

**ANÁLISIS DE RIESGOS BAJO UN MODELO DE LOGICA DIFUSA EN LA
CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO HIDROITUANGO**

**ALEJANDRO DUVÁN LÓPEZ ROJAS
DIANA JOHAHA RODRÍGUEZ LÓPEZ**

**MONOGRAFÍA, PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GERENCIA
DE PROYECTOS**

ORIENTADOR:

LUCAS D'AURIA SÁNCHEZ

**MSC INTERNATIONAL RELATIONS THEORY DE THE LONDON SCHOOL OF
ECONOMICS AND POLITICAL SCIENCE**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C.**

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., septiembre de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. Mario Posada García-Peña.

Consejero Institucional.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña.

Vicerrectora Académica y de Investigación.

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero.

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro.

Secretario General.

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas.

Dr. Marcel Hofstetter Gascon.

Director Especialización Gerencia de Proyectos

Dr. Julián Andrés Gómez Vargas

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	9
1. ANTECEDENTES	10
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. DELIMITACIÓN	15
4. OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo general	16
4.2 Objetivos específicos	16
5. MARCO REFERENCIAL	17
6. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CRÍTICOS DEL PROYECTO	20
6.1 Tipos de riesgos	20
6.1.1 <i>Riesgo Financiero/ Económico</i>	20
6.1.2 <i>Ambiental</i>	21
6.1.3 <i>Riesgos Sociopolítico de proyectos hidroeléctricos</i>	22
6.1.4 <i>Riesgos Técnicos de proyectos hidroeléctricos</i>	23
6.1.5 <i>Gerencial/ Operacional</i>	24
6.1.7 <i>Valoración de riesgos</i>	24
6.8 <i>Caso de Estudio</i>	28
6.8.1 <i>Hidroituango</i>	28
7. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS PARA PREVENIR Y CONTROLAR RIESGOS	34
7.1 Riesgos financieros y Económicos	35
7.1.1 <i>Proyecto Allain-Duhangan, India</i>	36
7.1.2 <i>Proyecto Theun Hinboun, Laos</i>	36
7.2 <i>Riesgos políticos y sociales</i>	37
7.3 Riesgos organizacionales	39
7.4 Riesgos ambientales	40
7.5 Herramientas de Prevención	43
7.6 Herramientas de Mitigación	44
8. MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS	45
8.1 Riesgos de planeación	47

8.2Riesgos socio ambiental	50
8.4Riesgos técnicos	53
8.5Riesgos sociopolíticos	55
9.CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura de la respuesta del riesgo NTC5254	35
Figura 2. Importancia de los riesgos generales	45
Figura 3. Variables de entrada Estudio de mercado	48
Figura 4. Variables de entrada Propuesta de diseño	48
Figura 5. Variable de salida del riesgo	48
Figura 6. Combinaciones posibles de respuesta	49
Figura 7. Cuantificación del riesgo en 3D	49
Figura 8. Esquema general para los riesgos socio ambiental	50
Figura 9. Variables de entrada de los problemas ambientales 1	51
Figura 10. Variables de entrada de los problemas ambientales 2	51
Figura 11. Combinaciones posibles de respuesta	52
Figura 12. Cuantificación del riesgo en 3D Problemas ambientales vs Aceptación social	52
Figura 13. Esquema general para los riesgos técnicos	53
Figura 14. Variables de entrada de los niveles de los profesionales	54
Figura 15. Variables de entrada de los peligros de operación	54
Figura 16. Variables de entrada de la entrega de diseños	54
Figura 17. Cuantificación del riesgo en 3D de Peligros de operación vs Nivel de los profesionales	55
Figura 18. Cuantificación del riesgo en 3D de Entrega de diseño vs Peligro de operación	55
<i>Figura 19. Esquema general para los riesgos socio políticos</i>	56
Figura 20. Variables de entrada del acceso a la infraestructura	56
Figura 21. Variables de entrada del terrorismo	56
Figura 22. Variables de entrada del uso de tierra	57
Figura 23. Variables de salida del riesgo sociopolítico	57
Figura 24. Cuantificación del riesgo en 3D de Acceso infraestructura vs Terrorismo	58
Figura 25. Cuantificación del riesgo en 3D de Acceso infraestructura vs Uso de tierra	58
Figura 26. Cuantificación del riesgo en 3D de Uso de tierra vs Terrorismo	59

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valoración general del riesgo	25
Tabla 2. Criterios de valoración de probabilidad	29
Tabla 3. Evaluación del riesgo por fases del proyecto Hidroituango	29
Tabla 4. Riesgos críticos económicos	31
Tabla 5. Riesgos críticos económicos	32
Tabla 6. Riesgos críticos técnicos	32
Tabla 7. Riesgos críticos técnicos	32
Tabla 8. Acciones de prevención y mitigación para riesgos financieros	35
Tabla 9. Acciones de prevención y mitigación para riesgos sociopolíticos	37
Tabla 10. Acciones de prevención y mitigación para riesgos organizacionales	39
Tabla 11. Acciones de prevención y mitigación para riesgos ambientales	40
Tabla 12. Matriz de aplicabilidad de estrategias de prevención	43
Tabla 13. Matriz de aplicabilidad de estrategias de mitigación	44
Tabla 14. Conjuntos difusos para el caso particular	46

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente documento es analizar y cuantificar los riesgos de un proyecto hidroeléctrico en Colombia, mediante la valoración de las relaciones que se pueden generar entre los distintos tipos de riesgos. Para ello, se emplea como caso de estudio el proyecto Hidroituango que es desarrollado por Empresas Públicas de Medellín (EPM), proyecto que ha presentado una gran variedad de riesgos interrelacionados y para cuyo análisis es necesario una valoración por relación de incertidumbre e impacto.

Para el análisis de riesgos se utilizaron evaluaciones de riesgo y juicios de expertos, en lugar de razonamientos probabilísticos, y se propuso una herramienta de calificación difusa, en donde la metodología empleada utiliza un análisis de decisiones multicriterio, el cual permite comprender de forma fácil y flexible el análisis de riesgos del proyecto.

Para determinar las variables de riesgo se toman como modelo los riesgos extraídos de proyectos externos mediante entrevistas con expertos, estudios de campo y revisión de la literatura, obteniendo en total once clases variables de riesgo: geología del sitio, uso de la tierra, problemas ambientales, conexión a la red, aceptación social, macroeconomía, peligros naturales, cambio de leyes y regulaciones, terrorismo, acceso a infraestructura e ingresos.

La importancia relativa de los factores de riesgo se estableció según los resultados obtenidos por la matriz de riesgos y procesos de control. Todo esto con el objetivo de que este análisis de riesgo brinde a los inversionistas una base más racional para tomar decisiones, con el fin de evitar los excesos de costos, retrasos en la programación e incluso cierre del proyecto.

1. ANTECEDENTES

Comúnmente el riesgo es un concepto subjetivo que depende de los escenarios planteados dentro de un proyecto, lo que lo hace voluble a la ambigüedad, siendo difícil de medir y cuantificar según el tipo de evaluador (Piussan et al., 1977). En tanto que con un dirección más cuantitativa, algunos autores definen riesgo como la multiplicación de las consecuencias negativas o positivas del peligro por la probabilidad de que dicho peligro se materialice (Kobayashi & Omoto, 2006) (Severin et al., 2010)

Para el análisis de proyectos de infraestructura, rama en la que se encuentra la construcción de centrales hidroeléctricas, Rodríguez clasificó los riesgos en tres categorías: riesgo de mercado; riesgos técnicos; y riesgos políticos e institucionales, donde dedujo a partir de un análisis estadístico que los riesgos más importantes eran los de mercado (41,7%), después los técnicos (37,8 %), y, en último lugar, los políticos e institucionales (20,5%). (Rodríguez Fernández, 2007). Igualmente, algunos autores como Piussan plantearon cuatro supuestos que se deben tener presentes durante la planeación y ejecución: cada proyecto es diferente debido al cambio de condiciones; los proyectos conllevan un alto riesgo por naturaleza; existen una serie de riesgos que se entrelazan entre sí; cada escenario debe considerarse pues el futuro no se puede predecir (Piussan et al., 1977)

Para el desarrollo de centrales hidroeléctricas se emplean técnicas de gestión de riesgos que incluyen procedimientos bien documentados para controlar los riesgos que pueden ocurrir durante el ciclo de vida de cualquier proyecto de construcción (Mahendra et al., 2013). Igualmente, un cambio de lógica clásica por lógica difusa presentó una mejora en el enfoque de análisis de operaciones (Patel, 2013).

La primera vez que se comenzó a hablar de los principios de la lógica difusa o fuzzy fue en la antigua Grecia. Los ensayos filosóficos de Platón y Aristóteles plantean que toda acción está entrelazada con los demás y por ende ningún evento es excluyente de otro (González Redondo, 2013). Esta idea permaneció olvidada hasta que en siglo XVIII D. Hume y I. Kant, encontraron principios contradictorios dentro de la lógica clásica y descubrieron que existían principios contradictorios dentro de la lógica clásica, posteriormente Bertrand Russell y Ludwing Wittgenstein, matemáticos del siglo XX

llegaron a la deducción de que existen modos diferentes de expresar o establecer conjuntos lingüísticos dentro de una misma situación o evento. En 1920, Jan Lukasiewicz planteó el primer acercamiento a lo que hoy se conoce como lógica de vaguedades, en donde a los conjuntos les corresponde un posible grado de pertenencia (Cala Estupiñan, 2015). Posteriormente, en la década de 1960 la teoría de la aplicación de la lógica difusa fue instaurada por Zadeh (Engineering, 1980).

Autores de las últimas tres décadas establecen que el análisis de riesgos debe ser bidireccional, es decir, que los responsables controlen el riesgo y se adapten a las circunstancias que surjan durante el desarrollo basado en lógica difusa, por lo que se prioriza el factor humano y la complejidad que rodea el riesgo. Asimismo, se destaca la valoración de las cualidades específicas de la compañía, del negocio o del proyecto puesto que juegan un papel muy importante en la correcta gestión del riesgo. Mientras que el enfoque tradicional se presenta como una metodología lineal en la que los gestores deben llevar a cabo los cuatro pasos previstos anteriormente.

De esta forma, la incertidumbre y el riesgo más que en un problema se convierten en una potencial ventaja competitiva. Consecuentemente, la capacidad de la compañía de prever los cambios del entorno y de adaptarse a los mismos se convierte en una fuente de ventaja competitiva muy importante. Weick y Sutcliffe (2011) proponen copiar el modelo de funcionamiento de las “organizaciones de alta fiabilidad” (HRO: high reliability organizations). La capacidad operativa de estas organizaciones para gestionar el riesgo se basa en 5 principios:

1. Aceptación del fracaso: esto conlleva dos consecuencias principales. Primero, las HROs prestan atención a cualquier manifestación, por muy intrascendente que parezca, de fracaso o de fallo; y, segundo, las HROs adoptan estrategias que pueden conllevar riesgos que otras organizaciones no se atrevan a asumir.
2. Reticencia a la simplificación: las HROs consideran que un exceso de simplificación puede aumentar la probabilidad de fracaso, puesto que las organizaciones son incapaces de detectar las manifestaciones tempranas de la materialización del riesgo.

3. Sensibilidad operacional: quiere decir que las organizaciones deben ser conscientes de lo que se está realizando. A nivel operativo, a lo mejor las intenciones estratégicas o la aplicación propuesta no es la más adecuada a la situación concreta.
4. Búsqueda de adaptación al entorno: la adaptación conlleva tres habilidades: corregir el error y mantenerse en funcionamiento; reponerse de las circunstancias adversas; y aprender y desarrollar esta capacidad de adaptación.
5. Rechazo de traslado del problema a un experto: defiende que no basta con trasladar el problema actual a un experto y olvidarnos del mismo. Consideran que la responsabilidad debe fluir de arriba de la organización hasta los ejecutores en el nivel operativo.

2. JUSTIFICACIÓN

Colombia al ser un país que depende principalmente de las hidroeléctricas para la generación de energía, posee a la fecha 143 centrales hidroeléctricas y planea la construcción de 4 en las próximas décadas, proyectos de infraestructura energética importantes puesto que representan el 70% de la demanda energética del país (Centralmente et al., 2014).

Históricamente, en el sector de la construcción y desarrollo de proyectos sostenibles se debe tener en cuenta los riesgos, variables de incertidumbre importantes los cuales hay que estudiar y analizar para disminuir su impacto dentro del desarrollo de este y más si se trata de proyectos de gran escala, como es el sector de Hidroeléctricas, cuya complejidad es fluctuante a cada escenario de riesgo. (Toro Noya, 2020)

Los proyectos sostenibles presentan incertidumbres, son complejos y cambiantes, afectados por cambios en el medio ambiente, la tecnología o los mercados. Es por esto que es necesario tener un mayor cubrimiento en el análisis de riesgos, permitiendo tomar las acciones y decisiones pertinentes para reducir y/o eliminar los peligros que se pueden generar, y que traen consigo sobrecostos, retrasos y mala publicidad al proyecto que se quiere desarrollar (Toro Noya, 2020)

Por otra parte, la mayoría de los proyectos fracasan al no cumplir sus objetivos, debido a mala planeación, recursos inadecuados o una pérdida de los objetivos planteados (Shenhar, 2007). Esta noción se vuelve más delicada en la implementación de proyectos sostenibles, los cuales son estructurados con un balance intrincado entre la rentabilidad económica, la responsabilidad social y la protección al medio ambiente, y cuyo fracaso representa un atraso en el desarrollo de más proyectos de esta índole.

Por consiguiente, se requiere conocer el grado de importancia de realizar una adecuada evaluación y análisis de riesgos al momento de planificar y ejecutar proyectos de hidroeléctricas, puesto que son en este tipo de obras que por su magnitud se dejan de lado ocasionando grandes impactos sociales, ambientales y económicos.

El desarrollo de este modelo promoverá la identificación de los riesgos esenciales, puesto que este método incorpora características cualitativas y cuantitativas que brindan

la información necesaria para describir cuál es su importancia, contribuyendo con la mitigación y aplicación de esto para futuros proyectos de esta índole.

3. DELIMITACIÓN

El presente estudio tiene como objetivo proponer un modelo de gestión de riesgos basado en lógica difusa para el desarrollo de proyectos Hidroeléctricos de despacho central en Colombia, los cuales son los de mayor impacto en el sector energético y requieren un seguimiento más delicado. Se implementará las lecciones aprendidas de otros proyectos hidroeléctricos como lo son Hidroituango, Santo Domingo, entre otros para identificar y cuantificar riesgos asociados.

El enfoque de este trabajo es de tipo cualitativo y cuantitativo, puesto que se busca identificar los principales riesgos por medio de una búsqueda bibliográfica la cual determinará su incidencia en este tipo de proyectos y evaluarlos bajo la lógica difusa provocando su mitigación e incrementando el éxito de los proyectos hidroeléctricos.

Adicionalmente, el proyecto tiene un alcance descriptivo, puesto que se sustentan los riesgos clave a partir de las experiencias de proyectos pasados que determinan un comportamiento en el desarrollo de estos, permitiendo encontrar un modelo que mejore el proceso de gestión de riesgos bajo la metodología de lógica difusa.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Proponer un modelo de gestión del riesgo que permita la identificación de escenarios en proyectos de centrales hidroeléctricas en Colombia

4.2 Objetivos específicos

- ✓ Evaluar los principales riesgos identificados en el desarrollo de proyectos de centrales hidroeléctricas en Colombia de acuerdo con revisiones de literatura y entrevistas.
- ✓ Identificar las opciones de control y prevención para los riesgos de mayor impacto, según su clasificación, con base en experiencias de otros proyectos.
- ✓ Modelar un sistema de valor en riesgo basado en reglas difusas generando escenarios de mayor y menor riesgo.

5. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se exponen los conceptos más importantes para el desarrollo del estudio que permitirán encontrar la mejor estrategia para la toma de decisiones en la gestión del riesgo en los proyectos de Hidroeléctricas en el departamento de Antioquia.

✓ **Lógicas difusas**

Según (Matías & Isabel, 2005), la lógica difusa es la que utiliza expresiones que no son ni totalmente ciertas ni totalmente falsas, es decir es la lógica aplicada a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. Además, tiene asociado una ocurrencia, severidad y probabilidad de ser detectado y presenta una escala de evaluación de fallas para cada uno de los parámetros mencionados y un significado asociado a cada uno de estos números (Quijano et al., 2017)

✓ **Centrales Hidroeléctricas**

Las centrales hidroeléctricas son instalaciones que aprovecha el movimiento de agua en que circulan por los ríos, para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a generadores. Las hidroeléctricas que tomaremos como caso de estudio serán las de la mayor producción energética y las cuales son las encargadas de la distribución y despacho principal de la energía transformada con el fin de cubrir eficientemente con la demanda diaria. (Romero, 2010)

✓ **Riesgo**

Se define como riesgo dentro del nivel de inversión a la fluctuación del rendimiento del proyecto perdiendo parte o el total de las ganancias (Kabeyi, 2019).

