

Análisis de riesgos ambientales asociados a la construcción
del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo

Felipe Londoño González
flondo12@eafit.edu.co

Trabajo de grado para optar al título de
magíster en Gerencia de Proyectos

Asesor
Elkin Arcesio Gómez Salazar

Maestría en Gerencia de Proyectos
Escuela de Administración
Universidad EAFIT
Medellín
2017

Contenido

1	Introducción.....	9
2	Situación en estudio.....	10
2.1	Contexto que origina la situación en estudio	10
2.2	Antecedentes	11
2.3	Alcance	26
2.4	Justificación	27
2.5	Formulación de la pregunta	27
3	Objetivos.....	28
3.1	Objetivo general.....	28
3.2	Objetivos específicos	28
4	Marco de referencia conceptual.....	29
5	Método de solución	35
6	Justificación del trabajo en términos de gerencia de proyectos.....	38
7	Identificación de riesgos críticos del proyecto	39
7.1	Niveles de riesgo.....	45
7.2	Riesgos ambientales críticos.....	46
7.3	Causas y efectos de los riesgos ambientales seleccionados.....	47
8	Identificación de medidas para prevenir y controlar dichos riesgos	49
8.1	Proyecto Santo Domingo	50
8.2	Proyecto San Miguel.....	52
8.3	Proyecto San Matías	55
8.4	Proyecto El Molino	57
8.5	Proyecto San Bartolomé	60
8.6	Proyecto Cañafísto.....	64
8.7	Proyecto El Buey	66
8.8	Proyecto Porce IV.....	68
8.9	Entrevista experto 1	69
8.10	Entrevista experto 2	71
8.11	Conclusiones de las medidas de manejo pertinentes para los riesgos ambientales seleccionados	73
9	Determinación de los rangos de variación de los costos económicos de las opciones pertinentes identificadas	76
9.1	Funciones de probabilidad	76
9.1.1	Funciones de probabilidad discretas.....	77
9.1.2	Funciones de probabilidad continuas	79
9.2	Bondad de ajuste.....	82
9.3	Métodos de imputación.....	83
9.4	Costos de implementación de medidas de manejo para controlar los riesgos seleccionados en los diferentes proyectos revisados anteriormente	85

9.5	Resultados de las pruebas de bondad de ajuste.....	94
10	Análisis financiero probabilístico del proyecto Santo Domingo.....	100
10.1	Análisis de resultados	103
11	Conclusiones.....	115
12	Recomendaciones	117
13	Referencias y Bibliografía.....	118
14	Anexos.....	121

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Distribución regional en grandes represas a finales del siglo XX.....	12
Ilustración 2. Lista de indicadores de sostenibilidad en hidroeléctricas reportados por investigadores	13
Ilustración 3. Percepción pública sobre impactos ambientales	16
Ilustración 4. Indicadores de sostenibilidad de un proyecto en India.....	17
Ilustración 5. Costos totales del proyecto Nam Theun, Laos	18
Ilustración 6. Riesgos ambientales hidroeléctrica Tefen, Turquía	19
Ilustración 7. Evaluación preliminar de los impactos del proyecto Piedra del Águila.....	22
Ilustración 8. Jerarquización de impacto en proyecto Ituango	23
Ilustración 9. Algunas PCH en operación y el potencial hidroeléctrico colombiano por región	26
Ilustración 10. Esquema de la metodología del proyecto	36
Ilustración 11. Ventana para ajustes de distribución	95
Ilustración 12. Ajuste serie de datos análisis riesgos 2, 6 y 23.....	96
Ilustración 13. Ajuste serie de datos análisis riesgos 21.....	97
Ilustración 14. Ajuste serie de datos análisis riesgo 16	98
Ilustración 15. Ajuste serie de datos análisis riesgo 9	99
Ilustración 16. VPN Riesgos ambientales críticos	104
Ilustración 17. Porcentaje de los costos ambientales críticos con respecto a los costos totales del proyecto	104
Ilustración 18. VPN riesgos 2, 6 y 23	106
Ilustración 19. VPN riesgo 21	107
Ilustración 20. VPN riesgo 16	108
Ilustración 21. VPN riesgo 9	108
Ilustración 22. Frecuencias de materialización de todos los riesgos críticos del proyecto	109
Ilustración 23. Frecuencias de materialización de los riesgos 2, 6 y 23 durante la fase de construcción.....	110
Ilustración 24. Frecuencias de materialización del riesgo 21 durante la fase de construcción	110
Ilustración 25. Frecuencias de materialización del riesgo 9 durante la fase de construcción	111
Ilustración 26. Frecuencias de materialización del riesgo 16 durante la fase de construcción	112

Índice de tablas

Tabla 1. Medidas de manejo para los riesgos e impactos ambientales.....	30
Tabla 2. Puente entre la teoría y la práctica.....	37
Tabla 4. Análisis de riesgos del proyecto Santo Domingo.....	39
Tabla 5. Criterios de valoración de las consecuencias	43
Tabla 6. Criterios de valoración de las probabilidades.....	44
Tabla 7. Matriz de riesgos del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo	45
Tabla 8. Riesgos críticos objeto del presente estudio	46
Tabla 9. Proyectos hidroeléctricos y referencias	49
Tabla 10. Porcentaje de los costos totales de manejo ambiental de cada medida	71
Tabla 11. Medidas de manejo, experto 2.....	72
Tabla 12. Tabla resumen de las medidas de manejo para controlar	74
Tabla 13. Costos totales de manejo ambiental	86
Tabla 14. Costos medidas para control de los riesgos 2, 6 y 23 durante la fase de construcción.....	87
Tabla 15. Costos medidas para control del riesgo 21 durante la fase de construcción	88
Tabla 16. Costos medidas para control de riesgo 16 durante la fase de construcción.....	89
Tabla 17. Costos medidas para control de riesgo 9 durante la fase de construcción.....	90
Tabla 18. Parámetros ecuación riesgos 2, 6 y 23.....	91
Tabla 19. Muestra de datos riesgos 2, 6 y 23 [%]	91
Tabla 20. Parámetros ecuación riesgo 21	92
Tabla 21. Muestra de datos riesgo 21 [%]	92
Tabla 22. Parámetros ecuación riesgo 16	92
Tabla 23. Muestra de datos riesgo 16 [%]	93
Tabla 24. Parámetros ecuación riesgo 9	93
Tabla 25. Muestra de datos riesgo 9 [%]	94
Tabla 26. Matriz inicial construcción flujo de caja	101
Tabla 27. Matriz de probabilidades en el período de construcción del proyecto [%]	101
Tabla 28. Matriz de frecuencias	101
Tabla 29. Matriz de impacto probable [\$]	102
Tabla 30. Matriz impacto si ocurre (matriz flujo de caja riesgos) [\$]	103
Tabla 31. Indicadores financieros.....	103
Tabla 32. Aportes VPN riesgos individuales al VPN total (valores más probables)	105

Resumen

El presente análisis de riesgos aplicado al proyecto hidroeléctrico Santo Domingo, propiedad de Empresas Públicas de Medellín, E. S. P, se compara con un viaje a través del cual el lector encontrará, en principio, una visión global de las principales problemáticas que a nivel mundial, regional y local se ven enfrentados los proyectos de generación de energía hidroeléctrica, y cómo algunas variables, específicamente las asociadas a los riesgos ambientales, han generado grandes dificultades en su gerenciamiento, así como tropiezos y sobrecostos en su ejecución.

