



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Metodología para Diagnosticar el Riesgo en la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos en Proyectos de Extracción de Oro en Colombia

**Methodology to Diagnose the Risk in the Implementation of Photovoltaic
Systems in Gold Extraction Projects in Colombia**

Harold Mauricio Castaño Cárdenas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Administración

Manizales, Colombia

2018

Metodología para Diagnosticar el Riesgo en la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos en Proyectos de Extracción de Oro en Colombia

Harold Mauricio Castaño Cárdenas

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Administración

Director:

Ph.D. Johnny Tamayo Arias

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Administración

Manizales, Colombia

2018

Resumen

Este trabajo plantea una metodología para diagnosticar el riesgo en la implementación de sistemas fotovoltaicos a partir de criterios técnicos y económicos en proyectos de extracción de oro en Colombia, siguiendo los lineamientos dictados por el Project Management Institute (PMI), a través de su guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK 2017). Para desarrollar la metodología planteada, se llevaron a cabo seis fases: revisión bibliográfica; descripción del proyecto; definición de alcance y objetivos de la gestión de los riesgos; caracterización de la gestión de los riesgos; evaluación de los riesgos y plan de manejo de los riesgos. Como resultado, a partir de criterios técnicos, se identificaron los riesgos de diseño, tecnológico y operacional, y a partir de criterios económicos, se identificaron los riesgos costos, externos y financieros. Los riesgos identificados fueron ponderados, lo cual permitió priorizarlos según la afectación que tienen sobre cada una de las fases del proyecto, a través del método de decisión multicriterio Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), utilizando el software *Superdecision*®. Así, se obtuvo que la fase de construcción del proyecto es la etapa que probablemente se afecte más, debido a la aparición de riesgos asociados con criterios técnicos y económicos, seguida por la fase de planeación y la fase de ejecución. De los criterios técnicos, el que tiene mayor peso es el riesgo diseño, seguido del riesgo operacional y del riesgo técnico. De los criterios económicos, el que tiene mayor peso es el riesgo costos, seguido del riesgos financieros y del riesgos externos. Finalmente, se diseñó una matriz de administración de los riesgos identificados en el proyecto.

Palabras claves: riesgos, AHP, PMI, fotovoltaico, gestión de proyectos.

Abstract

This paper proposes a methodology to diagnose the risk in the implementation of photovoltaic systems based on technical and economic criteria in gold mining projects in Colombia, following the guidelines dictated by the Project Management Institute (PMI), through its guidance Fundamentals for project management (PMBOK 2017 Guide). To achieve this purpose, six phases were carried out: literature review; project description; definition of scope and objectives of Risk Management; characterization of Risk Management; Risk assessment; and risk management plan. As a result, based on technical criteria, the design, technological and operational risks were identified and, based on economic criteria, cost, external and financial risks were identified. The identified risks were weighted, which allowed them to be prioritized according to the impact they have on each of the project phases, through the multicriteria decision process Analysis Hierarchical Process (AHP), using the *Superdecision*® software. Thus, it was obtained that the phase of the construction project is the stage that is likely to be most affected due to the appearance of risks associated with technical and economic criteria, followed by the planning phase and the execution phase. Of the technical criteria, the one with greater weight is the design risk, followed by the operational risk and the technical risk. Of the economic criteria, the one with greater weight is the cost risk, followed by the financial risk and the external risk. Finally, a management matrix was designed for the risks identified in the project.

Keywords: risks, AHP, PMI, photovoltaic, project management.

Contenido

Resumen	III
Abstract	IV
Contenido	V
Lista de figuras.....	VII
Lista de tablas	IX
Lista de símbolos y abreviaturas	XI
Introducción	12
1. Justificación	15
2. Objetivos.....	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. Marco Teórico y Referencial.....	21
3.1 Sistema fotovoltaico, tecnología y criterios técnicos	21
3.1.1 Aplicaciones del sistema fotovoltaico.....	23
3.2 Proyectos fotovoltaicos en Colombia.....	23
3.2.1 Costos nivelados de energía de proyectos fotovoltaicos en Colombia.....	26
3.3 Distribución de radiación espacial-temporal en Colombia.....	29
3.4 Proyecto minero y caracterización.....	31
3.4.1 Costos energéticos asociados a la producción de oro	32
3.5 Gestión de los Riesgos en proyectos bajo lineamientos del PMBOK	33

3.5.1	Gestión de los Riesgos.....	36
3.5.2	Técnicas y Herramientas.....	39
4.	Diseño Metodológico.....	46
4.1	Métodos y procedimientos	46
4.2	Modelo metodológico	49
5.	Implementación Modelo Metodológico e Identificación de los Riesgos.....	54
5.1	Descripción del Proyecto	54
5.1.1	Gestión del alcance	54
5.1.2	Gestión de los costos	58
5.1.3	Gestión del cronograma	60
5.1.4	EDT del proyecto.....	63
5.2	Alcance y Objetivos de la Gestión de los Riesgos.....	63
5.3	Caracterización de la Gestión de los Riesgos	66
6.	Aplicación Modelo Metodológico para la Evaluación y Plan de Manejo de los Riesgos.....	72
6.1	Evaluación de los Riesgos	72
6.1.1	Desarrollo del proceso analítico jerárquico - AHP.....	72
6.1.2	Evaluación económica del proyecto	85
6.2	Plan de Manejo de los Riesgos.....	88
7.	Conclusiones y Recomendaciones	91
8.	Limitaciones e Investigaciones Futuras.....	96
	Anexos	98
	Referencias	105

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3-1. Diagrama Sistema de Energía Fotovoltaico	22
Figura 3-2. Partes panel fotovoltaico	23
Figura 3-3. Evolución energía solar en Colombia	24
Figura 3-4. Capacidad por empresa en MW	24
Figura 3-5. Capacidad proyectos vigentes en MW.....	25
Figura 3-6. Capacidad total instalada por departamentos en MW.....	26
Figura 3-7. Descripción costos nivelados de energía (LCOE) fotovoltaico	27
Figura 3-8. Costos nivelados de energía fotovoltaica a nivel mundial 2010-2017	27
Figura 3-9. Costos nivelados de energía (LCOE) para Colombia	28
Figura 3-10. Desglose de los costos de inversión del sistema para energía fotovoltaica	29
Figura 3-11. Mapa de Radiación Solar en Colombia.....	30
Figura 3-12. Mapa principales proyectos de extracción de oro en Colombia	31
Figura 3-13. Producción de oro por departamento en Colombia.....	32
Figura 3-14. Proyección de demanda de energía eléctrica de las cargas especiales	33
Figura 3-15. Ciclo de vida de un proyecto.....	34
Figura 3-16. Grupo de procesos de la dirección de proyectos	34
Figura 3-17. Relación grupo de procesos y áreas del conocimiento de un proyecto.....	35
Figura 3-18. Descripción general de la gestión de los riesgos del proyecto	38
Figura 3-19. Estructuración proceso de análisis jerárquico –AHP-.....	40
Figura 3-20. Desarrollo de jerarquías	41
Figura 4-1. Esquema metodológico	49
Figura 4-2. Fases modelo metodológico.....	53
Figura 5-1. Localización instalación solar fotovoltaica.....	57

Figura 5-2. Diagrama de Gantt, cronograma de actividades.....	62
Figura 5-3. EDT del proyecto	63
Figura 5-4. Matriz DOFA proyecto energía solar fotovoltaica	65
Figura 5-5. Identificación factores riesgo diseño.....	67
Figura 5-6. Identificación factores riesgo tecnológico	68
Figura 5-7. Identificación factores riesgo operacional.....	68
Figura 5-8. Identificación factores riesgo costos.....	69
Figura 5-9. Identificación de riesgos externos	69
Figura 5-10. Identificación factores riesgos financieros	70
Figura 5-11. Estructura de RBS	71
Figura 6-1. Construcción del modelo.....	73
Figura 6-2. Jerarquización problema de estudio.....	75
Figura 6-3. Diseño problema de estudio Superdecision ®.....	76
Figura 6-4. Distribución pesos del proyecto.....	82
Figura 6-5. Análisis de sensibilidad en función del criterio técnico.....	83
Figura 6-6. Análisis de sensibilidad en función del criterio económico.....	84

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Estudios previos proyectos energéticos y no energéticos	17
Tabla 3-1. Promedio multianual irradiación en Colombia	29
Tabla 3-2. Escala de Satty	42
Tabla 3-3. Índice de consistencia aleatoria –IA-	44
Tabla 5-1. Consumo energético anual equipo minero	55
Tabla 5-2. Costo consumo anual equipo minero (kWh).....	56
Tabla 5-3. Costo consumo anual equipo minero (kWh).....	57
Tabla 5-4. Características planta solar fotovoltaica	58
Tabla 5-5. Producción, consumo y ahorro kWh la instalación fotovoltaica.....	59
Tabla 5-6. Producción, consumo y ahorro \$ COP la instalación fotovoltaica	60
Tabla 5-7. Cronograma de actividades	61
Tabla 6-1. Matriz de comparación criterio técnico vs riesgo económico	76
Tabla 6-2. Matriz comparación sub-criterios técnicos en función de criterio técnico.....	77
Tabla 6-3. Demostración matemática sub-criterios técnicos en función del criterio técnico	77
Tabla 6-4. Demostración matemática λ max	77
Tabla 6-5. Matriz de inconsistencia	78
Tabla 6-6. Matriz comparación sub-criterios económicos en función de criterio económico	78
Tabla 6-7. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo diseño.....	78
Tabla 6-8. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo tecnológico	79

Tabla 6-9. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo operacional.....	79
Tabla 6-10. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo costos	80
Tabla 6-11. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo externos.....	80
Tabla 6-12. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo financieros	81
Tabla 6-13. Afectación de los riesgos en las fases proyecto.....	81
Tabla 6-14. Pesos locales y pesos globales del proyecto	82
Tabla 6-15. Descripción financiera del proyecto	86
Tabla 6-16. Flujo de caja proyecto energía solar fotovoltaica	87
Tabla 6-17. Matriz de administración de criterios técnicos.....	89
Tabla 6-18. Matriz de administración de criterios económicos	89

Lista de símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ANLA</i>	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
<i>CAPEX</i>	Costos de Inversión
<i>EDT</i>	Estructura de Descomposición del Trabajo
<i>EMV</i>	Valor Monetario Esperado
<i>ERNC</i>	Energías Renovables No Convencionales
<i>IA</i>	Índice de Consistencia Aleatoria
<i>IC</i>	Índice de Consistencia
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
<i>IRENA</i>	International Renewable Energy Agency
<i>LCOE</i>	Costo Nivelado de Energía
<i>OPEX</i>	Costos Operativos
<i>PMI</i>	Project Management Institute
<i>RC</i>	Razón de Consistencia
<i>SIMEC</i>	Sistema de Información Minero-Energético Colombiano
<i>UPME</i>	Unidad de Planeación Minero-Energética

Introducción

La gestión de los riesgos en proyectos energéticos tiene como finalidad mejorar procesos, maximizar oportunidades e identificar y evitar amenazas que podrían afectar la ejecución de dichos proyectos. A pesar de que existe una amplia variedad de sistemas metodológicos que evalúan proyectos y gestionan riesgos, aún no se ha llegado a un consenso sobre cuál metodología es la más efectiva, pues la mayoría dependen, en alguna medida, del punto de vista y de la experiencia de los interesados y de los gestores del proyecto.

El creciente desarrollo de energías alternativas alrededor del mundo, en especial de aquellas que se especializan en sistemas fotovoltaicos, hace que se deban replantear los procesos y las metodologías a la hora de evaluar este tipo de proyectos. Así, con la llegada de nuevas tecnologías, la identificación de los riesgos toma otro enfoque; por lo tanto, emerge la urgencia de que estos estudios sean analizados desde un punto de vista técnico.

La implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos mineros es una propuesta que ha empezado a tomar fuerza en países industrializados. Específicamente, en el contexto latinoamericano, Chile ha empezado a suplir la creciente demanda energética de sus operaciones incorporando energías no convencionales (energía solar, parques eólicos, entre otras). Este tipo de estrategias son necesarias para asegurar el suministro energético de este sector económico. Por ejemplo, el estudio de Parrado, Girard, Simón y Fuenteabla (2015) señala que la implementación de este tipo de energías renovables en las actividades mineras reduce costos de operación y son una opción viable que puede contribuir a la entrega continua y oportuna de electricidad sostenible. Cabe resaltar que compañías mineras chilenas como Collahuasi, Los Pelambres y Cap han desarrollado proyectos de energías renovables no convencionales para abastecer parte de sus

requerimientos energéticos de una manera sustentable, haciendo frente a la escasez de suministro energético.

En Colombia, la aplicación de energías renovables no convencionales va ganando cada día mayor fuerza en el entorno. Sin embargo, las políticas energéticas establecidas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) no son del todo específicas; los costos elevados de implementar este tipo de energías en zonas no interconectadas, una reglamentación débil y el escaso interés gubernamental por desarrollar este tipo de fuentes energéticas dificulta su implementación (Hoyos, 2016). Pese a lo mencionado, en Colombia se empieza a apostar por el desarrollo de energías verdes o no convencionales, como la energía solar, eólica, geotérmica, entre otras (Esteve, 2011).

El objetivo principal de este trabajo se centra en diseñar una metodología que diagnostique los riesgos en la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia, a partir de criterios técnicos y económicos. El enfoque dado a la metodología sigue los lineamientos dictados por el PMI a través de su guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK, 2017). Por consiguiente, con base en la identificación de los riesgos se pretende ponderar y priorizar la forma en que el riesgo afecta las fases del proyecto, soportado en la metodología de decisión multicriterio Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Finalmente, se diseña una matriz de administración de los riesgos identificados en el proyecto.

Para desarrollar esta metodología se tuvieron en cuenta aspectos relacionados con el alcance, los costos y el tiempo del proyecto. Por ende, es necesario saber de manera detallada qué se va a hacer, qué requerimientos tiene el proyecto, cuánto costará, cuánto tiempo durará, qué recursos se utilizarán, entre otros aspectos del proyecto. Después de haber definido estos puntos, el proceso de la gestión de los riesgos permite identificar y priorizar la incidencia de cada uno de éstos en las diversas fases del proyecto.

Este documento consta de ocho secciones. En la primera sección se presenta la justificación y se desarrolla el estado del arte acerca de los estudios más sobresalientes relacionados con la gestión de los riesgos en proyectos energéticos y de infraestructura, y su relación con la gestión de proyectos y toma de decisiones. En la sección segunda se formulan los objetivos generales y específicos involucrados en el diseño de una metodología diagnóstico en la identificación del riesgo para proyectos que implementan

energías renovables en operaciones mineras. En la sección tercera se desarrolla un marco conceptual sobre las energías renovables no convencionales, sobre los proyectos realizados en Colombia y sobre los costos nivelados de energía para el país; se describe la distribución de radiación espacial-temporal en Colombia, el proyecto minero y su caracterización, los costos energéticos asociados a la producción de oro; y, por último, se centra en la gestión de los riesgos bajo lineamientos del PMBOK, las técnicas y herramientas a utilizar. La sección cuarta detalla el diseño metodológico, donde se especifica el modelo y el procedimiento utilizado para identificar los riesgos. En la sección quinta se implementa el modelo metodológico e identifican los riesgos del proyecto. La sección sexta aplica el modelo metodológico para la evaluación cualitativa y cuantitativa de los riesgos donde se ponderan y priorizan y complementario a esto se diseña un plan de manejo de los riesgos. La sección séptima plantea las conclusiones y las recomendaciones del proyecto. Finalmente, en la sección octava se plantean las limitaciones y las investigaciones futuras que emergieron del desarrollo de este trabajo.

1. Justificación

Este trabajo desarrolla una metodología para diagnosticar los riesgos, con base en criterios técnicos y económicos en la implementación de sistemas de energía fotovoltaico en proyectos de extracción de oro en Colombia, siguiendo los lineamientos dictados por el PMI a través de su guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK, 2017). Con este diseño se pretende identificar, ponderar y priorizar la incidencia que cada tipo de riesgo tiene en las fases del proyecto, siendo esto una herramienta de valor para la optimización de los procesos de toma de decisiones. A razón de que los riesgos existen desde el momento en que se concibe un proyecto, se debe realizar una elección cuidadosa de éstos con el propósito de identificar y llevar a cabo una gestión eficaz durante la vida del proyecto (Parodi, 2013).

Para alcanzar los resultados planteados en este estudio se acudió al uso de técnicas de investigación las cuales se emplearon para estructurar un diseño metodológico de tipo descriptivo, apoyado métodos cualitativos y cuantitativos (mixtos), usando instrumentos de recolección de información tales como cuestionarios, entrevistas, documentos (Hernández et al, 2014). Con el desarrollo de esta metodología se pretende contrastar a partir de un modelo teórico elementos de juicio que sirvan en la identificación, ponderación y priorización de los riesgos. Finalmente, este estudio permite brindar herramientas prácticas que permitan diagnosticar riesgos apoyados en métodos de decisión multicriterio-AHP.

Para el desarrollo de esta investigación, se tuvieron en cuenta los planteamientos de Saaty (1987), en relación con la técnica AHP. Por consiguiente, este documento da indicaciones de cómo se puede tratar el riesgo y la incertidumbre utilizando la técnica

AHP a partir del enfoque de medición por escalas de relación. Prasanta (2001) brinda un enfoque cuantitativo para la gestión del riesgo en la construcción de un oleoducto, a partir de la técnica del AHP y del análisis de árboles de decisión. El autor identificó los factores de riesgo, cuantificó sus efectos mediante la determinación de la probabilidad y del impacto, y generó respuestas alternativas con una implicación de costos para mitigar los riesgos cuantificados. Otra investigación que se tomó como referencia de estudio fue la realizada por Guerrero-Liquet, Sánchez-Lozano, García-Cascales, Lamata, y Verdegay (2016), en donde apoyados en investigaciones relacionadas con métodos de toma de decisión multicriterio, en la gestión de proyectos, analizan riesgos de tipo técnicos y financieros e identifican los riesgos con probabilidad de ocurrencia que afectan la inversión en cualquier tipo de instalación de energía renovable.

También se tuvieron en cuenta investigaciones relacionadas con la gestión de proyectos. Por ejemplo, se analizó el estudio realizado por Guerrero (2015). Este estudio define herramientas adecuadamente gestionadas y desarrolladas para una efectiva gestión de proyectos. De otro lado, Parodi (2013) desarrolló una metodología para la evaluación integral de proyectos en el sector energético. La comparación de diversos métodos de análisis multicriterio permitió seleccionar la metodología AHP de Saaty como la plataforma metodológica de referencia para alcanzar los objetivos establecidos por Parodi en su investigación.

Las investigaciones mostradas en la tabla 1-1 sirvieron como referencia conceptual para el desarrollo de este estudio, su finalidad fue dar una orientación de carácter técnica para alcanzar los objetivos del proyecto, cabe agregar que estos estudios abarcaron diferentes campos investigativos los cuales iban desde temas de infraestructura hasta energéticos tratando siempre de enfatizar criterios técnicos y financieros

Tabla 1-1. Estudios previos proyectos energéticos y no energéticos

Autor/es	Título	Tipo proyecto
Shishodia, A., Dixit, V., & Verma, P. 2018	Project risk analysis based on project characteristics.	General
De Almeida, A. T. et al., 2017	A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management.	General
Al Garni, H. et al., 2017	A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia.	Energía renovables fotovoltaica, solar concentrada, eólica, biomasa y geotérmica
Guerrero-Liquet et al., 2016	Decision-Making for Risk Management in Sustainable Renewable Energy Facilities: A Case Study in the Dominican Republic.	Energías renovables fotovoltaica
Parrado et al., 2015	2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) projection for a hybrid PV (photovoltaic)-CSP (concentrated solar power) plant in the Atacama Desert, Chile.	Energías renovables fotovoltaica, central solar concentrada
Guerrero, 2015	Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico.	Energía eléctrica
Lin, C. & Shiue, Y. 2013	An Application of AHP and Sensitivity Analysis for Measuring the Best Strategy of Reverse Logistics: A Case Study of Photovoltaic Industry Chain.	Energías renovables fotovoltaica
Sum, R. M. 2013	Risk management decision making.	Infraestructura.
Del Sol & Sauma, 2013	Economic impacts of installing solar power plants in northern Chile.	Energías renovables solar térmica y fotovoltaica
Parodi, 2013	Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos en el sector energético.	Energético General
Forbes, Smith, & Horner, 2008	Tools for selecting appropriate Risk Management techniques in the built environment. Construction.	Infraestructura
Prasanta, 2001	Decision support system for Risk Management: a case study,	Infraestructura
Ward & Chapman, 2003	Transforming project Risk Management into project uncertainty management.	Infraestructura
Saaty, 1987	Risk - Its priority and probability: The analytic hierarchy process. Risk Analysis.	General

Fuente: Elaboración propia

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar una metodología que diagnostique el riesgo en la implementación de sistemas fotovoltaicos a partir de criterios técnicos y económicos en proyectos de extracción de oro en Colombia.

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer, a partir de los lineamientos dictados por el PMI, a través de su guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK, 2017) elementos que permitan construir una metodología de diagnóstico del riesgo en la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia.
- Identificar los riesgos que afectan la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia según la metodología de diagnóstico planteada en el estudio.
- Priorizar la incidencia de cada tipo de riesgo en las fases del proyecto de implementación de sistemas fotovoltaicos en actividades de extracción de oro en Colombia, mediante el método de decisión multicriterio-AHP.

- Construir una matriz de administración de los riesgos identificados en la implementación de sistemas fotovoltaicos en actividades de extracción de oro en Colombia.

3.Marco Teórico y Referencial

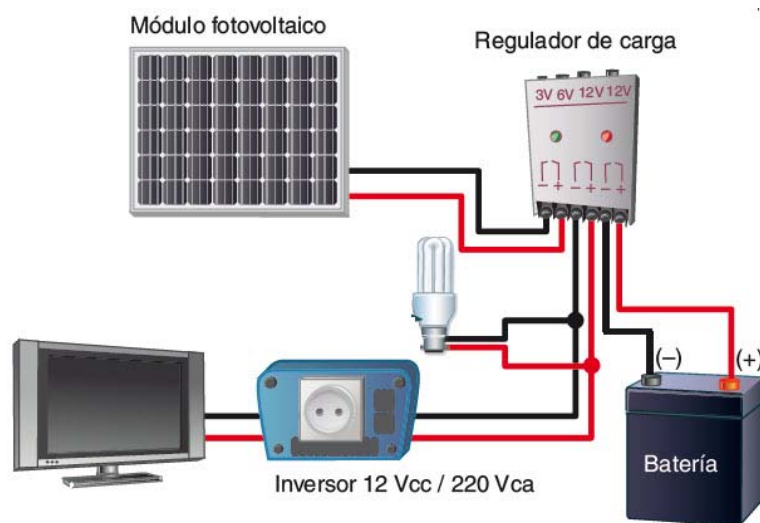
Para propósitos de este proyecto, es indispensable llevar a cabo las siguientes actividades: identificar qué es un sistema fotovoltaico; establecer cuáles son las características de distribución de radiación espacial-temporal en Colombia; caracterizar el proyecto minero; y conocer los conceptos y los lineamientos generales de la gestión de riesgos en proyectos según el PMBOK. Con base en estos elementos, se podrá determinar la aplicabilidad de este tipo de iniciativas energéticas en operaciones de extracción de oro Colombia.

3.1 Sistema fotovoltaico, tecnología y criterios técnicos

Las energías renovables no convencionales (ERNC) se caracterizan por ser una fuente energética limpia y sustentable. Para el caso de investigación, la energía solar fotovoltaica se obtiene mediante la transformación de la radiación solar en electricidad, lo cual se logra mediante la utilización de componentes electrónicos especializados. Este tipo de energía tiene diversas aplicaciones, ya sea en el hogar o en la industria. Un ejemplo de ello son los dispositivos autónomos tales como equipo de telecomunicaciones, sistemas de alumbrado público, señalización, entre otros; todos ellos alimentados mediante energía solar. La energía fotovoltaica se ha convertido en una opción sustentable para autoabastecerse, lo que beneficia el medioambiental, permite la disminución de costos, fortalece la eficiencia energética y ofrece estabilidad de precios de energía en el largo plazo.

En la figura 3-1 se expone de una manera simplificada el principio de la energía solar fotovoltaica y cada uno de sus componentes. El panel solar absorbe la energía procedente del sol en forma de fotones (radiación solar), donde los componentes de las celdas fotovoltaicas permiten generar una corriente continua de electricidad que pasa al regulador de carga, el cual tiene como función controlar la energía que llega a la batería y evitar que esta se sobrecargue o descargue, además de proveer suministro eléctrico a los dispositivos que funcionen con corriente continua. Las baterías almacenan y proporcionan energía a los dispositivos eléctricos en momentos donde el generador fotovoltaico no puede mantener una generación energética constante, debido a la baja o nula luminosidad. Finalmente, el inversor, por su parte, convierte corriente continua a corriente alterna y alimenta equipos que se abastecen de energía alterna (Rubio & Díaz, 2010).

