planeación estratégica, por lo que los criterios de selección serán aquellos indicadores que nos ayuden a medir la contribución que cada proyecto haga al cumplimiento de los objetivos estratégicos OE.

De esta manera se decide dividir la estrategia matemática en dos etapas: En la primera, Análisis Multicriterio, se instauran criterios de evaluación y se identifican las contribuciones de los proyectos a cada uno de los OE, asignando calificaciones. En la segunda etapa, Modelo de Programación por Objetivos GP Model, se establecen prioridades y una meta, se definen restricciones, y se escoge el conjunto que cumpla con la meta.

6.1. ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO



Gráfico 3.Proceso de ejecución del modelo

6.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Se escoge el Análisis Multicriterio para este problema, ya que proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión y adicionalmente permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos.

El principal rol de esta técnica, es manejar las dificultades que se evidencian al momento de asignar a personas la toma de este tipo de decisiones cuando se manejan grandes cantidades de compleja información

El campo del Multi-Criterio ofrece varios métodos que trabajan con las preferencias del tomador de la decisión. Uno de ellos es el Método Scoring, que representa una de las maneras más ágiles en la identificación de alternativas preferibles dentro de los modelos de decisión multi criterio.

En él, después de identificar los criterios de evaluación y las alternativas de selección, se procede a otorgar un valor numérico a cada uno de los criterios, que manifiesta en qué medida cada proyecto lo satisface.

Algunas ventajas del Método Scoring (de calificaciones o puntuaciones) frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son:

- Permitir analizar un problema por partes
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés para generar un consenso
- Permitir verificar el índice de consistencia y reducir la subjetividad del evaluador, si es del caso.
- Permite que su solución se pueda complementar con otros métodos matemáticos de optimización como GP.

6.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Como se enuncia en la descripción del problema de investigación, la Empresa clasifica los proyectos en tres grandes grupos: Expansión, Continuidad y Estratégicos.

Para cada uno de los tres grupos, se construye una ficha de calificación: En tales fichas se evalúa la contribución de los proyectos a cada objetivo estratégico midiendo tal contribución a través de indicadores.

La calificación resultante para cada OE se compone de la sumatoria de los productos entre las ponderaciones y las valoraciones que obtuvo el proyecto para cada indicador de ese OE. Se puede decir entonces que la calificación resultante corresponde a la contribución que hace el proyecto de inversión analizado a todos OE.

Para cada familia de proyectos se estableció una ficha de calificación, buscando hacer una comparación equitativa, al comprender que estas familias tendrán características y propósitos diferentes y no pueden entonces ser medidos de la misma manera

La diferencia entre una ficha y otra no es más que la ponderación de los indicadores respecto al resultado global. Los objetivos estratégicos tenidos en cuenta en este estudio fueron tomados de la Planeación Estratégica de la Empresa, que es revisada anualmente por la Junta Directiva. Los indicadores fueron definidos de acuerdo al criterio de los miembros del departamento de planeación financiera, quienes se encargan de seguir periódicamente los lineamientos de la Junta. Es importante mencionar que para este proyecto, tales indicadores, su definición y criterio con el que fueron calificados sufrieron algunos ajustes, también según la orientación del departamento de Planeación Financiera. Ambos, Objetivos Estratégicos e Indicadores se enuncian a continuación:

OE 1 Crecer con rentabilidad y promover la diversificación de la matriz energética

- Tasa Interna de Retorno
- Índice de Rentabilidad
- Relación Beneficio Costo
- Años de retorno de la inversión.

OE 2 Asegurar la excelencia tecnológica y operativa y promover la innovación

- Incremento del crecimiento de la demanda
- Reducción de pérdidas de distribución y de mercado.

OE 3 Fortalecer el servicio y la interacción con los clientes

- Tiempo de Atención de Fallas
- Frecuencia de Fallas
- Contribución al ISE

OE 4 Asegurar la sostenibilidad ambiental y social

- Cumplimiento de normas ambientales
- Cumplimiento de programas sociales

6.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En este fragmento se describen las escalas e intervalos de calificación de cada indicador, producto de una reunión con el jefe de proyectos de la Empresa en la que se tuvo en cuenta:

- Disponibilidad de información para evaluar los proyectos.
- Datos históricos de la Compañía.
- Información teórica.

Aunque Saaty en su modelo inicial plantea una escala de calificación de 1 a 9, se decide que cada indicador será medido según una escala de 5 intervalos, otorgando valores entre 0 y 4 y siendo 4 la calificación óptima del indicador. De esta manera se incluye la calificación 0 (cero) para castigar a los proyectos que no satisfagan en absoluto el indicador. También se aprecia la reducción desde 9 intervalos en el modelo de Saaty, a 5 intervalos en este trabajo, buscando llevar un manejo más simple de la información. Además se permite esta reducción porque se estudian sólo 6 alternativas de inversión, lo cual al ser un número tan bajo, se espera que las notas de calificación varíen ampliamente.