El lector conocerá casos concretos de proyectos que han visto incrementados sus costos de ejecución de manera desproporcionada o, incluso, han llegado a tener que suspenderla por no haber considerado o dimensionado adecuadamente dichos riesgos.

El análisis comparativo de los riesgos ambientales identificados en diferentes proyectos hidroeléctricos, en función de sus características particulares (capacidad instalada, obras principales, etc.), permite conocer de manera general los riesgos comunes y más relevantes sobre los cuales el desarrollador debe centrar su atención desde las fases tempranas del proyecto, y las medidas de manejo y control de dichos riesgos que son más comúnmente aplicadas por el sector eléctrico a nivel nacional.

Estas experiencias, complementadas con un análisis probabilístico y la aplicación de herramientas financieras como el @RISK, aplicadas al proyecto Santo Domingo, ofrecen sin duda una valiosa información complementaria que generalmente no se obtiene con los métodos convencionales de análisis de riesgos comúnmente aplicados en este tipo de proyectos. Conocer el rango de probabilidades en que un riesgo puede llegar a materializarse durante las diferentes etapas de la construcción del proyecto y las repercusiones económico financieras que pudiera tener es igualmente un valor agregado que ningún desarrollador de proyectos de esta naturaleza debería omitir.

La sistematización de esta experiencia aplicada al proyecto Santo Domingo presenta de manera simple el proceso metodológico y las herramientas utilizadas que fácilmente pueden ser replicadas en proyectos de diversas tipologías cuya exposición o dependencia de los aspectos ambientales y sociales sea relevante.

Para el caso concreto de los proyectos hidroeléctricos, el ejercicio aplicado al proyecto Santo Domingo, más allá de académico, da una idea más clara de cuáles son esos riesgos más sensibles y de las incidencias reales que pueden tener en su ejecución, lo que invita a considerarlos con especial atención para la toma de decisiones estratégicas no solo por el orden de las inversiones asociadas a este tipo de proyectos y por su impacto en el aspecto económico financiero, sino, además, por las crecientes barreras que le impone el contexto sociopolítico actual, con comunidades más conscientes y demandantes, autoridades más exigentes y la creciente oposición de grupos ambientalistas a los proyectos del sector minero energético.

Palabras claves: riesgo ambiental, medidas de manejo, costos ambientales, incidencia económica, viabilidad, sostenibilidad, indicadores financieros.

Abstract

The present risk analysis applied to the Santo Domingo hydroelectric project, owned by Empresas Públicas de Medellín, E. S. P., is compared to a journey through which the reader will, in principle, find a global vision of the main problems that at world, regional and local levels are facing hydroelectric power generation projects, and how some variables, specifically those associated with environmental risks, have generated great difficulties in their management, as well as obstacles and overcharges in their execution.

The reader will know concrete cases of projects that have increased their execution costs in a disproportionate way or even have had to suspend their execution because they did not consider or adequately dimension those risks.

The comparative analysis of the environmental risks identified in different hydroelectric projects, depending on their particular characteristics (installed capacity, main works, etc.), allows to know in general terms the common and most relevant risks on which the developer must focus his attention from the early stages of the project. Likewise, it allows knowing the measures of management and control of those risks that are most commonly applied by the electricity sector at national level. These experiences, complemented by a probabilistic analysis and the application of financial tools such as the @RISK, applied to the Santo Domingo project, offer undoubtedly valuable complementary information that is generally not obtained with the conventional methods of risk analysis commonly applied in this type of projects. Knowing the range of probabilities in which a risk can materialize during the different stages of the construction of the project and the economic and financial repercussions that it may have is also an added value that no developer of this nature should omit.

The systematization of this experience applied to the Santo Domingo project presents in a simple way the methodological process and the tools used that can easily be replicated in projects of different typologies whose exposure or dependence on environmental and social aspects is relevant.

For the concrete case of hydroelectric projects, the exercise applied to the Santo Domingo project, more than an academic endeavor, gives a clearer idea of what are the most sensitive risks and of the real impacts they may have on their execution, which presents an invitation to consider them with special attention for the strategic decision-making not only by the order of the investments associated with this type of projects and by their impact on the financial economic aspect but also by the growing barriers imposed by the current sociopolitical context, with more conscious and demanding communities and authorities, and growing opposition from environmental groups to projects in the energy mining sector.

Keywords: Environmental risk, management measures, environmental costs, economic impact, feasibility, sustainability, financial indicators.

1 Introducción

El presente trabajo de grado tiene como objetivo el análisis y la cuantificación de los riesgos ambientales asociados a la construcción del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo, propiedad de Empresas Públicas de Medellín (en adelante EPM).

Para su ejecución se parte de un análisis preliminar de riesgos que ya tiene elaborado EPM desde la fase de planeación del proyecto. Este análisis es ajustado o complementado con referencias de otros proyectos de este género a nivel internacional, nacional y local, y el criterio de algunos expertos consultados, todo ello para garantizar la inclusión de los riesgos más significativos aplicables a este proyecto. Con esos criterios se seleccionan los riesgos ambientales más significativos, y a cada uno se le identifican una serie de medidas de manejo adecuadas y pertinentes para el proyecto, que serán cuantificadas económicamente y procesadas mediante la aplicación de herramientas de análisis y modelos probabilísticos de riesgos.

En la primera parte de este documento se describe la problemática a nivel mundial y se presentan algunos casos de proyectos hidroeléctricos que han tenido dificultades y sobrecostos en su ejecución por la omisión o manejo inadecuado de los riesgos ambientales. Esta sección contiene, además, información sobre los principales riesgos ambientales que se presentan en esta tipología de proyectos, así como las medidas más comúnmente aplicadas para su prevención y manejo.

En cuanto a la metodología, se presenta de manera gráfica y simplificada el esquema aplicado junto con las herramientas utilizadas para realizar el análisis de riesgos y determinar los rangos de variación de costos que podría tener el proyecto.

Finalmente, como resultado de esta investigación, se establece la incidencia que puede llegar a tener en los costos y en la rentabilidad del proyecto la omisión o inclusión de ciertos riesgos ambientales y la forma como estos riesgos sean manejados.

2 Situación en estudio

2.1 Contexto que origina la situación en estudio

Una de las problemáticas que afrontan actualmente algunos países que poseen recursos hídricos y que, a la vez, tienen la necesidad de generar la energía eléctrica para satisfacer la demanda propia y avanzar en la ruta del desarrollo es la armonización de intereses conservacionistas frente a intereses económicos y sociales para el uso de los recursos naturales.

La búsqueda del desarrollo sostenible demanda unas políticas que garanticen el desarrollo económico del país sin comprometer la base natural, que es la fuente de sus riquezas.

En ausencia de una planeación ambiental estratégica a nivel nacional y como consecuencia de un modelo de licenciamiento con visión de proyectos, Colombia, al igual que muchos otros países, se ha visto inmersa en una serie de conflictos socioambientales que han llegado a inviabilizar el desarrollo de proyectos hidroeléctricos que el país requiere, en parte, porque en su formulación no han sido incluidos o dimensionados adecuadamente algunos riesgos ambientales que no solamente comprometen su ejecución, sino, también, la viabilidad futura para su operación.