Figura 3-1. Diagrama Sistema de Energía Fotovoltaico

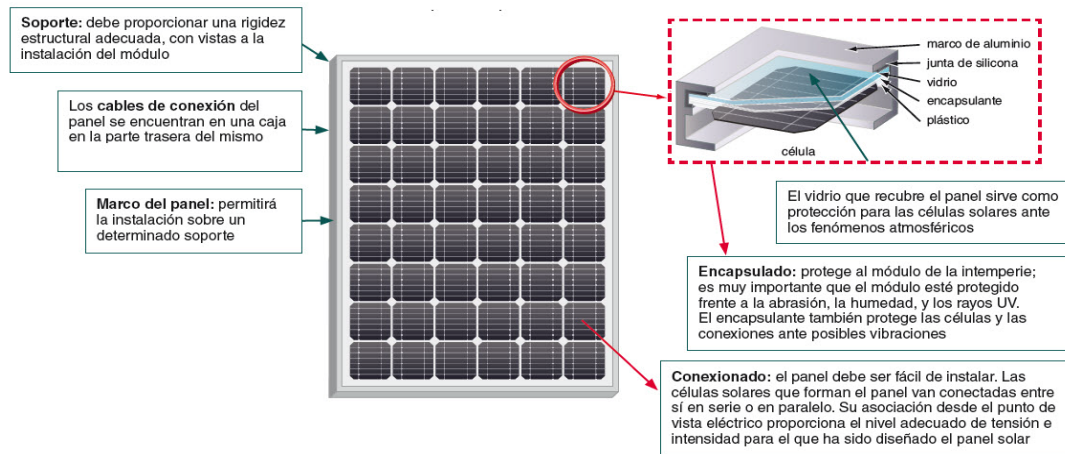


Fuente: Rubio & Díaz, 2010.

En la figura 3-2 se puede observar el arreglo de materiales que conforman un panel solar, el cual está conformado por un conjunto de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente entre sí. El módulo está herméticamente cerrado, protegiendo de la intemperie. También está ensamblado sobre una estructura de soporte, dando rigidez a la estructura. Las células fotovoltaicas están conectadas en serie o en paralelo desde el

punto de vista eléctrico, generando en su salida de conexión una tensión continua de 6 V, 12 V, 24 V, valores que definirán la tensión a la que trabajará el sistema fotovoltaico (Rubio & Díaz, 2010).

Figura 3-2. Partes panel fotovoltaico



Fuente: Rubio & Díaz, 2010.

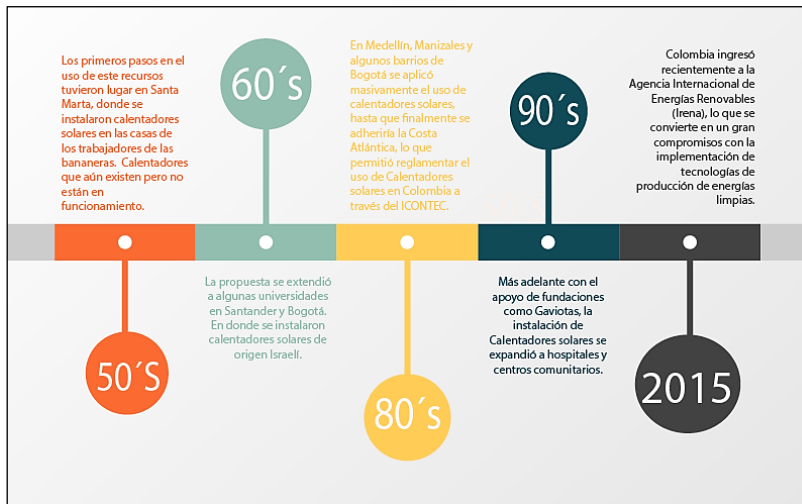
3.1.1 Aplicaciones del sistema fotovoltaico

La mayoría de los usos dados a los montajes fotovoltaicos, actualmente, se asocian con el tipo de sistema, ya sea conectado a la red eléctrica o a un sistema aislado. Con sistemas conectados a la red eléctrica se tienen montajes, los cuales tienen como función principal inyectar energía a la red eléctrica y/o abastecer la demanda energética de los hogares. En relación con sistemas aislados u autónomos, se tienen dispositivos que van desde aplicaciones a comunicaciones (antenas repetidoras, satélites, entre otros), elementos de señalización y alumbrado público (semáforos, avisos publicitarios), electrificación rural en zonas no interconectadas, equipos de bombeo, sistemas híbrido-solar (diesel - energía fotovoltaica), transporte y navegación marítima (Network, 2002).

3.2 Proyectos fotovoltaicos en Colombia

El desarrollo de la energía solar en Colombia y sus aplicaciones no ha estado al nivel de desarrollo como en otros países de la región. Solo a partir de la reglamentación de la ley 1715 de 2014, la cual regula el uso de las ERNC, y que tiene como fin promover e integrar el uso de este tipo de energías (Escobar & Quitián, 2015), se impulsó el desarrollo de proyectos fotovoltaicos (ver esta evolución en la figura 3-2).

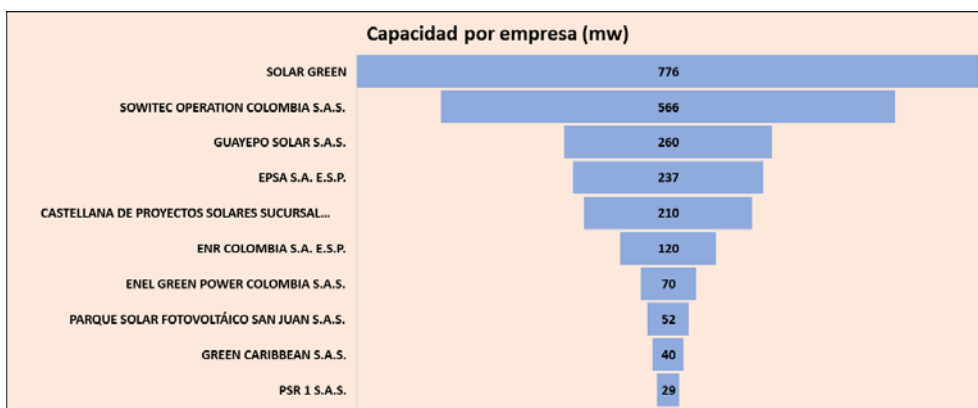
Figura 3-3. Evolución energía solar en Colombia



Fuente: La Guía Solar, 2015.

A 31 de julio del 2017, en el país, se habían registrado 142 empresas con un total 310 proyectos, los cuales cuentan con una capacidad instalada de 2.515 MW. Solar Green encabeza el listado de empresas que cuentan con una capacidad instalada de 776 MW (ver figura 3-4), seguida por la empresa Sowitec Operation Colombia S.A.S. con 566 MW y la empresa Guayepo Solar S.A.S. con 260 MW (Unidad de Planeación Minero-Energética-UPME, 2017).

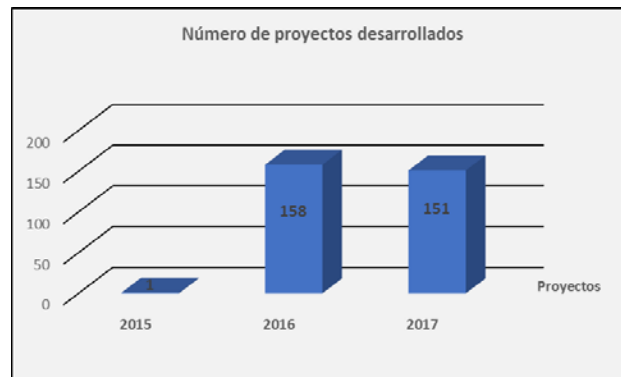
Figura 3-4. Capacidad por empresa en MW



Fuente: UPME, 2017.

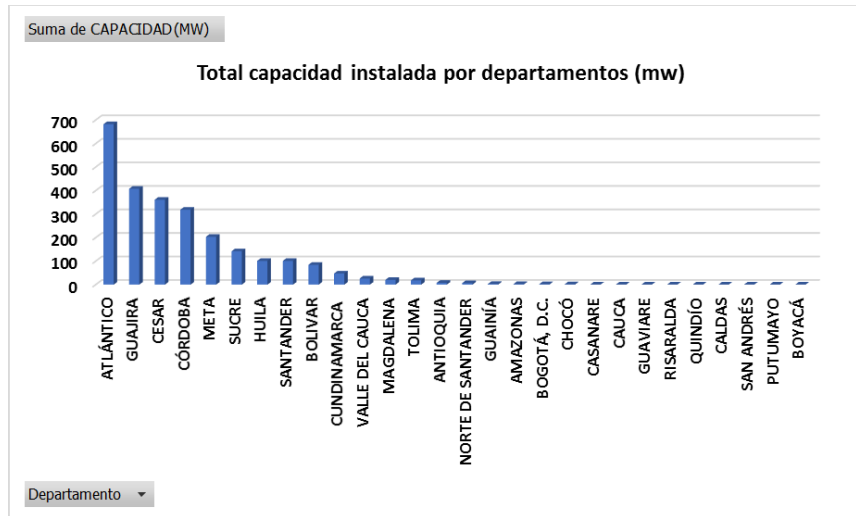
El crecimiento anual en número de proyectos ha sido constante, de pasar de un solo proyecto inscrito en el 2015, 158 en el 2016 y 150 proyectos a 31 de julio de 2017 (ver figura 3-5), indicando esto que el desarrollo de este tipo de actividades está en alza. Cabe agregar que el gobierno colombiano, mediante la expedición de la ley 1715, ha dado prebendas que impulsan el desarrollo de proyectos de energía renovables no convencionales.

Figura 3-5. Capacidad proyectos vigentes en MW



Fuente: UPME, 2017.

A nivel nacional, los departamentos que más han desarrollado proyectos relacionados con energía fotovoltaica teniendo en cuenta la capacidad instalada (en MW) son: Atlántico, Guajira, Cesar, Córdoba y Meta, lo que se debe a que la cantidad de radiación y brillo solar es mayor en estas regiones. Por tal razón, el desarrollo de este tipo de proyectos tiene mayor acogida en dichos departamentos (ver figura 3-6).

Figura 3-6. Capacidad total instalada por departamentos en MW

Fuente: UPME, 2017.

3.2.1 Costos nivelados de energía de proyectos fotovoltaicos en Colombia

El creciente desarrollo de este tipo de proyectos, tanto a nivel mundial como local, se ve reflejado en un descenso en los costos relacionados con la instalación y la generación de energía. Cabe destacar que mejoras tecnológicas, así como los beneficios en las leyes, hacen que estos proyectos a nivel mundial empiecen a ser económicamente viables. Se debe considerar que el tamaño y la potencia de una planta solar inciden directamente en los costos de implementación. Un indicador que sirve como referencia para estimar los costos para este tipo de proyectos, es el costo nivelado de energía (LCOE). Este valor es el coste teórico de generar energía y está medido en \$/KWh (figura 3-7) e implica: costos de la inversión (CAPEX), lo cuales incluyen estudios, obras civiles, equipo mecánico, equipo eléctrico; costos indirectos tales como costos del propietario (predios, inversiones ambientales, entre otros); costos operativos (OPEX) (costos fijos y costos variables del proyecto) y componentes externos, en los cuales tenemos los incentivos de la Ley 1715 del 2014 (desgravación fiscal a la inversión 50%, exención del impuesto al valor agregado, exención aranceles y depreciación acelerada 20%) (UPME, 2016).

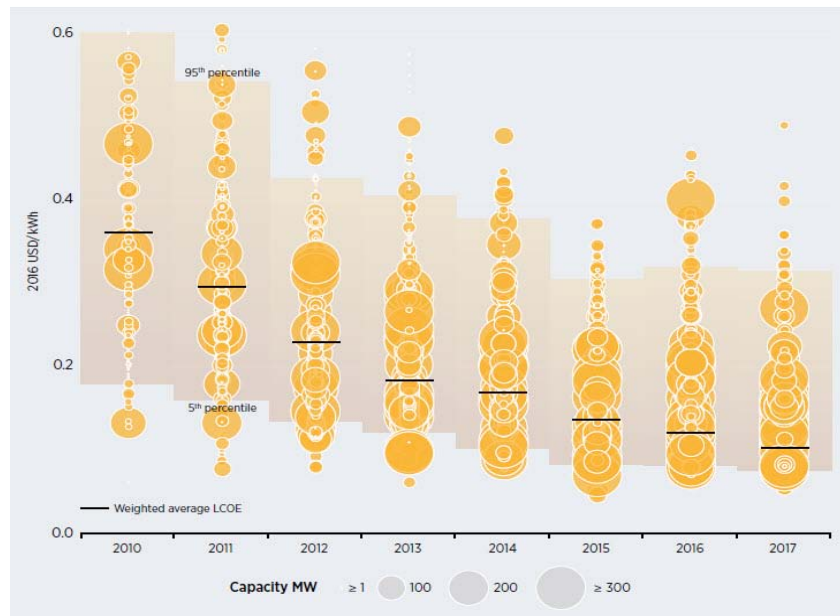
Figura 3-7. Descripción costos nivelados de energía (LCOE) fotovoltaico

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Inversión} & & \text{Costes} \\
 \text{Inicial} & + & \text{O\&M} \\
 \text{(CAPEX)} & & \text{(OPEX)} \\
 \hline
 & = & \text{Coste} \\
 & & \text{Nivelado} \\
 & & \text{Energía} \\
 & & \text{(LCoE)} \\
 & & \text{Producción Anual} \\
 & & \text{Energía en MWh}
 \end{array}$$

Fuente: Asociación de energías Renovables, Ser-Colombia, 2016.

A nivel mundial, los costos promedio nivelados de energía tuvieron un rápido descenso, esto debido a que los costos de instalación han disminuido y la capacidad instalada ha aumentado. Se estima que los costos nivelados de energía han descendido un 73% entre 2010 y 2017. Para el 2010 el LCEO promedio rondaba los \$0,36/Kwh; mientras que en el 2017 este precio se ubicó alrededor de los \$0,10/Kwh (ver figura 3-8).

Figura 3-8. Costos nivelados de energía fotovoltaica a nivel mundial 2010-2017



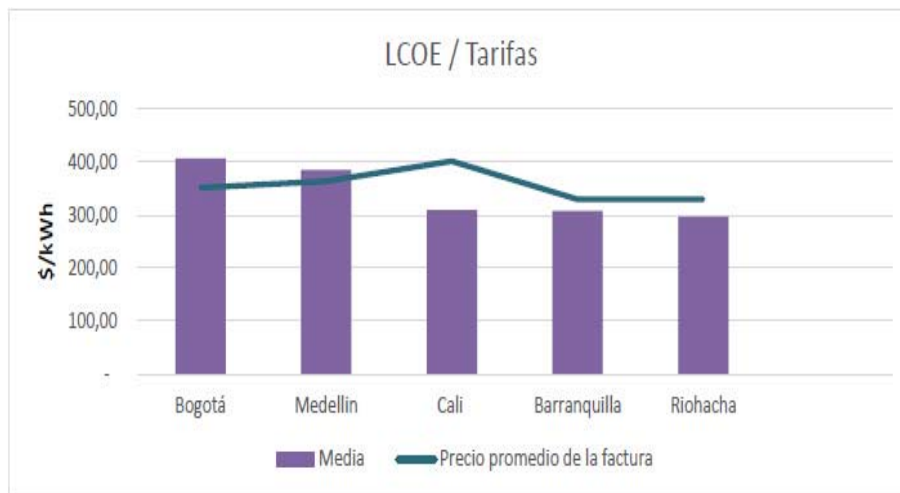
Fuente: International Renewable Energy Agency, IRENA, 2018.

Es importante resaltar que las cifras arrojadas por el cálculo del LCOE pueden variar, debido a ciertas variables como los precios de la electricidad, la cantidad de radiación

solar, los métodos financieros, la normatividad actual de incentivos de usos de energías renovables y las tasas de descuento (Jiménez, Cadavid, & Franco, 2014).

La figura 3-9 muestra los costos nivelados de energía en Colombia, específicamente para las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Riohacha. Allí se comparan los costos unitarios (precio promedio de la factura) versus el costo nivelado de energía para estas ciudades. Para Bogotá y Medellín, los costos unitarios residenciales son más bajos que el costo nivelados de energía, por lo tanto, es más barato comprar energía a la compañía eléctrica; pero para Cali, Barranquilla y Riohacha pasa lo contrario, la electricidad generada mediante infraestructura fotovoltaica es más barata que la energía suministrada por la compañía eléctrica. Para este último caso, el desarrollo de energía solar sí es rentable económicamente.

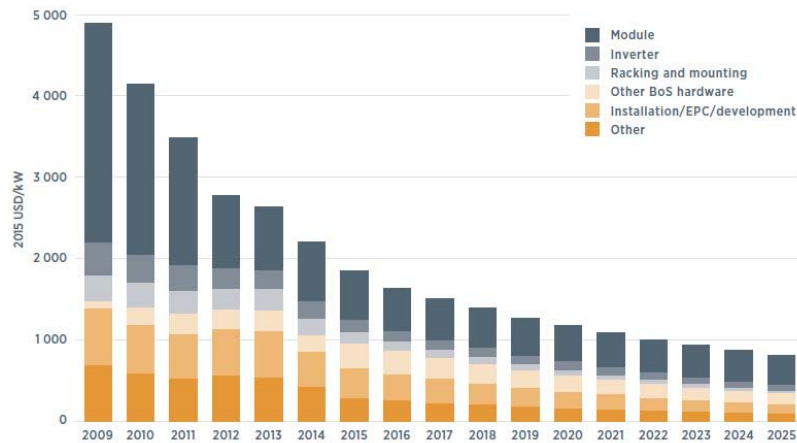
Figura 3-9. Costos nivelados de energía (LCOE) para Colombia



Fuente: Unidad de Planeación Minero-Energética, UPME, BID, 2014.

De acuerdo con el informe llevado a cabo por la UPME y Carbon Trust del 2015 se afirma que “en el momento actual, la tecnología solar PV no es rentable en Colombia sin subsidios. La razón principal es que los costos de instalación son más altos a causa de la escasa madurez del mercado” (p. 6). La tendencia actual de estos costos de instalación es que tiendan a descender a medida que la tecnología mejora y las leyes ayudan a impulsar este tipo de alternativas energéticas (figura 3-10).

Figura 3-10. Desglose de los costos de inversión del sistema para energía fotovoltaica



Fuente: IRENA, 2017.

3.3 Distribución de radiación espacial-temporal en Colombia

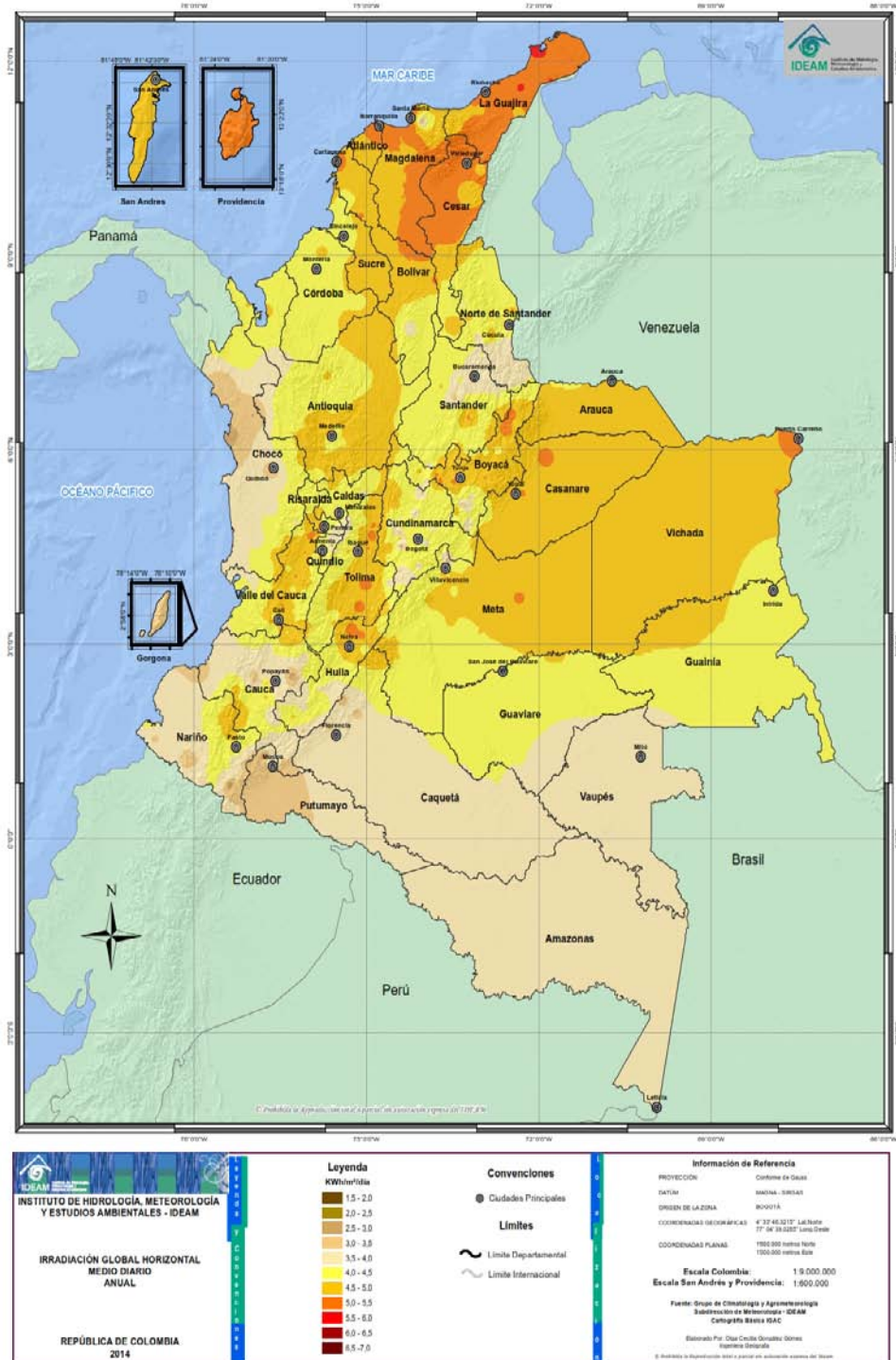
En la tabla 3-11 se proyecta la distribución del potencial energético en Colombia, el cual fue dividido por regiones naturales, siendo la Guajira y el norte del Atlántico las regiones con la más alta irradiación. Por su parte, la región sur del país cuenta con el promedio más bajo. En general, Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio (ver figura 3-11), con un promedio diario multianual cercano a los 4,5 kWh/m². (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2015).

Tabla 3-1. Promedio multianual irradiación en Colombia

Superior a 5,5 kWh/m² día	La Guajira y en el norte de Atlántico, Bolívar y Magdalena.
4,5 – 5,5 kWh/m² día	Región Caribe, las Islas de San Andrés y Providencia, amplios sectores de Vichada, Arauca, Casanare, Meta, el norte y oriente de Antioquia, el norte y centro de Norte Santander, el suroriente de Santander, el centro y norte de Boyacá, el norte de Cundinamarca, el sur y oriente del Tolima, el norte de Huila, la zona que se inicia al centro de Cauca, atraviesa el Valle del Cauca de sur a norte y llega hasta el eje cafetero y el sector del norte de Nariño.
Inferior a 4,5 kWh/m² día	Sectores de Chocó, occidente de Putumayo y Valle del Cauca, suroriente de Cauca, oriente de Nariño y muy pequeños sectores de Cundinamarca, Caquetá y Santander.

Fuente: IDEAM, 2015.

Figura 3-11. Mapa de Radiación Solar en Colombia

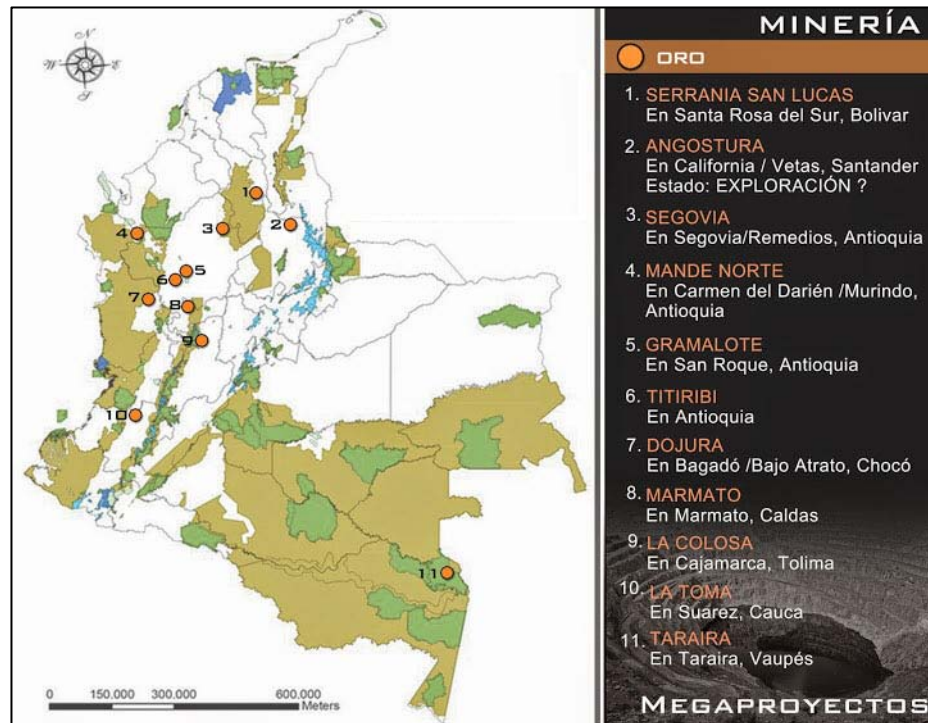


Fuente: IDEAM, 2015.