Objetivo estratégico 1: Crecer con rentabilidad

La Empresa utiliza los siguientes indicadores para rastrear el cumplimiento de este objetivo:

- Tasa Interna de Retorno TIR: CLENSA normalmente aprueba inversiones con una TIR superior al 11,5 % que corresponde a su WACC, por lo que la calificación más baja se otorgará a las inversiones que arrojen una TIR inferior al WACC calculado para la Empresa en el periodo correspondiente. Se sabe además que las inversiones que se pretenden evaluar dentro de este proyecto, raramente

tienen una TIR mayor a 20,5 %. Así se definirán entonces las cotas superior e inferior para el primer y último intervalo respectivamente.

- Índice de rentabilidad IR [VPN/Inversión]: El gran número de proyectos de inversión de CLENSA requieren una gruesa inversión inicial por lo que el IR se mantiene cercano a la unidad. Se decide entonces mantener todos los intervalos no muy alejados de ese valor, evitando que todos los proyectos queden incluidos en el mismo intervalo de calificación. También se sabe que algunos proyectos al buscar la continuidad de los procesos y operaciones de la Empresa más que la generación de valor, pueden obtener un VPN menor al monto de la inversión, lo que arrojaría un IR inferior a 1.0. Tales características sugieren generar intervalos para este calificador a partir del 0.6, con diferencias de 0.3 entre ellos.
- Relación beneficio costo B/C. Las cotas se establecieron siendo la calificación más baja para los proyectos que tienen un beneficio inferior al monto de la inversión; Es decir los proyectos con B/C inferior a 1,00 tendrán la calificación más baja. De la misma manera, los proyectos con B/C superior a 1,75 tendrán la máxima calificación.
- Periodo de retorno de la inversión PRI: Según las cifras históricas de la Compañía, los proyectos en los que ha participado, raramente implican un PRI superior a 14 años, a excepción de las grandes generadoras hidroeléctricas. Basados en esta información, los intervalos se construyeron de manera que se otorgará la menor calificación a los proyectos con un PRI mayor a 14 años.

Objetivo estratégico 2: Asegurar la eficiencia tecnológica y operativa

Para este objetivo estratégico, la Empresa utiliza los siguientes indicadores:

- Crecimiento de la demanda: Este medidor pretende identificar la afectación que pueda tener el proyecto en caso de ser aceptado dentro del crecimiento total de la demanda para el periodo estudiado.

Cabe aclarar que el crecimiento vegetativo de la demanda de energía es aquel causado por factores externos y no controlados por la organización; por lo tanto cualquier proyecto afectará la demanda de la Empresa a partir del crecimiento vegetativo de la misma.

Este indicador se calificará entonces de manera consistente en la contribución del proyecto evaluado para disminuir o aumentar el crecimiento de la demanda de la Empresa respecto al crecimiento vegetativo de la demanda eléctrica a nivel nacional.

Teniendo en cuenta que el índice en la Empresa no ha sobrepasado por más de 0,6 puntos en los últimos 3 años al índice nacional, se establecerán intervalos por debajo de ese valor para medir este indicador.

- Reducción de pérdidas de distribución y de mercado. Las pérdidas de energía totales de la Empresa durante los últimos 3 años se han mantenido entre 7,84% y 11,86%. Con la anterior información y según la experiencia de los responsables del área de Operaciones, un proyecto rara vez contribuye a disminuir el indicador en más de un 0,3%

Objetivo estratégico 3: Fortalecer el servicio y la interacción con los clientes.

Para este objetivo estratégico, la Empresa utiliza los siguientes indicadores:

- Reducción de la frecuencia de fallas: Se calificará la contribución del proyecto a la reducción del SAIFI (Índice de la frecuencia promedio de interrupciones) el cual se ha mantenido entre 25,4 Y 23,7 durante los últimos tres años. Según los responsables de los proyectos del área de operaciones, los proyectos raramente afectan de manera individual en más del 9% este índice, lo que se utilizó para establecer los intervalos.
- Reducción de tiempos de atención de fallas: Se calificará la contribución del proyecto a la reducción del Saidi (índice de la duración promedio de interrupciones) el cual se ha mantenido entre 27,0 y 20,02 durante los últimos tres años. Según los responsables de los proyectos del área de Operaciones, los proyectos raramente afectan de manera individual en más del 12% este índice, lo que se utilizó para establecer los intervalos.
- Contribución al ISE

La Empresa periódicamente hace una medición de la percepción de la calidad del servicio por parte del usuario, llamada ISE que tiene en cuenta un amplio número de factores como:

- Calidad del producto
- Imagen de la empresa
- Atención al cliente
- Comunicación con la comunidad
- Tarifas
- Facturación y pagos

Por ende, este indicador pretende identificar el aporte que pueden hacer los proyectos al mejoramiento del ISE

Dada la información histórica brindada por el departamento de Atención al Cliente, encargados de su recopilación y análisis, y teniendo en cuenta los conceptos compartidos por esta área, se ha reconocido que los proyectos de mayor envergadura, o que se enfocan directamente a mejorar este indicador, no logran una variación en él mayor a 9%.