✓ **Administración del riesgo**

De acuerdo con (Rudas Tayo, 2017), la administración del riesgo incluye todos los procesos relacionados con la planeación de la gestión, la identificación y registro, la evaluación cualitativa y cuantitativa, la planeación de la respuesta a los riesgos, y su seguimiento y control.

✓ **Identificación del riesgo**

Se realizará una valoración e identificación del riesgo, definido por (Cardona, 2008), como la percepción individual, la representación social y la estimación objetiva. Para intervenir el riesgo es necesario reconocerlo, medirlo y representarlo mediante modelos, mapas, índices, etc., que tengan significado para los tomadores de decisiones. Metodológicamente involucra la valoración de las amenazas factibles, de los diferentes aspectos de la vulnerabilidad de la sociedad ante dichas amenazas y de su estimación como una situación de posibles consecuencias de diferente índole en un tiempo de exposición definido como referente. Su valoración con fines de intervención tiene sentido cuando la población lo reconoce y lo comprende.

✓ **Evaluación del riesgo**

Se ejecutará un análisis cualitativo para dar un grado de prioridad a cada riesgo encontrado

✓ **Seguimiento y control de riesgos**

Se realizará la administración de todas las variaciones en los riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

✓ **Cuantificación de riesgos**

Se realizará una evaluación de cada riesgo encontrado para determinar los posibles efectos, ayudando a determinar prioridades.

✓ **Probabilidad e impacto**

Todos los riesgos tendrán una probabilidad de ocurrir o no, y un determinado impacto si se llegan a producir. Es por esto que se definirán los parámetros de forma numérica determinando una clasificación de los riesgos fundamentales que se caracterizan en su probabilidad de ocurrencia y el rango de impacto.

✓ **Metodología para la identificación de riesgos**

Algunas de las técnicas para la identificación de riesgos que se utilizara son Revisiones de documentación, técnicas de recopilación de información (Tormenta de ideas, entrevistas, análisis de debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO)), técnicas de diagramación, como: diagramas de causa y efecto, diagramas de flujo o de sistemas, diagramas de influencias. (Quijano et al., 2017)

✓ **Planificación de la gestión de riesgo**

En esta etapa del proyecto se realiza una serie de informes que acompañen, dirijan y sustenten el desarrollo del proyecto que entrelazan las etapas del ciclo del proyecto, facilitando la participación de los beneficiarios y reduciendo el riesgo como consecuencia de la incertidumbre.

6. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CRÍTICOS DEL PROYECTO

La valoración y estudio de riesgos establecidos en el presente documento está centrado en la fase de construcción del proyecto, la cual, tiene una duración estimada de 6 a 8 años en la construcción de centrales hidroeléctricas. Se empleó la metodología de administración de riesgos propuesta (Rubi & Mejía, 2004) y usada en la evaluación de riesgos para el proyecto la hidroeléctrica de Santo Domingo (Londoño González, 2018)

Para la identificación de riesgos, el presente trabajo examinó los postulados de diferentes expertos de diferentes países en la construcción de centrales hidroeléctricas en los últimos 10 años y se centró en la etapa de construcción durante la cual se presenta la mayor cantidad de actividades entrelazadas, estableciendo semejanzas con la valoración de riesgo del caso de estudio para Colombia.

Se determinó un total de cinco clases de factores de riesgo sobre la base de entrevistas con expertos, estudios de campo y revisión de la literatura de la siguiente manera: financiero, ambiental, socio-político, técnico, ambiental. Se empleó el análisis los siguientes estudios como base (Carneiro & Ferreira, 2012) (Agrawal, 2012) (Bradleu, 1998) (Leach et al., 2011) (Meadowcroft et al., 2018) (Londoño González, 2018)

6.1 Tipos de riesgos

6.1.1 Riesgo Financiero/ Económico

Durante la ejecución de obras públicas, los riesgos financieros más relevantes corresponden a la quiebra o insolvencia de los contratistas en caso de que se presenten libros alterados o malas auditorías; inadecuado manejo de los anticipos; volatilidad de los precios de los insumos; incrementos en los costos. Autores como (Iliadis et al., 2006) y (Iliadis et al., 2007) establecen la relación de liquidez y el origen de la mayoría de problemas dentro de una obra de carácter público o mixto. En estos eventos, la base de la investigación se centran en la selección del contratista puesto que debe demostrar una músculo financiero adecuado para el desarrollo del proyecto, por lo que y es allí donde

las entidades deben tener extrema precaución, como se ha evidenciado en diferentes proyectos de importancia nacional, el uso de anticipos no puede sumarse a su capacidad de financiera inicial.

Asimismo, se pueden sufrir pérdidas por la variación en los precios de mercado afectando las actividades de la compañía, creando la incertidumbre de que una de las partes de operación incumpla con las obligaciones pactadas antes de su finalización

También hace referencia a los recursos con los que cuenta la entidad, la ejecución presupuestal, la creación de los estados financieros, el manejo de sobrecostos y los bienes que posee la entidad que realiza el proyecto. Por lo que conocer la eficiencia y manejo de los recursos ofrece la posibilidad de determinar el éxito del proyecto (Montalto Cruz, 2015).

6.1.2 Ambiental

En el desarrollo de un proyecto de gran escala como el de una hidroeléctrica se presentan una gran variedad de actividades que afectan el ambiente en el que son realizadas. Según un estudio realizado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), las represas tienen un importante impacto sobre la biodiversidad. Está reportado que afectan la dinámica de las poblaciones naturales, la pérdida de bosques e incluso pueden favorecer la aparición de enfermedades infecciosas (Rico, 2018). Por lo que el lineamiento que se debe seguir en Colombia sigue el planteamiento de licencias ambientales, de los planes de manejo ambiental, de las condiciones ambientales o ecológicas exigidas. El cumplimiento de las acciones presentadas en el plan de manejo ambiental al igual que un monitoreo constante de los interesados es fundamental para determinar la materialización de riesgos que pueden afectar su rentabilidad y sus flujos de caja, desplazar la fecha de inicio de operación y en algunos casos puede dañar la Figura y reputación de la empresa propietaria del proyecto haciendo inviable completamente (Londoño, 2017).

En la fase de desarrollo de las hidroeléctricas se generan desviaciones de ríos a gran escala que perjudican comunidades, lo que lleva a procesos de negociación para la

compra de predios, como en el caso de caso de la Hidrosogamoso, ubicada en el departamento de Santander, Colombia, proyecto que inició en el 2009 y finalizó a mediados del 2014. El desplazamiento de la población aledaña es un punto de interés en la construcción de centrales hidroeléctricas, por lo que se requiere de un censo adecuado para identificar las personas realmente afectadas en este tipo de casos, ya que en diversas ocasiones se ha identificado que se presentan personas como afectadas sin acreditar realmente esta calidad, al igual que un estudio pobre que se transforma en demandas o paros de comunidad. (Osorio Rosado, s. f.)

Algunos de los riesgos ambientales y sociales relevantes son los siguientes: la contaminación del suelo, el agua y el aire durante la construcción por encima de los niveles permitidos; la contaminación por ruido superior al permitido –por ejemplo, por voladuras con explosivos–; la afectación negativa superior a la esperada de los recursos naturales –flora, fauna, aguas– como consecuencia de la ejecución del proyecto; al reducir la concentración de oxígeno disuelto, se incrementa la producción de bacterias anaeróbicas, generando la mortandad de seres acuáticos que producen un olor indeseable; la fuga o derrame de materiales peligrosos durante el transporte o en el sitio de construcción; las dificultades por factores climáticos, tormentas eléctricas y calor, entre otros; y la fallas en los diseños de ingeniería con respecto al cumplimiento de los estándares ambientales requeridos.

Se altera la calidad del aire y se incrementa la contaminación auditiva, esto debidos a las explosiones y perforaciones necesarias en la etapa de construcción, etapa en donde se aumenta el material particulado en la zona, sin dejar de lado la etapa de operación, donde la calidad del aire disminuye debido a los olores que genera la descomposición de materia orgánica y que alarma a los habitantes aledaños y genera que dejen su lugar de vivienda, olor que se podría controlar si se realizara el seguimiento y control a los hedores de la represa.

6.1.3 Riesgos Sociopolítico de proyectos hidroeléctricos

La normatividad legal del territorio es la base para el planteamiento de los proyectos, por lo que un país con una legislación constante o con una tendencia a un

sector económico presenta una alta favorabilidad para su ejecución. Para algunos autores como Rodríguez Fernández, Para Beltrán Ruiz, Martínez Quintero y Hurtado Garzón este tipo de riesgos es considerado como construir una casa sobre arenas movedizas, puesto que afectará a todos los contratos establecidos por la normatividad. Por ejemplo: la terminación del uso de los suelos por parte de los legisladores es crucial, dado que el alto consumo de terrenos que se pierden en las etapas de inundación y formación de las represas en donde existen fincas y hogares se deben desplazar para la realización del proyecto. En estos eventos que están fuera del control normal del contratista, la responsabilidad recae en mayor proporción a la entidad pública en donde un correcto ejercicio de planeación, debe proseguir una sinergia con las organizaciones oficiales consultar las fuentes oficiales de la zona, tales como las Fuerzas Armadas, las entidades gubernamentales territoriales, Defensoría del Pueblo, etc., para determinar los mecanismos que disminuyan el impacto en la ejecución, en el evento en que ocurran.

Debido a su alto impacto, los riesgos de este tipo son de los más analizados para estos proyectos, teniendo en cuenta que el tiempo que dura la obra de construcción es muy largo y cualquier cambio afectaría los plazos de ejecución.

6.1.4 Riesgos Técnicos de proyectos hidroeléctricos

Los riesgos técnicos corresponden a una serie de factores que en gran medida relacionados con la tecnología o procesos empleados para superar variables del entorno ya sean geológicos o hidrológicos, al igual que las desactualizaciones tempranas, las cuales hacen menos atractivos a los proyectos cuando son evaluados en sus tareas de mantenimiento. La materialización de estos eventos suele ser causada por un mal estudio al comienzo de los supuestos y limitaciones iniciales en el diseño del proyecto, como lo serían: fallas en los suministros (por ejemplo, materiales) y problemas contractuales.

Teniendo presente que un riesgo técnico implica un cambio estructural en el desarrollo del proyecto, puesto que para el diseño de una central hidroeléctrica se deben hacer estudios detallados sobre el terreno, el tipo de presa, el acceso a la zona de construcción, estudios hídricos: tanto de la fuente acuífera como de la pluviosidad de la

zona y las características del terreno que se requiere inundar, entre otros, estos estudios garantizan su planeación, construcción y puesta en operación. Una selección inadecuada de técnicas de construcción o una mala planeación en el montaje fácilmente genera sobrecostos que lleven a la quiebra al patrocinador e impide la conclusión del proyecto. (Ríos Merlos, 2013)

6.1.5 Gerencial/ Operacional

El impacto operacional trae consigo el riesgo a sufrir pérdidas causadas por fallas en los procesos, el personal y los sistemas internos que pueden ser generados con factores internos y externos de la compañía.

Algunos de los riesgos más relevantes son los siguientes: desviaciones en la ruta crítica causada por la incertidumbre existente en la negociación con las comunidades afectadas por el proyecto; falta de claridad en el proceso de gestión de cambios; fallas en la gestión social que produzcan manifestaciones en su contra; falta de experiencia de los patrocinadores para la administración de un proyecto de esta magnitud, especialmente en la toma de decisiones, la resolución de litigios, conflictos o disputas entre los contratistas o con ellos, la insuficiencia de personal para llevar a cabo actividades de importancia crítica, la disponibilidad de mano de obra calificada y no calificada por la competencia con otros proyectos; incumplimiento de los planes de gestión de calidad por parte de los contratistas; y falta o fallas de supervisión por parte de la interventoría del proyecto.

6.1.7 Valoración de riesgos

El proceso de identificación y la calificación corresponde a las empresas de construcción al igual que a un grupo de expertos siendo la base para el análisis en el presente documento, debido a que los riesgos ambientales y regulatorios no se pueden manejar de forma netamente cuantitativa. En la Tabla 1 se resumen algunos de los aspectos más relevantes del análisis de riesgos del proyecto para la fase de construcción. Teniendo en cuenta la valoración de cada uno de los riesgos anteriores en

la siguiente tabla se presenta una estructura de valoración cualitativa por factor de riesgo presente dentro de la clasificación anterior. Mediante análisis de contenido, se extrajeron los factores de riesgo que impactan de manera negativa al proyecto al alterar el costo del proyecto, su cronograma o su alcance. La tabla 1 presenta un sistema de valoración normal en el cual el riesgo se incrementa al tener un mayor puntaje mayor impacto representa dentro del proyecto.

Tabla 1.

Valoración general del riesgo en las hidroeléctricas

Factor de riesgo	Riesgo Bajo (Valor=1)	Riesgo Medio (Valor=2)	Riesgo Alto (Valor=3)	Riesgo Muy Alto (Valor=4)
Lugar geológico	La calidad de la roca es buena	La calidad de la roca es media	La calidad de la roca es baja	Suelo cubierto de agua
Modalidad contractual	Término precio fijo	Contrato indefinido	contrato por tiempos y materiales	contrato por tiempo y contrato
Uso de tierra y permisos	Bosques	Propiedad del ministerio de hacienda	Propiedad privada: uso agrícola	Propiedad privada: residencial
Problemas ambientales	Afectación inferior a 1 año Máximas consecuencias después de 24 meses Alteración del factor ambiental menor o igual al 20 % Impacto ambiental confinado en las instalaciones de la organización Impacto ambiental recuperable, puede ser eliminado completamente	Afectación entre 1 y 3 años Máximas consecuencias entre 19 y 24 meses Alteración del factor ambiental entre el 21 y el 40 % Impacto ambiental trasciende los límites de la organización Impacto ambiental es mitigable	Afectación entre 4 y 6 años Máximas consecuencias entre 13 y 18 meses Alteración del factor ambiental entre el 40 y el 60 %.	Afectación superior a 10 años Máximas consecuencias entre 0 y 30 días La alteración del factor ambiental es mayor al 80 % La afectación se manifiesta en un área de ubicación crítica o decisiva Los impactos son irreversibles

Tabla 1. (Continuación)

Conexión de redes	La distancia del proyecto con una planta eléctrica es menor a 1Km	La distancia del proyecto con una planta eléctrica es menor a 1-5Km	La distancia del proyecto con una planta eléctrica es superior a 5Km	Existe limitaciones con las redes eléctricas
Aceptación Social	Amplia aceptación social y una amplia consulta pública	Consulta pública con una afectación comunitaria baja	La instalación reduce el uso de la comunidad local del río o de las tierras circundantes.	La instalación detiene o limita la capacidad de las comunidades locales para utilizar el río como medio de vida.
Macroeconómica	Variación en el costo o recurso financiero menor a MUSD 1.65	Variación en el costo o recurso financiero entre MUSD 1.65 y 3.3	Variación en el costo o recurso entre MUSD 3.3 y 6.6	Variación en el costo o recurso financiero mayor a MUSD 6.6
Peligros Naturales	Probabilidad menor a 1%	Probabilidad entre 1% y 10%	Probabilidad entre 10% y 50%	Probabilidad superior al 50%
Cambios de leyes y regulaciones de territorio	Países con un robusto contexto legal en energías renovables, con inclusión de hidroeléctricas	Países con contexto legal presente, con inclusión de hidroeléctricas	Países con contexto legal presente, pero sin inclusión de hidroeléctricas	Países con sin contexto legal de energía renovable.