Esta problemática no es exclusiva de Colombia y se presenta en múltiples países que tienen potencial hidráulico para construir centrales de generación de energía, sustancialmente por conflictos en el uso de los recursos naturales frente a posturas conservacionistas por parte de organizaciones ambientales y comunidades que se ven afectadas en especial por los desplazamientos involuntarios que se generan y por la llegada de oportunistas que buscan lucrarse a través de la reclamación de supuestos derechos y afectaciones.

Colombia, por su ubicación geográfica, es un país privilegiadamente rico en recursos hidráulicos, debido a que aproximadamente el 80 % de la energía se genera a partir de agua mediante la construcción de centrales hidroeléctricas, cuya tecnología es considerada ambientalmente limpia; sin embargo, en la mayoría de los casos estos proyectos requieren la construcción de embalses y el desplazamiento de poblaciones que detonan los conflictos anteriormente mencionados.

El manejo inadecuado de estos riesgos puede generar impactos negativos en los ámbitos ambiental, social o económico no solo a nivel local, sino también a nivel nacional, en la medida en que todos estos proyectos hacen parte de un sistema interconectado nacional que atiende la demanda energética del país; incluso podría llegar a tener implicaciones a nivel internacional, ya que Colombia tiene acuerdos bilaterales de comercio de energía con países vecinos, entre ellos Ecuador y Venezuela.

EPM es un grupo empresarial propiedad del municipio de Medellín, con presencia internacional en Centro y Suramérica, que tiene dentro de sus líneas de negocio la

generación de energía. En Colombia posee 21 plantas de generación hidráulicas, una térmica y un parque eólico, que abastecen en promedio el 24 % de la demanda energética nacional.

A nivel nacional le corresponde al Ministerio de Minas y Energía la planeación y regulación del sector eléctrico. A la unidad de planeación minero energética (UPME), adscrita a dicho ministerio, le corresponde la elaboración de los planes indicativos y de expansión del sector eléctrico para satisfacer la creciente demanda de energía a nivel nacional y establecer un esquema de subastas mediante el cual se asigna el orden de entrada de los proyectos que requiere el país.

EPM tiene inscrito para ese plan de expansión, licenciado por Cornare (la autoridad ambiental del oriente del departamento de Antioquia y la competente para el otorgamiento de la licencia ambiental), un proyecto de generación energía eléctrica con capacidad de 56 MW ubicado a 60 km de Medellín, con influencia directa en los municipios de Cocorná, San Francisco y El Carmen de Viboral, en el oriente del departamento, región de geografía privilegiada, una alta oferta hídrica y un potencial energético que satisface actualmente alrededor del 25 % de la demanda de energía eléctrica del país. A pesar del gran potencial hidroeléctrico del territorio, este tipo de proyectos se ve enfrentado a una serie de riesgos ambientales y sociales que se convierten en factores determinantes que pueden llegar a inviabilizar su ejecución, como ya ocurrió en la historia reciente del país con el proyecto hidroeléctrico Porce IV, suspendido indefinidamente desde 2010, justamente por variables de índole social y ambiental no dimensionadas en la fase de formulación.

Si bien el proyecto Santo Domingo obedece a otro orden de magnitud en cuanto a potencia instalada, áreas requeridas y población afectada en relación con el proyecto Porce IV, no está exento de que lleguen a materializarse riesgos que puedan generar sobrecostos no previstos para la fase de construcción y afectar los flujos de caja de la fase de operación.

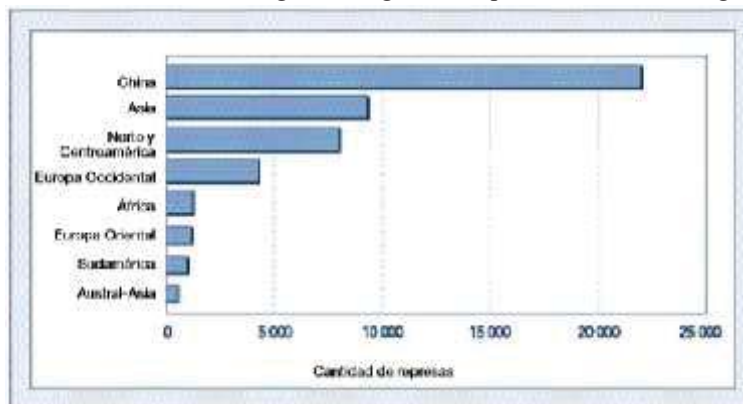
Aunque EPM aplicó una metodología donde se identifican algunos escenarios de riesgos, el origen, las causas y los efectos, se considera información insuficiente a la hora de hacer un análisis financiero probabilístico. El análisis que se propone en este trabajo de grado estaría orientado al cumplimiento de los objetivo general y específicos, que darían elementos adicionales para el establecimiento de controles y para la toma oportuna de decisiones en el gerenciamiento del proyecto.

2.2 Antecedentes

En el siglo pasado se tomó la decisión de construir aproximadamente 45.000 represas que contribuyeran positivamente con el desarrollo de las diferentes regiones del mundo, tal como se muestra en la Ilustración 1; en algunos casos se construían para abastecer de agua la agricultura de irrigación, uso doméstico e industrial, controlar inundaciones o generar energía; sin embargo, estas estructuras también afectaron negativamente a las comunidades y el medioambiente, generando impactos y riesgos que pusieron en juego el desarrollo

normal de los embalses y la suspensión de muchos de los proyectos futuros, por incrementos en los costos, que hacían inviable financieramente los proyectos o por niveles inaceptables de impactos según el punto de vista actual (Comisión mundial de represas, 2000).

Ilustración 1. Distribución regional en grandes represas a finales del siglo XX



Fuente: Comisión mundial de represas, 2000.

Aproximadamente el 21 % de todas las represas se diseñaron para la generación de energía, marcando el progreso de las civilizaciones y favoreciendo la hidroeléctrica como la energía renovable más importante para muchos países y regiones del mundo. Hasta la década de 2010, la mitad de la energía generada en un tercio de los países del mundo era proveniente de las centrales hidroeléctricas, y 24 países derivaban su energía casi por completo de hidrorrepresas. Cuatro países han dominado la generación de energía por medio de estas estructuras: China, Brasil, Canadá y Estados Unidos generan más de la mitad de la energía hidroeléctrica del mundo (Chen, Chen y Fath, 2015).

Proyectos como Tres Gargantas (22.500 MW) en China, Itaipú (14.000 MW) en la frontera de Brasil y Paraguay, y Guri (10.400 MW) en Venezuela han sido promovidos como iconos de desarrollo social y económico a nivel mundial; sin embargo, sus impactos ambientales negativos empezaron a surgir con el pasar del tiempo, generando dudas acerca de la sostenibilidad de los proyectos: deforestación, emisiones de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, extinción de especies, áreas inundadas, destrucción de hábitats, pérdida de tierras destinadas para el cultivo, alteraciones en el régimen hídrico, morfología de los cuerpos de agua y desplazamiento de poblaciones (Kumar y Katoch, 2016).

En la Ilustración 2, a continuación, se observan los resultados de un proceso de selección de los principales riesgos e impactos a nivel mundial en proyectos hidroeléctricos, basados en una revisión sistemática de las principales bases de datos académicas para la investigación técnica y científica (Tahseenn y Karney, 2016).