Objetivo estratégico 4: Asegurar la sostenibilidad ambiental y social

Este es una de las políticas en las cuales CLENSA basa su desarrollo. Por ello, el modelo matemático propuesto lo asume como una restricción rígida. Para este OE4 sólo habrán dos puntuaciones posibles; Uno (1), si el proyecto cumple con los dos indicadores que miden el cumplimiento de este objetivo, objetivo y cero (0) si el proyecto no cumple con alguno o ambos, de la siguiente manera:

- **Cumplimiento de normas ambientales:** La concepción, desarrollo y ejecución de cada proyecto debe cumplir con la normatividad ambiental nacional. Si todas las etapas del proyecto satisfacen a cabalidad las regulaciones establecidas, este indicador tendrá una calificación positiva de uno (1) para ese proyecto; De otra manera se calificará cero (0).
- **Cumplimiento de programas sociales:** Los proyectos desarrollados por la compañía siempre irán acompañados de programas sociales, que permitan llevar progreso a las comunidades involucradas en los proyectos. Si tales comunidades o regiones se ven afectadas de manera negativa, el programa deberá compensar en una medida similar los detrimentos causados. Este indicador también mide la socialización entre la población de interés o el área de influencia de las acciones emprendidas por la Empresa, que puedan desencadenar modificaciones como cortes del servicio de electricidad, cambios tarifarios, afecciones a la calidad del servicio, etc. Si el proyecto incluye los programas necesarios para cumplir con lo anterior, se le otorgará una calificación de uno (1) en este indicador; de lo contrario la calificación será cero (0).

El puntaje final del OE4 será uno (1) sólo si ambos indicadores tienen una calificación de uno (1); cualquier otra combinación posible, arrojará un puntaje cero (0).

6.5. ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES

Las ponderaciones de los indicadores se definen después de considerar la naturaleza de los tres grupos de proyectos, (expansión, continuidad, estratégicos) queriendo hacer comparables los resultados del AHP para todos, de manera que se obtenga un resultado final más objetivo. Se obtienen las siguientes ponderaciones:

		AHP		
		Proyectos de Expansión	Proyectos de Continuidad	Proyectos de Estratégicos
		Ponderación del Indicador	Ponderación del Indicador	Ponderación del Indicador
OE 1	Crecer con rentabilidad y promover la diversificación de la matriz			
	TIR - Tasa Interna de Retorno	20%	25%	30%
	IR - Índice de rentabilidad VPN/Inversión	60%	48%	40%
	R B/C- Relación beneficio-costo	10%	10%	20%
	PRI - Periodo de retorno de la inversión	10%	17%	10%
	TOTAL OE1	100%	100%	100%
OE 2	Asegurar la excelencia tecnológica y operativa y promover la innovación			
	Crecimiento de la demanda	60%	30%	40%
	Reducción de perdidas	40%	70%	60%
TOTAL OE2	100%	100%	100%	
OE 3	Fortalecer el servicio y la interacción con los clientes			
	Disminución de tiempos de atención de fallas	30%	33%	35%
	Ponderación	30%	33%	35%
	Contribución al ISE (índice de satisfacción del cliente)	40%	33%	30%
TOTAL OE3	100%	100%	100%	

Tabla 6. Ponderación de los indicadores para cada grupo de proyectos

6.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este ejercicio, fueron evaluadas 6 alternativas de inversión, 2 de ellas correspondientes a cada uno de los 3 tipos de proyectos:

- Proyectos de Expansión:

-Proyecto 1. Construcción de la Subestación Bahíagrande y Variante de Línea Pan de azúcar - Málaga 115 kW:

Este proyecto incluye activos del Sistema de Transmisión Regional que implican, compra de terreno, trámites y licencias, traslado de transformadores, construcción de módulos comunes, casa de control, barraje sencillo, bahías de transformadores y líneas, celdas *Meralclad*, y por último reconfiguraciones de líneas existentes.

-Proyecto 2. Extensión de las redes de la urbanización Monteplano:

Se requiere extender 350 m de red trenzada *Triplex* hincada de cuatro postes primarios de 12x510 Kg-f, 9 postes secundarios de 9x510 kg-f, montaje de dos retenidas a tierra secundarias, tres retenidas a riel secundarias, una rienda secundaria y seis puestas a tierra. El proyecto permitirá la instalación de alumbrado público en las dos vías de acceso de la urbanización.

- Proyectos de Continuidad:

-Proyecto 3. Adquisición de Centros de Control de Motores: Cambio y modernización de los CCM de la central hidroeléctrica Bajo Tamil, los cuales presentan tiempo de servicio superior a 50 años.

-Proyecto 4. Modernización de *Trunking*: Mejoramiento del sistema troncalizado da servicio de voz operativa para 590 usuarios de voz y datos. Se implementará el sistema troncalizado con protocolo APCO25.

- Proyectos de Expansión:

-Proyecto 5. Modernizando equipos de medida y redes de distribución: Se piensa recuperar 10,62 GW-hora de pérdidas en energía por medio del cambio de redes vulnerables a conexiones fraudulentas, normalización de conexiones no autorizadas, normalización de equipos de medida.

-Proyecto 6. Diseño e instalación de puntos de anclaje en las casas de máquinas de las hidroeléctricas Nimen 1 y Nimen 2: Se busca dar cumplimiento a la resolución 3673 de 2008 para disminuir el riesgo de accidentes de trabajo cuando se desarrollen actividades en alturas con peligro de caídas.

La información referente a la Compañía, sus proyectos y demás datos usados en este trabajo, relacionados a CLENSA, fueron modificados con el fin de preservar la confidencialidad de la Empresa donde se desarrolló.