Tabla 1. (Continuación)

Acceso a infraestructura	La calidad de la red de la carretera cercana es alta	Calidad de la red de la carretera cercana es media	Calidad de la red de la carretera cercana es baja	No hay construcción de carreteras en lugares cercanos.
Ingresos	La descarga de diseño se produce una vez que la probabilidad es superior al 80%.	La descarga de diseño se produce una vez que la probabilidad es entre 60-80%.	La descarga de diseño se produce una vez que la probabilidad es entre 40-60%.	La descarga de diseño se produce una vez que la probabilidad es menor al 40%.
Entrega de diseños	A tiempo	Semanas de retraso	Meses de retraso	Años de retraso
Terrorismo	Índice de terrorismo del sector es bajo	Índice de terrorismo del sector en medio	Índice de terrorismo del sector en alto	Índice de terrorismo del sector en extremo. Muerte o invalidez total de una (1) persona Secuestro de una (1) persona
Nivel de los profesionales	Altamente Calificados	Calificados	Medio Calificados	No calificados
Seguridad operacional	Lesiones sin incapacidad	Incapacidad temporal para menos del 20 % de los trabajadores	Incapacidad permanente parcial en menos del 10 % de los trabajadores	Incapacidad permanente parcial para el 10 al 20 % de los trabajadores

Tabla 1. (Continuación)

Estudio de mercado	Para el inicio del proyecto se realizó un muy buen estudio de mercado	Para el inicio del proyecto se realizó un buen estudio de mercado	Para el inicio del proyecto se realizó un mediocre estudio de mercado	Para el inicio del proyecto no se realizó un estudio de mercado
Propuesta de diseño	Para el inicio del proyecto se presentó una muy buena propuesta de diseño	Para el inicio del proyecto se presentó una buena propuesta de diseño	Para el inicio del proyecto se presentó un boceto de propuesta de diseño	Para el inicio del proyecto no se presentó una propuesta de diseño

Nota. La tabla presenta valoraciones de riesgos según su factor de incidencia y descripción durante la fase de construcción.

6.8 Caso de Estudio

6.8.1 Hidroituango

En la tabla presente en los anexos, se sintetiza las descripciones del riesgo y las consecuencias de mayor impacto durante la construcción en los proyectos de hidroeléctricas. Se describen la etapa en la que se podría materializar el riesgo (planeación, construcción, operación), los escenarios de riesgo, el área donde se manifestaría (política, económica, social, ambiental, legal), el objeto de impacto relevante (costo, tiempo, personas, reputación, ambiente), la probabilidad de ocurrencia, el impacto la magnitud de la consecuencia y, finalmente, el nivel del riesgo que representa su indicador de criticidad.

La tabla 2 presenta los criterios de valoración de probabilidad

Tabla 2.

Criterios de valoración de probabilidad

Valor	Clasificación	Descripción	Probabilidad de ocurrencia
4	Muy alta	Muy alta probabilidad de ocurrencia	>75%
3	Alta	Probable que ocurra varias veces	75%-50,1%
2	Media	Mediana probabilidad de ocurrencia	50%-25,1%
1	Baja	Baja probabilidad de ocurrencia	<25%

Nota. La tabla presenta la clasificación de riesgos por probabilidad de ocurrencia

A partir de la tabla de riesgos del proyecto de Hidroituango a continuación se realizó una evaluación por fases de desarrollo del proyecto, según la cual cada nivel tiene un nivel de monitoreo y gestión diferente, obteniendo la valoración de probabilidad.

Tabla 3.

Evaluación del riesgo por fases del proyecto Hidroituango

Probabilidad		Impacto				
		Mínimo	Marginal	Moderado	Elevado	Vital
		1	2	4	8	10
Cierto	10					1, 2, 3, 5, 6, 7,19, 20, 21, 22
Probable	8		56, 57, 58, 59	24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 39, 40, 41, 42,		8, 9, 10,23
Posible	4		50, 51, 52	53, 54, 55	28, 31, 33	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

Tabla 4. (Continuación)

Improbable	2		60, 61, 62, 63, 64	35, 36, 37,38	4, 11
Excepcional	1	65, 66, 67, 68, 69		43, 44, 45, 46, 47, 48, 49	34, 35

Nota. Matriz de valoración de riesgo de factores de relación por probabilidad e impacto

6.8.2 Niveles de riesgo

A continuación, se establecen las características por riesgo, catalogados en cuatro secciones con el objetivo de identificar los riesgos de mayor probabilidad e impacto a los para los proyectos de centrales hidroeléctricas en Colombia

- ✓ **Rojo:** se ubican los riesgos que requieren un control constante, puesto que al llegarse a presentar obligatoriamente se deben tomar medidas inmediatas. Dentro de las políticas de EPM se establece que este tipo de riesgos debe de ser compartido con aseguradoras con el fin de reducir la carga de inversión en las medidas y evitar variaciones significativas en la rentabilidad del proyecto. (EPM, 2015).
- ✓ **Naranja:** se ubican los riesgos que necesitan monitoreo y la toma de acciones inmediatas. Si bien este tipo de riesgos no presentan un impacto tan severo como los riesgos en rojo, se debe tener un monitoreo riguroso e informar a la vicepresidencia del proyecto. Igualmente, se recomienda transferir el riesgo a aseguradores o a terceros vía contratos, así como estudiar la posibilidad de retención parcial de riesgos (EPM, 2015).
- ✓ **Amarillo:** se ubican los riesgos de prioridad moderada, cuyo monitoreo presenta plazos semestrales y las acciones de corrección pueden ser a mediano plazo. Normalmente, bajo la directiva de EPM se establece la retención del riesgo, parcial o totalmente (EPM, 2015).

- ✓ **Amarillo:** se ubican los riesgos de prioridad moderada cuyo monitoreo presenta plazos semestrales y las acciones de corrección pueden ser a mediano plazo. Normalmente, bajo la directiva de EPM se establece la retención del riesgo, parcial o totalmente (EPM, 2015).
- ✓ **Verde:** se ubican los riesgos de prioridad baja cuyo monitoreo presenta plazos anuales y las acciones de corrección están contempladas con anterioridad y son de largo plazo. Normalmente, bajo la directiva de EPM se establece existe mayor flexibilidad para el cumplimiento de la retención del riesgo, parcial o totalmente (EPM, 2015).

A partir de la tabla 3 de evaluación de riesgos del proyecto que tomamos como caso de estudio, se seleccionan los riesgos de mayor prioridad para cada aspecto involucrado en la construcción del megaproyecto

Tabla 5.

Riesgos críticos económicos

Tipo	Descripción (Qué puede pasar y, si es posible, cómo puede pasar)	Prioridad
Económico	Estudio de mercado y análisis del sector insuficiente	Alto
Económico y Regulatorio	No seleccionar la mejor la propuesta	Alto

Nota. La tabla presenta los riesgos económicos de mayor impacto y probabilidad

Tabla 6.*Riesgos críticos ambientales*

Tipo	Descripción (Qué puede pasar y, si es posible, cómo puede pasar)	Prioridad
Socio ambiental	Deterioro del relacionamiento con las comunidades	Alto
Socio ambiental	Manifestaciones en contra del proyecto por conflicto social.	Alto
Ambiental	Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundación, deslizamientos, asentamientos	Alto
Ambiental	Dificultad en la negociación de los títulos usos de suelos	Alto
Ambiental	Deslizamientos de tierra	Alto

Nota. La tabla presenta los riesgos ambientales de mayor impacto y probabilidad

Tabla 7.*Riesgos críticos técnicos*

Tipo	Descripción (Qué puede pasar y, si es posible, cómo puede pasar)	Prioridad
Técnico	Falta de idoneidad de los profesionales	Alto
Técnico	Demoras en la entrega de los diseños (ej.: diseños relacionados con la ruta crítica)	Alto
Técnico	Daños a terceros por vehículos de transporte de maquinaria, equipos, módulos de construcción	Alto
Técnico	Incendios y explosiones en plantas físicas.	Alto
Técnico	Accidentes operacionales (derrames, fugas, goteos)	Alto

Nota. La tabla presenta los riesgos técnicos de mayor impacto y probabilidad

Tabla 8.*Riesgos críticos sociopolíticos*

Tipo	Descripción (Qué puede pasar y, si es posible, cómo puede pasar)	Prioridad
Sociales o Políticos	Alteraciones del orden público	Alta
Socio ambiental, político	Actos contra empleados claves propios o de contratistas por grupos al margen de la ley	Alto
Social	Actos terroristas	Alto
Legal	Recurso suelo	Alto

Nota. La tabla presenta los riesgos socio-políticos de mayor impacto y probabilidad

En función de la valoración de riesgos identificados en la sección anterior, se recopiló información suficiente para identificar los procedimientos apropiados para mitigar y controlar las causas y los efectos presentados. Se empleó como referencia proyectos desarrollados por EMP, al igual que proyectos similares en latino américa y Asia para así identificar los riesgos del caso Hidroituango que están dentro del estándar frente a otros proyectos.

Dentro de los riesgos identificados por proyectos y el criterio de cálculo propuesto, se identificó que el proyecto de Hidroituango presenta una atracción al riesgo de carácter estándar en comparación con otros proyectos, dentro de los cuales no existe un factor de mayor impacto (técnico 12% (Averso), financiero 24% (Averso), comercial 21% (Propenso), político-ético-legal 18% (Averso), organizacional 11% (Neutral), ambiental 12 % (Neutral), relación con las comunidades 9% (Propenso).) Este nivel de riesgos diversificado sigue los planteamientos encontrados en el trabajo de Villamarin y Díaz Díaz-Piraquive en hidroeléctricas de menor tamaño (Villamarin & Díaz-Piraquive, 2020)

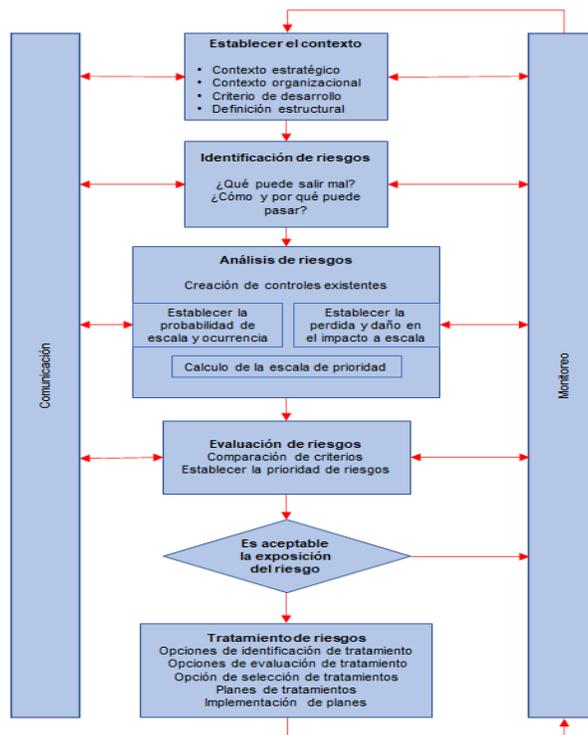
7. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS PARA PREVENIR Y CONTROLAR RIESGOS

A partir de la valoración establecida por grupo de riesgo en la sección anterior, se procedió a identificar los procesos de prevención y mitigación y los escenarios en los cuales se implementaron las herramientas. Para la estructuración de la respuesta al riesgo, se empleó el diagrama de flujo presentado en los figura 1, la cual se basa en las Normas Técnicas Colombianas NTC5254 y NTC-ISO-31000-2011 (Icontec, 2004) & (Icontec, 2011), las cuales optimizan el desarrollo de la gestión de riesgos en proyectos de hidroeléctricos en Colombia, que incluye: identificación de las principales variables de riesgo; calificación; cuantificación; evaluación y respuesta a estas variables de riesgo.

De acuerdo a los procesos de prevención expuestos, se procede a encontrar algunos casos de estudios en donde se aplicaron algunas de las respuestas contra el riesgo y salieron adelante para seguir operando.

Figura 1.

Estructura de la respuesta del riesgo NTC5254



Nota. La figura representa el diagrama de flujo de valoración de riesgos y estructuración de elementos de riesgo

7.1 Riesgos financieros y Económicos

Tabla 9.

Acciones de prevención y mitigación para riesgos financieros

N°	Herramientas de prevención	N°	Herramientas de mitigación
RF1	El modelo financiero debe centrarse en el flujo de caja del proyecto. Los supuestos deben ser conservadores y un análisis de sensibilidad debe demostrar la viabilidad del proyecto para una variedad de escenarios.	RF1	Estructuración de proyecto por arreglos de concesión con fin de incrementar el flujo de caja
RF2	Incrementar el conocimiento de las variables financieras y minimizar la incertidumbre.	RF2	Venta de créditos de carbono para solventar la liquidez

Tabla 10. (Continuación)

RF3	Validar la información al confirmar la fuente de entrada para las simulaciones de Monte Carlo o la red neuronal artificial con el fin de garantizar exposición a riesgos financieros	RF3	Solicitud de préstamos a organismos internacionales o sectores privados o estatales.
RF4	Estructurar garantías financieras al comienzo del proyecto	RF4	Reestructuración del proyecto con el fin de acceder a nuevos préstamos

Nota. La tabla representa el listado de acciones de mitigación y prevención para los riesgos financieros

7.1.1 Proyecto Allain-Duhangan, India

El proyecto fue estructurado mediante el sistema BOOT de propiedad de construcción y transferencia en la cual Malana Power Company Ltd ha establecido una empresa de propósito especial, AD Hydro Power Ltd (ADHPL), para financiar, construir, poseer y operar el proyecto. Bajo lo que ahora es un arreglo estandarizado, el gobierno estatal recibirá energía gratis en lugar de regalías: 12 por ciento de la energía disponible durante los primeros 12 años y 18 por ciento durante los próximos 28 años.

7.1.2 Proyecto Theun Hinboun, Laos

Una crisis de liquidez en 1997 afectó la capacidad de los bancos tailandeses para cumplir con las solicitudes de retiro. El déficit tuvo que compensarse con fondos denominados en dólares estadounidenses, lo que redujo la línea de crédito en baht a menos del 30 por ciento de la deuda.

En 2002, la compañía de energía Theun-Hinboun llevó a cabo una reestructuración financiera con el objeto de reequilibrar la combinación de monedas de la deuda para igualar los ingresos; para reducir los costos de endeudamiento y reunir capital. THPC firmó instalaciones valoradas en 152 millones de dólares, principalmente en fondos en baht proporcionados por los bancos comerciales tailandeses.

7.2 Riesgos políticos y sociales

Tabla 11.

Acciones de prevención y mitigación para riesgos sociopolíticos

N°	Herramientas de prevención	N°	Herramientas de mitigación
RP1	La identificación lógica de los cambios que somete el proyecto a los habitantes de la zona se debe considerar como primera medida para la organización de escenarios.	RP1	El gobierno puede garantizar el reembolso de los préstamos. Esto reduce el riesgo de los prestamistas y, por lo tanto, los costos del préstamo del desarrollador.
RP2	Asegurar el pleno conocimiento de las condiciones pactadas en el contrato, para determinar el impacto positivo o negativo en el balance del proyecto de cambios regulatorios.	RP2	El gobierno puede garantizar la reubicación de los interesados afectado al igual que el mantener su actividad productiva
RP3	Establecer programas de capacitación para todo el personal en todos los niveles organizacionales en una cultura de tolerancia cero con el cumplimiento y los problemas éticos.	RP3	Cambios en las legislaciones de uso de suelos por mayoría de aprobación de la comunidad.
RP4	Se puede instruir a la empresa de energía del gobierno para que compre energía de pequeños desarrolladores hidroeléctricos a un precio favorable.	RP4	Compensación económica y contratación temporal en la ejecución del proyecto.

Tabla 12. (Continuación)

RP5	El proceso burocrático involucrado debe estar bien documentado para que los desarrolladores sin experiencia puedan entenderlo fácilmente. Los permisos deben estar disponibles dentro de un tiempo razonable después de que se envíen las solicitudes.	RP5	Intervención de la división social de la organización para mitigar problemas de bloqueos de la comunidad o mala prensa.
-----	--	-----	---

Nota. La tabla representa el listado de acciones de mitigación y prevención para los riesgos socio-políticos

✓ **Proyecto Bumbuna, Sierra Leona**

Según el análisis Head y Davidson (Head, C.R. (2000). Financing of Hydropower Projects. World Bank Discussion Paper No. 420. The World Bank, Washington, D.C.) de Para que el proyecto de Bumbuna tenga éxito, el gobierno tendrá que proporcionar un sentido claro de dirección, combatir el nepotismo, el tribalismo y la corrupción; depender menos de los donantes y ser más proactivo a la hora de determinar las características de la oferta y la demanda de las fuentes de energía. El futuro de BHP no solo depende de diseñar, implementar, monitorear y evaluar estrategias apropiadas, sino también de mantener un sistema político y económico estable dentro de la región de África Occidental. (African Development Fund, 2013)

✓ **Proyecto La Yesca, México**

Para el proyecto, el grupo consultor tuvo claro que aprender a construir consensos requiere condiciones y oportunidades adecuadas para que el público se involucre en la creación de marcos que den sentido a la participación en esfuerzos colaborativos (Yesca et al., 2012). En la región afectada por La Yesca, había un entorno social que parecía listo para la colaboración. No hubo indicios de conflictos sociales ni indicios de enfrentamiento político o cultural. En consecuencia, el proceso diseñado enfatizó acciones para facilitar el desarrollo de la confianza entre las partes interesadas a través

de una expansión paso a paso de oportunidades de participación en el proceso participativo.