3.4 Proyecto minero y caracterización

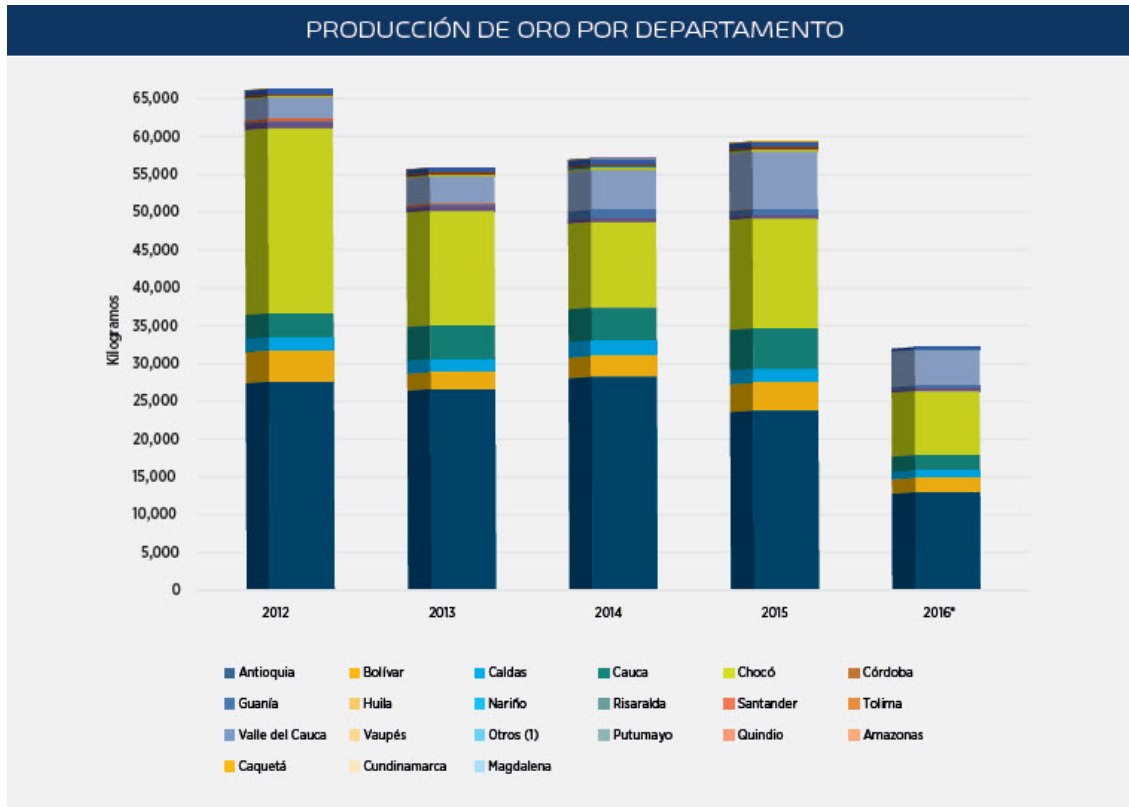
Para alcance de este documento se decide enfocar este estudio en proyectos mineros de extracción de oro (figura 3-12), con una producción aproximada en el 2016 de 56.332 kilogramos/año; es de anotar que los departamentos con mayor producción de oro de Colombia son Antioquia, Chocó, Nariño, Cauca, Tolima y Caldas, las principales empresas que extraen este mineral son AngloGold Ashanti Colombia S A., Minerales Andinos de Colombia, Gran Colombia Gold, Negocios Mineros S.A., Continental Gold De Colombia y Mineros S.A. (Agencia Nacional de Minería, 2017).

Figura 3-12. Mapa principales proyectos de extracción de oro en Colombia



Fuente: Sistema de Información Minero-Energético Colombiano, 2017.

En la figura 3-13, se compara la producción de oro en Colombia desde el año 2012 hasta el año 2016, discriminados por departamento y producción aproximada en miles de kilogramos/año.

Figura 3-13. Producción de oro por departamento en Colombia

Fuente: UPME, 2016b.

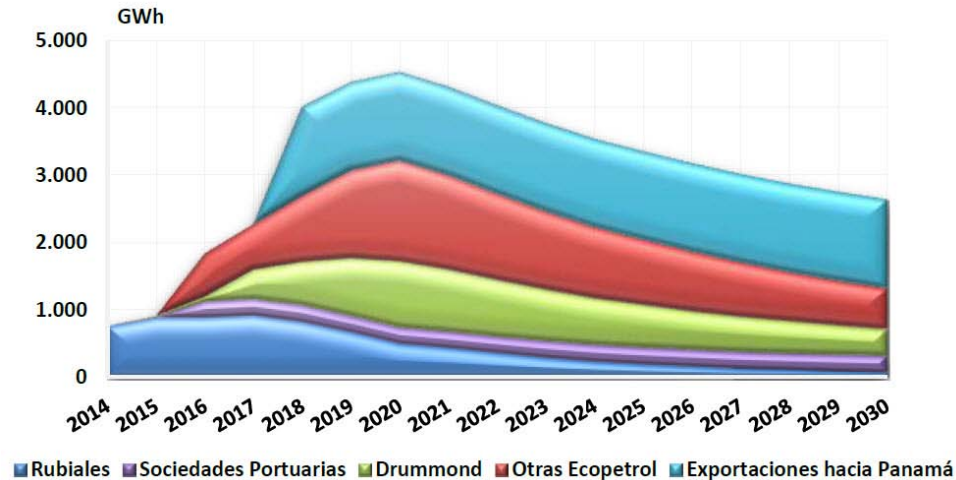
3.4.1 Costos energéticos asociados a la producción de oro

Para tener un valor aproximado de los costos relacionados con la extracción de oro en Colombia, se puede tomar como referencia la estimación de áreas intervenidas, el consumo de agua y energía y los costos de producción en la actividad minera realizado por la UPME (2014), donde se especifica que para extraer un gramo de oro se consumen 0,22 m³ de agua, 8,89 KWh de energía eléctrica y 25,46 KWh de combustibles (diésel, gasolina, entre otros combustibles).

Para alcances metodológicos en este trabajo, también se analiza el consumo energético y los precios (\$/KWh) del sector industrial en Colombia, para así, tener herramientas para comparar costos unitarios versus costos nivelados de energía de proyectos fotovoltaicos.

La UPME (2016c), en su informe proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia, estima que la proyección de la demanda de energía eléctrica de los grandes consumidores especiales (GWh) para el desarrollo de actividades relacionadas con minas y canteras al 2020 será en promedio de 4.500 Gw (figura 3-14).

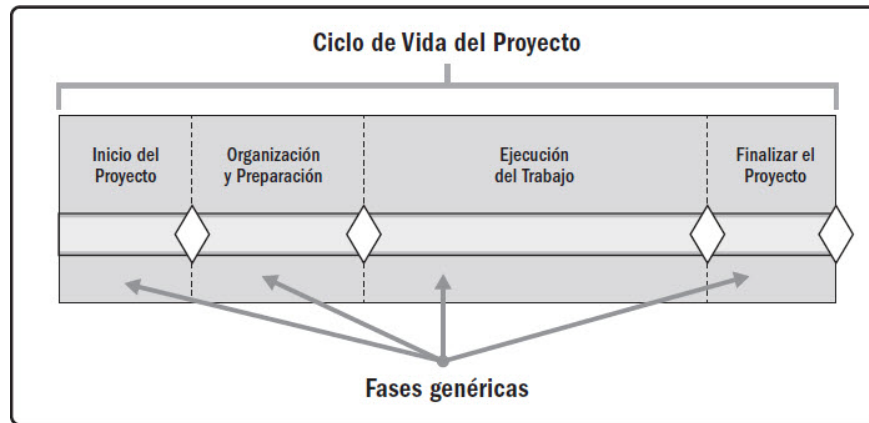
Figura 3-14. Proyección de demanda de energía eléctrica de las cargas especiales



Fuente: UPME, 2016c.

3.5 Gestión de los Riesgos en proyectos bajo lineamientos del PMBOK

Antes de dar una definición sobre lo que es la gestión de los riesgos, es necesario comprender que es un proyecto, cuál es su alcance, el grupo de procesos que lo conforman y cómo se relacionan entre sí. De acuerdo con la guía PMBOK (2017), la finalidad de la gestión de proyectos es aplicar conocimientos, mejores prácticas, herramientas y técnicas en las actividades que componen un proyecto y de esta manera, cumplir con las metas y objetivos de manera eficiente. El proyecto se entiende como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMI, 2017, p. 548). Los proyectos normalmente varían en tamaño y complejidad, pero todos constan de una fase de inicio, organización y preparación, ejecución del trabajo y finalización (figura 3-15).

Figura 3-15. Ciclo de vida de un proyecto

Fuente: PMI, 2017.

El PMBOK reúne los procesos de la dirección de proyectos en las siguientes fases (figura 3-16).

- Grupo de proceso de inicio: definición preliminar y autorización formal.
- Grupo de proceso de planificación: definición y planificación detallada.
- Grupo de proceso de ejecución: llevar a cabo el plan de gestión del proyecto.
- Grupo de proceso de monitoreo y control: medir, supervisar regularmente el avance.
- Grupo de proceso de cierre: formalizar la aceptación.

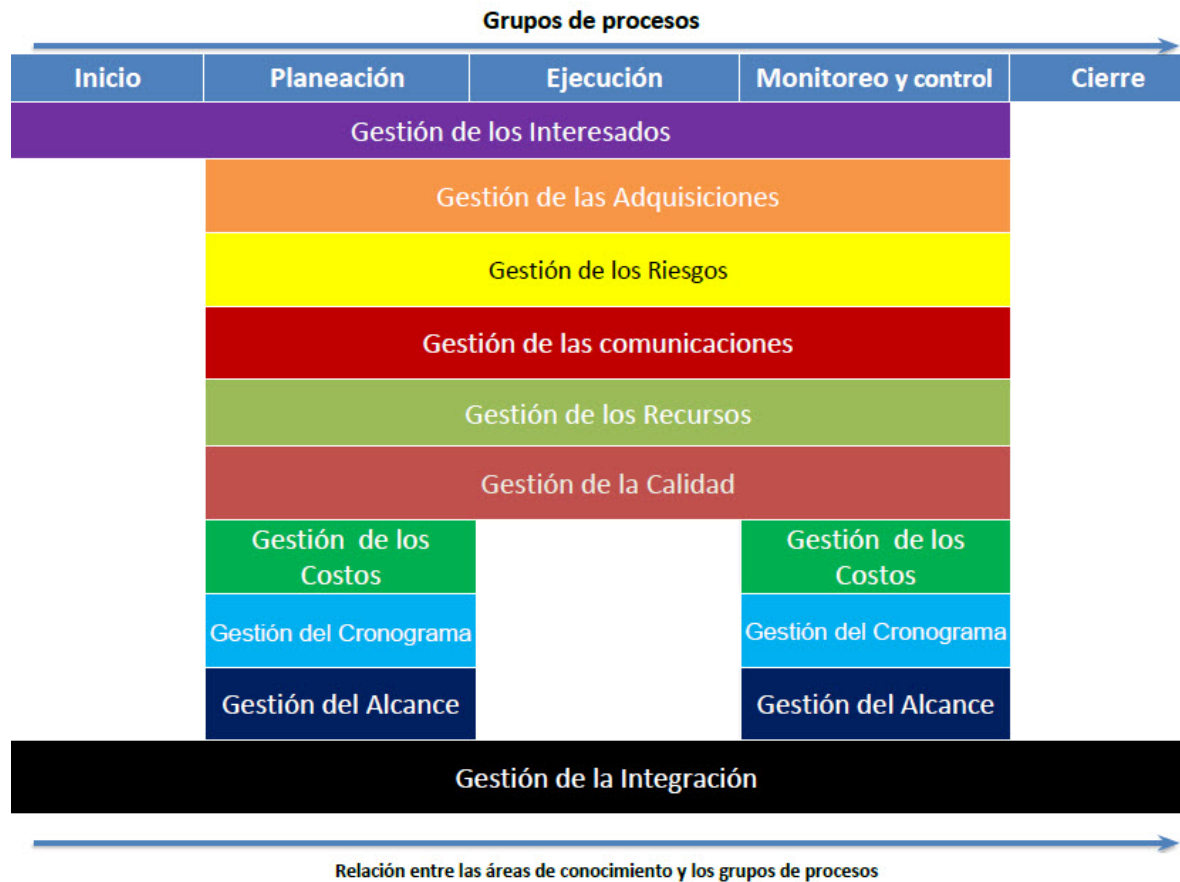
Figura 3-16. Grupo de procesos de la dirección de proyectos



Fuente: PMI, 2017.

A su vez, cada grupo de procesos está integrado por 10 áreas del conocimiento (PMI, 2017): (1) gestión de la integración del proyecto; (2) gestión del alcance del proyecto; (3) gestión del cronograma del proyecto; (4) gestión de los costos del proyecto; (5) gestión de la calidad del proyecto; (6) gestión de los recursos del proyecto; (7) gestión de las comunicaciones del proyecto; (8) gestión de los riesgos del proyecto; (9) gestión de las adquisiciones del proyecto; y (10) gestión de los interesados del proyecto. Estas áreas del conocimiento tienen procesos internos (49 en total) con elementos de entradas, herramientas y salidas, los cuales se convierten en entregables al final de cada tarea (PMI, 2017). Estas etapas se presentan en la figura 3-17.

Figura 3-17. Relación grupo de procesos y áreas del conocimiento de un proyecto



Fuente: PMI, 2017.

3.5.1 Gestión de los Riesgos

La gestión de los riesgos es un proceso reiterativo, el cual funciona a lo largo de los procesos de planeación, ejecución, monitoreo y control de un proyecto. Es una actividad de carácter obligatorio y va a depender de acuerdo con el alcance de cada proyecto, por lo tanto, es necesario tener claridad sobre lo que significa el término riesgo y su relación con los proyectos. Así, se entiende por riesgo como “evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más objetivos del proyecto” (PMI, 2017, p 725). En la implementación de sistemas de energía fotovoltaica, en operaciones de extracción de oro en Colombia, el análisis de riesgo se centra especialmente en criterios técnicos y económicos. Por riesgo técnico se hace referencia a los eventos negativos que se derivan del desarrollo de la actividad, los métodos y los procedimientos; estos se materializan cuando los estudios técnicos de factibilidad del proyecto resultan

incorrectos. Por riesgo económico se entienden los eventos negativos relacionados con el rendimiento de la inversión, debido a los cambios producidos en la situación económica del sector en el que opera la empresa.

Es importante resaltar que para identificar los riesgos que afectan un proyecto se puede acudir a diversas técnicas o herramientas que ayudan a determinarlos, entre éstas tenemos: registros de riesgos anteriores, experiencias de proyectos previos, literatura relacionada, investigaciones de mercado, modelos económicos, modelos ingenieriles, simulaciones, opiniones o juicios de expertos. También es importante anotar cuáles son las fuentes genéricas del riesgo, por ejemplo: relaciones comerciales y legales, circunstancias económicas, comportamiento humano (interacción de los interesados en el proyecto), eventos naturales, circunstancias políticas, aspectos de tipo técnico y tecnológico, y actividades individuales (Guerrero, 2013).

La guía del PMBOK (2017) plantea siete procesos (Figura 3-18), definidos en función de entradas, herramientas y técnicas y salidas. Estos procesos constituyen un enfoque sobre cómo gestionar los riesgos en la administración de proyectos

Figura 3-18. Descripción general de la gestión de los riesgos del proyecto

Plan Gestión de los Riesgos	Identificación Riesgos	Análisis Cualitativos de Riesgos	Análisis Cuantitativos de Riesgos	Planificación Respuesta a los Riesgos	Implementar la Respuesta a los Riesgos	Monitorear los Riesgos
<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto (Plan de gestión Alcance - Tiempo - Costos) Documentos del proyecto Activos de los procesos de la organización <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Técnicas analíticas Juicio de expertos Estructura de desglose de trabajo (EDT) <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan de gestión de riesgos 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto Documentos del proyecto Activos de los procesos de la organización <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Revisión a la documentación Técnicas de recopilación de información: DOFA, estructura de desglose de los riesgos (RBS) Juicio de expertos Categorización de riesgos <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Registro de riesgos Informe de riesgos 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto (Plan de gestión de los riesgos) Documentos del proyecto (Registro de los riesgos) Activos de los procesos de la Organización <p>Herramientas y Técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> Juicio de expertos Recopilación de datos (Entrevistas) Análisis de datos (Ponderación y priorización de los riesgos a partir de metodología multicriterio) <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Registro de los riesgos actualizados 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto (Plan de gestión de los riesgos/ Plan de gestión Alcance - Tiempo - Costos) Documentos del proyecto (Registro de los riesgos) Activos de los procesos de la Organización <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Juicio de expertos Recopilación de datos (Entrevistas) Análisis de datos (Técnicas de evaluación financiera) <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Registro de los riesgos actualizados 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto (Plan de gestión de los riesgos) Documentos del proyecto (Registro de los riesgos) Activos de los procesos de la Organización <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Juicio de expertos Recopilación de datos (Entrevistas) Análisis de datos (Matriz de administración de riesgos) <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Registro de los riesgos actualizados Actualización de documentos (Informe de riesgos) 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto Documentos del proyecto (Registro de riesgos, informe de riesgos) <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Juicio de expertos <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Solicitud de cambio Actualización de documentos (registro de riesgos, informe de riesgos) 	<p>Entradas</p> <ul style="list-style-type: none"> Plan para la dirección del proyecto (Plan de gestión de los riesgos) Documentos del proyecto (Registro de riesgos, informe de riesgos) <p>Herramientas y Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis de datos (Análisis de tendencias en la exposición al riesgo) <p>Salidas</p> <ul style="list-style-type: none"> Solicitud de cambio Actualizaciones al plan para la dirección del proyecto Actualizaciones a los documentos del proyecto (Registro de riesgos, informe de riesgos)

Fuente: PMI, 2017.

Estos procesos se describen a continuación, según las definiciones del PMI (2017, p. 395):

- Planificación de la gestión de los riesgos: se definen, planifican y ejecutan las actividades de gestión de los riesgos para un proyecto.
- Identificación de los riesgos: se determinan las posibles causas o eventos que pueden afectar el desarrollo del proyecto. Este proceso normalmente acompaña todo su ciclo de vida.
- Análisis cualitativos de los riesgos: se ponderan y priorizan los riesgos a partir de herramientas de toma de decisiones multicriterio.
- Análisis cuantitativos de los riesgos: se analiza numéricamente el efecto los riesgos encontrados en el proyecto, a partir de técnicas de evaluación financiera, entre otras.
- Planificación de la respuesta a los riesgos: se desarrolla un plan de respuestas a los riesgos encontrados en el proyecto. Para planear la respuesta a los riesgos, se deben tener consideraciones en el alcance, costo y tiempo.
- Implementar respuesta a los riesgos: se ejecutan estrategias y actualizaciones del plan del proyecto para evaluar su efectividad a lo largo de la duración de este.
- Monitorear los riesgos: Se realiza un seguimiento a estos, se identifican nuevos riesgos y tendencias a la exposición al riesgo.

3.5.2 Técnicas y Herramientas

Respecto a establecer qué técnica o herramienta en la gestión de riesgos es la más conveniente a utilizar, Taroun (2014), a través de una aproximación a la literatura, encontró que muchos diseños se apoyan en la experiencia y en el juicio subjetivo del investigador. Además, las herramientas cuantitativas son muy limitadas en referencia a este propósito, debido a la poca comprensión y a la falta de experiencia a la hora de aplicar estos métodos (Shen, 1997).

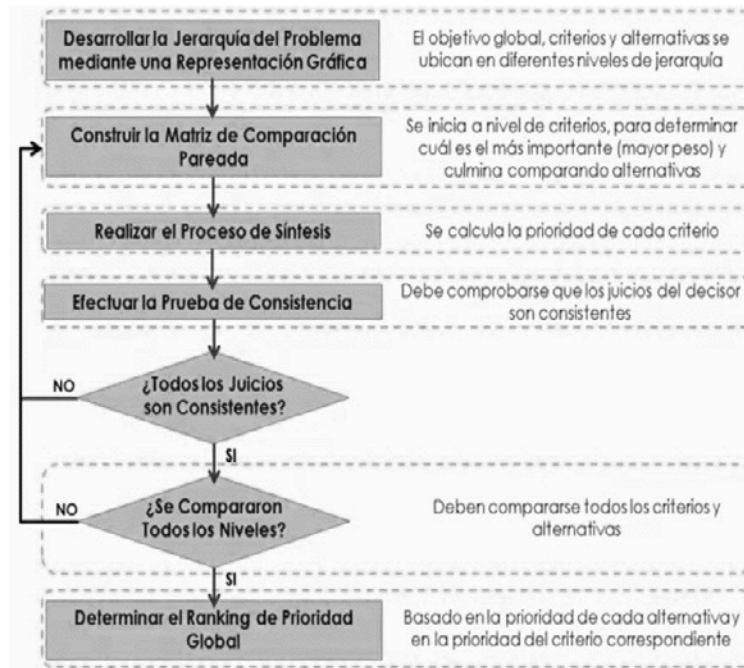
Por su parte, Baker y Smith (1998) en el análisis de riesgos cualitativos y cuantitativos en la industria del petróleo y gas, enfatizaron que el uso de las metodologías cualitativas tenía en cuenta los criterios personales y las experiencias, siendo éstas las técnicas más utilizadas y exitosas en estas industrias. De otro lado, las técnicas cuantitativas más

utilizadas para la toma de decisiones se relacionaron con el riesgo financiero, siendo el análisis de sensibilidad, valor monetario esperado (EMV), análisis de equilibrio, y análisis de escenarios

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó la técnica llamada Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), método propuesto por el profesor Thomas Saaty de la Universidad de Pittsburg, a finales de la década de los 70. Este método tiene como finalidad abordar el análisis en la toma de decisiones, mediante juicios alrededor de un problema de decisión. Según Saaty (1987), a partir de la descomposición de problemas complejos en componentes, se crean estructuras jerárquicas de las que se obtienen valores numéricos asociados a los juicios o preferencias del decisor. Finalmente, estos valores se sintetizan para determinar qué variable tiene la prioridad más alta (figura 3-19).

La metodología AHP propone una forma de clasificar el pensamiento analítico, incluyendo tres principios básicos: el principio de construir jerarquías, el principio de prioridad y el principio de consistencia lógica (Guerrero-Liquet et al., 2015).

Figura 3-19. Estructuración proceso de análisis jerárquico –AHP-



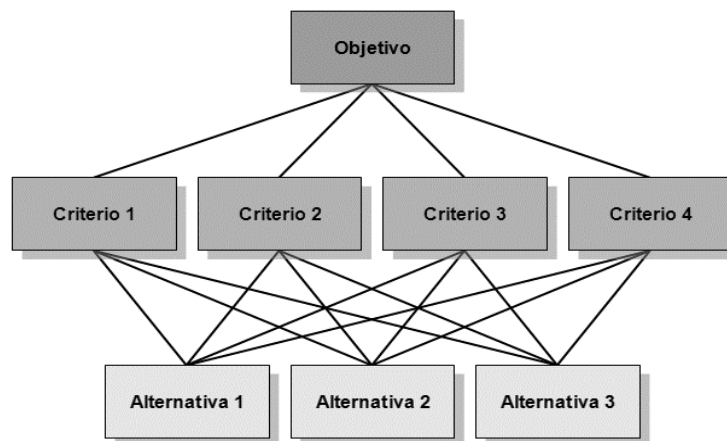
Fuente: Pronacose, 2014.

Este proceso se compone de los siguientes axiomas (Toskano, 2005):

- Reciprocidad, la persona que toma las decisiones debe realizar comparaciones y establecer preferencias, las cuales deben ser recíprocas, es decir, si A es x veces más importante que B, entonces B es $1/x$ veces más importante que A.
- Homogeneidad, los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud y jerarquía.
- Independencia, se asume que los criterios son independientes de las alternativas cuando se realizan las comparaciones.
- Expectativas, estas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas al momento de la toma de la decisión.