6.7. DESIGNACIÓN DEL EQUIPO DE JUICIO Y EQUIPO TÉCNICO

Una vez las alternativas sean planteadas por cada gerencia, se recopilará la información en el documento conformación del presupuesto anual.

Un equipo técnico conformado por representantes de Planeación Financiera se reunirá en grupos de trabajo con miembros de las gerencias: una gerencia cada vez, para calificar los proyectos correspondientes al departamento en cuestión, utilizando las fichas de calificación construidas en este modelo.

Un equipo de juicio por gerencia, cuyo rol será otorgar la calificación será conformado por los miembros de cada gerencia, teniendo en cuenta las apreciaciones y especificaciones hechas por el equipo técnico. Este último, se encargará de mantener la imparcialidad, comparabilidad, y consistencia en las valoraciones otorgadas a las alternativas de inversión.

En los grupos de trabajo, el equipo técnico (siempre los mismos integrantes), debatirá con cada una de los equipos de juicio de manera independiente buscando que las consideraciones emitidas en cada grupo de trabajo sean ecuanímes.

6.8. EMISIÓN DE JUICIOS

De las mesas de trabajo que reúne al equipo de técnico con el equipo de juicio de cada gerencia, resultan las siguientes calificaciones a los proyectos, plasmadas en las fichas de calificación:

		Ficha de Calificación		Alternativas de Inversión					
		Todos los Proyectos		P1	P2	P3	P4	P5	P6
OE1	Total Ponderado OE1	0.70	0.50	1.81	0.34	3.10	0.00		
	TIR	15.0%	13.5%	22.1%	5.0%	30.2%	-16.3%		
	Calificación Obtenida >>>	2	1	4	0	4	0		
	0	TIR inferior al 11.5%							
	1	TIR igual o mayor al 11.5% y menor al 14.5%							
2	TIR igual o mayor al 14.5% y menor al 17.5%								
3	TIR igual o mayor al 17.5% y menor al 20.5%								
4	TIR igual o mayor al 20.5%								
	IR	0.16	0.07	0.35	-0.07	0.95	-0.78		
	Calificación Obtenida >>>	0	0	0	0	2	0		
	0	IR inferior al 0.6							
	1	IR igual o mayor a 0.6 y menor a 0.9							
	2	IR igual o mayor a 0.9 y menor a 1.2							
3	IR igual o mayor a 1.2 y menor a 1.5								
4	IR igual o mayor a 1.5								
	R B/C	1.1	1.04	1.69	0.93	2.69	0		
	Calificación Obtenida >>>	1	1	3	0	4	0		
	0	R B/C inferior al 1							
	1	R B/C igual o mayor a 1 y menor a 1.25							
	2	R B/C igual o mayor a 1.25 y menor a 1.5							
3	R B/C igual o mayor a 1.5 y menor a 1.75								
4	R B/C igual o mayor a 1.75								
	PRI	8.37	6.96	3	6	4	0		
	Calificación Obtenida >>>	2	2	3	2	3	0		
	0	PRI igual o mayor a 14 años							
	1	PRI menor a 14 años y mayor o igual a 10 años							
	2	PRI menor a 10 años y mayor o igual a 6 años							
3	PRI menor a 6 años y mayor o igual a 2 años								
4	PRI menor a 2 años								

Tabla 7. Calificación del Objetivo Estratégico 1

		Ficha de Calificación	Alternativas de Inversión					
		Todos los Proyectos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Total Ponderado OE2			1.00	1.60	1.00	1.00	2.20	1.00
Calificación Obtenida >>>			1	2	1	1	1	1
OE2 Crecimiento de la Demanda	0	Reduce el crecimiento vegetativo.						
	1	Aumenta el crecimiento vegetativo en una medida igual o mayor a 0 puntos y menor a 0.2 puntos						
	2	Aumenta el crecimiento vegetativo en una medida igual o mayor a 0,2 puntos y menor a 0,4 puntos.						
	3	Aumenta el crecimiento vegetativo en una medida igual o mayor a 0,4 puntos y menor a 0,6 puntos.						
	4	Aumenta el crecimiento vegetativo en una medida mayor a 0,6 puntos.						
Calificación Obtenida >>>			1	1	1	1	3	1
Reducción de Pérdidas	0	El proyecto incrementa las pérdidas.						
	1	Reduce el indicador de perdidas en una medida igual o mayor a 0% y menor a 0.1%						
	2	Reduce el indicador de perdidas en una medida igual o mayor a 0.1% y menor a 0.2%						
	3	Reduce el indicador de perdidas en una medida igual o mayor a 0.2% y menor a 0.3%						
	4	Reduce el indicador de perdidas en una medida mayor a 0.3%						