7.3 Riesgos organizacionales

Tabla 13.

Acciones de prevención y mitigación para riesgos organizacionales

N°	Herramientas de prevención	N°	Herramientas de mitigación
RO1	Preparar planes de sucesión, para asumir los cambios de personal estratégico y estilo de liderazgo que son habituales en los proyectos de hidroeléctricas.	RO1	Reestructuración del alcance del proyecto al igual que los equipos de trabajo para generar confianza en inversores externos.
RO2	Establecer garantías parciales de riesgo, para brindar seguridad en el pago	RO2	Implementar análisis de causa raíz, para identificar cuál de las metodologías implementadas impide el cumplimiento de los objetivos del proyecto.
RO3	Evaluación de fuerzas de Porter para identificar el mapeo de estrategias factibles para el control de debilidades y amenazas de la organización	RO3	Intervención financiera directa de los patrocinadores para el cumplimiento de los objetivos pactados.
RO4	Una revisión o auditoría de la función de toda la organización (estructura de la organización; experiencia y capacidades del personal; confianza en la dirección; entornos e impactos regulatorios) ayuda a determinar las causas y las acciones correctivas necesarias para facilitar el cambio e informar la estrategia de operación a más largo plazo	RO4	Reclutamiento de personal mejor capacitado, para el cumplimiento de roles
RO5	Programas de control y transferencia de conocimiento al nuevo personal	RO5	Reasignación de recursos en diferentes etapas del proyecto

Nota. La tabla representa el listado de acciones de mitigación y prevención para los riesgos organizacionales

✓ **Proyecto Salto grande, Argentina**

El Complejo Salto Grande utiliza el sistema de gestión de activos empresariales para mejorar la productividad, la seguridad y la eficiencia en toda la organización; optimizar los registros de activos; realizar un análisis de intervención; y garantizar la seguridad humana y ambiental al tiempo que se reduce el tiempo y los costos de trabajo y los permisos de licencia para los trabajadores (Caribe, 1992). Estos procesos gestión organizacional se complementan con análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad de actividades críticas, evaluación de la condición de operación y evaluaciones externas realizadas por los fabricantes de turbinas y generadores.

✓ **Proyecto Nalubaale-Kiira, Uganda**

El éxito del programa del proyecto Nalubaale-Kiira se mide utilizando un conjunto de métricas de desempeño que incluyen disponibilidad, confiabilidad, tasa de lesiones con tiempo perdido, derrames de petróleo, eliminación de desechos, calidad del agua, seguridad y ganancias anuales. Las directivas del proyecto introdujeron un programa de reclutamiento que ofrece un programa de capacitación de tres años para hasta 10 aprendices en cada uno de los dos sitios, Nalubaale y Kiira HPP (Le, 2016).

7.4 Riesgos ambientales

Tabla 14.

Acciones de prevención y mitigación para riesgos ambientales

N°	Herramientas de prevención	N°	Herramientas de mitigación
RA1	Transferir el riesgo mediante la contratación de consultorías ambientales que se encarguen de la obtención de permisos ambientales, proyección de documentos y manejo de material de los mismos, monitoreando posibles cambios en las políticas y legislación ambiental y la ejecución del plan y obligaciones ambientales.	RA1	Ofrecer los escenarios de concertación con las comunidades y las autoridades municipales sobre los mecanismos que se van a establecer para implementar las medidas de manejo contenidas en el PMA.

Tabla 11. (Continuación)

RA2	Implementar las medidas necesarias para manejar, prevenir, compensar y mitigar los procesos de pérdida de suelo y de zonas inestables que podrían desencadenarse por la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico especialmente en la zona en donde se ha identificado un riesgo alto y medio de susceptibilidad a procesos de remoción.	RA2	Definir soluciones conjuntas validadas por cada una de las partes involucradas frente a los proyectos del PMA.
RA3	Controlar y supervisar mediante visitas periódicas la estabilidad en las zonas de interés con el fin de atender de manera anticipada cualquier inestabilidad que pueda generar inconvenientes para el proyecto.	RA3	Disponer el material vegetal removido en un sitio adecuado, de manera que los drenajes y los sitios de acceso no se vean afectados.
RA4	Realizar la implementación de las obras de control geotécnico en las zonas en donde se requiera, con el fin de garantizar la estabilidad de la infraestructura asociada al proyecto.	RA4	Implementar las medidas necesarias para manejar, prevenir, compensar y mitigar los procesos de pérdida de suelo y de zonas inestables que podrían desencadenarse por la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico.
RA5	Desarrollar procesos educativos formales y no formales en temas de uso, manejo, conservación sostenible, relaciones alternativas y sustentables con el entorno físico biótico dirigidos a los actores sociales del área de influencia del proyecto.	RA5	Generar un traslado de las especies de fauna silvestre presentes en el área de intervención del proyecto, antes y durante la ejecución de las actividades de construcción y mantenimiento hacia zonas alejadas del proyecto.
		RA6	Incorporar secciones de cultivos de peces nativos para ser introducidos agua abajo con el fin de no afectar los ecosistemas circundantes

Nota. La tabla representa el listado de acciones de mitigación y prevención para los riesgos ambientales

✓ **Proyecto Santo domingo**

El proyecto Santo domingo por parte de EMP pretende establecer un programa de soporte mixto para apoyar la protección y control a las especies afectadas en conjunto con las comunidades directamente afectadas (Londoño González, 2018). Con el objetivo de mejorar la ejecución de procesos de mitigación de destrucción de fauna y flora al seguir las actividades planteadas en el PMA.

✓ **Proyecto El Buey**

Dentro de las estrategias planteadas por EPM, se pretender realizar un proceso de restauración ambiental en zonas cercanas al proyecto con el fin de reducir los impactos generados por el proyecto en la región, que han contribuido a la desaparición de la fauna y la flora, a la formación de procesos erosivos, la contaminación del recurso hídrico (EMP, 2019).

A partir de las tablas de procesos de prevención y mitigación a continuación se presenta una serie de matrices en donde se valora la aplicabilidad de cada una de las estrategias para el caso de Hidroituango al señalar por expertos el seguimiento que EMP le ha dado al proyecto. Igualmente, se debe especificar que el lineamiento de cualificación pretende adaptarse a las circunstancias actuales del proyecto y no compete una valoración financiera.

7.5 Herramientas de Prevención

Tabla 15.

Matriz de aplicabilidad de estrategias de prevención

Dificultad de ejecución		Mitigación de riesgo				
		Mínimo	Marginal	Moderado	Elevado	Vital
		1	2	4	8	10
Mínimo	10		RF2; RP1	RP2; RP3; RP5; RO5	RF1	RO1; RO2
Bajo	8			RF3; RA4	RP4; RO4	RA1; RA3
Moderado	4			RA5	RF4; RO3	RA2
Alto	2					
Elevado	1					

Nota. La matriz valoración por dificultad y alcance de mitigación para las estrategias de prevención

7.6 Herramientas de Mitigación

Tabla 16.

Matriz de aplicabilidad de estrategias de mitigación

Dificultad de ejecución		Mitigación de riesgo				
		Mínimo	Marginal	Moderado	Elevado	Vital
		1	2	4	8	10
Mínimo	10		RA2; RO4; RP5	RO5; RF2		
Bajo	8		RA1	RP4	RO3; RF3; RF4	
Moderado	4			RA3; RP2	RO1; RP1	RO2
Alto	2			RA6	RA4	
Elevado	1				RA5; RF1	RP3

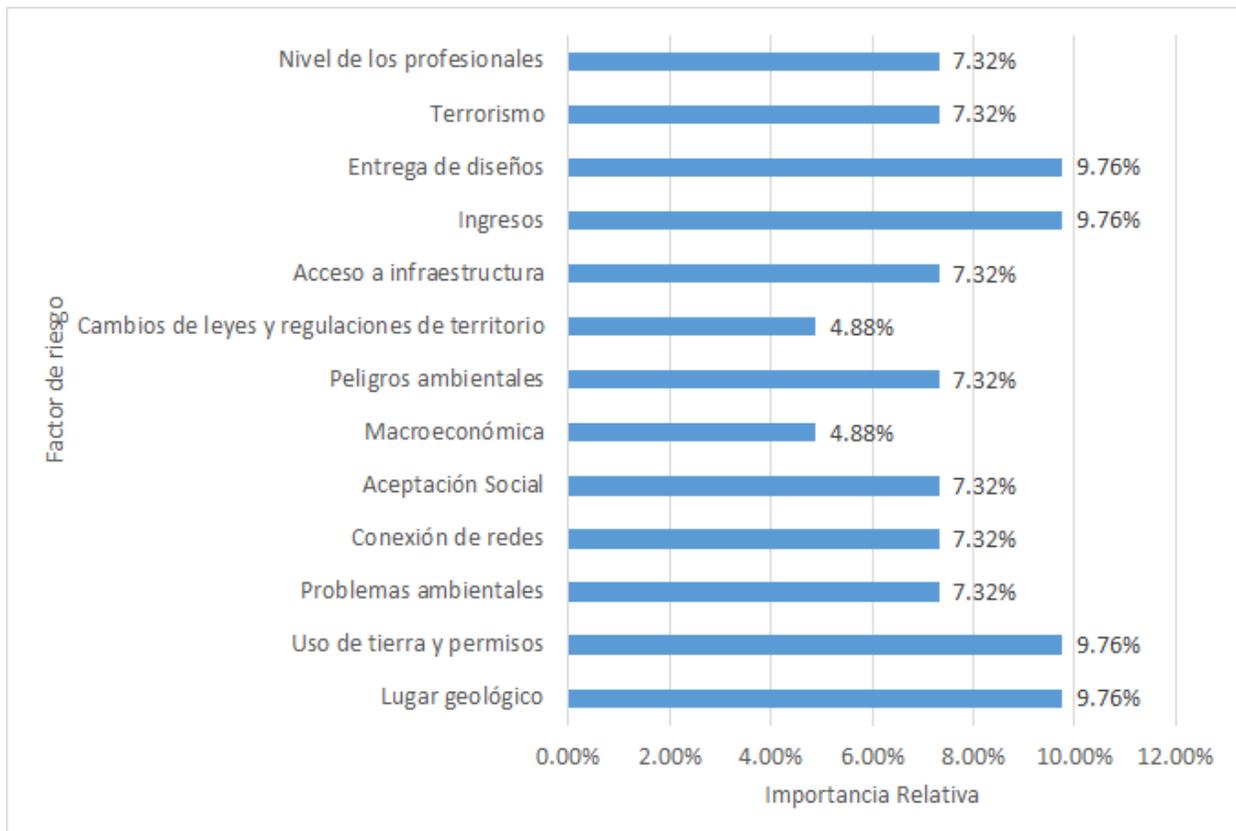
Nota. La matriz valoración por dificultad y alcance de mitigación para las estrategias mitigación

8. MODELO DE GESTIÓN DE RIESGOS

Se determinaron quince clases de riesgo obtenidos a través de la revisión de literatura y el estudio de caso, como se observa en la Tabla 1. Adicional a esto, se conoció su impacto a través de las empresas dedicadas a la construcción de este tipo de proyectos y se reconoció la importancia con respecto a la prioridad, clasificándolos de la siguiente manera:

Figura 2.

Importancia de los riesgos generales



Nota. La grafica muestra un listado de factores de riesgos y su nivel de importancia en la fase de construcción. Tomado de: Shaktawat, A., Vadhera, S. Risk management of hydropower projects for sustainable development: a review. *Environ Dev Sustain* 23, 45–76 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00607-2>

De acuerdo a los riesgos de alto impacto encontrados en el objetivo anterior, se realizará la evaluación de riesgos para estos los factores técnicos, socio ambientales y políticos más influyentes en la realización de un proyecto de hidroeléctricas, con el fin de

anticipar y controlar estos riesgos según la experiencia y conocimiento de los expertos involucrados en la realización de este proyecto.

Para el desarrollo de este modelo de evaluación de riesgos se utilizará lógica difusa con la ayuda del programa Matlab. Al utilizar lógica difusa no es necesario un modelo matemático para describir un comportamiento, no es necesario linealizar o aproximarlos, este control difuso utiliza un sistema de inferencia por medio de criterios y la experiencia de un experto para aplicar el control.

La lógica difusa se compone de las siguientes etapas, la entrada de valores, en donde se transforman los valores numéricos en variables lingüísticas, que pasan por un sistema de inferencia en el cual se tiene unos conocimientos adquiridos para convertir las variables lingüísticas en valores numéricos con el fin de controlar. Está el sistema de inferencia, en el cual, son los valores que asignamos a una variable, en este caso el nivel de riesgos que tenemos en cada factor, llamados funciones de membresía, compuesto por los valores contenidos en una variable y por último las reglas de inferencia que son el conjunto que interactúan con las variables

Las variables lingüísticas se asignan diferentes valores a diferentes variables, como 1 es bajo riesgo, 2 riesgos medio, 3 alto riesgo y 4 alto riesgo obteniendo 4 funciones de membresía, obteniendo un control más exacto. En la tabla 14 se evidencian los diferentes conjuntos difusos que se obtienen

Tabla 17.

Conjuntos difusos para el caso particular

	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo
Vital	MA	MA	A	M
Elevado	MA	A	M	M
Moderado	MA	A	M	M
Marginal	MA	A	M	B
Bajo	MA	A	M	B

Tabla 18. (Continuación)

MA: Muy Alto
A: Alto
M: Medio
B: Bajo

Nota. La tabla muestra la nomenclatura usada para la valoración de conjunto por lógica difusa

8.1 Riesgos de planeación

El primer paso es definir las variables de entrada, las cuales se dividen en diferentes sectores según su nivel de riesgo e impacto más elevado dentro del resto de criterios evaluados en los objetivos anteriores. En este caso se evaluarán dos parámetros de entrada.

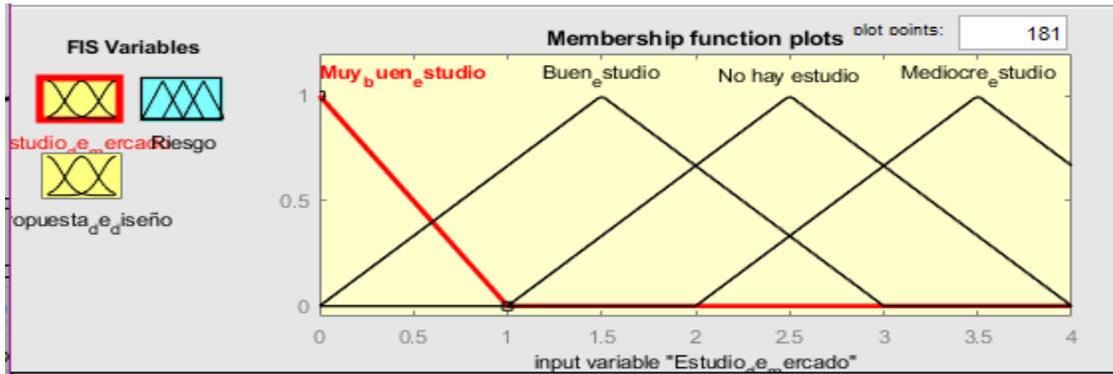
- Estudio de mercado
- Propuesta de diseño

El riesgo se define por medio de mediante conjuntos difusos. Estos conjuntos están asociados con los valores de 1 a 4 y están representados por la función trapezoidal. El riesgo es elevado en el evento cuando no se realiza un estudio y no se entrega la propuesta de diseño, y es bajo cuando se posee un adecuado estudio y se entrega a tiempo la propuesta de diseño para iniciar con el proyecto

De acuerdo a estas matrices se obtiene

Figura 3.