Ilustración 2. Lista de indicadores de sostenibilidad en hidroeléctricas reportados por investigadores
List of hydropower sustainability indicators reported by researchers.

Reference article	Social	Environmental
Sarkar and Karagöz [57]	Resettlement, job creation, waterborne diseases, traffic, immigration, colonization	Biodiversity loss, fish migration, deforestation
Afgan et al. [78]	Job creation, capital produced, diversity and vitality	Emission of CO ₂ , NO _x , SO ₂ , waste
Afgan and Carvalho [80]		CO ₂ Emission, land use
Kaygusuz [96]	Relocation, waterborne diseases, colonization, migration, job creation, investment, traffic, recreation, tourism, navigation	Inundation, species extinction, landslides, biodiversity loss, fish migration, erosion, soil fertility & salinity
Klimpt et al. [93]	Public participation, resettlement, irrigation, heritage sites, shared benefits, human health	Hydrologic regime, biodiversity loss, fish migration, water quality, sedimentation, flood, avoided emission, seismic activity
Bakis and Demirbas [91]	Displacement, employment opportunities, living standards	Sedimentation, topographical & hydrological conditions, flooding, species extinction, ecosystem
Balat [99]	Visual impact, irrigation	No pollution, flooding, fishery, avoided GHG emission, air quality
Evans et al. [53]	Public acceptance, displacement, flood protection, irrigation, recreation	GHG emission, inundation, land use, water consumption, siltation
Kaygusuz [54]	Resettlement, recreation drought & flood protection, navigation, waterborne diseases	Climate benefits, flood, DO, pH, hydrologic regimes, aquatic habitat, sedimentation, water temperatures, macro-invertebrate
Supriyasih et al. [84]	Safety, social conflict, land use, water resource problem, legal obstacle, infrastructure	Flow pattern and amount, habitat loss, land use, river bank collapse, sedimentation, dust and noise
Onat and Bayar [79]	Public perception, resettlement, human health, employment, agriculture, tourism	Land use, water consumption, CO ₂ emission, air pollution, water quality
Carrera and Mack [81]	Innovative ability, shared benefits, health concerns, functional & aesthetic impact, conflict & catastrophic potential, public participation & perception, traffic	Land use, waste disposal
Kaunda et al. [92]	Involuntary resettlement, loss of livelihood and cultural identity	Inundation, air & water pollution, biodiversity loss, land use, sedimentation, aquatic weed, CO ₂ & methane emission, climate benefits
Capik et al. [54]	Water supply, waterborne disease, flood control, irrigation, navigation, recreation, accessibility, improved living, relocation, job opportunities, tourism, land use	No emission, acid rain, waste, inundation, air quality, erosion, flooding, aquatic life, climate change, hydrologic regime, fish migration, sedimentation, water table
Vučijak et al. [85]		Biological indicators, morphological condition, water quality, terrestrial habitat
Kentel and Alp [95]	Investment, aesthetic impact, impact on locals, water supply, irrigation, fishing	Dust, air pollution, noise, erosion, landslide, debris, aquatic life, pH, fish passage, sedimentation, diversion, suspended solids, deforestation

Kentel and Alp [95]	Investment, aesthetic impact, impact on locals, water supply, irrigation, fishing	Dust, air pollution, noise, erosion, landslide, debris, aquatic life, pH, fish passage, sedimentation, diversion, suspended solids, deforestation
Scannapleco and Belgiorno [82]	Public acceptance, employment, traffic	Global warming potential, water, land use, underground resources, waste, biodiversity, ecosystem impact, emission, landscape, hazards
Rosso et al. [83]	Compensation fees, enterprise activities, marginal area, local employment, stakeholder preferences	Protected areas, hydrological risks, environmental flow, river discharge, water quality, mitigation
Maxim [46]	Job creation, human health, social acceptability, external supply risk	Land use, environmental costs
Zhang et al. [9]		Soil erosion, pollution, fish & human habitat, inundation, land productivity, sedimentation, water quality, ecological alteration, emission
Chen et al. [89]		Food web impact, sedimentation, discharge, heavy metal pollution
Pang et al. [90]		Natural flow disruption, land use, aquatic life,

Fuente: Tahseenn y Karney, 2016.

Es importante aclarar que el éxito de todas las medidas para controlar los riesgos mencionados anteriormente dependerá de unas condiciones rigurosas que incluyen los siguientes aspectos (Comisión mundial de represas, 2000):

- Buena base de información y disponibilidad de personal profesional competente para formular selecciones complejas que se someten a quienes toman decisiones.
- Un marco legal adecuado y mecanismos de cumplimiento.
- Un proceso cooperativo con el grupo de diseño y los grupos implicados.
- Monitoreo de retroalimentación y evaluación de la eficacia de la mitigación.
- Recursos financieros e institucionales adecuados.

Europa, Asia y África

Los proyectos hidroeléctricos requieren un largo período de planificación y construcción antes de que los beneficios comiencen a surgir. Debido a la complejidad en la planificación de grandes proyectos, estos se están convirtiendo en sinónimos de excesos de costos de construcción y cada vez, por la incertidumbre en muchos impactos y riesgos, se hace más difícil su estimación y proyección. Además, los inversionistas e instituciones multilaterales que financian la construcción de este tipo de proyectos exigen que los planificadores proporcionen evaluaciones de impacto ambiental y socioeconómico, donde incluyan planes de mitigación de los efectos adversos de las represas en las personas que viven en el área de influencia antes de autorizar su financiamiento. La estimación de los costos de reasentamiento es incierta, ya que la gente tiende a migrar hacia la zona del proyecto y reclamar beneficios por afectación una vez la construcción de la represa comienza. En China, por ejemplo, el proyecto de energía hidroeléctrica Ertan había presupuestado USD

82 millones para los planes de reasentamiento, pero en el momento en que se completó la construcción de la presa el proyecto había incurrido en un costo total de USD 228 millones, únicamente en programas de reasentamiento (Awojobia y Jenkinsa, 2016).

La crisis energética que enfrentó Uganda durante la década de 1990 dio lugar a una serie de proyectos de generación de energía, entre los cuales se encontraba el proyecto hidroeléctrico de Bujagali, que pretendía aumentar el suministro de energía a través de la red nacional de Uganda. En 1999, la compañía de energía estadounidense AES firmó un acuerdo con las autoridades de Uganda para construir el embalse y la casa de máquinas. En la fase inicial de la planificación de la inversión, el Banco Mundial había acordado apoyar financieramente la puesta en marcha del proyecto; sin embargo, en el proceso de preparación, los partidos de oposición plantearon cuestiones importantes en cuanto a la fijación de precios; adicionalmente, hubo oposición de varios grupos ambientales en relación con el impacto socioambiental del proyecto, especialmente la población que estaba ubicada en el área de influencia. Como resultado de la oposición de estos grupos ecologistas, la AES se vio obligada a retirar su participación en la mayor inversión privada en infraestructura en Uganda. Finalmente, la construcción del proyecto se llevó a cabo en 2007 por el Banco Mundial y Bujagali Energy Limited (Awojobia y Jenkinsa, 2016).