Para la estructuración de este modelo, se debe descomponer un problema en partes, a partir de un árbol de jerarquías (ver figura 3-20).

Figura 3-20. Desarrollo de jerarquías



Fuente: Adaptado de Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012)

Posteriormente, se procede con un proceso de toma de decisiones mediante evaluaciones subjetivas. Se compara entonces la importancia relativa de los criterios analizados (¿Es el criterio 1 igual o más importante que el criterio 2?) y se especifica su preferencia respecto a las alternativas presentadas. (Con relación al criterio 1, ¿Es la alternativa 1 igual o más importante que la alternativa 2?) de acuerdo con la calificación o escala de Satty (tabla 3-2). Allí se establecen prioridades y se emiten juicios.

Tabla 3-2. Escala de Saaty y Fuente:

Valor	Escala verbal (AHP)	Comentarios
1	Igual importancia	A y B tienen la misma importancia
3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
5	Importancia fuerte	A es más importante que B
7	Importancia muy fuerte	A es mucho más importante que B
9	Extrema importancia	A es extremadamente más importante que B
2,4,6,8	Valores intermedios	Valores intermedios

Adaptado de Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012)

Realizada las comparaciones de cada uno los criterios, se genera una matriz y se procede a hallar el vector prioridad de los criterios (calificación de criterios-ecuación 1) de la siguiente manera: (1) se suman los valores de cada columna de la matriz de comparaciones; (2) se normalizan estos valores, para ello, se divide cada elemento de la matriz entre el valor total de cada columna; y (3) se promedian las filas de cada uno de estos valores normalizados (ecuación 1) (Toskano, 2005).

$$R = \begin{matrix}
 \begin{matrix}
 \text{Matriz } A \\
 \begin{pmatrix}
 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\
 r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1
 \end{pmatrix} \\
 \text{Columna } r1 & r2 & \dots & rN
 \end{matrix}
 &
 \begin{matrix}
 \text{Matriz Normalizada} \\
 \begin{pmatrix}
 1/r1 & r_{12}/r2 & \dots & r_{1n}/rN \\
 r_{21}/r1 & 1/r2 & \dots & r_{2n}/rN \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 r_{n1}/r1 & r_{n2}/r2 & \dots & 1/rN
 \end{pmatrix}
 \end{matrix}
 &
 \begin{matrix}
 \text{Vector Prioridad Criterios (B)} \\
 \begin{matrix}
 p_{c11} \\
 p_{c12} \\
 \vdots \\
 p_{cn}
 \end{matrix}
 \end{matrix}
 \end{matrix}
 \tag{1}$$

De la misma manera, se procede a calcular el vector de las alternativas, por lo tanto, se construye nuevamente una matriz de prioridades, en donde todas las alternativas se comparan en entre sí en función de cada uno de los criterios especificados para el proyecto y se sigue con el proceso anterior (ecuación 2).

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \text{Criterio } m \\
 \text{Alternativa 1} \\
 \text{Alternativa 2} \\
 \dots \\
 \text{Alternativa } n
 \end{array}
 \left(
 \begin{array}{cccc}
 \mathbf{1} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & \mathbf{1} & \dots & P_{2m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & \mathbf{1}
 \end{array}
 \right)
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{Matriz Normalizada} \\
 1/P1 \quad p_{12}/P2 \quad \dots \quad p_{1n}/PN \\
 p_{21}/P1 \quad 1/P2 \quad \dots \quad p_{2n}/PN \\
 \dots \\
 p_{n1}/P1 \quad p_{n2}/P2 \quad \dots \quad 1/PN
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{Vector Alternativas} \\
 p_{11} \\
 p_{21} \\
 \vdots \\
 p_{n1}
 \end{array}
 \end{array}
 \quad (2)$$

$\Sigma \text{ Columna} \quad P1 \quad P2 \quad \dots \quad PN$

Finalmente, para hallar la matriz de prioridades globales se multiplica el vector de la matriz alternativas con el vector de prioridades de los criterios (ecuación 3).

$$\begin{array}{c}
 \text{Matriz} \\
 \text{Vector} \\
 \text{Alternativas}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \text{Vector} \\
 \text{prioridad} \\
 \text{Criterio}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{Prioridad} \\
 \text{Global}
 \end{array}
 \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix}
 P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\
 P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm}
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 P_{c11} \\
 P_{c12} \\
 \vdots \\
 P_{c1n}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 P'_{11} \\
 P'_{12} \\
 \vdots \\
 P'_{1n}
 \end{pmatrix}$$

Para evitar que haya errores o inconsistencias en la calificación de las matrices, es necesario determinar la razón de consistencia (RC) (ecuación 4); esta razón, la hallamos dividiendo el índice de consistencia (IC) sobre el índice de consistencia aleatoria (IA).

$$\mathbf{RC} = \frac{\mathbf{IC}}{\mathbf{IA}} \quad (4)$$

El IC se calcula de la siguiente manera (ecuación 5): λ max: Autovalor principal y n: Dimensionamiento de la matriz.

$$\mathbf{IC} = \frac{\lambda \text{ max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

Para hallar λ max se debe: (1) multiplicar la matriz original A por el vector de criterios (B); de esta operación se obtiene un nuevo vector (C); (2) se suman las cifras dadas por el vector c; y finalmente, se tiene λ max. (ecuación 6) (Toskano, 2005).

$$\begin{matrix}
 & \text{Matriz A} & & \text{Vector} & & \text{Vector C} \\
 & & & \text{Prioridad} & & \\
 & & & \text{Criterios B} & & \\
 \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} & & \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \vdots \\ p_{cn1} \end{pmatrix} & = & \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \dots \\ H_n \end{pmatrix} & (6) \\
 & & \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\Sigma \text{ Columna}} & & \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{\lambda} &
 \end{matrix}$$

El IA, tabla 4, “es el índice de consistencia de una matriz de comparaciones pareadas generada en forma aleatoria” (Toskano, 2005, p. 32); este depende del número de elementos de la matriz. Si es una matriz de 3 por 3, entonces n= 3; este valor se puede sacar por medio de la tabla 3-3.

Tabla 3-3. Índice de consistencia aleatoria –IA-

Nº de Elementos que se comparan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio de Consistencia (IA)	0	0	0.58	0.89	1.11	1.24	1.32	1.40	1.45	1.49

Fuente Toskano, 2005.

Otro método para hallar el IA es mediante la siguiente ecuación, siendo n el número de elementos de la matriz (ecuación 7).

$$IA = \frac{1,98 (n - 2)}{n} \tag{7}$$

Finalmente, ya calculados estos valores, se procede a hallar el IC, el IA y finalmente, la RC. La razón de consistencia indica qué valores por encima de 0,10 son señal de juicios inconsistentes. Si se llega a obtener este valor, es necesario que el decisor revise nuevamente las evaluaciones realizadas en la matriz de comparaciones original. Para valores menores a 0,10, se considera que el juicio es sólido (Toskano, 2005). Para RC≤ 0.10: Consistencia Razonable; RC> 0.10: Inconsistencia.

El AHP logra combinar todos los juicios emitidos como un todo, generando una lista de prioridades globales, creadas a partir de criterios individuales, siendo esto de bastante utilidad a la hora de tomar decisiones para el desarrollo de todo tipo de proyectos.

4. Diseño Metodológico

4.1 Métodos y procedimientos

La estructura metodológica desarrollada para este estudio tuvo en cuenta el planteamiento definido por Álvarez (2006) y por Hernández, Fernández & Baptista (2014) donde brindan elementos de apoyo metodológicos para realizar esta investigación, entre ellos tenemos

- Tipo de estudio - Exploratorio, Descriptivos y explicativo
- Métodos de investigación -Cualitativo, cuantitativo, mixto
- Fuentes y técnicas de recolección de información: Primarias (Observación, encuestas, cuestionarios, entrevistas, sondeos) y secundarias (Textos, revistas, documentos, prensa, otros)

Los elementos del diseño metodológico fueron planteados teniendo en cuenta los objetivos trazados en la investigación; a continuación, se enlista estos elementos de acuerdo con el enfoque, procedimientos y herramientas implementadas para obtener los datos que permiten alcanzar los objetivos propuestos.

Tipo de estudio

El tipo de estudio desarrollado para este proyecto es de tipo descriptivo, ya que busca la caracterización del objetivo de estudio, de tal manera que se construye una visión apropiada de sus componentes, elementos y características del problema de (Álvarez, 2006; Hernández et al, 2014)); este proyecto pretende diseñar una metodología que diagnostique el riesgo a partir de criterios técnico y económicos, siguiendo los

lineamientos dictados por el PMI, por lo tanto se está caracterizando la gestión de riesgos, a partir de una serie de categorías establecidas, describiendo las problemáticas del sector analizado.

Métodos de investigación

Existen 2 enfoques de investigación cualitativos y cuantitativos (Hernández et al, 2014). El enfoque cualitativo es inductivo, es definido por la interpretación, el subjetivismo, no se fundamenta en estadística, hace planteamientos más abiertos que van enfocándose, presenta una amplia riqueza interpretativa, no presenta una secuencia lineal; el enfoque cuantitativo es deductivo, secuencial, mide fenómenos, aborda el proceso de investigación a partir de una perspectiva formal, estructurada y estandarizada apoyada en la estadística y planeamiento de hipótesis y teoría (Álvarez, 2006)

Para este proyecto el enfoque cualitativo fue de gran utilidad ya que contextualiza el fenómeno investigado y lo analiza a profundidad; el enfoque cuantitativo es útil cuando se sustentan los resultados obtenidos en campo con el análisis estadístico (Neuman, 2014). El enfoque mixto abarca el tema de estudio mediante técnicas de investigación que pertenecen tanto al enfoque cualitativo y cuantitativo (Neuman, 2014); este enfoque es determinante en la adquisición de la información y construcción de conocimientos, la ventaja de este enfoque es que los resultados obtenidos a través de técnicas cualitativas se constatan o se complementan por medio de las técnicas cuantitativas y viceversa (Hernández et al, 2014)

La investigación llevada a cabo tiene un enfoque mixto, dado que el proceso que conlleva la identificación de los riesgos que afectan la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro tiene un enfoque cualitativo, pues para llegar a estos resultados se siguió un proceso inductivo, recurrente y los análisis realizados se hizo a partir de múltiples realidades subjetivas (Hernández et al, 2014)); en la priorización de la incidencia de cada tipo de riesgo en las fases del proyecto mediante el método de decisión multicriterio (AHP) conlleva un desarrollo cuantitativo en sus análisis, ya que presenta un soporte matemático que evalúa aspectos intangibles como el riesgo y los prioriza de manera sistemática.

Fuentes y técnicas de recolección de información

Para la construcción del objetivo general y objetivos específicos de este proyecto, la investigación llevada a cabo se apoyó en el uso de fuentes primarias como secundarias; En la construcción del marco teórico y referencial se acudió el uso de fuentes secundarias, de esta manera se pudo identificar los proyectos fotovoltaicos que actualmente están en desarrollo en Colombia, los costos nivelados de energía y su potencial energético en el país, caracterización de proyectos mineros relacionados con extracción de oro y los costos asociados a su producción, así como la gestión e identificación de los riesgos que afectan proyectos de similares características al objeto de estudio; para obtener esta información se acudió a la revisión estructurada de documentos relacionados a proyectos de carácter energético, artículos académicos, libros, tesis, páginas web, textos, artículos de prensa entre otros.

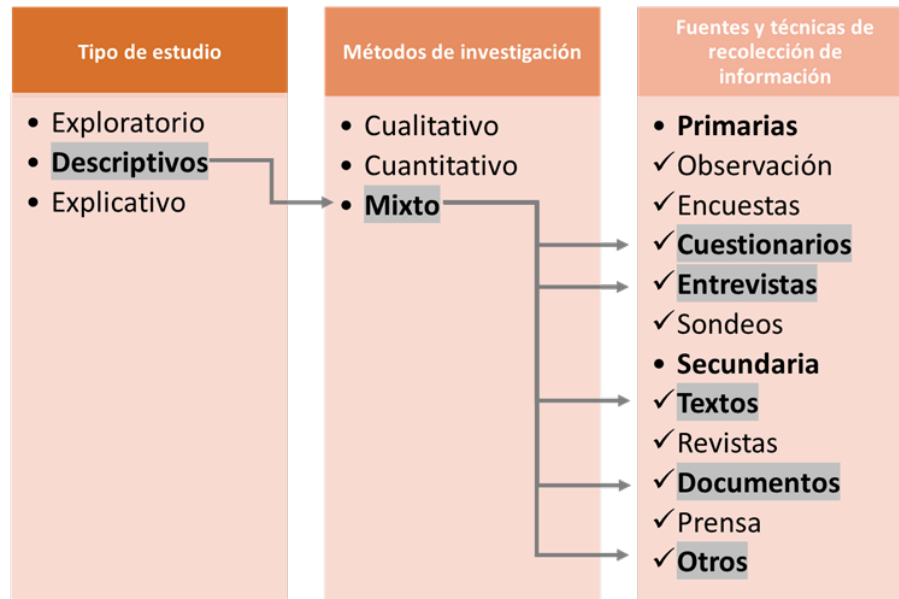
Las fuentes primarias fueron utilizadas en la recolección de datos de carácter cualitativo y cuantitativo; para los primeros, se apoyó en técnicas de recolección de información tales como, lluvia de ideas, cuestionarios y entrevistas semi estructuradas, donde se realizaron preguntas abiertas permitiendo recoger datos de una manera ordenada, sistemática y posibilita la discusión abierta con los expertos (Hernández et al 2014).

El análisis de datos cuantitativos se obtuvo a partir de los resultados entregados por el proceso de análisis jerárquico (AHP), este procedimiento convierte las evaluaciones subjetivas en valores numéricos, obtenido un vector de prioridades (en este caso los riesgos identificados) el cual se genera a partir de un proceso de normalización de matrices

Diseño metodológico

A continuación, se representa el esquema metodológico planteado en la sección anterior

Figura 4-1. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Modelo metodológico

La metodología para diagnosticar el riesgo propuesta en esta investigación se fundamentó en estudios relacionados con la gestión del riesgo PMBOK (2017), el modelo metodológico describe un paso a paso de las mejores prácticas con la finalidad de identificar, evaluar y planificar los riesgos que afectan el proyecto de implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia. Es importante resaltar que, dependiendo de la complejidad y tamaño del proyecto, al momento de diseñar una metodología diagnóstico se deben tener en cuenta los siguientes elementos de un plan de gestión del riesgo. PMI (2017, p. 442):

- Estrategia de riesgos (enfoque general de la gestión de riesgos del proyecto).
- Metodología (enfoque, herramientas y fuente de datos utilizados en la gestión de riesgos del proyecto).
- Roles y responsabilidades.

- Financiamiento (identifica los fondos necesarios para realizar actividades relacionadas con la gestión de riesgos del proyecto).
- Calendario (define cuando y la frecuencia para realizar actividades relacionadas con la gestión de riesgos del proyecto, actividades en la gestión de riesgos incluidos en el cronograma del proyecto).
- Categoría de los riesgos (agrupar riesgos individuales del proyecto a partir de una estructura de desglose de riesgos -RBS, sirve para identificar y categorizar los riesgos).
- Herramientas de gestión de riesgos y pautas para su uso (Nombre, descripción).
- Documentos (Plantillas, uso, reglas de distribución).

Para una mejor conceptualización del modelo metodológico, se ha dividido en 2 secciones, la primera sección se titula *Implementación Modelo Metodológico e Identificación de los Riesgos*, se conforma por revisión bibliográfica, descripción del proyecto, alcance y objetivos de la gestión de riesgos, caracterización de la gestión de riesgos, la otra sección *Aplicación Modelo Metodológico para la Evaluación y Plan de Manejo de los Riesgos*, conformado por evaluación de los riesgos y plan de manejo de los riesgos

La figura 4.2 se presenta un esquema del modelo metodológico:

- **Revisión Bibliográfica:** revisión sistemática de artículos publicados, libros y tesis, reuniones con expertos, entrevistas no estructuradas, entre otras fuentes. Todo esto con el fin de tener bases técnicas con las cuales se pudiera apoyar el desarrollo del proyecto y así, establecer mejores prácticas que permitan construir una metodología para diagnosticar los riesgos en proyectos fotovoltaicos siguiendo los lineamientos dictados por el PMI a través de su guía de fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK, 2017).
- **Descripción del Proyecto:** en primer lugar, definir el alcance y los objetivos del proyecto; determinar cronograma de actividades; y estimar costos del proyecto (costos instalaciones fotovoltaicas, costos energéticos asociados con la producción de oro). En segundo lugar, establecer plan de gestión de alcance-tiempo-costos, y generar una estructura de descomposición del trabajo (EDT).

- **Alcance y Objetivos de la Gestión de los Riesgos:** identificar los factores que afectan el alcance, el tiempo y el costo del proyecto a partir de revisión bibliográfica; reuniones con expertos; lluvia de ideas; entrevistas no estructuradas; revisión de riesgos en proyectos similares; construir una matriz DOFA; y examinar en conjunto las amenazas/ oportunidades y debilidades/fortalezas que intervienen en el proyecto.
- **Caracterización de la Gestión de los Riesgos:** identificar los riesgos clasificándolos en categorías y subcategorías, definiendo la fuente del riesgo a partir de los conceptos de expertos que se han desempeñado en este tipo de proyectos. En adición, se determina el origen de éstos y se elabora una estructura de desglose de los riesgos (RBS) para lograr este objetivo.
- **Evaluación de los Riesgos:** A partir de técnicas de evaluación cualitativas y cuantitativas se hace una ponderación y priorización de los riesgos en el proyecto, para lograr este objetivo es frecuente el uso de técnicas y técnicas que se apoyan en la experiencia y en el juicio subjetivo del investigador. Esta metodología toma especial relevancia, dado que evalúa aspectos intangibles como el riesgo, y ayuda a priorizar de manera sistemática los riesgos que pueden llegar a afectar un proyecto. Para este caso en particular, la elección de la metodología de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) ya que presenta un soporte matemático válido; el análisis de los problemas se hacen a partir de la descomposición y el desglose de los mismos; mide criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala en común; a partir de índices de inconsistencias se pueden verificar errores en el desarrollo de las evaluaciones, lo que facilita hacer las correcciones que sean del caso; es de fácil uso; sexto, permite que personas o grupos de interés participen; y, por último, los resultados se pueden complementar con otros métodos matemáticos de optimización (Toskano, 2005). Es importante resaltar que la aplicación de metodologías cualitativas tiene en cuenta el juicio subjetivo y las experiencias del investigador. Por su parte, la técnica de evaluación financiera utilizada para la toma de decisiones relacionada con este proyecto toma el Valor Presente Neto (VPN) a partir de los flujos financieros dados por la empresa. Es

importante tener en cuenta que el criterio de decisión para decidir implementar en un proyecto es $VPN > 0$.

- **Plan de Manejo de los Riesgos:** después de identificar, ponderar y priorizar los riesgos que afectan al proyecto, se procede a preparar planes de acción con el propósito de mejorar las posibilidades de éxito del proyecto. Así pues, es necesario tener en cuenta 3 elementos en este proceso: personas, planeación y análisis. Las personas tendrán a su cargo las comunicaciones, definir roles y responsabilidades; planificar acciones, haciendo seguimiento y control, especificando tiempo de respuestas, planeando recursos, presupuestos, etc.; Análisis para estar al tanto de cambios en el alcance, en el tiempo y en el costo del proyecto, abordar la interacción del riesgo y las respuestas a estos, estas acciones contingentes deben realizarse en el momento apropiado para no afectar de manera significativa el objetivo del proyecto (PMI, 2017). Para este propósito, se elabora una matriz de administración de los riesgos del proyecto con los resultados obtenidos. Por último, se discuten los resultados y se plantean las respectivas recomendaciones.

Figura 4-2. Fases modelo metodológico



Fuente:

Elaboración

propia.

5. Implementación Modelo Metodológico e Identificación de los Riesgos

El plan de gestión de riesgos desarrollado para este proyecto tiene como fin establecer un modelo metodológico para diagnosticar los riesgos tomando en consideración criterios técnicos y económicos, y así, determinar qué riesgos tienen más incidencia en el éxito del proyecto, para proceder luego con la optimización en la toma de decisiones.

5.1 Descripción del Proyecto

5.1.1 Gestión del alcance

- **Objetivo del proyecto:** abastecer energéticamente, a partir de la implementación de instalaciones fotovoltaicas, las operaciones relacionadas con la extracción de oro, con el fin de disminuir los costos relacionados con el consumo energía eléctrica y de combustibles (diésel, gasolina, entre otros).

- **Evaluación del proyecto:** viabilidad técnica y económica de una instalación solar fotovoltaica para la Compañía Minera CVI Gold que operará en la mina de Aguacate, ubicada en la vereda Chambimbe, perteneciente al municipio de Buenos Aires (Cauca), situada a 115 km de Popayán, Colombia. En total se contempla la instalación de 1.950 módulos fotovoltaicos de 315 Wp, los cuales representan una potencia total instalada de 614,25 kW. La instalación y puesta en marcha del proyecto tendrá una duración total de 14 semanas; con la instalación de estos equipos se espera obtener un ahorro energético medio anual de 1.187 MWh.

El precio total para la instalación será de \$4.150'354.078 (COP)¹, lo cual supone un coste específico de \$6.746, COP/Wp. El proyecto abarcará una superficie de 3.776 m² y producirá energía eléctrica para abastecer necesidades propias de la operación de extracción de oro, con el fin de disminuir costos relacionados al consumo energía eléctrica y de combustibles (diésel, gasolina, entre otros) de los equipos, los cuales ascienden anualmente a \$890'619.760 COP. Cabe agregar que el consumo diario del equipo es de 5.480 kWh, estables a lo largo del año. En la tabla 5-1 se estima el consumo total de la planta en de unos 2.000 MWh anuales.

Tabla 5-1. Consumo energético anual equipo minero

Mes	Total (kwh)
Enero	169.899
Febrero	153.457
Marzo	169.899
Abril	164.418
Mayo	169.899
Junio	164.418
Julio	169.899
Agosto	169.899
Septiembre	164.418
Octubre	169.899
Noviembre	164.418
Diciembre	169.899
Total	2.000.422

Fuente: Soluciones North Line, 2017.

Esto se ha estimado con base en los datos técnicos de los equipos que componen las instalaciones de la planta y la mina, teniendo en cuenta que funcionan durante 24 horas al día. A partir de la información suministrada por la empresa Soluciones North Line, se estimó el precio kWh eléctrico en \$445,29 (COP). A Los consumos mensuales se les aplican la tarifa correspondiente según la tabla 5-2, obteniendo así el consumo eléctrico de la empresa en euros. El gasto anual por concepto de consumo eléctrico es de \$890'619.760 (COP).

¹ La información económica del proyecto se tomó en base a la cotización realizada por la empresa North Line, por cuestiones de confidencialidad esta información no puede ser anexada al informe final, pero en caso de ser requerida se podrá presentar en la sustentación final.

Tabla 5-2. Costo consumo anual equipo minero (kWh)

Mes	Total (cop)
Enero	75.653.876
Febrero	68.331.650
Marzo	75.653.876
Abril	73.211.992
Mayo	75.653.876
Junio	73.075.000
Julio	75.653.876
Agosto	75.653.876
Septiembre	73.211.992
Octubre	75.653.876
Noviembre	73.211.992
Diciembre	75.653.876
Total	890.619.760

Fuente: Soluciones North Line, 2017.

- **Localización del proyecto:** El proyecto solar fotovoltaica se localizará en la mina el Aguacate, ubicada en la vereda Chambimbe, perteneciente al municipio de Buenos Aires (Cauca), situada a 115 km de Popayán, Colombia. (Latitud 3,013 / Longitud -76,608) (ver figura 5.1). Por la ubicación del proyecto, no existe la infraestructura necesaria para que los equipos involucrados en la operación minera puedan conectarse directamente a la red y que ésta provea la energía necesaria para sus operaciones diarias.

Figura 5-1. Localización instalación solar fotovoltaica

Fuente: Google Maps, 2018.

De acuerdo con la localización se pudo establecer un promedio de 4,4 kWh/m²/de distribución de radiación espacial-temporal, la cual se describe en la tabla 5-3.

Tabla 5-3. Costo consumo anual equipo minero (kWh)

Mes	Radiación solar kWh/m ² /d	Temperatura °C
Enero	4,06	20,9
Febrero	4,28	21,4
Marzo	4,37	21,6
Abril	4,21	21,6
Mayo	4,1	21,4
Junio	4,05	21,3
Julio	4,34	22,3
Agosto	4,31	23,6
Septiembre	4,26	23,4
Octubre	3,99	22,1
Noviembre	3,89	20,9
Diciembre	3,82	20,7
Promedio Anual	4,14	21,8

Fuente: Atmospheric Science Data Center, 2018.