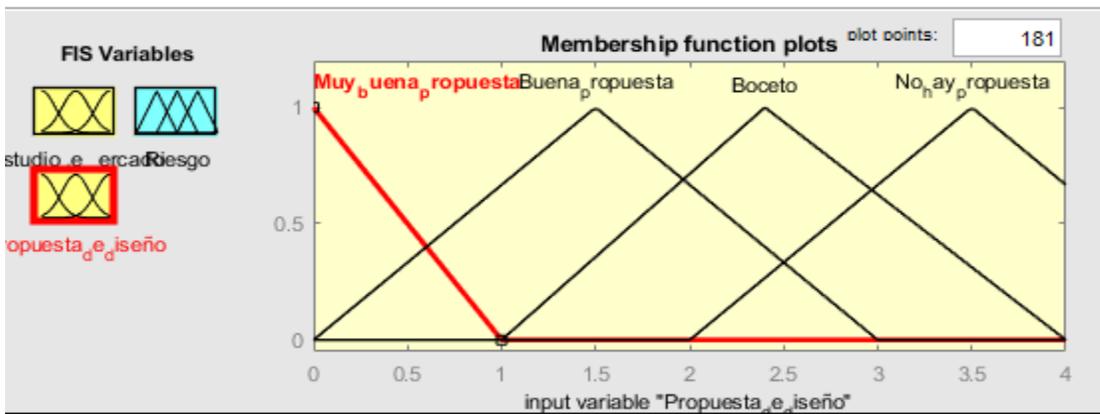
Variables de entrada Estudio de mercado



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de estudio de mercado

Figura 4.

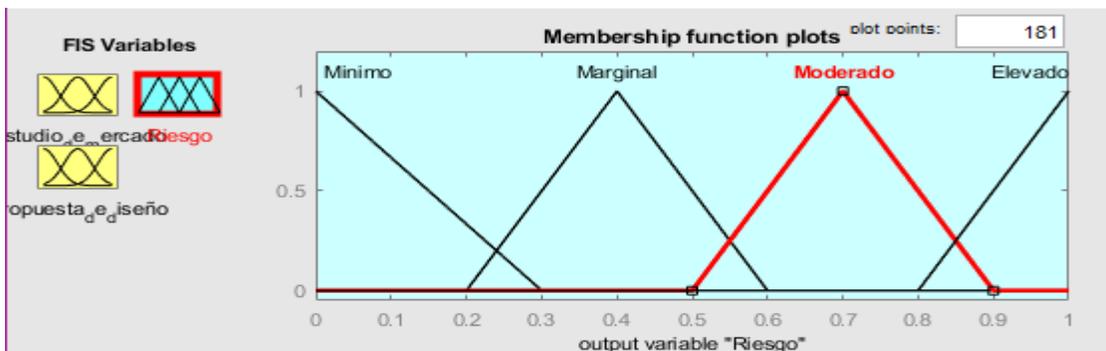
Variables de entrada Propuesta de diseño



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de propuestas de diseño

Figura 5.

Variable de salida del riesgo

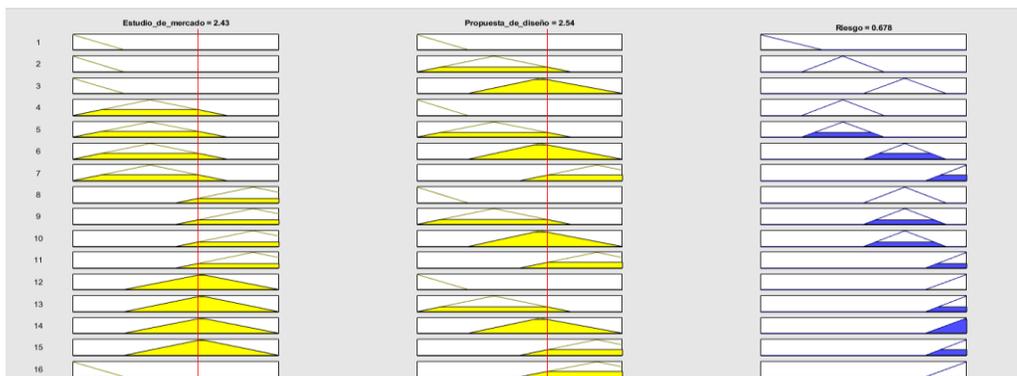


Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de relación de riesgos

Las reglas de inferencia van en funciones de membresía y las variables de entrada, en este caso se cuenta con 4 funciones de membresía y 2 variables de entrada, con esta información obtenemos el número máximo de combinaciones posibles logrando 16 reglas de inferencia. Estas reglas son obtenidas por la opinión de los expertos en base a la experiencia adquirida en la realización de este tipo de proyectos.

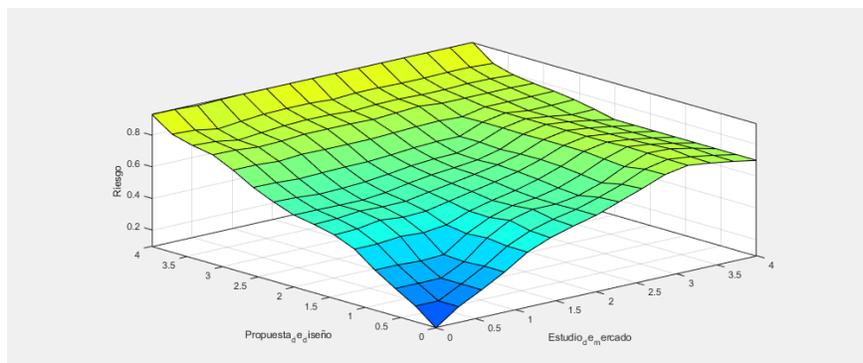
Según las reglas de interferencia se obtienen diferentes resultados de riesgo de acuerdo a las diferentes combinaciones de los parámetros de entrada. Estas combinaciones se representan en perfiles de riesgo tridimensional

Figura 6.
Combinaciones posibles de respuesta



Nota. La Figura muestra la combinación de respuesta en función de la responsabilidad de la matriz de riesgo

Figura 7.
Cuantificación del riesgo en 3D



Nota. La Figura un mapa de área valorando el riesgo en función del estudio de mercado y la relación de la propuesta de diseño

Con esta información se puede analizar qué es lo que ocurre con el nivel de riesgo si se combina la propuesta de diseño con el estudio de mercado, obteniendo que se dispone de un riesgo mínimo si tengo buenas propuestas de diseño y un muy buen estudio de mercado, pero si la calidad del estudio y de la propuesta disminuyen, empieza a subir el nivel de riesgo.

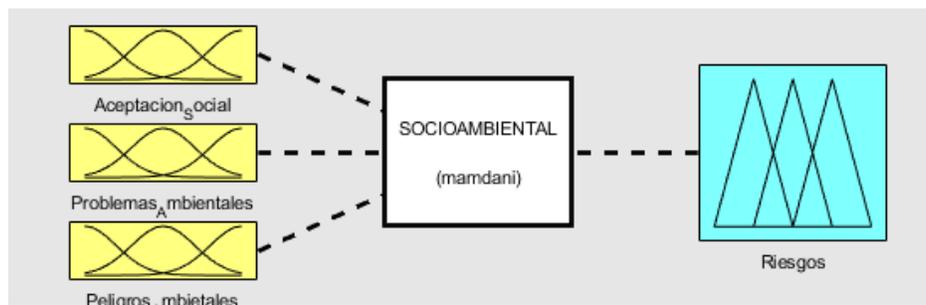
8.2 Riesgos socio ambiental

El mismo procedimiento se realizó para el factor socio ambiental, obteniendo las siguientes variables de entrada

- Aceptación social
- Problemas ambientales
- Peligros Naturales

Figura 8.

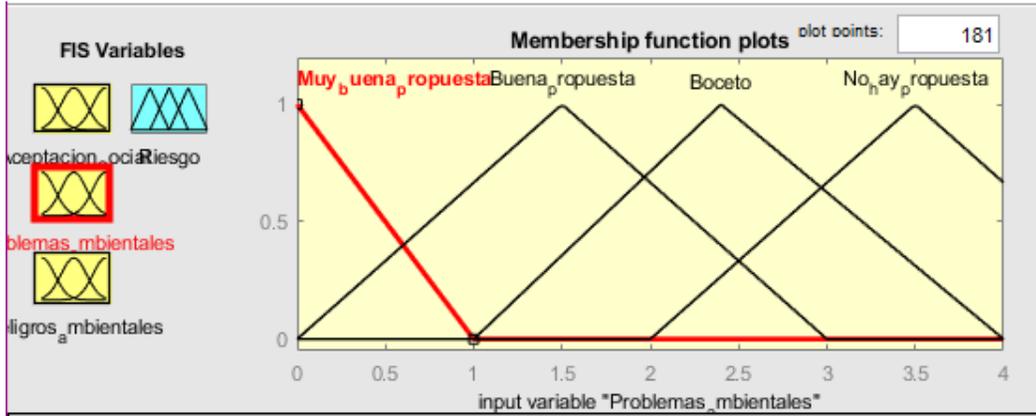
Esquema general para los riesgos socio ambiental



Nota. La Figura muestra el diagrama general de reconocimiento de variables para el factor socio ambiental

Figura 9.

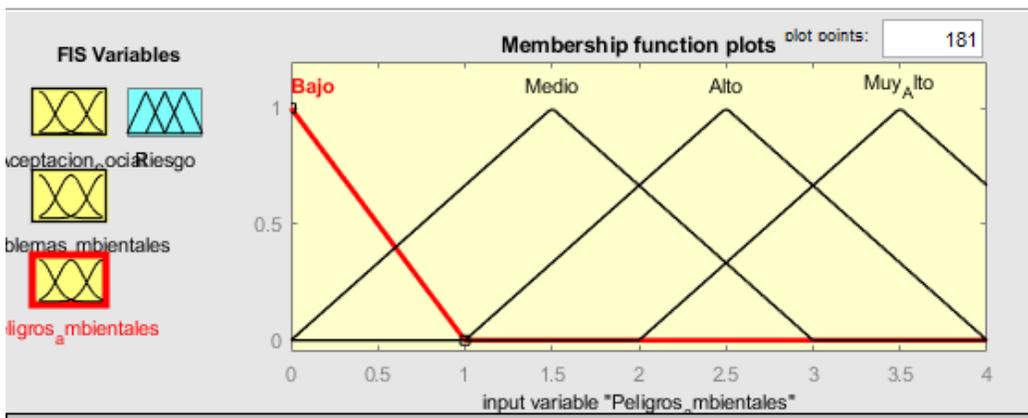
Variables de entrada de los problemas ambientales 1



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de los problemas ambientales

Figura 10.

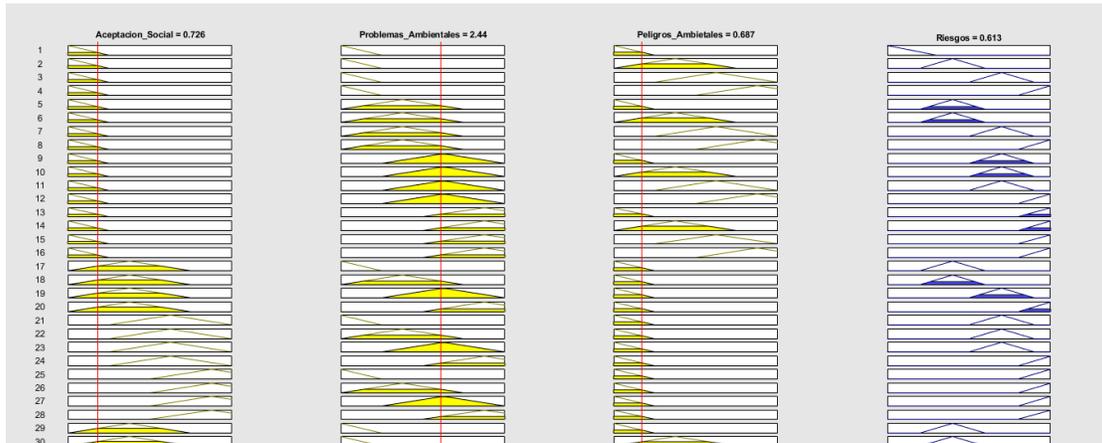
Variables de entrada de los Problemas ambientales 2



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de los riesgos ambientales

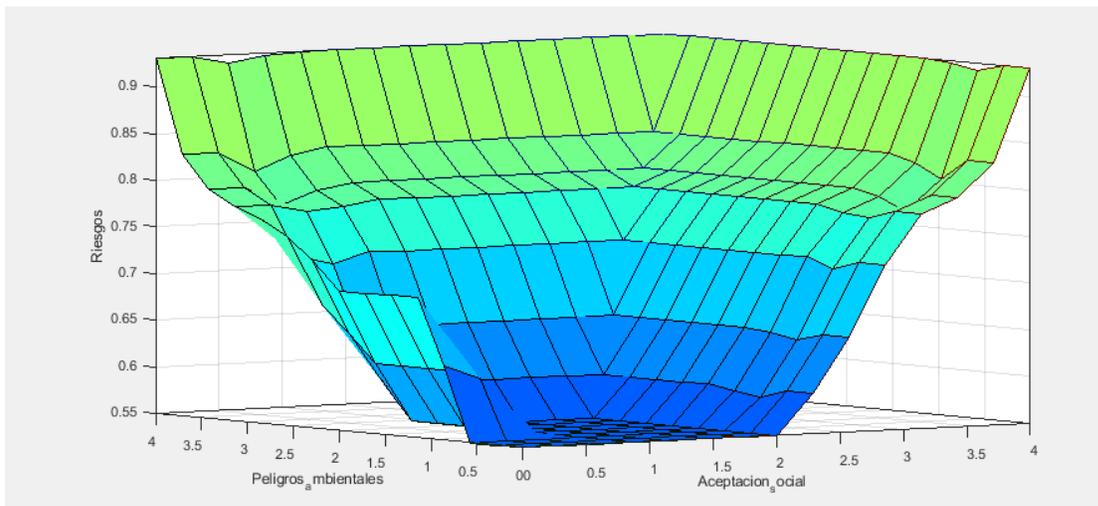
Para este factor se cuenta con 4 funciones de membresía y 3 variables de entrada, se obtiene el número máximo de combinaciones, consiguiendo 64 reglas de inferencia que ayudarán a proporcionar el nivel de riesgo según la combinación que se realice de los criterios escogidos para este factor.

Figura 11.
Combinaciones posibles de respuesta



Las combinaciones para este factor se presentan en perfiles tridimensionales, detectando un elevado nivel de riesgo cuando los peligros ambientales, la aceptación social y los problemas ambientales tienen un alto valor.

Figura 12.
Cuantificación del riesgo en 3D Problemas ambientales vs Aceptación social



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función de los peligros ambientales y la aceptación social

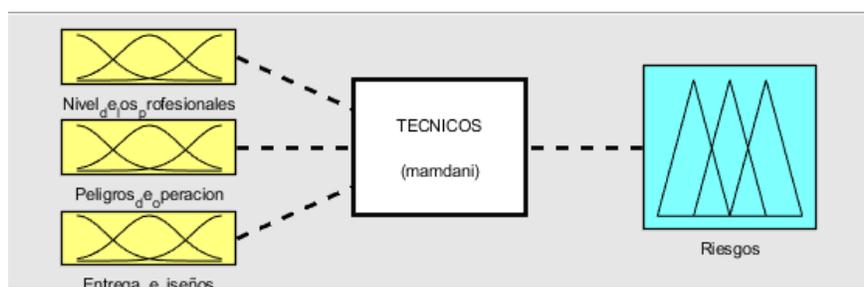
Con esta información se puede analizar qué es lo que ocurre con el nivel de riesgo si se combina la aceptación social, problemas ambientales y los peligros ambientales con el estudio socio ambiental, obteniendo que se dispone de un riesgo mínimo si los tres riesgos se encuentran en bajos, pero en el dado caso que alguno de los tres riesgos se eleve, empieza a subir el nivel de riesgo, adicionalmente que estos riesgos están relacionados con el nivel sociopolítico el cual incluye a la población, riesgo difícil de contener.

8.4 Riesgos técnicos

Algo similar se realizó para el factor técnico, obteniendo las siguientes variables de entrada

- Nivel de los profesionales
- Entrega de diseños
- Peligro de operación

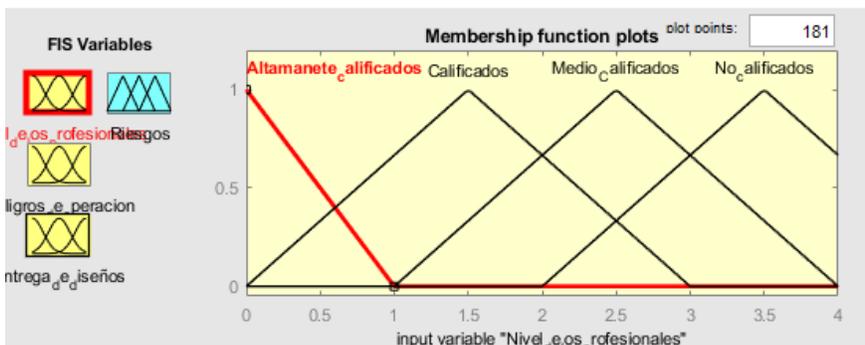
Figura 13.
Esquema general para los riesgos técnicos



Nota. La Figura muestra el diagrama general de reconocimiento de variables para el factor técnico

Figura 14.