Los excesos en los costos de este proyecto se debieron a tres factores: los intereses políticos del Gobierno de Uganda, la construcción de la presa y los costos de las obras civiles. Por último, el presupuesto para el plan de mitigación social y ambiental fue otra de las fuentes de sesgo cognitivo; el plan original del proyecto había preparado un presupuesto optimista de USD 12 millones para el reasentamiento, pero después de mucha presión de los ambientalistas, el costo de reasentamiento y mitigación contra los impactos ambientales negativos de la presa fue de USD 25 millones (Awojobia y Jenkinsa, 2016).

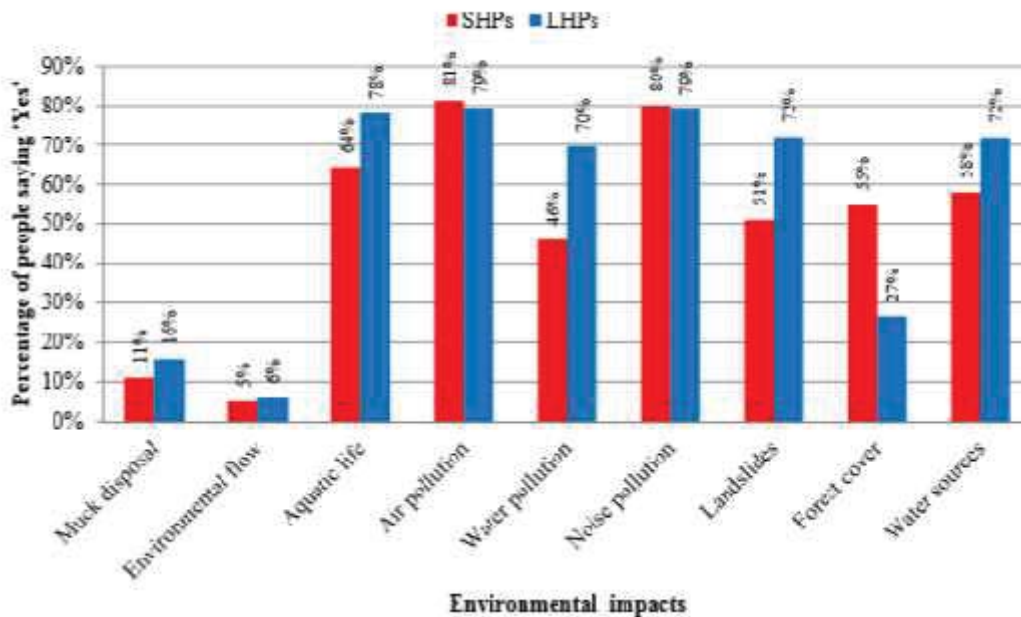
La erosión en Turquía es uno de los problemas ambientales más relevantes que amenazan los recursos naturales y los proyectos de desarrollo, especialmente los de generación de energía hidroeléctrica. Las condiciones geológicas y geográficas complicadas, junto con las empinadas laderas en la zona de influencia del proyecto Seyhan-KoPru, afectaron la rentabilidad del proyecto, con el incremento en los costos en el manejo de este impacto (Sahin y Kurum, 2002).

Las pequeñas centrales hidroeléctricas (en adelante PCH) son generalmente consideradas ambientalmente más sostenibles en comparación con proyectos a gran escala. Además, se supone que los impactos de estos proyectos deben estar en proporción a su capacidad instalada. Un gran número de proyectos de diferentes magnitudes en cuanto a capacidad instalada se están planeando para ser construidos en regiones del Himalaya, en India. Prácticas de construcción, explotaciones insostenibles adoptadas durante el desarrollo y/o la ejecución de estos proyectos están planteando una amenaza ambiental y una posible suspensión de ellos. El trabajo de investigación de Kumar y Katoch (2016) muestra la percepción de las personas afectadas por cuatro proyectos pequeños: Baragran, 24 MW; Balargha, 9 MW; Beas Kund, 9 MW; y Sarbari-II, 5.4 MW, y dos grandes: Larji,

126 MW; y Sainj, 100 MW en India, acerca de los impactos generados durante su fase de construcción. En la

Ilustración 3 se presentan los impactos más relevantes percibidos por las comunidades afectadas. La mitigación de estos impactos es posible, siempre y cuando las personas afectadas estén incluidas en los procesos de negociación y en la toma de decisiones; de lo contrario, resultarán un riesgo y unos sobrecostos que posiblemente afectarán los proyectos

Ilustración 3. Percepción pública sobre impactos ambientales de los proyectos de energía hidroeléctrica en la región del Himalaya



Fuente: Kumar y Katoch, 2016.

Toda esta problemática ha conllevado a que los inversionistas privados de la región del Himalaya, en India, se resistan a invertir en este tipo de proyectos, debido a los incrementos en costos y en las obligaciones ambientales. Por este motivo, investigadores han escogido una serie de indicadores para calificar un proyecto como sostenible (Kumar y Katoch, 2015), tal como se muestra en la Ilustración 4 a continuación.

Ilustración 4. Indicadores de sostenibilidad de un proyecto en India

Table 1 Research references for some Sub-sustainability Indicators (SSIs) considered in the study		
S. No.	SSIs	Reference(s)
Economic		
1.	Capital cost	Afgan et al. (2000); Kaygusuz (2002); Bakis and Demirbas (2004); IHA (2014); Scannapieco et al. (2014); Vucijak et al. (2014); Rosso et al. (2014)
2.	Internal rate of return (IRR)	IHA (2014); Rosso et al. (2014)
3.	Infrastructural facilities	Sovacool et al. (2011)
4.	Operation and maintenance cost	Bakis and Demirbas (2004); Scannapieco et al. (2014); Rosso et al. (2014)
5.	Clear Development Mechanism (CDM) benefits	Purohit (2008)
Environmental		
1.	Land area acquired for the project	Goodland (1994); Sarkar and Karagioz (1995); Evans et al. (2009); Maxim (2014); Scannapieco et al. (2014)
2.	Area of submergence	Klimpt et al. (2002); Kaunda et al. (2012)
3.	Impact on flora and fauna	Sarkar and Karagioz (1995); Kaygusuz (2002); Klimpt et al. (2002); IHA (2014); Dombi et al. (2014); Scannapieco et al. (2014); Morimoto (2013)
Social		
1.	Public acceptance	Goodland (1994); Evans et al. (2009); IHA (2014); Maxim (2014); Scannapieco et al. (2014)
2.	Number of households directly affected	Sarkar and Karagioz (1995); Klimpt et al. (2002); Evans et al. (2009); Nautiyal et al. (2011); Kaunda et al. (2012); Morimoto (2013)
3.	Employment generation	Afgan et al. (2000); Kaygusuz (2002); Bakis and Demirbas (2004); Vera and Langlois (2007); Maxim (2014); Dombi et al. (2014); Scannapieco et al. (2014); Rosso et al. (2014)
4.	Community development	Afgan et al. (2000)
5.	Effect on crop yield/fruit production	Goodland (1994); Evans et al. (2009); Onat and Bayar (2010)
6.	Quality of life	Afgan et al. (2000); Kaygusuz (2002); Klimpt et al. (2002); Bakis and Demirbas (2004); IHA (2014)
7.	Cultural heritage and social values	Sarkar and Karagioz (1995); Kaygusuz (2002); Klimpt et al. (2002); Kaunda et al. (2012); IHA (2014)

Fuente: Kumar y Katoch, 2015.