- **Descripción sistema fotovoltaico:** A continuación, se presenta un resumen de las características, la producción y el consumo del sistema de energía fotovoltaica (tabla 5-4).

Tabla 5-4. Características planta solar fotovoltaica

Descripción	Valores
Número de inversores en la planta	15 (trifásicos)
Número de módulos instalados	1950
Potencia unitaria del inversor (kw)	36
Potencia unitaria del módulo (wp)	315
Potencia pico instalada de los módulos (kwp)	614
Potencia Nominal instalada de los inversores (kw)	540
Superficie total mt ²	3.776,06
Horas equivalentes	1933,88
Producción de energía (kwh/año)	1'187.888
Eficiencia de la planta (pr)	98.3%

Fuente: Soluciones North Line, 2017.

5.1.2 Gestión de los costos

Para determinar el costo de los equipos se tomó como referencia la cotización dada por la empresa North Line. Se señala que el proyecto fotovoltaico no dará excedentes a la red. Por lo tanto, se omiten costos de interconexión a la red, cargos de ley o ítems relacionados con la comercialización de energía. Los precios presentados no incluyen IVA ni beneficios de la ley 1715 del 2014.

El proyecto presenta una inversión inicial (CAPEX) \$ 4.150'354.112 (COP) (5.137 COP/Wp de coste instalación), la cual incluye obras civiles *-estructuras e instalación-*, equipo *-suministro e instalación-*, costos indirectos, comisiones, imprevistos e investigaciones sobre inversiones ambientales. El OPEX es de \$10'518.423 COP/año e incluye las actividades de operación y de mantenimiento, tales como la operación de la planta, la gestión y el suministro del mantenimiento correctivo, repuestos y control de inventarios-stock. En sistemas fotovoltaicos no se consideran costos variables de mantenimiento, por lo que no aplican para el presente estudio. Dentro del análisis económico del proyecto se calculan los ingresos estimados por ahorro de energía y se evalúan financiamiento propio y préstamo para financiar el proyecto.

- **Ahorro esperado:** en la tabla 5-5 se presenta la producción esperada por la instalación fotovoltaica y el porcentaje de ahorro con respecto al consumo de cada mes y al consumo

anual en kWh. En este punto se realiza una aproximación del consumo de la empresa durante las horas en las que la instalación fotovoltaica generará energía, puesto que se ha estimado un consumo constante durante las 24 horas del día. La estimación del consumo diurno se llevará a cabo considerando las horas de sol. Así, se tiene un ahorro anual de 1'187.888 MWh, es decir, un 97,74% respecto a los kWh facturados. A continuación, se llevan estas cantidades a euros, aplicando las tarifas en horario solar anteriormente calculadas. Precio kWh eléctrico: \$445,29 (COP).

Tabla 5-5.
Producción,
ahorro kWh
instalación
fotovoltaica

Mes	Producción (kwh)	Consumo diurno (kwh)	Ahorro Consumo
Enero	103.646	106.187	97,61%
Febrero	96.201	95.910	100,30%
Marzo	106.173	106.187	99,99%
Abril	97.147	102.761	94,54%
Mayo	94.659	99.107	95,51%
Junio	87.150	95.910	90,87%
Julio	90.885	99.107	91,70%
Agosto	99.100	99.107	99,99%
Septiembre	102.606	95.910	106,98%
Octubre	107.399	106.187	101,14%
Noviembre	101.872	102.761	99,13%
Diciembre	101.050	106.187	95,16%
Año	1.187.888	1.215.321	97,74%

consumo y
la

Fuente: Soluciones North Line, 2017.

De acuerdo con la información anterior, se muestra que el ahorro final anual es de \$528'950.394 COP (Tabla 5-6)

Tabla 5-6. Producción, consumo y ahorro \$ COP la instalación fotovoltaica

Mes	Producción (cop)	Consumo diurno (cop)	Ahorro Consumo
Enero	46.152.632	47.282.816	97,61%
Febrero	42.837.423	42.707.281	100,30%
Marzo	47.275.967	47.282.816	99,99%
Abril	43.258.674	45.758.780	94,54%
Mayo	42.149.038	44.131.999	95,51%
Junio	38.806.431	42.707.281	90,87%
Julio	40.470.885	44.131.999	91,70%
Agosto	44.128.574	44.131.999	99,99%
Septiembre	45.690.283	42.707.281	106,98%
Octubre	47.823.935	47.282.816	101,14%
Noviembre	45.361.502	45.758.780	99,13%
Diciembre	44.995.049	47.282.816	95,16%
Año	528.950.394	541.166.663	97,74%

Fuente: Soluciones North Line, 2017.

5.1.3 Gestión del cronograma

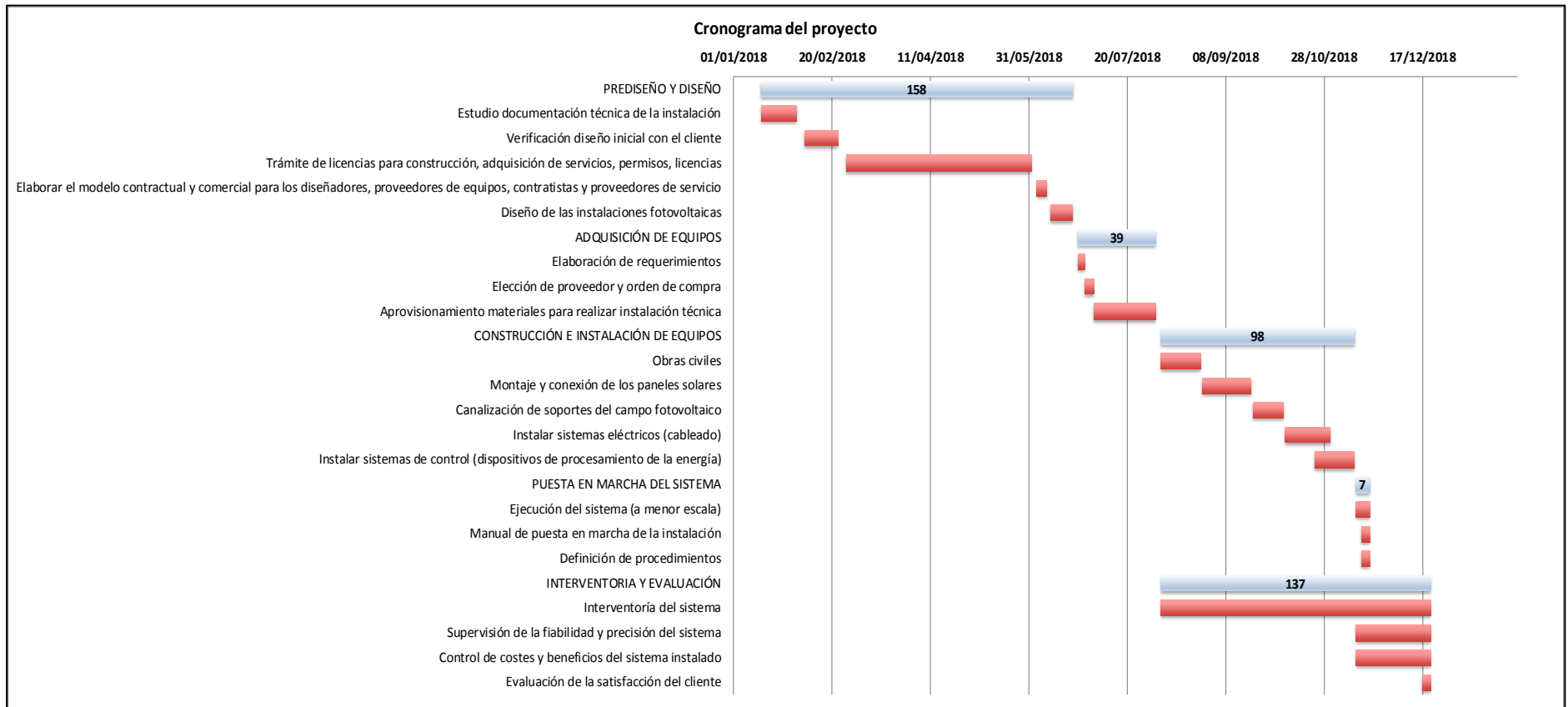
Estas actividades involucran las fases de prediseño y diseño (5,2 meses), la adquisición de equipos (1,3 meses), la construcción instalación de equipos (3,2 meses), la puesta en marcha del sistema (0,2 meses), la interventoría y la evaluación. (4,5 meses) (tabla 5-7 y figura 5-2).

Tabla 5-7. Cronograma de actividades

Actividad	Duración (días)
PRE-DISEÑO Y DISEÑO	158
Estudio documentación técnica de la instalación	18
Verificación diseño inicial con el cliente	17
Trámite de licencias para construcción, adquisición de servicios, permisos, licencias	94
Elaborar el modelo contractual y comercial para los diseñadores, proveedores de equipos, contratistas y proveedores de servicio	5
Diseño de las instalaciones fotovoltaicas	11
ADQUISICIÓN DE EQUIPOS	39
Elaboración de requerimientos	3
Elección de proveedor y orden de compra	5
Aprovisionamientos materiales para realizar instalación técnica	31
CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS	98
Obras civiles	20
Montaje y conexión de los paneles solares	25
Canalización de soportes del campo fotovoltaico	15
Instalar sistemas eléctricos (cableado)	23
Instalar sistemas de control (dispositivos de procesamiento de la energía)	20
PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	7
Ejecución del sistema (a menor escala)	7
Manual de puesta en marcha de la instalación	4
Definición de procedimientos	4
INTERVENTORÍA Y EVALUACIÓN	137
Interventoría del sistema	137
Supervisión de la fiabilidad y precisión del sistema	38
Control de costes y beneficios del sistema instalado	38
Evaluación de la satisfacción del cliente	4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2. Diagrama de Gantt, cronograma de actividades



Fuente:

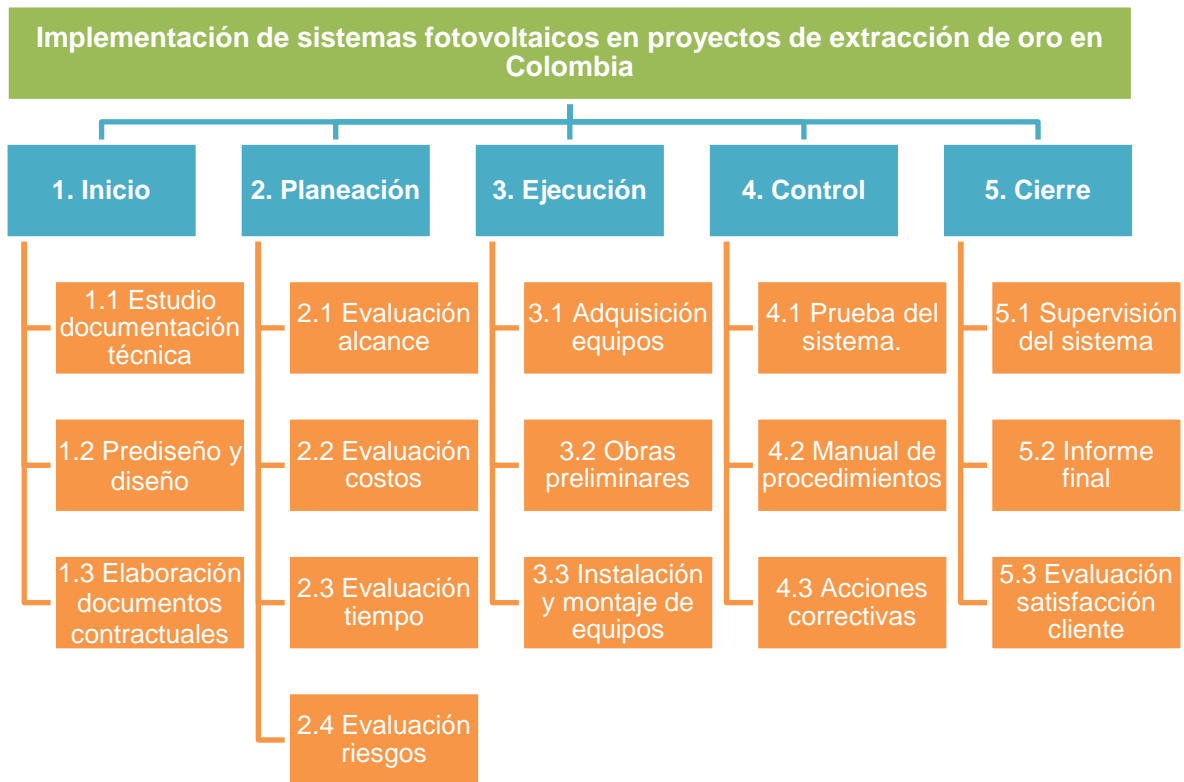
Elaboración

propia

5.1.4 EDT del proyecto

En la siguiente figura se muestra la EDT para el proyecto de implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia (figura 5-3).

Figura 5-3. EDT del proyecto



Fuente: Elaboración propia

5.2 Alcance y Objetivos de la Gestión de los Riesgos

El alcance de la gestión de los riesgos, en la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia, pretende (planificar) llevar a cabo procesos que tengan como finalidad identificar y categorizar los riesgos, analizarlos de manera cualitativa y cuantitativa, y, por último, planificar una respuesta apropiada hacia aquellos que afecten el proyecto. Consecuentemente, el objetivo de la gestión de los riesgos en el

proyecto está en identificar las causas de los riesgos a partir de herramientas y técnicas estructuradas, lo que se soporta en la experiencia y en el juicio subjetivo de los expertos involucrados en el proyecto.

Es de resaltar que los involucrados en la gestión de los riesgos de este proyecto están encabezados por el director general de la organización, los miembros de su equipo, los clientes, los contratistas, las instituciones financieras, las organizaciones gubernamentales reguladoras, los grupos ambientales, los expertos tanto en proyectos energéticos como en la gestión de riesgos, otros directores de proyecto, las comunidades locales y los usuarios finales.

Mediante reuniones concertadas con expertos, y con soporte en técnicas como la lluvia de ideas, el análisis de supuestos, la revisión documental y la entrevista no estructurada, se lograron identificar las oportunidades, las debilidades, las fortalezas y las amenazas que involucra el proyecto. En adición, se construyó una matriz DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas) con la finalidad de identificar los problemas que pueden afectar el desempeño y la rentabilidad de implementar un sistema fotovoltaico en proyectos de extracción de oro en Colombia. Este análisis arrojó información concerniente a temas relacionado con costos de inversión, normatividad actual de incentivos de uso de energías renovables, volatilidad precio energía, eficiencia, ahorro del sistema fotovoltaicos, entre otros. Finalmente, con esta información, se obtuvieron estrategias ofensivas (fortalezas-oportunidades), de reorientación (fortalezas-amenazas), defensivas (debilidades-Oportunidades) y de supervivencia (Amenazas-Debilidades) (Rojas, 1999) (el desarrollo del análisis DOFA se muestra en la figura 5-4).

Figura 5-4. Matriz DOFA proyecto energía solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia.

5.3 Caracterización de la Gestión de los Riesgos

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, se pretende combinar diferentes herramientas que ayuden a identificar, ponderar y priorizar los riesgos con base en la afectación de las fases del proyecto. A partir de la matriz DOFA, se identificaron las causas de los riesgos que afectan el desarrollo de un proyecto destinado a las energías renovables. La identificación y la categorización de los riesgos se logró mediante la realización de reuniones con expertos de diferentes disciplinas (Anexo 1), los cuales tienen amplia experiencia en temas relacionados con la exploración y explotación de recursos energéticos no renovables, en planificación y evaluación de proyectos PMI, desarrollo y aplicación de proyectos energéticos enfocados al uso de energías renovables, quienes, a partir de lluvia de ideas, entrevistas no estructuradas, resolución de cuestionarios y aplicación de técnicas de diagramación, lograron caracterizar riesgos asociados con este tipo de proyectos. Luego de la identificación de estos riesgos se desarrollaron estrategias que ayudaron a determinar el origen de éstos, y se agruparon en paquetes de trabajo para hacer más sencillo su análisis.

Las preguntas realizadas en las reuniones con los expertos abarcaron aspectos relacionados con la etapa de planeación, construcción, ejecución del proyecto, costos, diseño, entre otros. Seguidamente, se presentan las preguntas.

- ¿Qué tipo de riesgos de carácter técnico podrían afectar el desarrollo de proyectos que involucran el uso de energía fotovoltaica?
- ¿Qué tipo de riesgos de carácter económico podrían afectar el desarrollo de proyectos que involucran el uso de energía fotovoltaica?
- ¿Qué riesgo es más propenso a afectar la gestión del alcance del proyecto?
- ¿Qué riesgo es más propenso a afectar la gestión del tiempo del proyecto?
- ¿Qué riesgo es más propenso a afectar la gestión de los costos del proyecto?
- ¿Qué fase del proyecto (planeación, construcción, ejecución) considera usted más crítica para el desarrollo de este?
- ¿Qué factores son determinantes en la aparición de los riesgos de carácter técnico para este proyecto?

- ¿Qué factores son determinantes en la aparición de los riesgos de carácter económico para este proyecto?
- ¿Qué acciones cree que son necesarias para reducir o controlar la aparición de los riesgos en este tipo de proyectos?
- ¿Qué acciones cree usted que son necesarias para reducir o controlar el impacto de los riesgos en este tipo de proyectos?
- ¿Considera viable, desde el punto de vista económico, la implementación de energías renovables no convencionales en proyectos minero-energéticos?
- ¿Considera viable, desde el punto de vista técnico, la implementación de energías renovables no convencionales en proyectos minero-energéticos?
- ¿Cuál cree usted que es el principal obstáculo para el desarrollo de proyectos energías renovables no convencionales en este tipo de iniciativas?

Las preguntas fueron desarrolladas con el fin de encaminar la investigación hacia el propósito de identificar riesgos asociados con el proyecto fotovoltaico y su implementación en operaciones mineras, y así, poder determinar orígenes, causas, efectos, entre otros. El paso siguiente fue agrupar los riesgos identificados en paquetes de trabajo, agrupándolos según criterios relacionables tales como: riesgos de diseño, riesgos tecnológicos, riesgos operacionales, riesgo de costos, riesgos externos y riesgos.

El riesgo de diseño es toda actividad o acción relacionada con la concepción, la planificación y la construcción del proyecto, y que afecta negativamente su puesta en marcha y desarrollo. Entre las causas de este tipo de riesgo se relaciona el sobre/sub-dimensionamiento de la red, pérdidas de radiación solar por sombras, sobre/sub-dimensionamiento del área de instalación, variación radiación, luminosidad, entre otras (figura 5-5).

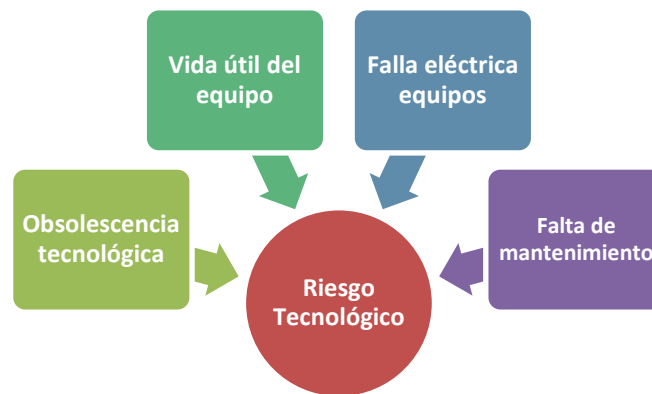
Figura 5-5. Identificación factores riesgo diseño



Fuente: Elaboración propia.

El riesgo tecnológico hace referencia a aquella actividad o acción que afecta de manera negativa el rendimiento físico de los equipos, causando pérdidas potenciales por daños, alteración o fallas en el funcionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica. Las causas de este tipo de riesgo son la obsolescencia tecnológica, la vida útil del equipo, la falla eléctrica de equipos o la falta de mantenimiento (figura 5-6).

Figura 5-6. Identificación factores riesgo tecnológico



Fuente: Elaboración propia.

El riesgo operacional hace referencia a aquellas acciones que afectan las actividades propias del proyecto energético. Entre las causas de este tipo de riesgo se tienen las relaciones laborales y seguridad en el trabajo, daños en activos físicos, productos y negocios, ejecución, entrega, prácticas con clientes, gestión de procesos, incumplimiento del cronograma de trabajo, dificultades en el trámite de licencias para construcción y adquisición de servicios (figura 5-7).

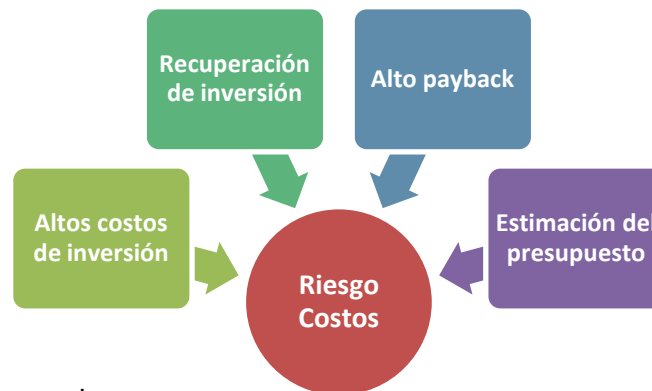
Figura 5-7. Identificación factores riesgo operacional



Fuente: Elaboración propia

El riesgo de costos hace referencia a aquella actividad o acción que afecta negativamente la gestión de los recursos monetarios del proyecto, generando pérdidas y afectando las fases de planeación, construcción y desarrollo. Las causas de este tipo de riesgo abarcan: altos costos de inversión, tiempo en la recuperación de la inversión, Alto payback (Punto de equilibrio), y fallas en la realización o estimación del presupuesto (subestimar costos) (figura 5-8).

Figura 5-8. Identificación factores riesgo costos



Fuente: Elaboración propia.

Los riesgos externos hacen referencia a actividades o acciones que no son propias del mercado, y que pueden no solo afectar la inversión o el rendimiento económico del proyecto, sino también del país. Se asocia a marcos regulatorios y políticos, nuevos impuestos, volatilidad precio energía, riesgo país, y políticas fiscales y monetarias (figura 5-9).

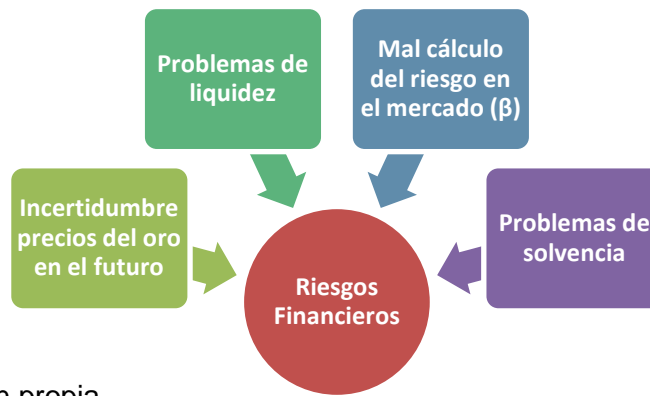
Figura 5-9. Identificación de riesgos externos



Fuente: Elaboración propia.

Los riesgos financieros hacen referencia a aquella actividad o acción relacionada con la fluctuación de los mercados financieros, donde los inversionistas del proyecto energético no obtienen la rentabilidad esperada, traduciendo esto en pérdidas económicas. Causas de este tipo de riesgo son: costo de oportunidad alto, mal cálculo del riesgo en el mercado (β), problemas de liquidez, problemas de solvencia, volatilidad en el tipo de interés o en la tasa de cambio, incertidumbre del precio del oro en el futuro y factores sociales (figura 5-10).

Figura 5-10. Identificación factores riesgos financieros

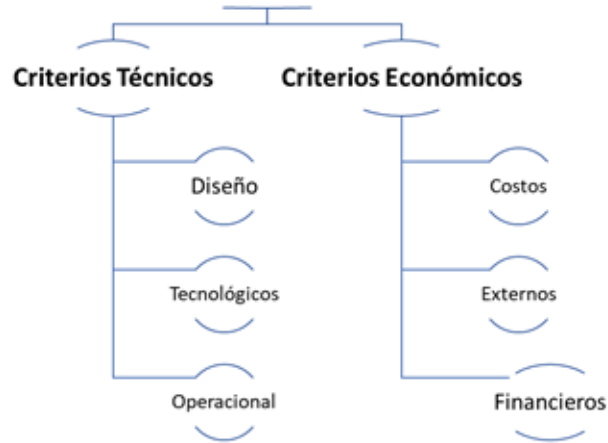


Fuente: Elaboración propia

En la figura 5-11 se observa una RBS del proyecto de implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia

Figura 5-11. Estructura de RBS

Implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia



Fuente:

Elaboración

propia.