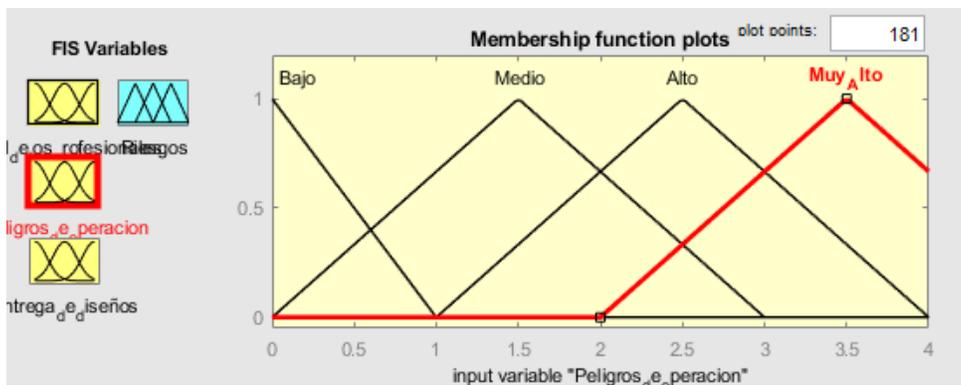
VARIABLES DE ENTRADA DE LOS NIVELES DE LOS PROFESIONALES



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función del nivel de profesionales

Figura 15.

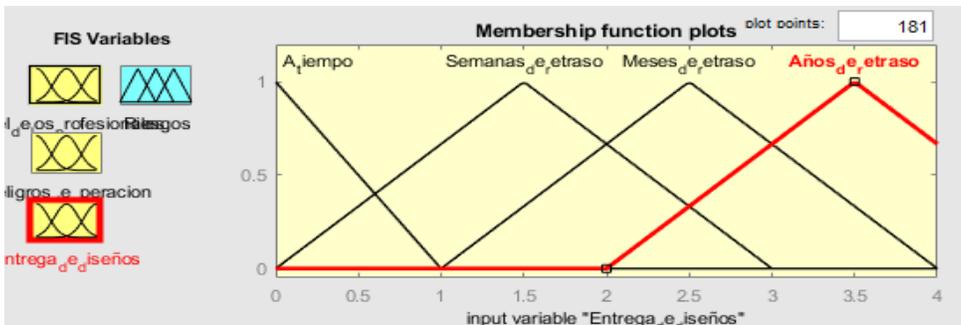
VARIABLES DE ENTRADA DE LOS PELIGROS DE OPERACIÓN



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de los peligros operaciones

Figura 16.

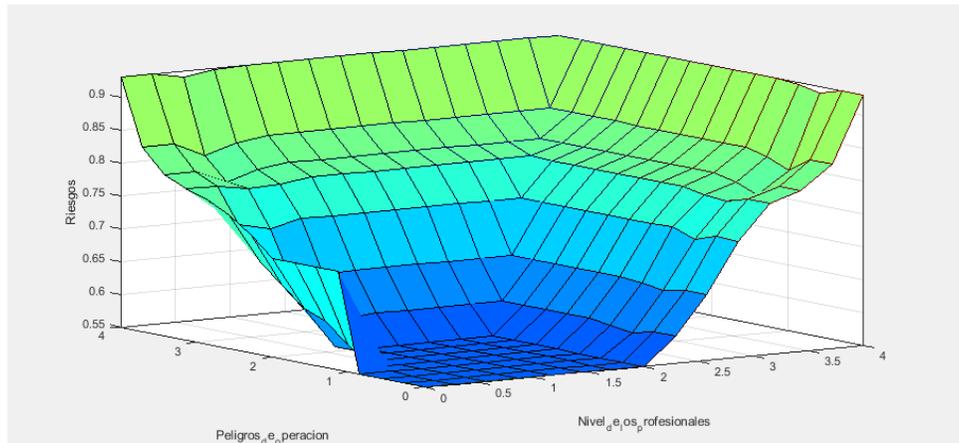
VARIABLES DE ENTRADA DE LA ENTREGA DE DISEÑOS



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de los entrega de diseños

Figura 17.

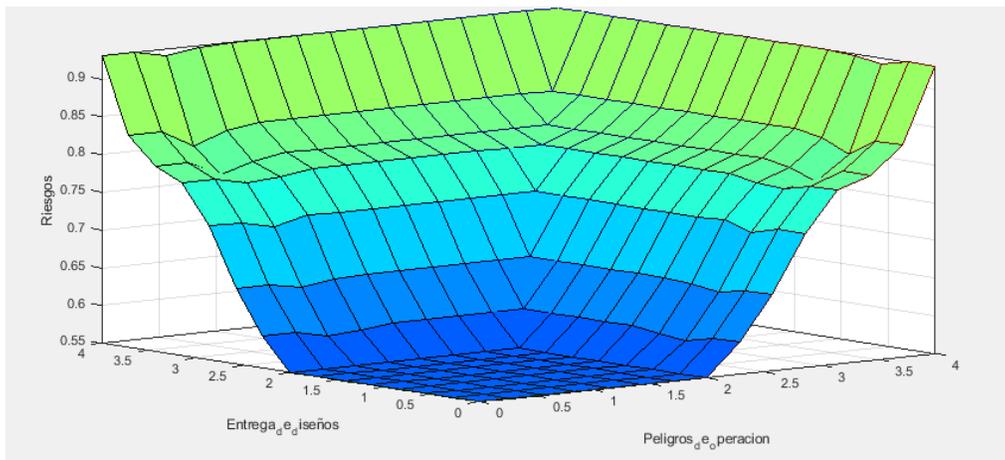
Cuantificación del riesgo en 3D de Peligros de operación vs Nivel de los profesionales



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función del nivel de profesionales y peligros operaciones

Figura 18.

Cuantificación del riesgo en 3D de Entrega de diseño vs Peligro de operación



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función del nivel de entrega de diseños y peligros operaciones

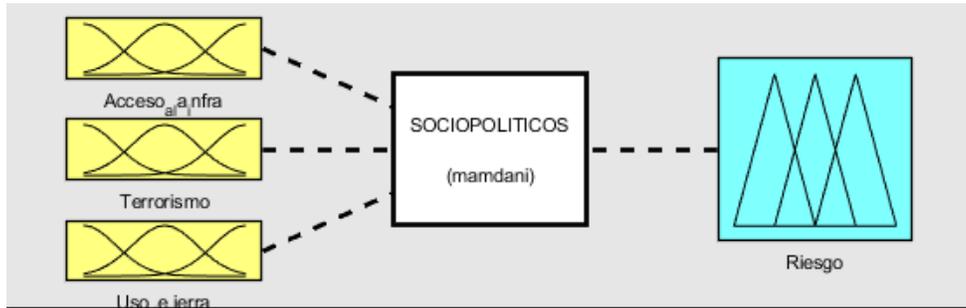
8.5 Riesgos sociopolíticos

Y para el último factor se tiene:

- Acceso a la infraestructura
- Terrorismo
- Uso de tierra y permisos

Figura 19.

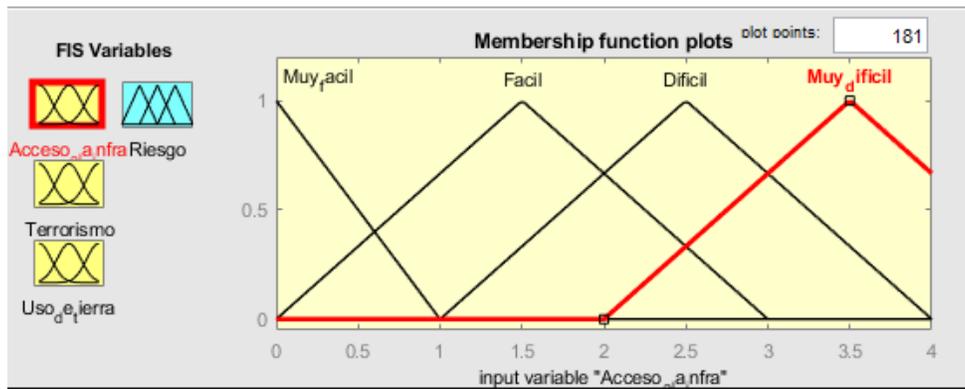
Esquema general para los riesgos socio políticos



Nota. La Figura muestra el diagrama general de reconocimiento de variables para el factor sociopolítico

Figura 20.

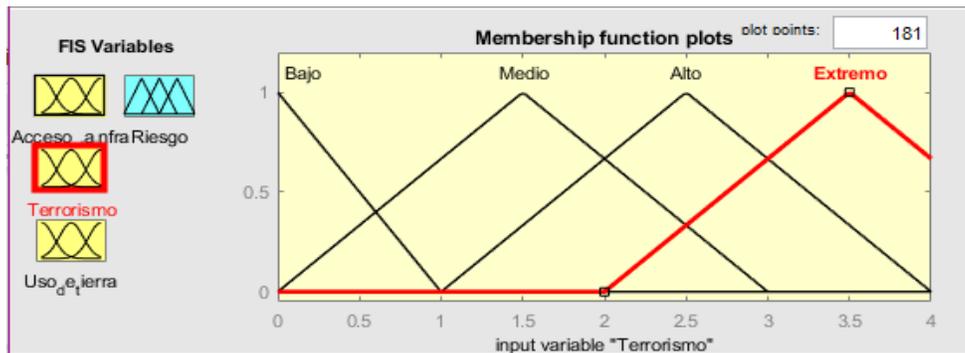
Variables de entrada del acceso a la infraestructura



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función del acceso a la infraestructura

Figura 21.

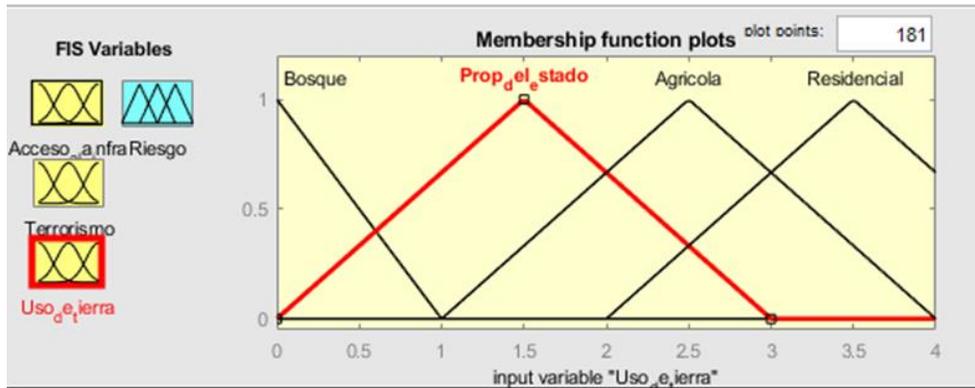
Variables de entrada del terrorismo



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función del territorio

Figura 22.

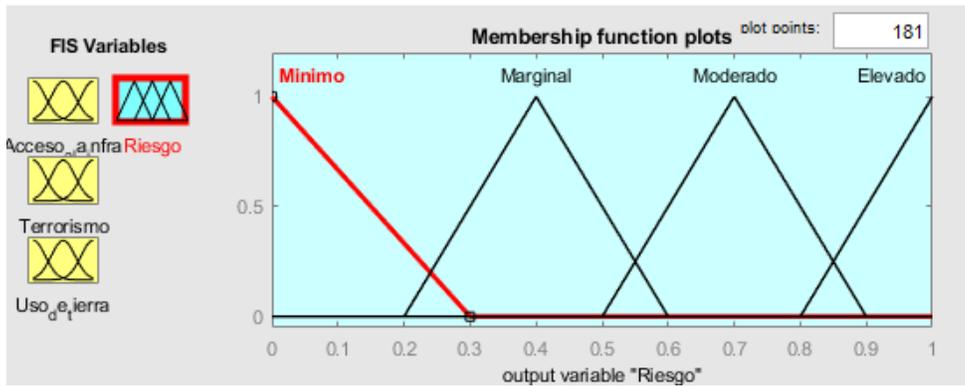
Variables de entrada del uso de tierra



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de uso legal del suelo

Figura 23.

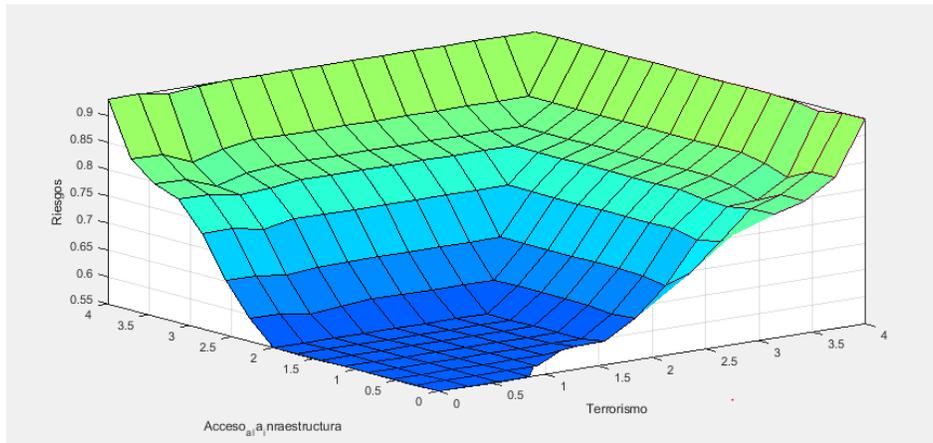
Variables de salida del riesgo sociopolítico



Nota. La Figura muestra valoraciones del comportamiento por función de los riesgos sociopolíticos

Figura 24.

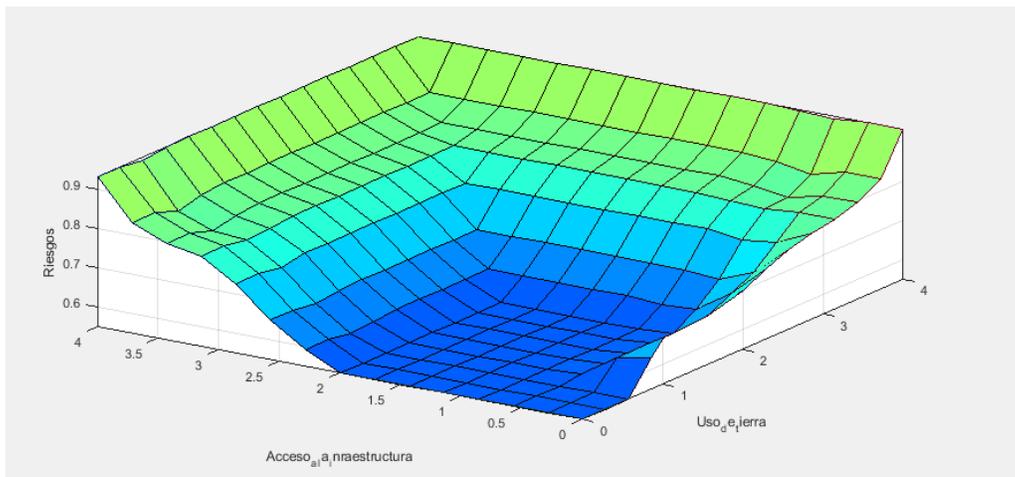
Cuantificación del riesgo en 3D de Acceso infraestructura vs Terrorismo



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función del acceso a la infraestructura y ubicación del territorio

Figura 25.