The Nam Theun 2 (NT2) es la central hidroeléctrica más grande construida en la historia de Laos. El proyecto tiene una capacidad de generación de 1.070 MW para abastecer de energía a la mayoría de la población de Tailandia y de Laos. La construcción del proyecto comenzó en 2005, y durante la fase de planeación se presentaron muchos inconvenientes por organizaciones ambientalistas que aseguraban que los beneficios de compensación para las comunidades aledañas eran insuficientes para mitigar todas las afectaciones (Baird y Quastel, 2015). Los principales impactos y riesgos ambientales del proyecto estuvieron asociados a la pérdida de hábitats terrestres por los 450 km² inundados; estos impactos tuvieron unos costos aproximados de USD 3 millones. Los costos más representativos estuvieron relacionados con el reasentamiento de las 6.000 personas afectadas por la construcción del embalse y por los conflictos en las negociaciones con los líderes de las comunidades; estos costos aumentaron considerablemente con relación a su

estimación en la fase de planeación, ascendiendo a unos USD 45 millones (Mirumachi y Torriti, 2012). En la Ilustración 5 se pueden observar los costos totales del proyecto.

Ilustración 5. Costos totales del proyecto Nam Theun, Laos
 Nam Theun 2 project costs.
 Source: ADB, 2004b.

Typology of costs	Total Million USDe ^a	Cost/energy produced (in USD/MW h)	Assessment Cost/Total project assessment cost
Development costs	74	2.31	0.05
Social costs	45	1.40	0.16
Environmental costs	3	0.09	0.15
Head construction costs	722	22.49	0.01
Financing costs	250	7.79	0.13
General and administrative costs, including capital	46	1.43	0.13
Pre-operating costs	109	3.39	0.18
Contingencies	200	6.23	0.819
Total project costs	1450	45.12	1

^a USDe: USD equivalent value.

Fuente: Mirumachi y Torriti, 2012.

Nam Mang 3, con 50 MW, es otro claro ejemplo de un proyecto hidroeléctrico en Tailandia, construido sin un adecuado estudio de impacto ambiental (EIA). El EIA del proyecto, que se completó después de la construcción del embalse, estimó que aproximadamente 2.745 personas se verían afectadas y que los costos de mitigación llegarían a USD 6.6 millones, generando dudas sobre su viabilidad financiera. Esta problemática dio lugar a 40 aldeanos armados marchando, exigiendo información sobre indemnizaciones y reubicaciones (Matthews, 2012).

El potencial hidroeléctrico en Turquía aumentó 15 % en 2007 en comparación con 2006. Por otra parte, la construcción de centrales hidroeléctricas aumentó igualmente en un factor de cuatro veces en 2007 en comparación con 2006, y las centrales previstas son casi el doble. Actualmente 290 centrales generan aproximadamente 16.265 MW. El proyecto Tefen aporta su energía al sistema interconectado de energía de Turquía, pero tiene serios problemas que han incrementado los costos, ya que no cumple con los requisitos ambientales de la directriz del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, BERD. En la Ilustración 6, a continuación, se presentan los niveles de riesgos ambientales más críticos del proyecto, según los criterios establecidos por el BERD (Kucukali, 2014).

Ilustración 6. Riesgos ambientales hidroeléctrica Tefen, Turquía

Environmental risk scorecard for the Tefen hydropower plant.

Environmental Criterion	Score ^a	Evidence
1. Environmental flow	3	The blockage ratio of the weir is 100% and the design discharge is 1.8 times higher than the annual average river flow. The environmental flow is released under a radial gate. The facility does not maintain a minimum flow in the bypassed reach that is minimum flow required for river to sustain existing environment. Cyclic flows are lost in the bypassed reach. A flow monitoring system was not established.
2. Water quality	3	The facility does not maintain a minimum flow in the bypassed reach that is adequate for the water quality taking into account seasonal fluctuations in flow levels. A low water level in the diverted reach carries the risk of critical water temperature and dissolved oxygen contents in summer period. The facility contributed to deterioration of water quality at the upstream of the power plant by reducing the flow velocities and creating a pool. Also biodegradable oil is not used in hydro turbines.
3. River basin	3	Sediment passage is blocked and sediments are temporary stored in the settling basin and at the upstream of the facility. Then the accumulated sediments are released when there is a high flow. The natural sediment transport regime of the river has been altered. The loss of forest land caused by the construction of 11.5 km diversion channel likely to increase sediment loads. Additional components of the facility e.g. access roads, power lines, and generation facilities have significant impact on the riparian environment.
4. Fish passage	3	Information had not been gathered on both the local and migrating fish populations. Fish passage was not allocated and dimensioned properly in order to enable its full functionality. The width of the fish passage is 0.5 m while the facility has a catchment area of 8310 km ² .
5. Endangered species	3	Sözen (2011) identified endangered species and critical habitats (e.g. wetlands and dune areas) at the river mouth nearly 35 km downstream of the facility. The developer has not assessed the potential impact of the facility on such critical habitats and endangered species.

^a Scoring scale is in the range of 1-3 where 3 being significant gaps relative to basic good practice.

Fuente: Kucukali, 2014.

El rápido crecimiento económico de Vietnam ha ido acompañado de la demanda de electricidad, que aumenta de 15 a 17 % por año. Actualmente, el 37 % de la energía de Vietnam es generada por centrales hidroeléctricas, y para 2020 se proyecta alcanzar los 80 millones de kW generados. Diez de las principales cuencas hidrográficas de Vietnam están inundadas o en proceso de construcción; sin embargo, los costos socioambientales de estos proyectos se han convertido en el centro de atención por las afectaciones económicas. A raíz de esta problemática, en mayo de 2013 el Gobierno canceló planes previamente aprobados para construir 338 centrales hidroeléctricas, debido a los riesgos ambientales; adicionalmente, en agosto de 2013 canceló otros 67 proyectos de energía hidroeléctrica por la misma razón (Singer y Watanabe, 2014).

La construcción de embalses ha desplazado decenas de miles de residentes de tierras altas en Vietnam. Con la represa de Son La, la más grande en el sudeste asiático, se desalojó un total de 91.000 residentes en las tres provincias del norte (Singer y Watanabe, 2014). Aunque la legislación nacional ha sido revisada varias veces en los últimos años para proporcionar una mejor compensación y apoyo, los malos resultados se siguen produciendo, debidos principalmente a la afectación en la rentabilidad de los proyectos,

Latinoamérica

Debido a la negligencia por parte de las autoridades y el abuso por parte de los grandes inversionistas, Brasil añade explícitamente consideraciones sociales a los criterios evaluados en el otorgamiento de licencias ambientales y define el impacto ambiental como

cualquier alteración en el medioambiente que afecte la salud, la seguridad y el bienestar de la población o las actividades sociales y económicas (Hochstetler, 2011).

En Brasil, las inversiones en centrales hidroeléctricas han demostrado tener altos niveles de riesgos ambientales y sociales. Proyectos como Balbina, Samuel y Tucuruí han tenido nefastos impactos ambientales y sobrecostos considerables, por ejemplo, la afectación en calidad del agua y los desplazados en las zonas alrededor del embalse, que ejercen presión sobre los recursos naturales en las zonas no inundadas por el proyecto (Cabral de Sousa y Reid, 2010).