Tabla 8. Ponderación del Objetivo Estratégico 2

		Ficha de Calificación	Alternativas de Inversión					
		Todos los Proyectos	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Total Ponderado OE3		1.30	1.40	2.00	2.00	1.35	1.00	
OE3	Tiempo de Atención	Calificación Obtenida >>>	1	1	1	3	1	1
	0	Aumenta el tiempo de atención de fallas.						
	1	Disminuye el SAIFI en un valor igual o mayor a 0% y menor a 4%						
	2	Disminuye el SAIFI en un valor igual o mayor a 4% y menor a 8%						
	3	Disminuye el SAIFI en un valor igual o mayor a 8% y menor a 12%						
4	Disminuye el SAIFI en un valor igual o mayor a 12%							
Frecuencia de Fallas	Calificación Obtenida >>>	2	1	3	1	2	1	
	0	Aumenta la frecuencia de las fallas.						
	1	Disminuye el SAIDI en un valor igual o mayor a 0% y menor a 3%						
	2	Disminuye el SAIDI en un valor igual o mayor a 3% y menor a 6%						
	3	Disminuye el SAIDI en un valor igual o mayor a 6% y menor a 9%						
4	Disminuye el SAIDI en un valor igual o mayor a 9%							
Contribución al ISE	Calificación Obtenida >>>	1	2	2	2	1	1	
	0	Disminuye el ISE.						
	1	Disminuye el ISE en un valor igual o mayor a 0% y menor a 3%						
	2	Disminuye el ISE en un valor igual o mayor a 3% y menor a 6%						
	3	Disminuye el ISE en un valor igual o mayor a 6% y menor a 9%						
4	Disminuye el ISE en un valor igual o mayor a 9%							

Tabla 9.Calificación del Objetivo Estratégico 3

Ficha de Calificación		Alternativas de Inversión					
Todos los Proyectos		P1	P2	P3	P4	P5	P6
Total OE4		1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
¿ Cumple las normas ambientales ?		Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Calificación Obtenida >>>		1	1	1	1	1	1
0	No cumple						
1	Cumple						
¿ Cumple con los programas sociales?		Cumple	No	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Calificación Obtenida >>>		1	0	1	1	1	1
0	No cumple						
1	Cumple						

Tabla 10.Calificación del Objetivo Estratégico 4

6.9. RESULTADO AMC

El resultado de esta etapa del modelo, es el producto entre la ponderación de los indicadores y las calificaciones otorgadas en las mesas de trabajo, que demuestran al final, la calificación total del proyecto para cada uno de los Objetivos Estratégicos:

		Objetivos Estratégicos			
		Bi1 (0E1)	Bi2 (0E2)	Bi3 (0E3)	Bi4 (0E4)
Proyectos	X1(P1)	0.70	1.00	1.30	1.00
	X2(P2)	0.50	1.60	1.40	0.00
	X3(P3)	1.81	1.00	2.00	1.00
	X4(P4)	0.34	1.00	2.00	1.00
	X5(P5)	3.10	2.20	1.35	1.00
	X6(P6)	0.00	1.00	1.00	1.00

Tabla 11. Matriz B. Resultado del Análisis Multicriterio

6.10. PROGRAMACIÓN POR OBJETIVOS

Consecutivamente, se implementa la Programación por Objetivos que admite la utilización de los OE como las metas del modelo, logrando generar una restricción blanda para cada OE (en adelante llamado atributo). Tales restricciones han sido planteadas en ecuaciones con variables de desviación negativa d_{Bj}^- y positiva d_{Bj}^+ , que toleran algún incumplimiento de la meta.

6.10.1. Parámetros básicos del modelo de Programación por Objetivos

Para el planteamiento de las ecuaciones:

- d_{Bj}^- Variable de desviación negativa de la meta j.
- d_{Bj}^+ Variable de desviación positiva de la meta j.
- b_{ij} Representa el valor del atributo j para el proyecto i.
- B_j Atributo j considerado en la decisión.
- C Total de capital disponible para la inversión.
- c_i Costo de la inversión en el proyecto i.
- d_{ij} Valor normalizado del atributo j para el proyecto i.
- D_j Objetivo para el atributo j, considerado en la decisión.
- m Número de metas/atributos.
- n Número de proyectos evaluados.
- W_{Bj} Peso asignado por el usuario al atributo j.

6.10.2. Establecimiento de prioridades

Resultado del criterio y el análisis del equipo técnico, buscando el logro de los objetivos de la organización y de acuerdo con la estrategia planteada por las directivas, se establecen los pesos para cada uno de los Objetivos Estratégicos, cuya sumatoria debe ser igual a uno (1).

		GP Model
		Ponderación del OE
OE 1	Crecer con rentabilidad y promover la diversificación de la matriz	42%
OE 2	Asegurar la excelencia tecnológica y operativa y promover la innovación	35%
OE 3	Fortalecer el servicio y la interacción con los clientes	23%
TOTAL GP Model		100%

Tabla 12. Establecimiento de Prioridades

6.10.2.1. Variables de decisión

La variable de decisión X_i será usada para la selección de proyectos. Tiene un valor de uno (1) cuando el proyecto i es seleccionado y cero (0) cuando el proyecto i no es seleccionado.

La decisión de escogencia o no de los proyectos será el resultado de este modelo de Programación por Objetivos Ponderados con Variables de Decisión Enteras (WIGP), que busca maximizar la contribución de las alternativas elegidas a la consecución de todos los objetivos estratégicos de CLENSA. Sin embargo, se considera que algunos son más relevantes que otros al momento de tomar tal determinación. Así entonces, son establecidos pesos W_{B_j} para cada atributo B_j .