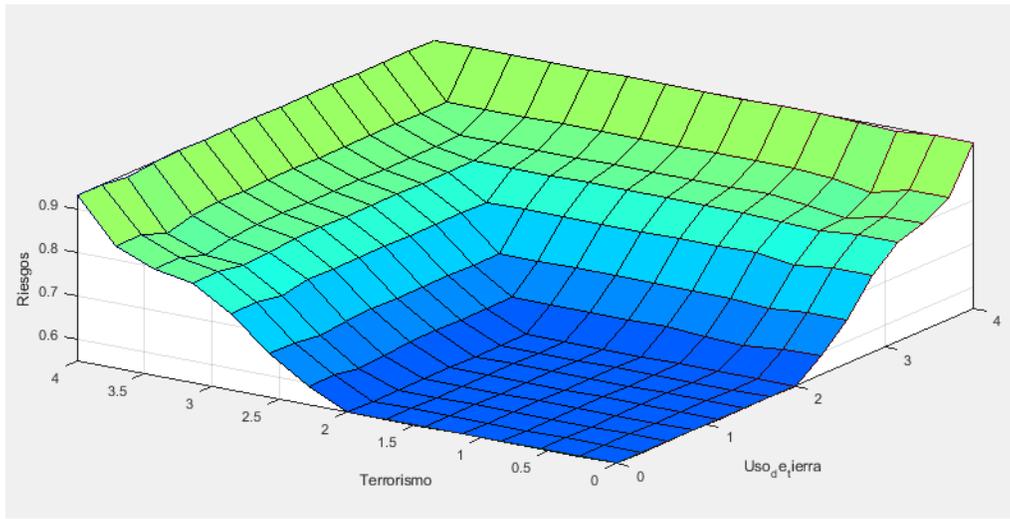
Cuantificación del riesgo en 3D de Acceso infraestructura vs Uso de tierra



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función del acceso a la infraestructura y uso de la tierra

Figura 26.

Cuantificación del riesgo en 3D de Uso de tierra vs Terrorismo



Nota. La Figura representa un mapa de área valorando el riesgo en función del uso de la tierra y nivel de terrorismo

9. CONCLUSIONES

A partir del estudio presentado se estableció que el proyecto Hidroituango presenta un panorama de riesgo estándar en comparación con otros proyectos de las mismas características en el país y a nivel global, siendo los riesgos de mayor probabilidad e impacto los riesgos financieros, comercial, político y organizacional durante la etapa de operación. Por lo que una adecuada gestión de riesgos brindará altas posibilidades de aumentar la perdurabilidad de las organizaciones involucradas en los proyectos hidroeléctricos. La gestión de riesgos ayuda a alcanzar los principales objetivos de estas organizaciones, a mejorar su autoconocimiento, la productividad y asegurar la eficiencia y eficacia en los procesos productivos. Adicional a esto permitirá definir estrategias de mejora continua y definir acciones a tomar ante eventos inesperados o situaciones en las que exista una alta incertidumbre.

Si bien los riesgos presentes tienden a ser generados por diferentes causas, estos principalmente tienden a impactar principalmente en los costos de la operación y tiempos de ejecución, lo que conlleva a que mayoría de procedimientos correctivos implique un incremento en los fondos del proyecto y/o una reestructuración de actividades para completar el proyecto con el alcance determinado. Estos cuatro riesgos sociales pueden representar desde el 0,27 hasta el 1,46 % de los costos totales de construcción, según su manejo y probabilidad de ocurrencia, y pueden aumentar los costos ambientales por encima del 3,0 % que se tiene estimado para este tipo de proyectos.

Una de las buenas prácticas que ha realizado EMP para afrontar los riesgos financieros que se han presentado en el proyecto, es considerar una reestructuración de las capacidades técnicas, así como organizativas presentando una disminución de la probabilidad de que se materialicen nuevos riesgos en el futuro.

Los proyectos de energía verde siempre se han limitado debido a su bajo proceso organizacional lo que los lleva a un incremento en sus costos operativos o a desfases dentro de su cronograma, ocasionando la pérdida del alcance inicial. De esta forma la valoración por lógica difusa permitió establecer conexiones entre riesgos que a simple vistas no presentan interacción o afectación al proyecto como lo son los riesgos

financieros y las organizaciones pero que pueden ser mitigados con la misma metodología.

La idea fundamental del trabajo es que los profesionales que trabajan en este tipo de megaproyectos tengan la oportunidad de aplicar una metodología rápida y fácil para cuantificar las calificaciones del riesgo, obteniendo la ventaja expuesta de brindar información más racional para la toma de decisiones y evitar los sobrecostos durante el desarrollo del proyecto

Los resultados del estudio de caso de Hidroituango demostraron que la valoración de riesgos por lógica de fácilmente la metodología propuesta para cuantificar las calificaciones de riesgo. La ventaja de la metodología propuesta es que brindará a los inversionistas una base más racional para tomar decisiones y puede evitar sobrecostos y horarios. Cualquier responsable de la toma de decisiones puede pronosticar la medida de riesgo de una central hidroeléctrica de tipo río con la ayuda de la herramienta de calificación difusa.

El modelo de Lógica difusa se propone con el objetivo de cuantificar el riesgo en el desarrollo, implementación y puesta en marcha de hidroeléctricas en Colombia, generando que este modelo sea una ventaja para operar y cuantificar datos imprecisos y obtener resultados aplicables para el proyecto que se requiera.

Este modelo describe cualitativamente las variables lingüísticas y evita trabajar con valores numéricos, utiliza las variables lingüísticas como valores de entrada y da como resultado una variable lingüística definida.

BIBLIOGRAFÍA

- African Development Fund. (2013). *Bumbuna Hydroelectric Project: PCR* (Issue June).
- Agrawal, A. (2012). Risk mitigation strategies for renewable energy project financing. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 32(2), 9–20. <https://doi.org/10.1080/10485236.2012.10554231>
- Algarvio, H., Lopes, F., Sousa, J., & Lagarto, J. (2017). Multi-agent electricity markets: Retailer portfolio optimization using Markowitz theory. *Electric Power Systems Research*, 148, 282–294. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.02.031>
- Algarvio, Hugo, Lopes, F., Couto, A., Estanqueiro, A., & Santana, J. (2019). Variable renewable energy and market design: New products and a real-world study. *Energies*, 12(23), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en12234576>
- Algarvio, Hugo, Lopes, F., & Santana, J. (2019). Integration of Renewable Energy in Markets: Analysis of Key European and American Electricity Markets. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 553, 321–328. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17771-3_28
- Algarvio, Hugo, Lopes, F., & Santana, J. (2020). Renewable energy support policy based on contracts for difference and bilateral negotiation. *Communications in Computer and Information Science*, 1233 CCIS, 293–301. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51999-5_24
- Ambiental, E. D. E. I. (2012). *Proyecto hidroeléctrico el molino*.
- Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de Proyectos-4taEd-Gabriel Baca Urbina-corregido.pdf* (p. 404). <https://econforesyproyec.files.wordpress.com/2014/11/evaluacion-de-proyectos-gabriel-baca-urbina-corregido.pdf>
- Bajo, J., Hallenborg, K., Pawlewski, P., Botti, V., Sánchez-Pi, N., Duque Méndez, N. D., Lopes, F., & Julian, V. (2015). Highlights of practical applications of agents, multi-agent systems, and sustainability: The PAAMS collection: International workshops of PAAMS 2015 salamanca, spain, june 3-4, 2015 proceedings. *Communications in Computer and Information Science*, 524, 260–269. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19033-4>

- Belli, Pedro; Anderson, JockR; Barnum, Howard N; Dixon, John A; Tan, J.-P. (2001). *Economic Analysis of Investment Operations Analytical tools and Practical Applications* (T. I. B. for Reconstruction & A. Development (eds.)).
- Bradleu, R. L. (1998). Renewable energy: Not cheap, not green? *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 17(3), 15–21. <https://doi.org/10.1080/10485236.1998.10530522>
- Brauner, C. (1995). Latest developments in integrated hydro power plant and substation control systems. *Proceedings of the International Conference on Energy Management and Power Delivery, EMPD*, 2, 668–673. <https://doi.org/10.1109/empd.1995.500808>
- BULUT, M., & ÖZCAN, E. (2021). A new approach to determine maintenance periods of the most critical hydroelectric power plant equipment. *Reliability Engineering and System Safety*, 205(March 2020), 107238. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107238>
- Čada, G., Loar, J., Garrison, L., Fisher, R., & Neitzel, D. (2006). Efforts to reduce mortality to hydroelectric turbine-passed fish: Locating and quantifying damaging shear stresses. *Environmental Management*, 37(6), 898–906. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0061-1>
- Caetano de Souza, A. C. (2008). Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7), 1843–1863. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.04.005>
- Caribe, E. (1992). *Revista Energética*.
- Carneiro, P., & Ferreira, P. (2012). The economic, environmental and strategic value of biomass. *Renewable Energy*, 44, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.12.020>
- Cernea, M. (1997). The risks and reconstruction model for resettling displaced populations. *World Development*, 25(10), 1569–1587. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(97\)00054-5](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(97)00054-5)
- Cha, H. S., Kim, J., & Han, J.-Y. (2009). Identifying and Assessing Influence Factors on Improving Waste Management Performance for Building Construction Projects.

- Journal of Construction Engineering and Management*, 135(7), 647–656. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2009\)135:7\(647\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2009)135:7(647))
- Chen, J. J., Qi, B. X., Rong, Z. K., Peng, K., Zhao, Y. L., & Zhang, X. H. (2021). Multi-energy coordinated microgrid scheduling with integrated demand response for flexibility improvement. *Energy*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119387>
- Dehradun, E. S. (2014). *Risk Analysis for Operational Stage Small Hydro Power Projects of Uttarakhand: A Stochastic Approach Using Monte Carlo Simulation. III(Vii)*, 243–250.
- Ding, H., Hu, Z., & Song, Y. (2012). Stochastic optimization of the daily operation of wind farm and pumped-hydro-storage plant. *Renewable Energy*, 48, 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.008>
- EMP. (2019). *Informe de Gestión 2019*. 123. <https://cdn.flipsnack.com/widget/v2/widget.html?hash=dpazs597t9>
- Federal Energy Regulatory Commission (FERC). (2004). Handbook for Hydroelectric Licensing and 5 MW Exemptions From Licensing. *Energy*, April, 153.
- Feng, Z. kai, Niu, W. jing, Cheng, C. tian, & Wu, X. yu. (2017). Optimization of hydropower system operation by uniform dynamic programming for dimensionality reduction. *Energy*, 134, 718–730. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.062>
- Furtado Louzada, A., & Ravena, N. (2019). Dam safety and risk governance for hydroelectric power plants in the Amazon. *Journal of Risk Research*, 22(12), 1571–1585. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1501595>
- Gleick, P. H. (1992). Environmental consequences of hydroelectric development: The role of facility size and type. *Energy*, 17(8), 735–747. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(92\)90116-H](https://doi.org/10.1016/0360-5442(92)90116-H)
- Hochstetler, K. (2011). The Politics of Environmental Licensing: Energy Projects of the Past and Future in Brazil. *Studies in Comparative International Development*, 46(4), 349–371. <https://doi.org/10.1007/s12116-011-9092-1>
- IFC-World Bank Group. (2018). *Environmental , Health , and Safety Approaches for Hydropower Projects. March*, vii + 60.
- Iliadis, N. A., Pereira, M. V. F., Granville, S., Chabar, R. M., Barroso, L. A., Finger, M., & Haldi, P. A. (2007). Portfolio optimization of hydroelectric assets subject to financial

- indicators. *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/PES.2007.385726>
- Iliadis, N. A., Pereira, M. V. F., Granville, S., Finger, M., Haldi, P. A., & Barroso, L. A. (2006). Benchmarking of hydroelectric stochastic risk management models using financial indicators. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/pes.2006.1709283>
- Inhaber, H. (1978). Risk in hydroelectricity production. *Energy*, 3(6), 769–778. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(78\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(78)90043-9)
- Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z., & Nielsen, T. K. (2012). Hydropower in the Context of Sustainable Energy Supply: A Review of Technologies and Challenges. *ISRN Renewable Energy*, 2012, 1–15. <https://doi.org/10.5402/2012/730631>
- Kim, S., Lee, H., Kim, H., Jang, D. H., Kim, H. J., Hur, J., Cho, Y. S., & Hur, K. (2018). Improvement in policy and proactive interconnection procedure for renewable energy expansion in South Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98(September), 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.013>
- Kolltveit, B. J., & Grønhaug, K. (2004). The importance of the early phase: The case of construction and building projects. *International Journal of Project Management*, 22(7), 545–551. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.03.002>
- Kucukali, S. (2014). Environmental risk assessment of small hydropower (SHP) plants: A case study for Tefen SHP plant on Filyos River. *Energy for Sustainable Development*, 19(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.12.010>
- Kumar, D., & Katoch, S. S. (2015). Sustainability assessment and ranking of run of the river (RoR) hydropower projects using analytical hierarchy process (AHP): A study from Western Himalayan region of India. *Journal of Mountain Science*, 12(5), 1315–1333. <https://doi.org/10.1007/s11629-014-3156-4>
- Kumar, D., & Katoch, S. S. (2016). Environmental sustainability of run of the river hydropower projects: A study from western Himalayan region of India. *Renewable Energy*, 93, 599–607. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.032>
- Kurup, P., Remo, T., Cotrell, J., Jenne, S. D., & O'connor, P. (2008). *Analysis of Supply Chains and Advanced Manufacturing of Small Hydropower Systems*. July. www.nrel.gov/publications.

- Le, L. (2016). *Building Hydropower Plants in Uganda: Who is the Best Partner? LAD Case Study*. https://fsi-live.s3.us-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/uganda_hydropower_case_0.pdf
- Leach, A., Doucet, J., & Nickel, T. (2011). Renewable fuels: Policy effectiveness and project risk. *Energy Policy*, 39(7), 4007–4015. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.020>
- Londoño González, F. (2018). *Análisis de riesgos ambientales asociados a la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Santo Domingo*. <http://ezproxy.eafit.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ir00174a&AN=eafit.10784.11945&lang=es&site=eds-live&scope=site%0Ahttp://hdl.handle.net/10784/11945>
- Meadowcroft, J., Stephens, J. C., Wilson, E. J., & Rowlands, I. H. (2018). Social dimensions of smart grid: Regional analysis in Canada and the United States. Introduction to special issue of Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(December 2016), 1909–1912. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.106>
- Ming, B., Liu, P., Cheng, L., Zhou, Y., & Wang, X. (2018). Optimal daily generation scheduling of large hydro–photovoltaic hybrid power plants. *Energy Conversion and Management*, 171(April), 528–540. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.001>
- Mirumachi, N., & Torriti, J. (2012). The use of public participation and economic appraisal for public involvement in large-scale hydropower projects: Case study of the Nam Theun 2 Hydropower Project. *Energy Policy*, 47, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.034>
- Prasad G. Senarath, Bhabishya Khaniya, Nilushi Baduge, Hazi Md. Azamathulla, & Upaka Rathnayake. (2017). Environmental and Social Impacts of Mini-hydropower Plants—A Case Study from Sri Lanka. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11(12). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2017.12.008>
- Roy, N. C., & Roy, N. G. (2020). Risk management in small hydropower (SHP) projects of Uttarakhand: An innovative approach: Risk management in small hydropower projects. *IIMB Management Review*, 32(3), 291–304. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2019.10.012>
- Rubi, A., & Mejía, C. (2004). La

- Administración de Riesgos Empresariales La Administración de Riesgos Empresariales. *AD-Minister*, 0(5), 74–85. Sac, A. (2009). *La Central Hidroeléctrica*.
- Sapkota, N. (2000). Impoverishment Risks and Reconstruction in Kali Gandaki Dam, Nepal. *High Plains Applied Anthropologist*, 21(2), 147–156. <http://www.hpsfaa.org/Resources/Documents/AppliedAnthropologist-2001/fall2001/Impoverishment Risks and Reconstruction of Kali Gandaki Dam, Nepal.pdf>
- Scannapieco, D., Naddeo, V., & Belgiorno, V. (2014). Sustainable power plants: A support tool for the analysis of alternatives. *Land Use Policy*, 36, 478–484. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.09.008>
- Singer, J., & Watanabe, T. (2014). Reducing reservoir impacts and improving outcomes for dam-forced resettlement: Experiences in central Vietnam. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 19(3), 225–235. <https://doi.org/10.1111/lre.12072>
- Socioambiental, G., En, S., & Comunidad, L. A. (2018). *GESTIÓN SOCIOAMBIENTAL SUSTENTABLE EN LA COMUNIDAD IXIL DE CHEL, CHAJUL, QUICHÉ, GUATEMALA. ESTUDIO DE CASO: HIDROELÉCTRICA COMUNITARIA*. 23, 103–126.
- Sousa, Francisco; Lopes, Fernando; Santana, and J. (2015). Contracts for Difference and Risk Management in Multi-agent Energy Markets. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)*, 9086, 10. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18944-4>
- Tahseen, S., & Karney, B. W. (2017). Reviewing and critiquing published approaches to the sustainability assessment of hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.031>
- Tang, K. H. D. (2020). Hydroelectric dams and power demand in Malaysia: A planning perspective. *Journal of Cleaner Production*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119795>
- Tang, W., Li, Z., & Tu, Y. (2018). Sustainability risk evaluation for large-scale hydropower projects with hybrid uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su10010138>
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V., & Aki, S. (2002). Hydropower projects: A review of