6. Aplicación Modelo Metodológico para la Evaluación y Plan de Manejo de los Riesgos

6.1 Evaluación de los Riesgos

Mediante evaluaciones cualitativa y cuantitativa se ponderan y priorizan los riesgos identificados en el proyecto y se diseña un plan de manejo de riesgos

6.1.1 Desarrollo del proceso analítico jerárquico - AHP

La aplicación del método Proceso Analítico Jerárquico (AHP) se hace con la finalidad de ponderar y priorizar los riesgos identificados a través de una estructura jerárquica. Una vez identificados los atributos y los sub-atributos, se determina la importancia relativa que tiene cada uno dentro de cada categoría. Además, usando una escala de prioridades se compara la importancia relativa de un riesgo con respecto a otro, lo cual se apoya en la experiencia y en el juicio subjetivo del investigador y de esta manera, se sintetizan los juicios emitidos, proporcionando un ranking de alternativas de acuerdo con los pesos obtenidos (Guerrero-Liquet et al., 2015).

Para el desarrollo de este proyecto se decidió usar el software Superdecision®, el cual se utiliza para resolver problemas de decisión multicriterio, en este caso, procesos de análisis jerárquicos. El principio matemático de este programa se sustenta en: la teoría de matrices, la teoría de grafos, la teoría de decisiones colectivas, y la teoría de las organizaciones. Cabe agregar que la información e interpretación que arroja el software dependerá de las preferencias del decisor y los objetivos previamente establecidos. Es de considerar que el decisor que utiliza el software debe estar familiarizado con las alternativas que va a valorar, lo que señala que es necesario familiarizado con las estructuras de modelo posibles para así, diseñar su propio modelo de evaluación. El decisor debe tener el conocimiento suficiente para valorar todas las alternativas, lo que va

a depender de los criterios que él mismo establezca. Por último, los resultados que arroja el programa dependerán de la fórmula de síntesis utilizada para elegir preferencias entre los diferentes niveles o jerarquías del modelo empleado, dado que el programa no ofrece cuál es el modelo o la fórmula más conveniente, lo que dependerá del juicio del decisor (PRONACOSE, 2014).

Para generar los modelos de análisis en el software, es necesario conocer su estructura (figura 6-1): (1) clúster, nodos y enlaces; (2) evaluación de clúster; y (3) resultados. Para crear el modelo, éste debe tener al menos 3 niveles: (1) goal o meta global, que se ubica en la parte superior; (2) los criterios se ubican en el segundo nivel y deben satisfacer las alternativas; y (3) las alternativas son las posibles soluciones para el problema y se localizan en el último nivel (PRONACOSE, 2014).

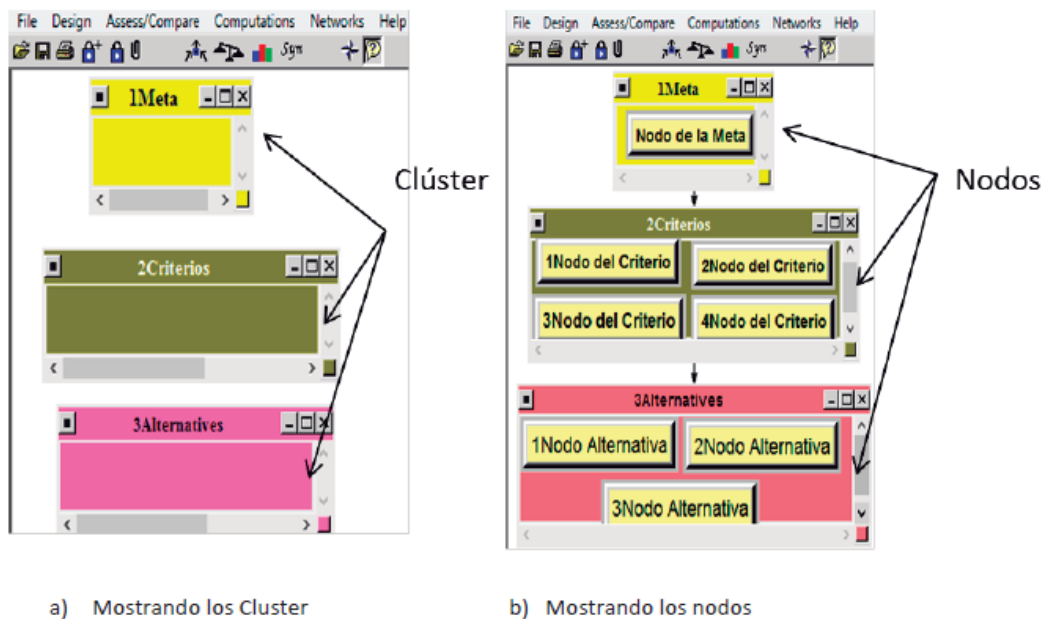


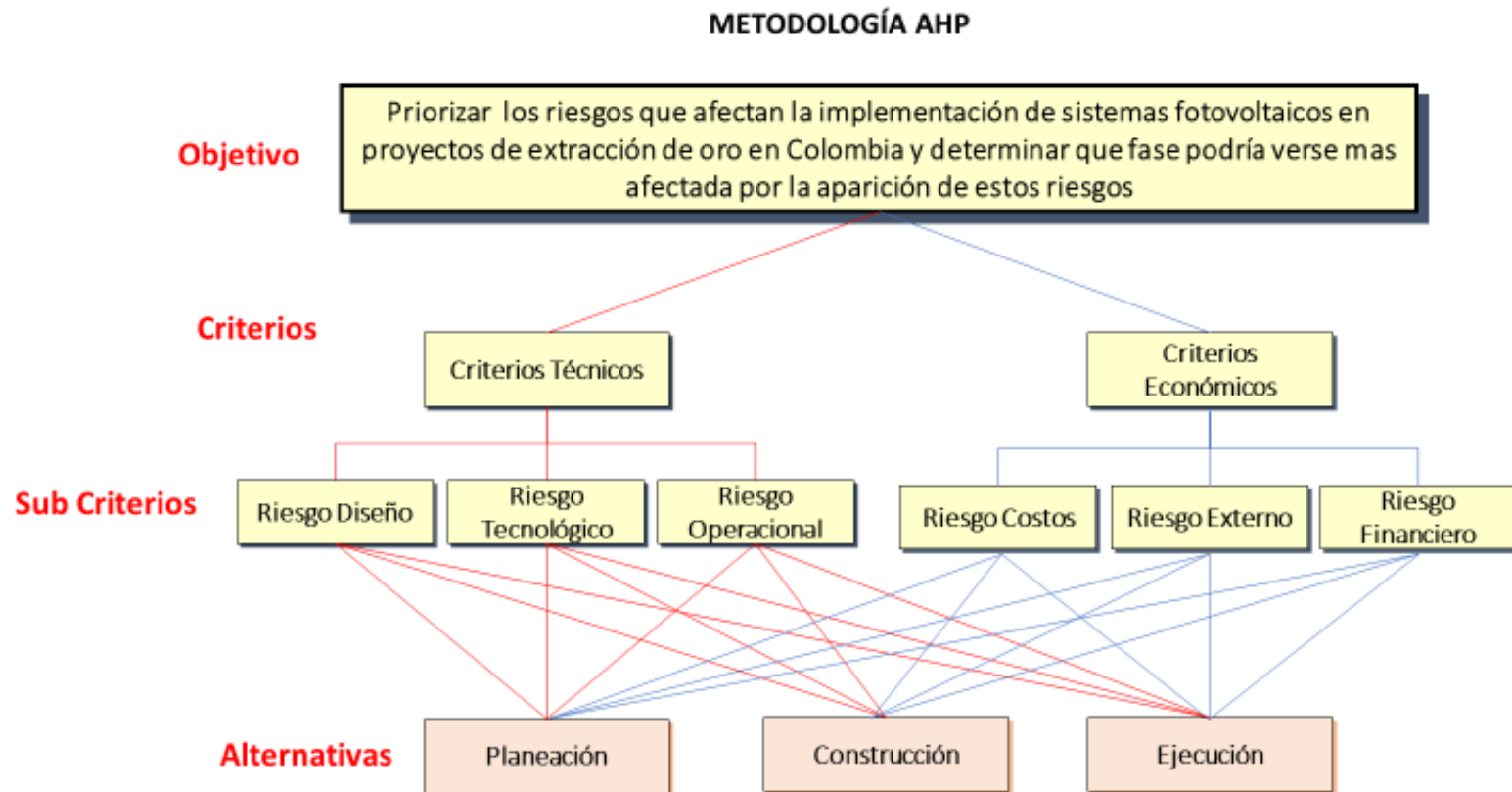
Figura 6-1. Construcción del modelo

Fuente: PRONACOSE, 2014.

De acuerdo con la metodología planteada, se establece el siguiente problema: *priorizar los riesgos que afectan la implementación de sistemas fotovoltaicos en proyectos de extracción de oro en Colombia y determinar qué fase podría verse más afectada por la aparición de los riesgos definidos*. Se decide así, jerarquizar el problema de estudio de la

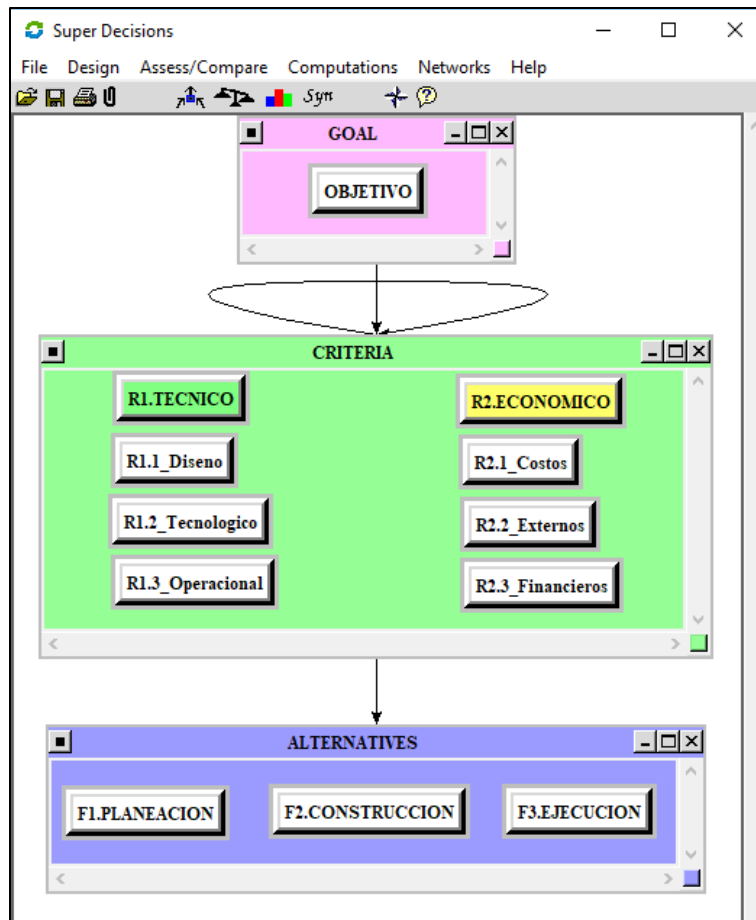
siguiente manera (figura 6-2). Posteriormente, se construye el modelo en el software Superdecision ® (figura 6-3). Siguiendo las recomendaciones para el funcionamiento del modelo se tienen en cuenta los siguientes parámetros: Goal (OBJETIVO); criteria: (R1. TÉCNICO R2. ECONOMICO); subcriteria (R1.1_Diseño, R1.2_Tecnológico, R1.3_Operacional, R2.1_Costos, R2.2_Externos, R2.3_Financieros); y alternativas: (F1. PLANEACIÓN, F2. CONSTRUCCIÓN, F3. EJECUCIÓN).

Figura 6-2. Jerarquización problema de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-3. Diseño problema de estudio Superdecision ®



Fuente: Superdecision ®, 2018.

La primera evaluación que arroja el sistema es el ítem criterio técnico versus criterio económico, se comparó la importancia relativa entre los criterios técnicos y económicos. (tabla 2). De acuerdo con la escala de Satty, se dio una valoración de 1 (igual importancia o igual peso) (tabla 6-1).

2. Node comparisons with respect to OBJETIVO															3. Results								
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct															Normal Hybrid								
Comparisons wrt "OBJETIVO" node in "CRITERIA" cluster															Inconsistency: 0.00000								
R1.TECNICO is equally as important as R2.ECONOMICO															R1.TECNICO	0.50000							
1. R1.TECNICO	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R2.ECONOMICO	R2.ECONOMICO	0.50000

Tabla 6-1. Matriz de comparación criterio técnico vs riesgo económico

Fuente: Superdecision ®, 2018.

El siguiente ítem compara los sub-criterios (riesgo diseño, riesgo tecnológico y riesgo operacional) en función del criterio principal (técnico). Se determina qué riesgo es más relevante en función del criterio técnico. En este análisis se da mayor peso al riesgo diseño (0,636), riesgo operacional (0,258) y riesgo técnico (0,104) (tabla 6-2).

Tabla 6-2. Matriz comparación sub-criterios técnicos en función de criterio técnico

2. Node comparisons with respect to R1.TECNICO										3. Results												
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct										Normal Hybrid												
Comparisons wrt "R1.TECNICO" node in "CRITERIA" cluster										Inconsistency: 0.03703												
R1.1_Diseño is strongly more relevant than R1.2_Tecnologico										R1.1_Dise~	0.63699											
1.	R1.1_Diseño	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R1.2_Tecnologic~
2.	R1.1_Diseño	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R1.3_Operaciona~
3.	R1.2_Tecnologic~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R1.3_Operaciona~
										R1.2_Tecn~	0.10473											
										R1.3_Oper~	0.25829											

Fuente: Superdecision ®, 2018.

Para efectos didácticos, se muestra la demostración matemática, en este caso se verifican manualmente los sub-criterios técnicos en función de criterio técnicos y se comparan con los resultados dados por el software, para así, evitar discrepancias (tablas 6-3, 6-4 y 6-5).

Tabla 6-3. Demostración matemática sub-criterios técnicos en función del criterio técnico

Criterio	Riesgos Técnicos						
	Diseño	Tecnológico	Operacionales	Matriz Normalizada			Vector promedio
Diseño	1	5	3	0,652	0,556	0,692	0,633
Tecnológico	1/5	1	1/3	0,130	0,111	0,077	0,106
Operacionales	0	3	1	0,217	0,333	0,231	0,260
Sumatoria	1,53	9	4,33	Sumatoria			1,000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-4. Demostración matemática λ max

Matriz Original * Vector promedio				Vector resultante
1	5	3	0,633	1,94
1/5	1	1/3	0,106	0,319
1/3	3	1	0,260	0,79
Sumatoria				3,0490

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-5. Matriz de inconsistencia

Matriz de inconsistencia	
λ max	3,049
N	3
Indice de consistencia	0,0245
Consistencia aleatoria	0,66
Razón de consistencia	0,037121

Fuente: Elaboración propia.

Se considera aceptable si el valor es $\leq 0,1$.

La tabla 6-6 compara los sub-criterios (riesgo costo, riesgos externos y riesgo financiero) en función del criterio principal (económico). Se determina qué riesgo es más relevante en función del criterio económico. Este análisis da mayor peso al riesgo costos (0,480), riesgo financiero (0,405) y riesgos externos (0,113).

Tabla 6-6. Matriz comparación sub-criterios económicos en función de criterio económico

2. Node comparisons with respect to R2.ECONOMICO										3. Results											
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct										Normal Hybrid											
Comparisons wrt "R2.ECONOMICO" node in "CRITERIA" cluster										Inconsistency: 0.02795											
R2.2_Externos is ?????? more relevant than R2.3_Financieros										R2.1_Cost~	0.48064										
1. R2.1_Costos	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R2.2_Externos	
2. R2.1_Costos	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R2.3_Financiero~
3. R2.2_Externos	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	R2.3_Financiero~	
										R2.2_Exte~	0.11397										
										R2.3_Fina~	0.40539										

Fuente: Superdecision ®, 2018.

La tabla 6-7 compara las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgo diseño. Lo anterior tiene el propósito de determinar qué fase del proyecto tiene mayor afectación por la aparición del riesgo diseño. En este análisis la fase de planeación (0,730) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición de este riesgo, seguida de la fase construcción (0,188) y de la fase ejecución (0,080).

Tabla 6-7. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio

2. Node comparisons with respect to R1.1_Disen0										3. Results											
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct										Normal Hybrid											
Comparisons wrt "R1.1_Disen0" node in "ALTERNATIVES" cluster										Inconsistency: 0.06239											
F1.PLANEACION is strongly more affect than F2.CONSTRUCCION										F1.PLANEA~	0.73064										
1. F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	
2. F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION
3. F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	
										F2.CONSTR~	0.18839										
										F3.EJECUC~	0.08096										

riesgo diseño

Fuente: Superdecision ®, 2018.

En la tabla 6-8 se comparan las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgo tecnológico. En este análisis, la fase de ejecución (0,730) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición del riesgo tecnológico, seguida de la fase construcción (0,188) y de la fase planeación (0,080).

Tabla 6-8. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo tecnológico

2. Node comparisons with respect to R1.2_Tecnologico												3. Results											
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct												Normal Hybrid											
Comparisons wrt "R1.2_Tecnologico" node in "ALTERNATIVES" cluster												Inconsistency: 0.06239											
F2.CONSTRUCCION is moderately more affect than F1.PLANEACION												F1.PLANEA~	0.08096										
1.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	F2.CONSTR~	0.18839
2.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	F3.EJECUC~	0.73064
3.	F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION		

Fuente: Superdecision ®, 2018.

En la tabla 6-9 se comparan las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgo operacional. En este análisis, la fase de construcción (0,649) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición del riesgo operacional, seguida de la fase ejecución (0,278) y de la fase planeación (0,071).

Tabla 6-9. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio

2. Node comparisons with respect to R1.3_Operacional												3. Results											
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct												Normal Hybrid											
Comparisons wrt "R1.3_Operacional" node in "ALTERNATIVES" cluster												Inconsistency: 0.06239											
F2.CONSTRUCCION is very strongly more affect than F1.PLANEACION												F1.PLANEA~	0.07193										
1.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	F2.CONSTR~	0.64912
2.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	F3.EJECUC~	0.27895
3.	F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION		

riesgo operacional

Fuente: Superdecision ®, 2018.

En la matriz que se presenta en la tabla 6-10, se comparan las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgo costos. Lo anterior tiene el propósito de

determinar qué fase del proyecto tiene mayor afectación por la aparición del riesgo costos. En este análisis la fase de construcción (0,730) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición de este riesgo, seguida de la fase ejecución (0,188) y de la fase planeación (0,080).

Tabla 6-10. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo costos

2. Node comparisons with respect to R2.1_Costos										3. Results													
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct										Normal Hybrid													
Comparisons wrt "R2.1_Costos" node in "ALTERNATIVES" cluster										Inconsistency: 0.06239													
F2.CONSTRUCCION is very strongly more affect than F1.PLANEACION										F1.PLANEA~	0.08096												
1.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	F2.CONSTR~	0.73064
2.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	F3.EJECUC~	0.18839
3.	F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION		

Fuente: Superdecision ®, 2018.

La tabla 6-11 compara las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgos externos. En este análisis, la fase de ejecución (0,636) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición de este riesgo, seguida de la fase construcción (0,258) y de la fase planeación (0,104).

Tabla 6-11. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo externos

2. Node comparisons with respect to R2.2_Externos										3. Results													
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct										Normal Hybrid													
Comparisons wrt "R2.2_Externos" node in "ALTERNATIVES" cluster										Inconsistency: 0.03703													
F2.CONSTRUCCION is moderately more affect than F1.PLANEACION										F1.PLANEA~	0.10473												
1.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	F2.CONSTR~	0.25828
2.	F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	F3.EJECUC~	0.63699
3.	F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION		

riesgo externos

Fuente: Superdecision ®, 2018.

La tabla 6-12 compara las fases del proyecto (alternativas) en función del sub-criterio riesgos financieros. En este análisis la fase de construcción (0,480) es la que tiene una mayor posibilidad de ser afectada por la aparición de este riesgo, seguida de la fase ejecución (0,405) y de la fase planeación (0,113).

Tabla 6-12. Matriz comparación fases del proyecto (alternativas) en función de sub-criterio riesgo financieros

2. Node comparisons with respect to R2.3_Financieros														+ 3. Results									
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct														Normal Hybrid									
Comparisons wrt "R2.3_Financieros" node in "ALTERNATIVES" cluster														Inconsistency: 0.02795									
F2.CONSTRUCCION is strongly more affect than F1.PLANEACION														F1.PLANEA~	0.11397								
1. F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F2.CONSTRUCCION	F2.CONSTR~	0.48064	
2. F1.PLANEACION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION	F3.EJECUC~	0.40539	
3. F2.CONSTRUCCION	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	F3.EJECUCION		

Fuente: Superdecision ®, 2018.

Finalizada la fase de comparaciones, se procede a realizar el análisis y la normalización de los resultados. Uno de los atributos del software es la normalización automática de la información obtenida, es decir, transforma una variable aleatoria (vectores de criterios y vectores de alternativas), la cual, tiene alguna distribución, en una nueva variable aleatoria con distribución normal o aproximadamente normal. De esta forma, es posible obtener más información y de manera precisa para la evaluación del proyecto.

Los resultados mostrados en la tabla 6-13 indican que la fase construcción (0,441) es la que probablemente sea más afectada por la aparición de riesgos asociados a criterios técnicos y económicos, seguido por la fase de planeación (0,294) y fase ejecución (0,263).

Tabla 6-13. Afectación de los riesgos en las fases proyecto

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
F1.PLANEACIÓN		0.667744	0.294760	0.098253
F2.CONSTRUCCION		1.000000	0.441426	0.147142
F3.EJECUCIÓN		0.597641	0.263814	0.087938

Fuente: Superdecision ®, 2018.

La finalidad de las comparaciones realizadas previamente es poder asignar pesos locales y pesos globales a los riesgos identificados en el proyecto. Según estos resultados (tabla 6-14), para el criterio técnico (0,25), el sub-criterio con mayor peso es el riesgo diseño (0,15925), luego se tienen los riesgos operacionales (0,06457), y, finalmente, se tiene el riesgo tecnológico (0,02618). De otro lado, tenemos que, para el criterio económico (0,25),

el sub-criterio riesgo costos (0,12016) tiene mayor peso, seguido de riesgos financieros (0,10135) y de riesgos externos (0,02849).

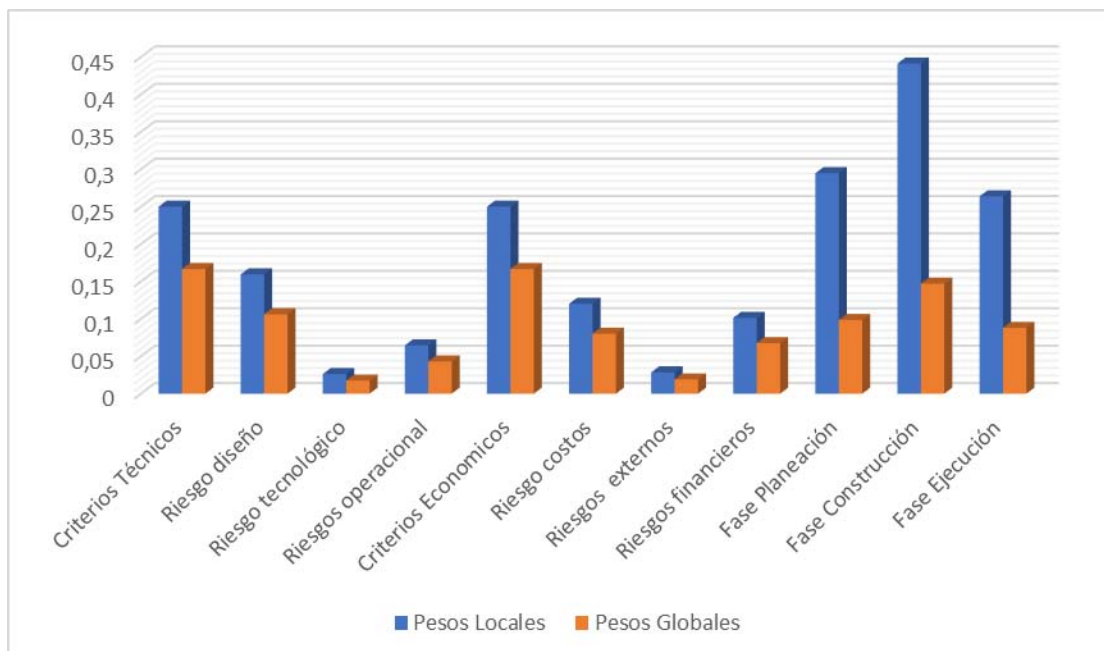
Tabla 6-14. Pesos locales y pesos globales del proyecto

Factores	Pesos Locales	Pesos globales
Criterio Técnicos	0,25	0,166667
• Riesgo Diseño	0,15952	0,106164
• Riesgo Tecnológico	0,02618	0,017455
• Riesgo Operacional	0,06457	0,043048
Criterio Económicos	0,25	0,166667
• Riesgo Costos	0,12016	0,080107
• Riesgos Externos	0,02849	0,018995
• Riesgos Financieros	0,10135	0,067565
Fase Planeación	0,29476	0,098523
Fase Construcción	0,44143	0,147142
Fase Ejecución	0,26381	0,087929

Fuente: Superdecisión ®, 2018.