El modelo incluye tres atributos que serán analizados como restricciones blandas, y uno que será analizado como restricción rígida, además de la disponibilidad de capital que será considerada una restricción rígida.

6.10.2.2. Función objetivo

El objetivo del modelo es reducir al mínimo el valor de las variables de desviación establecidas para cada atributo. Sólo las desviaciones negativas se consideran en la función objetivo, como se muestra en la ecuación (1). La minimización de las desviaciones es simultánea pero implica una ponderación asignada a las variables de desviación.

$$\text{Min} \sum_{j=1}^m W_{Bj} d_{Bj}^- \quad (1)$$

Como se mencionó anteriormente, W_{Bj} es el peso asignado por el usuario a los atributos, con el fin de tener en cuenta la importancia de cada uno en la selección de los proyectos. La suma de las ponderaciones asignadas por el usuario debe ser igual a uno como se enseña en la ecuación 2:

$$\sum_{j=1}^m W_{Bj} = 1 \quad (2)$$

En el caso estudiado, resulta entonces la Función Objetivo que se aprecia en la Ecuación 3:

$$\text{Min} \sum 0,42d_{B_1}^- + 0,35d_{B_2}^- + 0,23d_{B_3}^- \quad (3)$$

6.10.2.3. Consideraciones Importantes

Se presume que los proyectos de inversión estudiados comprometen el presupuesto de un único año, siendo este último el período en el cual se da inicio al proyecto.

6.10.2.4. Restricciones Blandas

Se considera una restricción para cada uno de los tres primeros objetivos estratégicos, según la ecuación 4:

$$\sum_{i=1}^n b_{ij}X_i + d_{Bj}^- - d_{Bj}^+ = B_j \forall_j \quad \text{dónde } j = [1,2,3] \quad (4)$$

Las restricciones blandas son los valores de la matriz D (Tabla 14) expresados en ecuaciones. La matriz D se obtiene de la normalización de la matriz B (Tabla 11). Esta última fue el producto del Análisis Multicriterio.

De esta manera los OE (Objetivos Estratégicos) pasan a llamarse B_j y el valor de un OE para cada proyecto será b_{ij} . Los P (Proyectos), serán en adelante X_i .

La matriz de parámetros B, puede ser representada con la ecuación 5. Allí se observan m proyectos y n metas o atributos. Es decir 6 y proyectos y 3 atributos para el caso de estudio.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \dots & b_{ij} \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} \dots & b_{2j} \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{i1} & b_{i2} \dots & b_{ij} \dots & b_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} \dots & b_{mj} \dots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Es importante mencionar que el valor numérico de las variables de desviación no corresponde con la distancia geométrica causando una posible desviación en la solución del problema. Por ello, *Hannan (1985)* plantea que “Para hacer comparables las escalas entre los objetivos, entonces las desviaciones de las correspondientes distancias geométricas, deben ser variar en iguales valores numéricos”. Según lo anterior, para obtener una verdadera correspondencia entre los valores numéricos y las diferencias geométricas, los objetivos deben ser ajustados usando la técnica de Normalización Euclidiana.

De esta manera, y como el OE4 referente a la sostenibilidad será representado por una restricción rígida y en cuya ecuación no se incluyen variables de desviación, sólo serán normalizados los 3 primeros OE representados en las restricciones blandas que sí incluyen variables de desviación.

La Normalización Euclidiana reemplaza para el Análisis Multi-criterio, al Índice de Consistencia usado en el AHP para asegurar la consistencia de los juicios del tomador de decisiones y garantizar la calidad del resultado final.

Usando la técnica de Normalización Euclidiana, los elementos de la matriz normalizada D, d_{ij} , pueden ser calculados usando la ecuación 6 (Hwang and Yoon, 1981):

$$d_{ij} = b_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m b_{ij}^2} \quad (6)$$

De esta manera, la matriz D construida con las variables de decisión normalizadas es la siguiente:

		Parámetros		
		Di1 (0E1)	Di2 (0E2)	Di3 (0E3)
Proyectos	X1	0.19	0.30	0.34
	X2	0.13	0.47	0.37
	X3	0.49	0.30	0.53
	X4	0.09	0.30	0.53
	X5	0.84	0.65	0.35
	X6	0.00	0.30	0.26

Tabla 13. Matriz D normalizada

Las ecuaciones normalizadas para las restricciones blandas serán construidas a partir de la ecuación 7:

$$\sum_{i=1}^m d_{ij}X_i + d_{Bj}^- - d_{Bj}^+ = D_j \quad \forall j \quad (7)$$

Donde la meta D_j para cada atributo, será el máximo valor posible para el mismo, según la ecuación 8:

$$D_j = \sum_{i=1}^m d_{ij} \quad \forall j \quad (8)$$

Para las ecuaciones 7 y 8, $m = 6$ y $j = [1, 2, 3]$

Finalmente, las ecuaciones para las restricciones blandas se modelan como sigue:

6.10.2.4.1. Restricción asociada al crecimiento rentable de la Compañía

$$0,19X_1 + 0,13X_2 + 0,49X_3 + 0,09X_4 + \dots \\ \dots + 0,84X_5 + 0X_6 + d_{B_1}^- - d_{B_1}^+ = 1,74 \quad (9)$$