- most effective mitigation measures. *Energy Policy*, 30(14), 1251–1259. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00087-3)
- Verduzco Chávez, B., & Bernal, A. S. (2008). Planning hydroelectric power plants with the public: A case of organizational and social learning in Mexico. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 26(3), 163–176. <https://doi.org/10.3152/146155108X363052>
- Villamarin, G. A., & Díaz-Piraquive, F. N. (2020). *Risk Management in Small Hydroelectric Power Plants (SHPPs) in Colombia*. 223–246. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1934-9.ch009>
- Wang, X., Mei, Y., Kong, Y., Lin, Y., & Wang, H. (2017). Improved multi-objective model and analysis of the coordinated operation of a hydro-wind-photovoltaic system. *Energy*, 134, 813–839. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.047>
- Wu, X., Guo, S., Yin, J., Yang, G., Zhong, Y., & Liu, D. (2018). On the event-based extreme precipitation across China: Time distribution patterns, trends, and return levels. *Journal of Hydrology*, 562(May), 305–317. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.028>
- Xiaosan, Z., Qingquan, J., Shoukat Iqbal, K., Manzoor, A., & Zia Ur, R. (2021). Achieving sustainability and energy efficiency goals: Assessing the impact of hydroelectric and renewable electricity generation on carbon dioxide emission in China. *Energy Policy*, 155(April), 112332. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112332>
- Xie, M., Zhou, J., Li, C., & Zhu, S. (2015). Long-term generation scheduling of Xiluodu and Xiangjiaba cascade hydro plants considering monthly streamflow forecasting error. *Energy Conversion and Management*, 105, 368–376. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.08.009>
- Yesca, P. H. La, Carbajal, V., Vargas, A., Mena, E., & Uribe, N. (2012). *Nivel hidráulico de asentamientos automático tipo CFE en el P.H. La Yesca Jalisco-Nayarit, México*.
- Zhang, S., Sun, B., Yan, L., & Wang, C. (2013). Risk identification on hydropower project using the IAHP and extension of TOPSIS methods under interval-valued fuzzy environment. *Natural Hazards*, 65(1), 359–373. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0367-2>

Zhou, Y., Guo, S., Chang, F. J., Liu, P., & Chen, A. B. (2018). Methodology that improves water utilization and hydropower generation without increasing flood risk in mega cascade reservoirs. *Energy*, 143, 785–796.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.035>

ANEXOS

ANEXO 1.

MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS

No	Fuente	Etapas	Tipo	Descripción (Qué puede pasar y, si es posible, cómo puede pasar)	Consecuencia de la ocurrencia del evento	Probabilidad	Impacto	Prioridad	Fuente
1.	Externa	Planeación	Regulatorio	Expedición de nuevas normas.	Ocurre por cambios normativos por la expedición de normas posteriores a la estimación de los criterios en la etapa de planeación, que afecte las condiciones económicas y técnicas inicialmente definidas.	3	3	Alta	Kucukali (2011, (2014), Olsen et al. (2006) and Sudirman and Hardjomuljadi (2011)
2.	Interno	Planeación	Económico	Estudio de mercado y análisis del sector insuficiente	Diferencias sustanciales con los precios de mercado	3	3	Alto	Kucukali (2014), Li and Wang (2012), Olsen et al. (2006) and Patel and Singhal (2015)
3.	Interno	Planeación	Operacional	Errores en la etapa precontractual consignados en documentos.	No cumplimiento de los fines y cometidos de la contratación, no obtención del objeto contractual	3	3	Alta	Batool and Abbas (2017), Kucukali (2011), Patel and Singhal

									(2015), Sudirman and Hardjomuljadi (2011) and Tang et al. (2013)
4.	Interno	Selección	Económico y Regulatorio	No seleccionar la mejor la propuesta	Procesos legales interpuestos por el oferente con mejor propuesta. Posible indemnización	1	4	Alto	(Iliadis et al., 2007)
5.	Interno	Selección	Operacional	Publicación tardía de los documentos asociados al proceso de selección	Poca participación de oferente s. Proceso desierto. Masivas observaciones por parte de los interesados.	3	3	Alta	(Belli, Pedro; Anderson, JockR; Barnum, Howard N; Dixon, John A; Tan, 2001)
6.	Externo	Ejecución	Operacional	Accidentalidad	Posibles daños físicos.	3	3	Alta	(Gleick, 1992)
7.	Externo	Ejecución	Sociales o Políticos	Alteraciones del orden público	Retraso en el cumplimiento del contrato	3	3	Alta	Belli, Pedro; Anderson, JockR; Barnum, Howard N; Dixon, John A; Tan, 2001)

8.	Externo	Ejecución	Técnico	Falta de idoneidad de los profesionales	Ocurre cuando un profesional, no ejecuta sus actividades conforme a las especificaciones técnicas	2	3	Alto	(Federal Energy Regulatory Commission (FERC), 2004)
9.	Externo	Ejecución	Organizacional	Dificultad en la toma de decisiones y en la gestión del desarrollo del proyecto	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	3	Alto	(Kim et al., 2018)
10.	Externo	Ejecución	Socio ambiental	Deterioro del relacionamiento con las comunidades	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	3	Alto	(Prasad G. Senarath et al., 2017)
11.	Externo	Ejecución	Socio ambiental, político	Actos contra empleados claves propios o de contratistas por grupos al margen de la ley (horizonte de 4 años)	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	1	3	Alto	(Caetano de Souza, 2008)
12.	Externo	Ejecución	Organizacional	Inadecuado proceso de gestión del cambio o dificultad para la adaptación al cambio (EPC, proyectos pequeños)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Alto	(Iliadis et al., 2006)

13.	Externo	Ejecución	Organizacional	Proyectos o actividades que compiten con el proyecto	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Alto	(Xiaosan et al., 2021)
14.	Externo	Ejecución	Socioambiental	Manifestaciones en contra del proyecto por conflicto social	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	2	Alto	(Cernea, 1997)
15.	Externo	Ejecución	Técnico	Demoras en la entrega de los diseños (ej.: diseños relacionados con la ruta crítica)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Alto	(Roy & Roy, 2020)
16.	Externo	Ejecución	Técnico	Daños a terceros por vehículos de transporte de maquinaria, equipos, módulos de construcción	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	2	Alto	(IFC-World Bank Group, 2018)
17.	Externo	Ejecución	Ambiental	Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundación, deslizamientos, asentamientos	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Alto	(Kaunda et al., 2012)

18.	Externo	Ejecución	Ambiental	Dificultad en la negociación de los títulos mineros	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Alto	(Zhang et al., 2013)
19.	Externo	Ejecución	Técnico	Incendios y explosiones en plantas físicas.	Comunidad vinculada a las obras del Proyecto	3	3	Alto	(Inhaber, 1978)
20.	Externo	Ejecución	Ambiental	Incendios forestales	Recurso biótico (flora y fauna)	3	3	Alto	(W. Tang et al., 2018)
21.	Externo	Ejecución	Técnico	Accidentes operacionales (derrames, fugas, goteos)	Comunidad vinculada a las obras del Proyecto	3	3	Alto	(Sapkota, 2000)
22.	Externo	Ejecución	Social	Actos terroristas (bloqueos de vías por grupos insurgentes y – Presencia de campos minados)	Comunidades presentes en el área de influencia	3	3	Alto	(Brauner, 1995)
23.	Externo	Ejecución	Legal	Incremento en los costos por	Recurso suelo	3	2	Alto	(Hugo Algarvio et al., 2020)
24.	Externo	Selección	Jurídico	Alteración de los documentos legales para la presentación de la oferta	Retraso o suspensión del proceso de selección. Desgaste administrativo	3	2	Medio	(Hugo Algarvio, Lopes, Couto, et al., 2019)

25.	Interno	Contratación	Operacional	Atraso en la expedición del Registro Presupuestal	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	3	2	Medio	(Cha et al., 2009)
26.	Interno-Externo	Ejecución	Operacional	Extensión del plazo. Cuando los contratos se realizan en tiempos distintos a los inicialmente programados por circunstancias no imputables a las partes	Retraso en el cumplimiento del contrato, mayores costos administrativos.	3	2	Medio	(Zhou et al., 2018)
27.	Externo	Ejecución	Naturales	Condiciones climáticas adversas	Eventos climáticos, certificados por la autoridad competente, y que generan retrasos y sobrecostos en la ejecución del contrato.	3	2	Medio	(Wu et al., 2018)
28.	Externo	Ejecución	Social	Hurto y vandalismo	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	3	Medio	(Wang et al., 2017)
29.	Externo	Ejecución	Técnico	Atrasos en el programa de trabajo	Inconsistencias en las secuencias o precedencias del programa, que puedan afectar la oportuna ejecución de los diseños.	3	2	Medio	(Feng et al., 2017)

30.	Externo	Ejecución	Técnico	Variación de cantidades del presupuesto	Efectos derivados de las condiciones técnicas o del proceso constructivo, que incrementen o disminuyan las cantidades necesarias para la ejecución de los diseños	3	2	Medio	(Ding et al., 2012)
31.	Externo	Planeación/operación	Económico ambiental	Volatilidad desfavorable de los precios de la energía respecto al escenario base (precios de proyección: feb 2015)	Posibles daños físicos.	1	2	Medio	(Ming et al., 2018)
32.	Externo	Ejecución	Económico	Volatilidad de variables macroeconómicas o de precios de insumos	Posibles daños físicos.	3	2	Medio	(Xie et al., 2015)
33.	Externo	Ejecución	Técnico	Quiebra o insolvencia del contratista (EPC)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	3	Medio	(Chen et al., 2021)
34.	Externo	Ejecución operación	Ambiental	Cancelación/ vencimiento/pérdida de permisos y/o aprobaciones (ej.: revocatoria de licencia ambiental)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	3	Medio	(Hugo Algarvio, Lopes, & Santana, 2019)

35.	Externo	Ejecución/ operación	Ambiental	Afectación negativa a los recursos naturales (flora, fauna, aguas) como consecuencia de la ejecución del proyecto	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	0	2	Medio	(H. Algarvio et al., 2017)
36.	Externo	Ejecución	Técnico	Proveedor envía equipos que no cumplen con las especificaciones técnicas	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	2	Medio	(Kurup et al., 2008)
37.	Externo	Ejecución	Técnico	Pérdida/daño de equipos críticos o módulos de construcción operación por accidente durante el transporte	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	2	Medio	(Bajo et al., 2015)
38.	Externo	Ejecución	Técnico	Falla en la aceptación de equipos (protocolos de aceptación).	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	2	Medio	(Sousa, Francisco; Lopes, Fernando; Santana, 2015)
39.	Externo	Ejecución	Sociopolítico	Instalaciones/equipo mecánico o eléctrico claves averiados por sabotaje/terrorismo/ acto incendiario/ vandalismo.	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Medio	(Hugo Algarvio et al., 2020)

40.	Externo	Ejecución	Socio ambiental	Invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto, presión migratoria	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	2	Medio	(Furtado Louzada & Ravena, 2019)
41.	Externo	Ejecución	Técnico	Accidente o daño por congestión en el sitio de la obra/falta de espacio requerido	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Medio	(Kumar & Katoch, 2015)
42.	Externo	Ejecución/operación	Socio ambiental	Sobre expectativas de las comunidades	Reputación	2	2	Medio	(Scannapieco et al., 2014)
43.	Externo	Contratación	Operacional	No cumplimiento de la exigencia en la experiencia del personal	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	2	Bajo	(Dehradun, 2014)
44.	Externo	Contractual	Operacional	No suscripción del contrato.	Retrasos en la ejecución contractual	1	2	Baja	EPM (2010a). Informe proyecto hidroeléctrico Porce IV (situación actual, 19 de abril de 2010). Medellín.
45.	Externo	Contractual	Operacional	Retraso en la entrega de las garantías por parte del contratista	Retrasos en la ejecución contractual	2	2	Baja	EPM (2010a). Informe proyecto

									hidroeléctrico Porce IV (situación actual, 19 de abril de 2010). Medellín.
46.	Externo	Ejecución	Técnico	Dificultades por interdependencia con otras obras o contratistas del proyecto	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	2	Baja	EPM (2010b). Informe proyecto Porce III y Porce IV. Medellín.
47.	Externo	Ejecución	Sociopolítico	Demora en el envío de equipos de construcción u operación	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	2	Baja	EPM (2012). Proyecto hidroeléctrico Ituango. Medellín
48.	Externo	Ejecución	Técnico	Falla/demora en el montaje de equipos	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	2	Baja	EPM (2015). Análisis de riesgos proyecto hidroeléctrico Santo Domingo. Medellín.

49.	Externo	Ejecución	Socioambiental	Afectación a la comunidad por daños a los servicios por actividades de la construcción	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	1	2	Baja	(BULUT & ÖZCAN, 2021)
50.	Externo	Ejecución	Técnico	Lesiones a terceros dentro y/o fuera del sitio de la construcción	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	1	2	Baja	(Baca Urbina, 2013)
51.	Externo	Planeación/operación	Organizacional	Costo de operar y mantener mayores a los proyectados	Posibles daños físicos.	1	2	Baja	(Hochstetler, 2011)
52.	Externo	Planeación	Organizacional	Sobrecosto	Posibles daños físicos.	1	2	Baja	(Sac, 2009)
53.	Externo	Planeación	Organizacional	Cambios desfavorables en las condiciones de la financiación de EPM que impacten negativamente la viabilidad del proyecto	Posibles daños físicos.	1	2	Baja	(Verduzco Chávez & Bernal, 2008)
54.	Externo	Planeación/operación	Político	Pérdida de estabilidad jurídica	Posibles daños físicos.	1	2	Baja	(Ambiental, 2012)

55.	Externo	Ejecución/operación	Político	Intervención política desfavorable	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	0	2	Baja	(Hochstetler, 2011)
56.	Externo	Ejecución	Técnico	Errores de diseño	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	2	Baja	(K. H. D. Tang, 2020)
57.	Externo	Ejecución	Técnico	Colapso estructural por problemas durante la construcción	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	0	2	Baja	(Čada et al., 2006).
58.	Externo	Planeación	Ambiental/Técnico	Menor generación a la proyectada	Posibles daños físicos.	0	2	Baja	(Scannapieco et al., 2014)
59.	Externo	Ejecución	Organizacional	Fallas de comunicación y coordinación entre el equipo del proyecto con consultores y/o proveedores	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	1	Baja	(Kumar & Katoch, 2016)
60.	Externo	Ejecución	Ambiental	Dificultades por factores climáticos, tormentas eléctricas y calor, entre otros	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	2	1	Baja	(Ambiental, 2012)

61.	Externo	Ejecución	Económico	Desestabilización de la economía de la región	Efectos desfavorables o cualquier daño, perjuicio o pérdida de los bienes a cargo del Contratista, causados por terceros	2	1	Baja	(Socioambiental et al., 2018)
62.	Externo	Ejecución	Organizacional	Problemas de interventoría (delegación de responsabilidad contratante)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	1	Baja	(Kucukali, 2014)
63.	Externo	Ejecución	Organizacional	Cambios en el personal clave del proyecto (ej.: traslados internos)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	1	Baja	(Kumar & Katoch, 2015)
64.	Externo	Ejecución	Político	Corrupción de funcionarios externos o autoridades	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	1	1	Baja	(Rubi & Mejía, 2004)
65.	Externo	Ejecución	Organizacional	Términos de referencia mal definidos/ambiguos	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	1	Aceptable	(Mirumachi & Torriti, 2012)
66.	Externo	Ejecución	Social	Hurto o piratería terrestre de equipos críticos/componentes de construcción / operación durante el transporte	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	1	Aceptable	(Tahseen & Karney, 2017)
67.	Externo	Ejecución	Técnico	Fallas en procedimientos de operación durante la puesta en servicio	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	1	Aceptable	(Trussart et al., 2002)

68.	Externo	Ejecución	Técnico	Errores en la transferencia de conocimientos de tecnología (capacitación de personal y/o documentación)	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	1	Acceptable	(Singer & Watanabe, 2014)
69.	Externo	Ejecución	Político	Cambios de normas, regulaciones, licencias, estándares, desfavorables para proyecto	Atrasos en el inicio de la ejecución del contrato	0	0	Acceptable	(Kolltveit & Grønhaug, 2004)