El proyecto más grande de la amazonia es el planificado complejo Belo Monte en el río Xingu. Si se construye sería la segunda central hidroeléctrica más grande de Brasil y la tercera de la Tierra (Cabral de Sousa y Reid, 2010). Hoy en día es caracterizado como un icono lleno de lecciones aprendidas por todos los obstáculos que tuvo durante su formulación. La primera versión del proyecto Belo Monte, llamada Kararao, estuvo marcada por la gran cantidad de impactos que generó, logrando incluso que inversionistas como el Banco Mundial desistieran del proyecto. Grupos afectados se reunieron a nivel nacional por primera vez en 1989, formando un movimiento a nivel nacional por las represas llamado Movimiento antirrepresas, enmarcando sus actividades en términos de justicia para los pueblos afectados por estas estructuras, para la mitigación de los impactos ocasionados. La licencia ambiental inicial del proyecto fue concedida el 1° de febrero de 2010, con 40 condiciones serias para avanzar a la licencia de instalación. Finalmente, el 1° de abril de 2011 la comisión solicitó al Gobierno de Brasil suspender todas las actividades del proyecto hasta no haber tenido una negociación con las poblaciones indígenas afectadas directamente y una evaluación del impacto ambiental (Hochstetler, 2011).

Existe cierta controversia sobre los costos reales del proyecto. Miembros del Gobierno afirman que el costo de Belo Monte sería de alrededor de COP 9.000 millones; sin embargo, profesionales del sector aseguran que superará los \$ 17.000 millones, debido principalmente a la complejidad de la ingeniería y a los costos de mitigación y compensación ambiental (Cabral de Sousa y Reid, 2010).

Según un análisis de sensibilidad aplicado al proyecto, si la suma de todos los costes sociales, incluyendo todo el daño ambiental y cultural, es mayor de \$ 80 millones/año, el proyecto es inviable. Si, por el contrario, los costos son menores, el proyecto es financieramente viable (Cabral de Sousa y Reid, 2010).

São Luiz do Tapajós es otro de los proyectos hidroeléctricos que pretende contribuir con la generación de energía de Brasil. La pérdida de los recursos pesqueros para la comunidad indígena Munduruku, los desplazamientos forzados de las poblaciones ribereñas y de los mismos indígenas, y los sitios sagrados de la comunidad son los principales impactos y riesgos que afectan el proyecto, cuyo su control y manejo representará incrementos en costos. La Convención 169 de la Organización Internacional del Trabajo de Brasil establece que dichos pueblos afectados deberán participar en la formulación y aplicación de planes y programas de desarrollo nacional y regional (Fearnsid, 2015). Con respecto a las comunidades indígenas que habitan la zona de influencia de este proyecto, se

detectaron los siguientes riesgos: la generación de expectativas de la población indígena en la región frente a su futuro, el aumento de la visibilidad de indígenas a nivel local, regional, nacional e internacional, el incremento del flujo migratorio, la alteración de costumbres culturales de las comunidades, la alteración de la organización social existente y la posibilidad de un aumento de la incidencia de enfermedades (Fearnside, 2015).

Coca Codo Sinclair (CCS) es un proyecto destinado para la generación de energía de Ecuador, que pretende contribuir al sistema interconectado del país aportando aproximadamente 1.500 MW de energía generada. En su fase de formulación, el proyecto fue concebido inicialmente en tres etapas, cada una contribuyendo con 750 MW; sin embargo, por cuestiones ambientales en 1998 la concesión de generación fue negada por no cumplir con los requerimientos exigidos en el Reglamento de Concesiones; finalmente, en abril de 2008 fueron aprobados los estudios. Los principales riesgos e impactos ambientales que incrementaron los costos identificados en el proyecto fueron los siguientes: afectación permanente por procesos morfodinámicos activos, deforestación, impactos en turismo (el *rafting*), cambios en la escorrentía subterránea, variación de los caudales de ríos, asentamientos e inundaciones, aumento en la sedimentación, colonización por vías de penetración y tráfico de tierras en bosque remanentes, presión sobre centros poblados, e infraestructura para prestación de servicios básicos (López, 2009).

En el proyecto hidroeléctrico Piedra del Águila, ubicado en la cuenca del río Limay, en Argentina, al igual que en los otros mencionados anteriormente, se identificaron los impactos y riesgos significativos que se muestran en la Ilustración 7 a continuación (Mendía y Roca, 1992).

Ilustración 7. Evaluación preliminar de los impactos del proyecto Piedra del Águila

CUADRO Nro 2 : EVALUACION PRELIMINAR DE LOS IMPACTOS DEL PROYECTO PRIMERA APROXIMACION - ETAPA PROYECTO EJECUTIVO -																
NAURALIZA DEL IMPACTO	IMPACTO		CERTIDUMBRE			GRADO			DURACION		PLAZO		ACCION		REVERSIBIL	
	P	N	C	P	D	1	2	3	T	P	I	M	L	S	N	R
1 disminuc. produccion ictica naturl		X		X						X						
2 modificac. vegetacion aguas abajo				X						X		X				
3 eutrofica cion embalse aguas abajo				X		X				X						
4 interrup. desplazamien to peces		X	X							X						X
5 perdida del habitat fauna terr. y avifauna		X	X							X						
6 alteracion calidad de agua embalse		X		X						X						
7 baja prod. biologica en agua embalse		X		X						X						
8 relocaliza cion Paso Flores		X	X							X			X			
9 aumento del demanda servi P.de Aguila		X		X						X				X		
10 conflictos c/ poblacion P.de Aguila		X		X						X				X		

REFERENCIAS :			
IMPACTO	P = positivo	PLAZO	I = inmediato
	N = negativo		M = mediano plazo
			L = largo plazo
CERTIDUMBRE	C = cierta	ACCION	S = se ha propuesto
	P = probable		N = no se ha
	D = desconocido		previsto
GRADO	1 = poco significativo	REVERSIBILIDAD	I = irreversible
	2 = moderado		R = reversible
	3 = altamente significativo		
DURACION	T = temporal		
	P = permanente		

Fuente: Mendía y Roca, 1992.

Colombia

El proyecto hidroeléctrico Ituango es actualmente el más grande en construcción en Colombia y pretende contribuir al sistema interconectado nacional de energía con 2.400 MW. Hidroituango está localizado al norte del departamento de Antioquia, a 171 km de Medellín, entre el municipio de Santafé de Antioquia, al sur, y el río Ituango, al norte. El área de influencia indirecta comprende 12 municipios: Ituango, Peque, Buriticá, Santafé de Antioquia, Olaya, Liborina, Sabanalarga, Toledo, Briceño, San Andrés de Cuerquia, Puerto Valdivia y Yarumal. Las localidades de Orobajo y Barbacoas, asentadas a orillas del río Cauca, serán objeto de reubicación debido a la construcción del embalse (EPM, 2012).

Este, como todos los proyectos estudiados anteriormente, ha presentado problemáticas ambientales que se reflejan en un incremento de costos. Un claro ejemplo son las invasiones en los predios, hechas por personas que supuestamente desarrollan la minería de aluvión, y que llegan después de la declaratoria de utilidad pública e interés social (DUPIS) y de haberse realizado el censo poblacional (EPM, 2008). Los principales impactos con sus costos asociados se observan en la Ilustración 8.