6.10.2.4.2. Restricción asociada a la excelencia tecnológica y operativa

$$\begin{aligned} & 0,30X_1 + 0,47X_2 + 0,30X_3 + 0,30X_4 + \dots \\ \dots + 0,65X_5 + 0,30X_6 + d_{B_2}^- - d_{B_2}^+ = 2,31 \end{aligned} \quad (10)$$

6.10.2.4.3. Restricción asociada al fortalecimiento del servicio y de la interacción con los clientes

$$\begin{aligned} & 0,34X_1 + 0,37X_2 + 0,53X_3 + 0,53X_4 + \dots \\ \dots + 0,35X_5 + 0,26X_6 + d_{B_3}^- - d_{B_3}^+ = 2,38 \end{aligned} \quad (11)$$

6.10.2.5. Restricciones Rígidas

6.10.2.5.1. Restricción Asociada a la Sostenibilidad Social y Ambiental

Como se había expresado unas páginas más arriba, durante las revisiones que CLENSA hizo de este trabajo, se planteó la necesidad de fijar la sostenibilidad ambiental y social como un requisito invulnerable, el cual todos los proyectos seleccionados deberán cumplir a cabalidad. Por ello, este OE determina una de las restricciones rígidas.

Así pues, el planteamiento previo se expresa a través de la ecuación 12:

$$\sum_{i=1}^m b_{i4}X_i = \sum_{i=1}^m X_i \quad (12)$$

Donde m nuevamente es el número de proyectos evaluados.

Para nuestro caso, lo anterior puede ser representado a través de la ecuación 13:

$$\begin{aligned} & b_{14}X_1 + b_{24}X_2 + b_{34}X_3 + b_{44}X_4 + b_{54}X_5 + \dots \\ \dots + b_{64}X_6 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \end{aligned} \quad (13)$$

Introduciendo el resultado de la calificación del OE4 en la ecuación 13, obtenemos la ecuación 14:

$$\begin{aligned} & (1)X_1 + (0)X_2 + (1)X_3 + (1)X_4 + (1)X_5 + \dots \\ \dots + (1)X_6 = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \end{aligned} \quad (14)$$

Operando, obtenemos:

$$(1 - 1)X_1 + (0 - 1)X_2 + (1 - 1)X_3 + (1 - 1)X_4 + \dots \\ \dots + (1 - 1)X_5 + (1 - 1)X_6 = 0 \quad (15)$$

Resultando finalmente:

$$X_2 = 0 \quad (16)$$

6.10.2.5.2. Restricción asociada al presupuesto destinado a la inversión

El costo total de los proyectos seleccionados debe estar por debajo o ser igual a la disponibilidad de capital financiero para inversiones C .

$$\sum_{i=1}^m c_i X_i \leq C \quad (17)$$

Aplicando la ecuación 17 al caso de estudio:

$$7.577X_1 + 18X_2 + 800X_3 + 1.500X_4 + 6.862X_5 + 23X_6 \leq C$$

6.11. EJECUCIÓN DEL MODELO

Para ejecutar el modelo de Programación por Objetivos, se ha utilizado el software WinQSB que brinda las herramientas necesarias para modelar los parámetros que conforman el mismo. La siguiente tabla, describe la distribución que toma la información al ser introducida en el software:

		Variables de Decisión						Variables de Desviación							
		P1 (X1)	P2 (X2)	P3 (X3)	P4 (X4)	P5 (X5)	P6 (X6)	dB1+	dB1-	dB2+	dB2-	dB3+	dB3-		
Función Objetivo:															
Minimizar:									0.42		0.35		0.23		
Restricciones	Di1 (OE1)	0.19	0.13	0.49	0.09	0.84	0.00	-1.00	1.00					=	1.74
	Di2 (OE2)	0.30	0.47	0.30	0.30	0.65	0.30			-1.00	1.00			=	2.31
	Di3 (OE3)	0.34	0.37	0.53	0.53	0.35	0.26					-1.00	1.00	=	2.38
	Di4 (OE4)		1.00											=	0
	Presupuesto	7577	18	800	1500	6862	23							≤	8400
Tipo de Variable		Binaria						Continua							

Tabla 14. Modelo imputado en WinQSB. (Presupuesto en Millones de Pesos)

La tabla anterior muestra un límite presupuestal de COP 8.400.000. Sin embargo, es sólo un caso, ya que el modelo fue corrido en numerosas ocasiones modificando esta restricción para analizar los resultados posibles.

7. RESULTADOS

Ejecutando el modelo para diferentes presupuestos entre COP 7.000.000 y COP 9.400.000, se obtuvieron diferentes grupos de proyectos que dan solución al modelo, como se muestra en la tabla:

Proyectos Seleccionados														
Proyectos														
	P1 (X1)													
	P2 (X2)													
	P3 (X3)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	P4 (X4)	✓	✓	✓	✓							✓	✓	
	P5 (X5)					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	P6 (X6)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		7000	7200	7400	7600	7800	8000	8200	8400	8600	8800	9000	9200	9400
		Presupuesto permitido por el modelo												

Tabla 15. Proyectos seleccionados para diferentes montos de capital disponible (Millones de Pesos)