La figura 6-4 proyecta cada uno de los factores analizados en el proyecto y los prioriza en función de sus pesos locales y pesos globales. Estos valores fueron determinados a partir de las comparaciones previamente realizadas.

Figura 6-4. Distribución pesos del proyecto

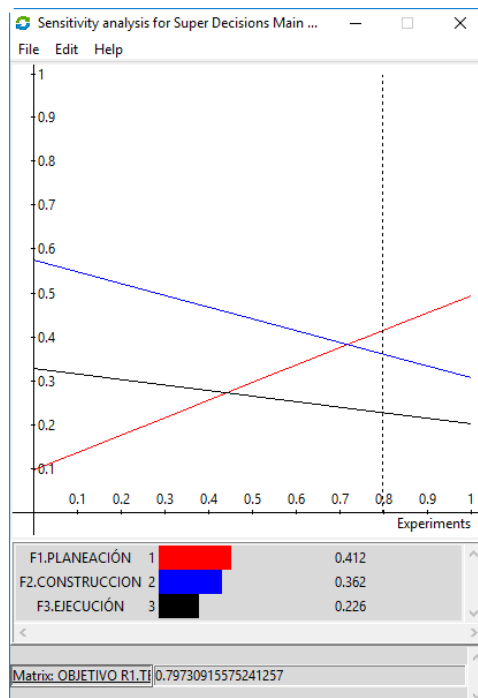


Fuente: Elaboración propia

Para un análisis más exhaustivo, el software permite crear modelos, mostrando posibles alternativas o los resultados según cambio (hipotético) en los criterios de evaluación a partir de un análisis de sensibilidad, para este caso, se podrá determinar qué fase del proyecto se verá más afectada a medida que se le da mayor o menor peso a un criterio en específico (técnico u económico). Por lo tanto, a partir de la creación de escenarios, se pueden analizar detenidamente sus resultados.

La figura 6-5 ilustra un análisis de sensibilidad, llevado a cabo en función del criterio técnico; los pesos de los criterios se trazan en el eje X y los pesos de las alternativas (fases) se trazan en el eje Y. Así, al asignarle una mayor magnitud o peso al criterio técnico (0,8), se observa que los pesos en las fases cambian: planeación (0,412), construcción (0,362) y ejecución (0,226). Este análisis muestra que los riesgos asociados con el criterio técnico podrían afectar en mayor medida las fases planeación y construcción. El razonamiento es lógico pues en estas fases se lleva a cabo el pre-diseño, diseño y construcción del proyecto, y, por la naturaleza del riesgo, es necesario desarrollar un plan de respuesta a los riesgos eficiente, buscando evitar que los riesgos de carácter técnico lleguen a dejar inviable el proyecto.

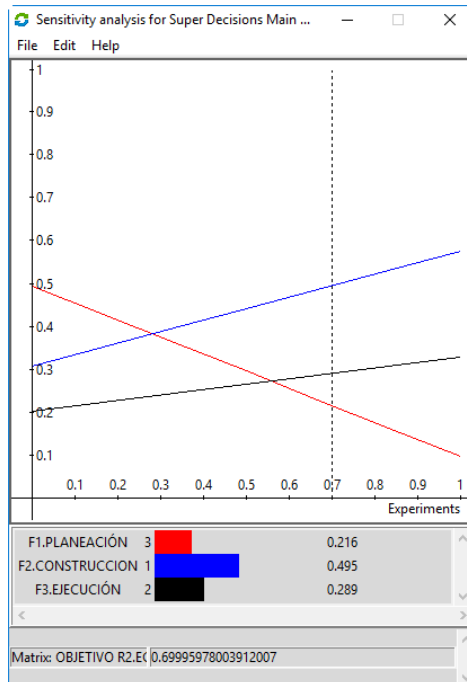
Figura 6-5. Análisis de sensibilidad en función del criterio técnico



Fuente: Superdecision ®, 2018.

El siguiente análisis de sensibilidad (figura 6-6) se realiza en función del criterio económico. Como en el caso anterior, al asignarle una magnitud mayor a este criterio (0,7) se observa que la fase que tiene una posibilidad mayor de ser afectada por este incremento es la construcción (0,495), seguida por la fase ejecución (0,289) y, por último, la fase planeación (0,216). Riesgos asociados con los altos costos de inversión, recuperación de la inversión, problemas de liquidez, entre otros, tienden a golpear las fases de construcción y ejecución de los proyectos.

Figura 6-6. Análisis de sensibilidad en función del criterio económico



Fuente: Superdecision ®, 2018.

6.1.2 Evaluación económica del proyecto

Con respecto a la evaluación económica, las técnicas más utilizadas para la toma de decisiones están relacionadas con el riesgo financiero. Teniendo en cuenta el tipo de proyecto, los inversores evalúan sus opciones en un ambiente de alta incertidumbre. Por ello, se cuenta con una amplia variedad de tipos de análisis, los cuales ayudan en la toma de decisiones. Para el análisis financiero del proyecto se decidió utilizar el Valor presente Neto (VPN) en donde el criterio de decisión para decidir implementar en un proyecto, $VPN > 0$. El WACC se calculó suponiendo que el retorno de la inversión para los inversionistas es del 10% y la tasa de interés dada por los bancos es del 4%. (tabla 6-15)

Tabla 6-15. Descripción financiera del proyecto

Accionistas asumen 90% costo del proyecto	\$ 3.735.318.670,20
Retorno de la inversión	10%
Deuda bancos asciende al 10% del proyecto	\$ 415.035.407,80
Tasa deuda bancos	4%
WACC	9,40%
Beneficios Totales a 25 años	\$ 20.815.054.384,70
TIR a 25 años	16,36%
Generación de Valor	6,96%
VAN a 25 años	\$ 3.257.330.135,80

Fuente: Soluciones North Line, 2017

El horizonte de tiempo para la evaluación financiera de este tipo de proyectos es de 25 años. Se eligió considerando el período de garantía ofrecido por los proveedores de equipos en el mercado colombiano, que suele ser un punto de referencia para la vida útil del proyecto financiable (Jiménez et al., 2014).

Con un coste de ejecución de la instalación de 5.137 COP /Wp, se recuperaría la inversión en tan solo 4 años y 5 meses, produciendo un ahorro de más de \$20.815'054.384 COP durante la vida garantizada de la instalación de 25 años. En los flujos de caja positivos (ingresos) se estima una pérdida del 0,25% anual correspondiente a la degradación natural que sufren los módulos fotovoltaicos durante la vida útil de los mismos (como máximo un 20% en 25 años garantizado por el fabricante), a pesar de que es sabido que la vida útil de los mismos puede alcanzar valores superiores a 30 años (Soluciones North Line, 2017).

Tabla 6-16. Flujo de caja proyecto energía solar fotovoltaica

							Beneficios anuales		
		Año	% Reducción rendimiento	Incremento energía	Tarifa actualizada previsión IPC e incremento luz (COP/KWh)	Ahorro energía producida (COP)	Costes COP	Inversión Inicial -4.150'354.078 (COP)	Recuperacion de la inversion (Pay-back)
Potencia Pico (KWp)	614,25	0	100%	2,52%	456,51	542.279.319,40	10.518.423,14	531.760.896,26	-3.203.557.797,91
Precio Wp (COP)	6.746,86	1	99,75%	2,52%	477,14	565.373.368,78	10.728.791,61	554.644.577,17	-2.648.913.220,74
Presupuesto (COP)	4.150.354.078	2	99,50%	2,52%	498,71	589.447.221,88	10.943.367,44	578.503.854,44	-2.070.409.366,30
Importe Inversion (COP)	4.150.354.078	3	99,25%	2,52%	521,25	614.542.270,89	11.162.234,79	603.380.036,10	-1.467.029.330,20
Financiado	10%	4	99,00%	2,52%	544,81	640.701.648,08	11.385.479,48	629.316.168,59	-837.713.161,61
Aportación (COP)	3.735.318.694,17	5	98,75%	2,52%	569,44	667.970.298,52	11.613.189,07	656.357.109,45	-181.356.052,16
Financiado (COP)	415.035.418,07	6	98,50%	2,52%	595,17	696.395.055,87	11.845.452,85	684.549.603,02	503.193.550,86
Produccion anual KWh	1.187.888	7	98,25%	2,52%	622,08	726.024.721,25	12.082.361,91	713.942.359,34	1.217.135.910,20
Degradación módulo	0,25%	8	98,00%	2,52%	650,19	756.910.145,42	12.324.009,15	744.586.136,27	1.961.722.046,48
Alquiler terreno (año) (COP)		9	97,75%	2,52%	679,58	789.104.314,39	12.570.489,33	776.533.825,06	2.738.255.871,54
O&M (año) (COP)	10.518.423,14	10	97,50%	2,52%	710,30	822.662.438,54	12.821.899,12	809.840.539,42	3.548.096.410,96
Seguros y vigilancia (año) (COP)		11	97,25%	2,52%	742,41	857.642.045,42	13.078.337,10	844.563.708,32	4.392.660.119,28
Coste operativos (año 2017) (COP)		12	97,00%	2,52%	775,96	894.103.076,50	13.339.903,84	880.763.172,66	5.273.423.291,94
Inflación prevista (IPC)	2%	13	96,75%	2,52%	811,04	932.107.987,79	13.606.701,92	918.501.285,87	6.191.924.577,81
Interés dinero	4%	14	96,50%	2,52%	847,69	971.721.854,71	13.878.835,96	957.843.018,75	7.149.767.596,56
Coste de instalación COP/Wp	5.137,20	15	96,25%	2,52%	886,01	1.013.012.481,29	14.156.412,68	998.856.068,61	8.148.623.665,18
Tarifa Eléctrica (COP)kWh	445,29	16	96,00%	2,52%	926,06	1.056.050.513,90	14.439.540,93	1.041.610.972,97	9.190.234.638,14
		17	95,75%	2,52%	967,92	1.100.909.559,63	14.728.331,75	1.086.181.227,88	10.276.415.866,03
Beneficios Totales a 25 años	\$ 20.815.054.384,70	18	95,50%	2,52%	1.011,67	1.147.666.309,66	15.022.898,38	1.132.643.411,28	11.409.059.277,30
TIR a 25 años	16,36%	19	95,25%	2,52%	1.057,39	1.196.400.667,62	15.323.356,35	1.181.077.311,27	12.590.136.588,58
VAN a 25 años	\$ 3.257.330.135,80	20	95,00%	2,52%	1.105,19	1.247.195.883,37	15.629.823,48	1.231.566.059,89	13.821.702.648,47
		21	94,75%	2,52%	1.155,14	1.300.138.692,20	15.942.419,95	1.284.196.272,25	15.105.898.920,72
		22	94,50%	2,52%	1.207,35	1.355.319.459,87	16.261.268,35	1.339.058.191,53	16.444.957.112,25
		23	94,25%	2,52%	1.261,93	1.412.832.333,59	16.586.493,71	1.396.245.839,87	17.841.202.952,12
		24	94,00%	2,52%	1.318,96	1.472.775.399,22	16.918.223,59	1.455.857.175,63	19.297.060.127,75
		25	93,75%	2,52%	1.378,58	1.535.250.845,01	17.256.588,06	1.517.994.256,95	20.815.054.384,70

Fuente:

Soluciones

North

Line,

2017.

6.2 Plan de Manejo de los Riesgos

Realizar una planificación de respuesta hacia los riesgos, que sea eficiente, implica que es necesario definir planes de acción que ayuden a dar respuestas a los riesgos y a definir qué objetivos pueden verse afectados. La matriz de análisis DOFA arrojó algunos planes o tareas para llevarse a cabo y así, evitar que la aparición de los riesgos afecte el proyecto. Cabe agregar que como se mencionó al principio de este trabajo, el análisis de proyectos similares ayudó a identificar riesgos y se apoyó en éstos para buscar planes de respuesta hacia los riesgos. A partir de las evaluaciones, se muestra la matriz de administración de riesgos generada para este estudio. Para realizar esta matriz se tuvo en cuenta el orden de importancia de los riesgos, se analizaron los de mayor peso y se terminó con los de menor peso. También es importante agregar que se analizaron por separado los riesgos técnicos con respecto los riesgos económicos, para hacer más fácil su tratamiento (tabla 6-17 y 6-18).

Criterios Técnicos	Respuestas	Objetivo afectado
Riesgo diseño	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar reuniones periódicas para analizar el desempeño del sistema y el entorno del proyecto para la toma de decisiones. • Revisión diseño de las instalaciones • Revisión de requerimientos, especificaciones, ingeniería 	Gestión Alcance Gestión Tiempo
Riesgos operacionales	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de Auditoria • Relaciones publicas • Realizar reuniones capacitaciones • Aseguramiento de la calidad, administración y estándares • Las reservas de gestión del proyecto • Rediseñar cronogramas, mejorar recursos tanto de personal como de equipo. • Tener un grupo multidisciplinario de trabajo con conocimiento de las reglamentaciones técnicas exigidas para el tipo de proyecto a ejecutar 	Gestión Alcance Gestión Tiempo
Riesgo tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • Control y mantenimientos preventivos • Investigación y desarrollo tecnológico • Realizar reuniones periódicas, para analizar el desempeño del sistema 	Gestión Alcance Gestión Tiempo

Tabla 6-17. Matriz de administración de criterios técnicos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-18. Matriz de administración de criterios económicos

Criterios Económicos	Respuestas	Objetivo afectado
Riesgo costos	<ul style="list-style-type: none"> • Reserva de contingencia del proyecto • Recalculo de los costos estimados, aumentar el presupuesto formulado • Realizar un buen estudio de proveedores que permita a la empresa ahorrar costos en el proyecto 	Gestión Costos
Riesgos financieros	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de derivados financieros para mitigar volatilidad de precios. • Invertir las ganancias derivados del proyecto en mecanismos de uso eficiente de la energía para mejora continua del sistema. • Administradores de inversiones y cartera • Proteger activos mediante la contratación de seguro 	Gestión Costos
Riesgos externos	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos de garantía o de seguro no sólo del riesgo comercial sino del riesgo político • La protección de las inversiones de largo plazo • Realizar campañas de difusión e integración con las comunidades y los grupos ambientalistas • Proteger activos mediante la contratación de seguro 	Gestión Alcance Gestión Costos

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que este trabajo abarca hasta la fase de planeación, solo se desarrollarán estrategias para la planificación de respuesta a los riesgos. Para los procesos de implementar la respuesta a los riesgos y monitoreo de los riesgos en el proyecto es importante dar seguimiento a las acciones de respuesta, para que, de esta manera, los impactos identificados puedan ser minimizados. Es importante resaltar que el seguimiento y el control de los riesgos es un proceso que se desarrolla a lo largo de todo el proyecto. En efecto, es necesario monitorear tanto los riesgos como las estrategias de respuesta hacia ellos y las posibles contingencias. Se anota que es posible que se identifiquen

riesgos nuevos y que se han eliminado aquellos previamente identificados. Por esto, es necesario un plan de contingencia para el control de los riesgos nuevos.

7. Conclusiones y Recomendaciones

Las operaciones de extracción de oro en Colombia son proyectos que tienen un alto grado de complejidad desde el punto de vista técnico ya que presentan un sin número de variables las cuales pueden afectar el desempeño de la operación; la gestión de riesgos para estos proyectos debe contemplar metodologías prácticas que ayuden a determinar riesgos de manera precisa y que causen el menor impacto. Ahora, el implementar sistemas de energía solar fotovoltaicos como alternativa para suplir la demanda energética de estas operaciones mineras hacen aún más compleja la actividad, por lo cual deben ir acompañada de un nuevo plan de gestión de riesgos el cual tenga como finalidad identificar nuevos riesgos asociados a esta implementación, para ello se estructuró una metodología que diagnostique el riesgo en la implementación de sistemas fotovoltaicos a partir de criterios técnicos y económicos en proyectos de extracción de oro en Colombia, el alcance de este objetivo implicó desarrollar un proceso investigativo que apoyó sus bases teórico-prácticas en investigaciones relacionadas con energías alternativas, en gestión de los riesgos, y en la toma de decisiones y el análisis multicriterio. Esta metodología pretende dar un aporte de carácter investigativo a esta área del conocimiento. Por consiguiente, la importancia de este estudio radica en que explora nuevas alternativas y las combina en función de hallar respuestas que aporten soluciones a los temas relacionados con la gestión de los riesgos. Para alcance de este estudio, la investigación solo abarcó dos tipos de criterios (técnicos y económicos) como caso en la aplicación de la metodología para diagnosticar en los riesgos.

En este trabajo se logró establecer las fases relacionadas con el planteamiento metodológico, estas son: Revisión bibliográfica, descripción del proyecto, alcance y objetivos de la gestión de los riesgos, caracterización de la gestión de los riesgos, evaluación de los riesgos y plan de manejo de los riesgos.

El diseño metodológico propuesto en este estudio se caracterizó por ser de tipo descriptivo, se utilizó un método de investigación mixto (cualitativo - cuantitativo), las fuentes y técnicas de recolección de información utilizadas en la investigación fueron las siguientes: Primarias (se apoyó en técnicas de recolección de información tales como lluvia de ideas, cuestionarios y entrevistas semi estructuradas, donde se realizaron preguntas abiertas a los expertos) y secundarias (se acudió a la revisión estructurada de documentos relacionados a proyectos de carácter energético, artículos académicos, libros, tesis, páginas web, textos, artículos de prensa entre otros.)

También se pudo determinar los elementos utilizados en la construcción de la metodología para diagnosticar el riesgo, estos fueron: Estrategia de riesgos (enfoque general de la gestión de riesgos del proyecto), metodología (enfoque, herramientas y fuente de datos utilizados en la gestión de riesgos del proyecto), roles y responsabilidades, financiamiento (identifica los fondos necesarios para realizar actividades relacionadas con la gestión de riesgos del proyecto), calendario (define cuando y la frecuencia para realizar actividades relacionadas con la gestión de riesgos del proyecto, actividades en la gestión de riesgos incluidos en el cronograma del proyecto), categoría de los riesgos (agrupar riesgos individuales del proyecto a partir de una estructura de desglose de riesgos -RBS, sirve para identificar y categorizar los riesgos), herramientas de gestión de riesgos y pautas para su uso (nombre, descripción), documentos (plantillas, uso, reglas de distribución)

La evaluación de los expertos pudo definir que riesgos se encuentran presentes en el proyecto, se determinó que, a partir de criterios técnicos, tenemos riesgo diseño, riesgo tecnológico y riesgo operacional, y a partir de criterios económicos, se identificaron riesgo costos, riesgo financieros y riesgos externos; el procesamiento de esta información se hizo por medio del software Superdecision®. Los resultados arrojados por el programa y la interpretación realizada por los expertos fue la siguiente: La fase del proyecto construcción (0,441) es la fase que, probablemente, sea la más afectada, debido a la aparición de riesgos asociados con criterios técnicos y económicos, seguida por la fase de planeación (0,294) y por la fase ejecución (0,263). De los criterios técnicos, aquel que tiene mayor peso es el riesgo diseño (0,159), seguido del riesgo operacional (0,064) y del

riesgo tecnológico (0,026). De los criterios económicos, aquel que tiene mayor peso es el riesgo costos (0,120), seguido del riesgo financiero (0,101) y del riesgo externo (0,028).

Finalizada las evaluaciones correspondientes y utilizados los métodos mencionados con anterioridad, se elaboró una matriz de administración de riesgos la cual contempló las siguientes respuestas de acuerdo con los riesgos identificados, según criterios técnicos para el riesgo diseño se recomendó realizar reuniones periódicas para analizar el desempeño del sistema y el entorno del proyecto para la toma de decisiones, revisión diseño de las instalaciones, revisión de requerimientos, especificaciones, ingeniería; con los riesgos operacionales se sugirió desarrollar programas de auditoria, relaciones públicas, realizar reuniones capacitaciones, aseguramiento de la calidad, administración y estándares, rediseñar cronogramas, mejoramiento de recursos tanto de personal como de equipo y tener un grupo multidisciplinario de trabajo con conocimiento de las reglamentaciones técnicas exigidas para el tipo de proyecto a ejecutar; finalmente con los riesgos tecnológicos se indicó hacer control y mantenimientos preventivos, investigación y desarrollo tecnológicos y realizar reuniones periódicas, para analizar el desempeño del sistema.

A partir de criterios económicos, para el riesgo costos se gestionaron las siguientes respuestas: Tener una reserva de contingencia del proyecto, recalcular costos estimados, aumentar el presupuesto formulado, realizar un buen estudio de proveedores que permita a la empresa ahorrar costos en el proyecto; con el riesgo financiero se recomendó el uso de derivados financieros para mitigar volatilidad de precios, invertir las ganancias derivadas del proyecto en mecanismos de uso eficiente de la energía para mejora continua del sistema, gestionar administradores de inversiones y cartera, proteger activos mediante la contratación de seguro; finalmente para los riesgos externos se aconsejó desarrollar mecanismos de garantía o de seguro no sólo del riesgo comercial sino del riesgo político, protección de las inversiones de largo plazo, realizar campañas de difusión e integración con las comunidades y los grupos ambientalistas y proteger activos mediante la contratación de seguro.

Según los resultados encontrados, apoyados en la opinión de los expertos, la gestión del alcance definió que el objetivo del proyecto se centró en abastecer energéticamente, mediante la implementación de instalaciones fotovoltaicas, las operaciones relacionadas

con la extracción de oro, con el fin de disminuir costos relacionados al consumo energía eléctrica y de combustibles (diésel, gasolina, entre otros). La gestión de costos estimó que el precio total para la instalación será de \$4.150'354.078 (COP), pero con un coste de ejecución de la instalación de 5.137 COP /Wp. Así, se recuperaría la inversión en tan solo 4 años y 5 meses, produciendo un ahorro de más de \$20.815'054.384 COP durante la vida garantizada de la instalación de 25 años. La gestión del tiempo proyecta que la fase que más tiempo consume en el desarrollo del proyecto es la fase diseño y pre-diseño, pues las partes interesadas están definiendo los alcances del trabajo, evaluando costos, revisando tiempos de ejecución, entre otros, lo que señala que esta fase es la de mayor cuidado, puesto que de ella depende el éxito del proyecto. En resumen, las fases de pre-diseño y diseño toman 5,2 meses, adquisición de equipos 1,3 meses, construcción instalación de equipos 3,2 meses, puesta en marcha del sistema 0,2 meses, y finalmente, la actividad de interventoría y evaluación toma 4,5 meses.

Se estableció que una de las limitaciones de la metodología AHP es que no entrega una calificación del riesgo de acuerdo con el nivel de criticidad (alto, medio y bajo); solo pondera y prioriza los riesgos de acuerdo con las comparaciones realizadas por el decisor y define qué fase del proyecto sufre más afectación por la aparición de esos riesgos. Es importante resaltar que la gestión de los riesgos es un proceso que no debe tomarse a la ligera. Desafortunadamente, en el entorno y la cultura colombiana, donde los resultados importan más que el procedimiento, no se da la importancia debida a este tipo de análisis, dando por hecho que el tratamiento de los riesgos es el mismo para casi todos los casos. Pese a que trabajar con la metodología AHP implica una mayor inversión de tiempo y esfuerzo por los involucrados en el proyecto, ésta tiene como gran ventaja que el análisis de los riesgos se realiza de manera estructurada, coherente y tiene un soporte matemático, haciendo que los resultados adquieran mayor validez.

Como recomendaciones de esta investigación, a pesar de que la ley 1715 de 2014 tiene como objetivo el desarrollo y uso de energías renovables no convencionales en el país, deben revisarse los tiempos de aprobación y la tramitología que esto implica. Por ejemplo, se debe esperar hasta 45 días hábiles para que la documentación sea aprobada y se debe recurrir a 2 entidades gubernamentales para la aprobación de la documentación (La unidad de planeación minero energética -UPME- y el Ministerio de Medioambiente y

Desarrollo Sostenible). Este tipo de restricciones burocráticas puede frenar el desarrollo de estos proyectos energéticos.

Finalmente, Colombia está en la necesidad de implementar proyectos de energía renovables en sus operaciones minero-energéticas. La mayoría de estas empresas ejecutan sus actividades en zonas no interconectadas, donde el acceso a energía eléctrica es restringido o inexistente. Las condiciones de radiación y brillo solar son óptimas, punto que hace viable el desarrollo de estos proyectos. Cabe agregar que la dependencia en referencia al combustible diésel es alta, por lo que es imperativo empezar a buscar alternativas energéticas que ayuden a suplir la demanda.

8. Limitaciones e Investigaciones Futuras

Una de las mayores limitaciones presentadas en esta investigación fue el acceso a los costos asociados al desarrollo de estos proyectos. La mayoría de estas iniciativas involucran presupuestos muy elevados, por lo que obtener tal información de primera mano, con especificaciones técnicas y económicas aterrizadas a la situación económica del país, fue un proceso complejo (cabe agregar que las cláusulas de confidencialidad restringen aún más el acceso a esta información). A pesar de que en internet se encuentra información muy generalizada de costos, éstos no se pueden comparar con el desarrollo de un proyecto energético en países industrializados tales como Estados Unidos, Alemania, Japón o Chile. En Colombia, los costos de estos proyectos están muy por encima de los costos promedio a nivel mundial, por lo tanto, tener el acceso de primera mano es útil al momento de hacer cálculos financieros, ya que, si se hiciera con los costos promedios mundiales, se estaría especulando y podría ser causa de errores. De otro lado, pese a que no fue limitación en sí, hubo una limitante de tiempo, pues debido a causas externas a la investigación, el tiempo que se tuvo con los expertos era restringido, pero esto no afectó los resultados del estudio, aunque sí impactó los tiempos establecidos para los análisis del proyecto.

Las investigaciones futuras se deben enfocar en complementar la aplicación de la metodología de toma de decisiones multicriterio con otras metodologías para la cuantificación precisa del riesgo, debido al alcance de la metodología AHP, pues ésta solo obtiene valores numéricos asociados a los juicios o a las preferencias del decisor. Finalmente, estos valores se sintetizan y se determina qué variable tiene la más alta prioridad. En pocas palabras, jerarquizar y dar pesos a las variables, de acuerdo con las comparaciones hechas, no determina el impacto ni la recurrencia del riesgo. Se debe considerar también el desarrollo de una herramienta sistemática que estime el costo

económico de los riesgos identificados por medio de modelamientos matemáticos y estadísticos. Para ello, se debería tener en cuenta información específica, tal como lugar del proyecto, los costos de equipos, el costo unitario, los LCOE, la valoración de riesgos de proyectos similares, entre otros.

Anexos

A continuación, se detalla un breve resumen de las hojas de vida de los expertos que contribuyeron a la realización de esta investigación, los cuales, a partir de su punto de vista técnico, su experiencia y conocimiento en temas relacionados con la exploración y explotación de recursos energéticos no renovables, en planificación y evaluación de proyectos PMI, desarrollo y aplicación de proyectos energéticos enfocados al uso de energías renovables encaminaron la investigación a los resultados presentados anteriormente

1. **Álvaro Benavides** (abenavides@heglobalservices.com)

Ingeniero Electrónico con experiencia internacional y amplios conocimientos en las áreas de Tecnologías de la Información y automatización enfocados en el sector industrial. Áreas de trabajo: Desarrollo de sistemas Fotovoltaicos; Sistemas desconectados e Interconectados; desarrollo de sistemas de riego “bombas electro sumergibles solares”; Estudio de eficiencia energética; Implementación de formación técnica rural en tecnologías y recursos renovables.

Formación Académica

- Universidad Surcolombiana (Neiva, Huila) - Ingeniería Electrónica
- Georg Simón Ohm (Nuremberg, Alemania) - Tecnología en Aplicaciones de Energías Renovables.
- Universidad de Barcelona (Barcelona, España) - Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética.

2. **Mario Bolaños** (mario4bn@gmail.com)

Actividades de investigación - Técnicas de control en sistemas de generación fotovoltaica: Seguimiento de punto de máxima potencia, almacenamiento de energía y conexión a red.

Formación Académica

- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Ingeniería Electrónica.
- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Maestría en ingeniería: Automatización industrial.
- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Candidato a Doctorado en ingeniería: Línea de investigación en automática.

Producción bibliográfica - Artículo - Publicado en revista especializada

- Bolanos Navarrete, Mario Andres *"Modeling and Event-Driven Simulation of a Photovoltaic System Controlled with Two Configurations of Perturb & Observe Maximum Power Point Tracking"*. En: Colombia. Revista Universidad Eafit. ISSN: 0120-341X. Ed: Editorial Universidad Eafit v. N/A fasc. N/A p.1 - 7 ,2016.

CvLAC

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001523484

3. Guido Caciagli (caciagli@hotmail.com)

Project Manager - Consultor. Ingeniero Telemático, Certificado PMP®. Project Manager. Más de 8 años de experiencia administrando proyectos internacionales para grandes corporaciones multinacionales y más de 10 años de experiencia en diferentes entornos de TI. Amplia experiencia en proyectos técnicos en la industria del petróleo y el gas, así como en la industria de cruceros que trabajan principalmente en buques de dique seco y operacionales. Enfoques de Trabajo: PMP Tester for Interactive Training Tool; Content Committee member for PMBOK® Guide - Sixth Edition; Content Committee member for the PMBOK® Guide—Fifth Edition; 2011 PMI Exam Development Workshop.

Formación Académica

- Ingecomputo (Manizales, Colombia) - Análisis y Programación de Sistemas Técnicos. IT
- Universidad Católica de Manizales (Manizales, Colombia) - Ingeniería Telemática, Telecomunicaciones.

- Universidad El Bosque (Bogotá. D.C) - Project Manager Specialist, Project Management

4. Oscar Robinson Gómez (o7robinson@hotmail.com)

Geólogo con conocimientos científicos y técnicos en el área de la Geología, en temas relacionados con geología del petróleo, yacimientos minerales, medio ambiente y política de gestión de riesgos naturales, y suelos, con competencias en matemáticas y física experiencia docente universitaria.

Formación Académica

- Universidad de Caldas (Manizales, Colombia) - Geología
- Universidad Católica de Manizales (Manizales, Colombia) - Maestría en Educación

Documentos y Publicaciones

- Ponencia. Política minero-energética en Colombia: Repensar América Latina. Quinto congreso internacional en Derecho Y Sociedad, un pensamiento latinoamericano.
- Ponencia. Desarrollo de obras con técnicas bio-ingenieriles, una contribución a la solución de problemas de inestabilidad de laderas en la región cafetera Central de Colombia. Cuarto congreso internacional de Desarrollo sostenible y el Medio Ambiente.
- Efectos del desplazamiento forzado en la sostenibilidad ambiental del país durante la última década. Obra de conocimiento presentada para optar al título de Magíster en Educación.

Grupos de Investigación

- Observatorio de conflictos ambientales universidad de caldas Derechos humanos y conflicto universidad de Manizales.

5. Yeffer Guzmán (yeffergc@gmail.com)

Conocedor de equipos multidisciplinarios en planificación, control y ejecución de recursos, procesos, proyectos de instalaciones de producción industrial y de capital de inversión (FEL-PMI), programas de mantenimiento, desarrollo de procesos de calidad (ISO) y gestión de personal.

Formación Académica

- Universidad Nacional de Colombia (Bogotá. D.C) - Ingeniería mecánica
- Universidad Pontificia Bolivariana (Bogotá. D.C) - Especialización en Gestión de Proyectos
- Universidad Externado de Colombia (Bogotá. D.C) - Maestría en Administración (MBA)

6. Diego Mejía Giraldo (diegomej1@gmail.com)

Profesor Asistente, Universidad de Antioquia
Research Assistant at Iowa State University

Formación Académica

- Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira; Risaralda) - Ingeniería Eléctrica.
- Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira; Risaralda) - Maestría en Ingeniería Eléctrica
- Iowa State University of Science and Technology (Iowa; EEUU) - PhD en Ingeniería Eléctrica

Líneas de investigación

- Coordinación hidrotérmica de sistemas de potencia-
- Optimización en sistemas eléctricos de potencia.

Producción bibliográfica - Artículo - Publicado en revista especializada

- Diego Adolfo Mejía Giraldo, Alejandro Castillo Ramirez, "*Fiscal Incentives Impact for RETs Investments in Colombia*". En: Inglaterra. Energy Sources Part B-Economics Planning and Policy. ISSN: 1556-7257. ed: v.00 fasc. p.1-6, 2017, DOI: 10.1080/15567249.2016.1276648
- Diego Adolfo Mejía Giraldo, "*Power System Capacity Expansion Planning Model Considering Carbon Emissions Constraints*". En: Colombia. Revista Facultad De Ingeniería. ISSN: 0120-6230. ed: Editorial Universidad de Antioquia. v.62 fasc.NA p.114 - 125 ,2012.

- Diego Adolfo Mejía Giraldo, Alexander Molina Cabrera, Julio Montero, "*Diseño de un esquema de control óptimo neuronal*". En: Colombia Scientia Et Technica. ISSN: 0122-1701. ed: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. v.32 fasc. p.127 - 132 ,2006.
- Diego Adolfo Mejía Giraldo, Eliana Mirledy Toro Ocampo, Harold Salazar Isaza, "*Pronóstico de Ventas Usando Redes Neuronales*". En: Colombia Scientia Et Technica. ISSN: 0122-1701 ed: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira v.26 fasc. p. - ,2004,

CvLAC

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000339210

7. Juan Camilo Navarrete (canacu86@hotmail.com)

Sales Specialist Colombia at Jinko Solar Co., Ltd.

Chief Executive Officer at VOLTARES

Drilling Fluids Specialist II at Schlumberger

Formación Académica

- Universidad Industrial de Santander (Bucaramanga, Santander) - Ingeniería del petróleo.
- Universidad Nacional de Colombia (Bogotá. D.C) - Finanzas para no financieros, Finanzas.
- Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá. D.C) - Gerencia Estratégica en la Industria de los Hidrocarburos, Administración y gestión de empresas.
- Universidad de Vigo (Vigo, España) - Master of Business Administration (MBA), Finance and Financial Management Services.
- Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu (Polonia) - Master of Science in Economics

Producción bibliográfica

- Navarrete, Juan Camilo "*Análisis de percepción al desarrollo de una estación fotovoltaica para la generación de agua atmosférica, iluminación led y carga de dispositivos electrónicos utilizando materiales reciclables*". COIES 15-1. Fecha de

publicación 30 de oct. de 2017 Descripción de la publicación conferencia internacional de energía sostenible 2017- isbn: 978-958-8819-63-1

- Navarrete, Juan Camilo “*Energías renovables, eficiencia energética y cultura sostenible. retos y oportunidades para Colombia*”. descripción de la publicación el centauro. issn: 2027 – 1212

8. Jorge Andrés Vivares Vergara (javivaresv@unal.edu.co)

Ingeniero Industrial, MSc, experiencia profesional en campos como la gestión de la producción, planeación estratégica y labores de asistencia profesional.

Formación Académica

- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Ingeniería Industrial.
- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Maestría en ingeniería: Ingeniería industrial.
- Universidad Nacional de Colombia (Manizales; Caldas) - Doctorado en ingeniería: Industria y Organizaciones.

Producción bibliográfica - Artículo - Publicado en revista especializada

- Jorge Andres Vivares Vergara, William Ariel Sarache Castro, Julia Clemencia Naranjo Valencia, "*The content of manufacturing strategy: a case study in in Colombian industries*". En: Colombia Dyna ISSN: 0012-7353 ed: Universidad Nacional de Colombia v.81 fasc.183 p.140 - 147 ,2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n183.37672>
- Liliana Maria Gutierrez Vargas, German Albeiro Castano Duque, Jorge Andres Vivares Vergara, "*Estímulos y restricciones para la investigación en administración en Colombia*". En: Colombia Innovar: Revista De Ciencias Administrativas y Sociales ISSN: 0121-5051 ed: Centro De Publicaciones Universidad Nacional De Colombia v.23 fasc.49 p.5 - 16 ,2013
- JORGE ANDRES VIVARES VERGARA, WILLIAM ARIEL SARACHE CASTRO, JULIA CLEMENCIA NARANJO VALENCIA, "*Impact of human resource management on performance in competitive priorities*". En: Colombia International Journal of Operations & Production Management ISSN: 0144-3577 ed: v.32 fasc.2 p.114 - 134 ,2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/IJOPM-11-2013-0484>

CvLAC

http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001304844

Referencias

- Agencia Nacional de Minería. (2017). *Informe níquel, metales preciosos, Esmeraldas, hierro, Sal y otros, producción I a IV trimestre de 2016*. Recuperado de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GOqB4xibAOUJ:https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/niquel-metales_preciosos-esmeraldas-hierro-sal_y_otros_produccion_i_a_iv_trimestre_de_2016_m_1.xls+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=co
- Álvarez, C. E. M. (2006). *Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales*. Limusa. Recuperado a partir de <https://books.google.com.co/books?id=dPOJQwAACAAJ>
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., & Al-Haddad, K. (2016). *A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 137-150.
- América Fotovoltaica. (2017). *Simulador Solar Online*. Recuperado de <http://www.americafotovoltaica.com/simulador-online/>
- Atmospheric Science Data Center. (2018). NASA Surface meteorology and Solar Energy. Recuperado de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=3.0144813&lon=-76.6444444&submit=Submit>
- Baker, S., Ponniah, D., & Smith, S. (1998). *Techniques for the Analysis of Risks in Major Projects*. *Journal of the Operational Research Society*, 49 (6), 567-572.
- Chiappe, M. L. (2017). *El alto costo de la energía le quita competitividad a la industria colombiana*. Portafolio. Recuperado de <http://www.portafolio.co/negocios/alto-costo-energia-electrica-colombia-512119>
- Compañía Energética de Occidente. (2018). *Tarifas (\$/kwh) sin contribución vigentes para el mercado regulado del departamento del Cauca mes diciembre 2017*.

- Recuperado de http://www.energeticadeoccidente.com/cargar_imagen.php?id=163&tipo=6&thumbnail=FALSE
- Congreso de la República de Colombia (2014). Ley 1715. “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.
- De Almeida, A. T., Alencar, M. H., Garcez, T. V., & Ferreira, R. J. P. (2017). *A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management*. IMA Journal of Management Mathematics, 28(2), 153-184.
- De los Ríos Musso, M. (2009). *Plan de gestión de riesgos para la construcción del túnel de conducción superior en el proyecto hidroeléctrico El Diquís del Instituto Costarricense de Electricidad*. (Tesis). Universidad para la cooperación internacional. Costa Rica.
- Del Sol, F., & Sauma, E. (2013). *Economic impacts of installing solar power plants in northern Chile*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, 489-498.
- Devabhaktuni, V., Alam, M., Shekara Sreenadh Reddy Depuru, S., Green, R. C., Nims, D., & Near, C. (2013). *Solar energy: Trends and enabling technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, 555-564.
- Escobar, W. O., & Quitian, D. (2015). *Impactos de la reglamentación de la ley 1715 de energías renovables no convencionales en Colombia*. Econografos – Escuela de Economía, 84, 1–33.
- Esteve Gómez, N. (2011). *Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica*. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C, Colombia.
- Forbes, D., Smith, S. & Horner, M. (2008). *Tools for selecting appropriate Risk Management techniques in the built environment*. Construction Management and Economics. 26 (11), 1241-1250.
- Gacitua Rivera, R. A. (2012). *Estudio de Factibilidad del Uso de Energía Solar en Procesos de la Gran Minería del Cobre*. (Tesis pregrado). Universidad de Chile, Santiago. Chile.
- Greenenergy International. (2015). *Fuel Save Solution: Diesel+Pv*. Recuperado de <http://www.greenenergyinternational.com/es/fuel-save-solution-dieselpv/>

- Guerrero Liquet, G., García-Cascales, M., & Sánchez-Lozano, J.M., & Faxas-Guzmán, J. (2015). *Risk Management in the Renewable Energy field: Comparative analysis and study case in the Dominican Republic*. 19th International Congress on Project Management and Engineering Granada, 15-17th July.
- Guerrero, M. A. (2013). *Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia.
- Guerrero-Liquet, G. C., Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., Lamata, M. T., & Verdegay, J. L. (2016). *Decision-making for Risk Management in sustainable renewable energy facilities: A case study in the Dominican Republic*. *Sustainability*, 8 (5), 455.
- Hanel, M., & Escobar, R. (2013). Influence of solar energy resource assessment uncertainty in the levelized electricity cost of concentrated solar power plants in Chile. *Renewable Energy*, 49, 96–100.
- Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). *Metodología de la Investigación* (pp. 1–589). México DF.
- Hillson, D. (2002), *Use a Risk Breakdown Structure (RBS) to Understand Your Risks*. Paper presented at Project Management Institute Annual Seminars & Symposium, San Antonio, TX. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Hoyos, L. (2016). *Impacto de la Ley 1715 de mayo 13 de 2014 sobre el sector eléctrico colombiano: análisis de los nuevos actores del mercado*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Colombia.
- IDEAM. (2015). *Atlas climatológico, de viento y radiación solar de Colombia*. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2015). *Renewable power generation costs in 2014: An Overview*. Irena Homepage. Recuperado de <http://www.irena.org/publications/2015/Jan/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2014>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). *Boosting solar pv markets: The role of quality infrastructure*. Recuperado de <http://www.irena.org/publications/2017/Sep/Boosting-solar-PV-markets-The-role-of-quality-infrastructure>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2018). *Renewable power generation costs in 2017*. Recuperado de

- <http://www.irena.org/publications/2018/Jan/Renewable-power-generation-costs-in-2017>
- Jiménez, M., Cadavid, L., & Franco, C. J. (2014). *Scenarios of photovoltaic grid parity in Colombia*. DYNA, 81 (188), 237-245.
- Kostal Solar Electric (2014). *Macro y micro generación de energía eléctrica la fotovoltaica en el mix energético actual. Aplicaciones, normativa, componentes, dimensionado, rentabilidad*. Tecnología. Recuperado de https://es.slideshare.net/KOSTAL_Solar_Electric_Iberica/la-fotovoltaica-en-el-mix-elctrico-actual-autoconsumo
- La Guía Solar. (2015). *Energía solar en Colombia*. Recuperado de <http://www.laguiasolar.com/energia-solar-en-colombia/>
- Latinominería. (2015) *Iniciativas ERNC en Chile, energía renovable para la minería*. Recuperado de <http://www.latinomineria.com/reportajes/iniciativas-ernc-en-chile-energia-renovable-para-la-mineria/>
- Lin, C. & Shiue, Y. (2013). *An Application of AHP and Sensitivity Analysis for Measuring the Best Strategy of Reverse Logistics: A Case Study of Photovoltaic Industry Chain*. Journal of Testing and Evaluation, 41(3), 386-397.
- Moreno, M. (2015). *Evaluación de un proyecto de generación de energía eólica en Colombia mediante opciones reales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Colombia.
- Muriana, C., & Vizzini, G. (2017). *Project Risk Management: A deterministic quantitative technique for assessment and mitigation*. International Journal of Project Management, 35(3), 320-340.
- Mustafa, M. A., & Al-Bahar, J. F. (1991). *Project risk assessment using the analytic hierarchy process*. IEEE Transactions on Engineering Management, 38(1), 46-52.
- Network, B. U. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica*. Biomass Users Network (BUN-CA). Madrid.
- Neuman, W.L. (2014). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (7th ed.). London: Pearson Education.
- Parodi, V. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos en el sector energético*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

- Parrado, C., Girard, A., Simon, F., & Fuentealba, E. (2015). *2050 LCOE (levelized cost of energy) projection for a hybrid PV (photovoltaic)-CSP (concentrated solar power) plant in the Atacama desert, Chile*. *Energy*, 94, 422-430.
- Pons-Achell, J. F. (2009). *Análisis teórico del PMBOK y su puesta en práctica en proyectos de edificación*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. España.
- Prasanta Kumar Dey. (2001). *Decision support system for Risk Management: a case study*. *Management Decision*, 39(8), 634-649.
- Project Management Institute. (2009). *Practice Standard For Project Risk Management*. Practice Standard for Project Risk Management. 128.
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos* (6th ed.). Pennsylvania: Global Standar.
- PRONACOSE (2014). *Sustento numérico del Software Superdecisiones en el análisis multicriterio del tipo AHP/ANP*. Recuperado de http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/Sustento_Software_Superdecisiones.pdf
- Revista Dinero. (2012, 12 de enero). "Energía solar, una opción para tomar en serio". Recuperado de <http://www.dinero.com/empresas/articulo/energia-solar-opcion-para-tomar-serio/165677>
- Revista Dinero. (2015, 13 de agosto). *¿Por qué es tan cara la energía eléctrica en Colombia?* Recuperado de <http://www.dinero.com/pais/articulo/costos-energia-colombia/212216>
- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio* (4th ed.). Madrid: Isdefe.
- Rubio, G. C., & Díaz, T. D. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas, grado medio*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Saaty, T. L. (1987). *Risk—Its priority and probability: The analytic hierarchy process*. *Risk Analysis*, 7(2), 159-172.
- Saaty, R. W. (2003). *Decision making in complex environments. The analytic hierarchy process (AHP) for decision making and the analytic network process (ANP) for decision making with dependence and feedback*. Recuperado de https://superdecisions.com/manuals/index.php?section=2_8
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process (Vol. 175)*. Springer Science & Business Media.

- Ser-Colombia, Asociación de energías renovables (2016). 4° Foro de Energías Renovables para Zonas no Interconectadas. Recuperado de <http://www.ahk-colombia.com/es/news/noticia/artikel/4-foro-de-energias-renovables-para-zonas-no-interconectadas/?cHash=232b08a766a14b048da581e420f7d7cc>
- Serpella, A. F., Ferrada, X., Howard, R., & Rubio, L. (2014). *Risk Management in Construction Projects: A Knowledge-based Approach*. Procedia, Social and Behavioral Sciences, 119, 653-662.
- Shishodia, A., Dixit, V., & Verma, P. (2018). *Project risk analysis based on project characteristics*. Benchmarking: An International Journal, 25(3), 893-918.
- Simec. (2017). *Mapas de Minería producción de oro*. Recuperado de <http://www.simec.gov.co/Mapas/MapasdeMineria/tabid/68/Default.aspx>
- Sum, R. M. (2013). *Risk management decision making*. In *Proceedings of the international symposium on the analytic hierarchy process, ISAHP2013* Google Scholar.
- Taroun, A. (2014). *Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review*. International Journal of Project Management, 32(1), 101-115.
- Thermo Solutions Group. (2013). *Sistema de Energía Solar en Costa Rica*. Recuperado de http://www.thermosolutionsgroup.com/energia_solar.php
- Toskano H, G. (2009). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores*. (Tesis). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.
- Unidad de Planeación Minero - Energética (UPME). (2016a). *Proyección de precios de los energéticos para generación eléctrica*. Bogotá. Recuperado de www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Proyeccion_de_los_precios_de_los_combustibles_junio_2016.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2016b). *Boletín Estadístico: Minas y energía 2012-2016*, 200. Bogotá. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Boletines/Boletin_Estadistico_2012_2016.pdf
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2016c). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia*, 55. Bogotá. Recuperado de http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/UPME_Proyeccion_Demanda_Energia_Electrica_Junio_2016.pdf

- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) - BID. (2014). *Análisis de costos de energías renovables*. Recuperado de <http://www.upme.gov.co:81/sgic/sites/default/files/Costos%20VF.pdf>
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) – Carbon Trust. (2015). *Análisis económico y evaluación costo beneficio de los mecanismos, herramientas y estrategias para la promoción de FNCER en Colombia*, informe final. Bogotá. Retrieved from <http://bit.ly/2aeWMqP>
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewj5kcO6p9LWAhWKRiYKHbb2C0oQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.upme.gov.co%2FEstudios%2F2015%2FIntegracion_Energias_Renovables%2FINTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf&usg=AOvVaw3Gh1E0CphDX4tddSC4dsLq
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2013). *Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia*. Recuperado de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:p99zPIIeMH8J:www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/Demanda/proyeccion_demanda_ee_Abr_2013.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co&client=firefox-b
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2017). *Registro de Proyectos de Generación Inscripción según requisitos de las Resoluciones UPME No. 0520, No. 0638 de 2007 y No. 0143 de 2016 A mayo de 2017*. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero-Energético (UPME) - Universidad Industrial del Santander (UIS). (2014). *Estimación de áreas intervenidas, consumo de agua, energía y costos de producción en la actividad minera*. Bogotá. Recuperado de https://www.google.com/search?q=CONSUMO+KW+ACTIVIDAD+MINERA+COLOMBIA&client=firefox-b&noj=1&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjhgr-U6aHTAhXJ6CYKHfS5AvYQ_AUIBygA&biw=1366&bih=635&dpr=1&gfe_rd=cr&ei=HqPvWPall8rI8Aeb66fAAw
- Vásquez, L. C., & Zúñiga, B. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa*. (Tesis doctoral). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Lima.

-
- Vélez, L.G. (2015). *El precio de la electricidad en Colombia y comparación con referentes internacionales 2012-2015*. Recuperado de <https://www.acolgen.org.co/index.php/sala-de-prensa/noticias/item/314-el-precio-de-la-electricidad-en-colombia-y-comparacion-con-referentes-internacionales-2012-2015>
- Ward, S., & Chapman, C. (2003). Transforming project Risk Management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 21(2), 97-105.
- XM Compañía Expertos en Mercados SAES. (2014). *Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado 2014*. Recuperado de <http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/Default.aspx>