8. CONCLUSIONES

- El modelo es efectivo para seleccionar los ponencias que cumplan con los objetivos planteados por la organización en su planeación estratégica teniendo en cuenta la amplitud presupuestaria, ya que la prioridad que en este caso fue la generación de valor de los proyectos, plasmada en la ponderación de los OE, también se ve reflejada en los resultados: En la medida que el presupuesto se hace más amplio, las propuestas escogidas son las de mayor TIR y mejor Relación Beneficio/Costo.
- Con la implementación del modelo en una plataforma digital, la toma de decisiones sobre las alternativas de inversión será más ágil, siempre y cuando se estandaricen los sub-procesos en los que intervienen los colaboradores de la organización, los cuales son el establecimiento de prioridades, la identificación de las alternativas de inversión y los grupos de trabajo.
- El modelo es flexible: Una vez los tres anteriores sub-procesos se hayan completado y su producto haya sido imputado en el modelo matemático, cualquier modificación será posible y no tomara mucho tiempo de implementar en la herramienta de modelamiento escogida, ya sea Excel, WinQSB o alguna otra.
- El modelo propuesto puede procesar y permite comparar factores cualitativos con cuantitativos al poner en el mismo escenario de decisión, elementos monetarios, de eficiencia y de sostenibilidad.

9. RECOMENDACIONES

9.1. FACTORES CLAVES PARA EL ÉXITO:

El modelo matemático presentado en este trabajo puede resultar en una herramienta de inmensa utilidad; que el producto de la misma sea valioso, dependerá de varios elementos:

- Rigurosidad en el estudio de las necesidades de CLENSA y de las características particulares de los proyectos de inversión de la Empresa.
- Disponibilidad de información y eficiencia en la comunicación entre los desarrolladores del proyecto.
- Proposición de una metodología acertada para el manejo de posibles causas de error en el modelo como la subjetividad del evaluador.
- Alto compromiso por parte de cada una de las gerencias de la Organización; desde la Gerencia Financiera que lidera el proceso de construcción del presupuesto, hasta las demás gerencias que hacen parte de los Grupos de Trabajo.
- Manejo adecuado de un cronograma de implementación de manera que se logre una culminación oportuna del proceso de conformación del presupuesto.

9.2. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS:

Dentro de los desarrollos que complementarían, este trabajo se encuentra la elección de una propuesta que busque la reducción de la parcialización de las calificaciones otorgadas a las alternativas de inversión, una vez que estas calificaciones pueden ser dadas a partir de visiones particulares, o intereses que disten de la visión global de la Organización.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. SAATY, Thomas. The Analytical Hierarchical Process. New York: J Wiley, 1980. Capítulo III
2. BOHÓRQUEZ BEDOYA, Natalia. Ampliación del modelo matemático que representa el problema de asignación de personal, formulado actualmente para un restaurante en particular, a todos los tipos de restaurantes de la empresa Frisby S.A. Pereira, 2008, 48-78p. Trabajo de grado (Ingeniería Industrial) Universidad Tecnológica de Pereira.
3. GIFUN, J. F. y KARYDAS, D. M. A method for the efficient prioritization of infrastructure renewal projects. En: ReliabilityEngineering and System Safety. No 91 (2006); p. 84-99.
4. MANOTAS DUQUE, Diego Fernando. Análisis de decisiones de inversión utilizando el criterio valor presente neto en riesgo (VPN en riesgo). En: Revista Facultad de Ingenierías de la Universidad de Antioquia.No 49 (Sep 2009); p. 199-123
5. WOO LEE, Jin y HIE KIM, Soung. Using analytic process and goal programming for interdependent information system project selection. En: Computers & Operations Research. No 27 (2000); p. 367-382.
6. MEADE, Laura y PRESLEY, Adrien. R&D Project selection using the analytic network process. En: IEEE Transactions on Engineering Management. Vol.; 49 No 1 (Feb 2002); p. 59-66
7. AHERN, Aoife y ANANDARAJAH, Gabriel. Railway projects prioritization for investment: Application of goal programming. En Transport Policy. Vol.; 1 No 14 (2007); p. 70-80
8. WANG, Jin, XU, Yujie y XHUN Li. Research on project selection system of pre-evaluation of engineering design project bidding. En: International Journal of Project Management. No 27 (2009); p. 584-599
9. DONG, J. A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. En: European Journal of Operational Research. No 186 (2008); p. 230.

10. THURSTONE, LL. A law of comparative judgements. En: Psychological Review. No 34 (1927); p. 273-286.
11. HANNAN, E. An Assessment of Some Criticisms of Goal Programming. En: Computers and Operations Research. No 12 (1985); p. 525-541.
12. MANOTAS, D. F. Análisis de Decisiones de Inversión Utilizando el Valor Presente Neto. Facultad de Ingenierías de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. No 49 (2009); p. 199-123-
13. ROCHE, H. y VEJO, C. Métodos Cuantitativos a la Aplicados a la Administración. Material de apoyo ANÁLISIS MULTICRITERIO. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Disponible: <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/cvroche.htm>
14. IGNIZIO, J. Introduction to Linear Goal Programming. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, SAGE University Papers, Sage publications, EE.UU. , 1985.
15. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects, Final Report. Palo Alto, California. EPPRI, 2010.
16. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá. ICONTEC, 2008.