Ilustración 8. Jerarquización de impacto en proyecto Ituango

JERARQUIZACIÓN POR IMPORTANCIA	CI	ORD
Desplazamiento involuntario de población y afectación de sus condiciones de vida	-9.30	1
Afluencia de población foránea con expectativas de empleo	-9.30	2
Alteración de la economía regional	-9.30	3
Aumento de la demanda de servicios públicos municipales	8.60	4
Transformación de los sistemas culturales de la población afectada directamente (asentamientos de Orobajo y Barbacoas)	-8.37	5
Cambios en la cobertura vegetal	-7.41	6
Cambio en la estructura del biotopo y en las comunidades bénticas	-6.92	7
Pérdida o fragmentación de hábitat	-6.43	8
Cambios en la calidad del agua del embalse y aguas abajo del mismo	-6.15	9
Modificación del paisaje	-6.15	10
Transformación de ambientes lóticos a lénticos	-5.87	11
Afectación sobre los yacimientos arqueológicos identificados	-5.87	12
Cambio en la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces de la cuenca del río Cauca	-5.80	13
Modificación de las propiedades químicas de los suelos	-5.76	14

JERARQUIZACIÓN POR IMPORTANCIA	CI	ORD
Generación de expectativas	-5.00	15
Aumento de la presión por los recursos naturales	-4.94	16
Muerte y desplazamiento de especies faunísticas	-4.73	17
Modificación de la dinámica fluvial del río Cauca	-4.68	18
Contaminación de corrientes superficiales y subterráneas	-2.84	19
Proliferación de vectores de enfermedades	-2.78	20
Contaminación del aire	-2.77	21
Transformación de los sistemas culturales de la población afectada indirectamente	-2.66	22
Generación de conflictos por la presencia del proyecto	-2.33	23
Surgimiento o protagonismo de actores sociales y fortalecimiento de organizaciones comunitarias	-1.80	24
Afectación de infraestructura	-0.60	25
Modificación de las finanzas de los municipios y de las autoridades ambientales	7.90	26
Generación de empleo	10.00	27

Fuente: EPM, 2008.

Los costos asociados a la indemnización de las personas afectadas ascendieron aproximadamente a \$ 15.000 millones (EPM, 2008).

Porce III es otro proyecto importante construido en Colombia, que aporta 660 MW de energía al sistema interconectado nacional. El costo total del proyecto fue de USD 1.330 millones, y los aportes más relevantes estuvieron asociados a los riesgos e impactos más críticos. La restitución de las condiciones de vida de las personas y familias impactadas tuvo un costo de \$ 97.775 millones (COP), y para mitigar los impactos por presión migratoria en Amalfi y Anorí se invirtieron \$ 16.741 millones. Estos valores también afectaron la rentabilidad del proyecto (EPM, 2010).

El proyecto Porce IV pretendía contribuir con 400 MW al sistema interconectado nacional, pero por cuestiones ambientales y sociales no pudo llevarse a cabo. Este es, tal vez, el proyecto que más controversia ha generado en el sector por la magnitud de sus problemáticas. En los estudios de factibilidad de 2006 se tenía una población de 2.799 personas directamente afectadas por el proyecto; para 2009 ya habían más de 8.500 (un crecimiento de más del 300 %), situación que demuestra un aumento demográfico en cualquier proceso social de poblamiento o de migraciones, incluso por desplazamientos ocasionados por los conflictos armados. Otro de los aspectos críticos fue la excesiva minería ilegal en la zona. Todos estos problemas incrementaron de tal manera los costos, que hicieron inviable financieramente el proyecto, quedando temporalmente suspendido desde 2010 (EPM, 2010).

Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)

En las últimas décadas, gracias al auge de energías renovables, las PCH han ganado importancia debido a los beneficios económicos, ambientales y sociales que tienen sobre las grandes centrales hidroeléctricas. Tienen períodos de construcción más cortos, menores costos operativos y menor inversión de capital, y no requieren la construcción de embalses, ya que son, en la mayoría de los casos, a filo de agua (Morales, Álvarez, Acevedo, Díaz, Rodríguez y Pacheco, 2015).

Asia es el continente líder en la implementación de PCH, con China como el país con la mayor capacidad instalada en el mundo (33 GW), seguido por Japón (4 GW) e India (2 GW). En Europa, Italia y Francia son los países líderes, con 2.7 y 2.1 GW, respectivamente, seguidos por Alemania y España, con 2 GW cada uno, mientras que en África, la República Democrática del Congo tiene el potencial de energía hidráulica más alto. En América del Norte y del Sur, el crecimiento económico y el aumento de las necesidades de energía están contribuyendo a la proliferación de las PCH, especialmente en Estados Unidos y Brasil, con 3 y 2 GW de capacidad instalada, respectivamente. En Colombia, el plan de expansión de generación de energía 2011-2025 tiene como objetivo aumentar la capacidad instalada en 7.914 MW, de los cuales 6.088 MW se atribuirán a proyectos de gran escala (incluyendo la central hidroeléctrica de Ituango) y a las PCH (Morales *et al.*, 2015).

Según estadísticas de Interconexión Eléctrica S. A. (ISA), el país tiene un potencial hidroeléctrico aproximadamente de 93.085 MW; sin embargo, este potencial no puede ser plenamente explotado debido a las restricciones ambientales, por ejemplo, los riesgos con las comunidades afectadas o los retrasos en la negociación de tierras, etc., que finalmente desaniman a inversionistas por el incremento en los costos y la afectación en su rentabilidad. De esos 93.085 MW, 9.185 (el 9.86 %) serían generados en grandes centrales hidroeléctricas, y 533 MW (el 0.57 %) en PCH (menos de 20 MW) (Morales *et al.*, 2015). En la

Ilustración 9, a continuación, se observan algunas PCH en operación, y el potencial del país distribuido por regiones (2015).

Ilustración 9. Algunas PCH en operación y el potencial hidroeléctrico colombiano por región

List of some SHP projects in operation [18].

Project name	Height (m)	Flow (m ³ /s)	Power (kW)	Cost (US \$/kW)
Patito 1	11	50	1900	9335
Patito 2	22	14	14,500	1552
San Francisco 1	15	11	4	1919
Agua Clara	875	0.051	20	575
Argosino	8	0.225	5.5	1609
San Miguel 1	18	0.116	12	871
San Miguel 2	6.1	0.115	4	834
Peña Tigre	6.3	0.864	30	261
Doconuco Repotenciación	—	—	2700	1400
Santa Ana	105.9	—	13,400	—
La Vuelta Antioquia	—	13.5	11,700	1200
Nansa	140	1.8	2000	1036
CRV	116	3.35	2270	—
ESD	153	2.4	3090	—
PEA	203	2.54	6260	—
PRTA	151	7.8	9810	—
RG	129	3.9	6230	—
SISA	204	3.4	5835	—
ASA	153	4.9	7035	—
ENA	102	4.46	5825	—
PRTB	127	13.9	19,950	—
PRTE	127	13.9	19,950	—
SJU	80	45	14,850	—
PSC	177	8.1	12,058	—
DLJC	177	7.95	11,850	—
CASC	305	3.31	3,490	—
ALJ	404	5.88	6,580	—
La Celia	133	3.6	4025	—
Dutachá	133	3.6	4025	—



Fig. 3. Small hydropower capacities in Colombia

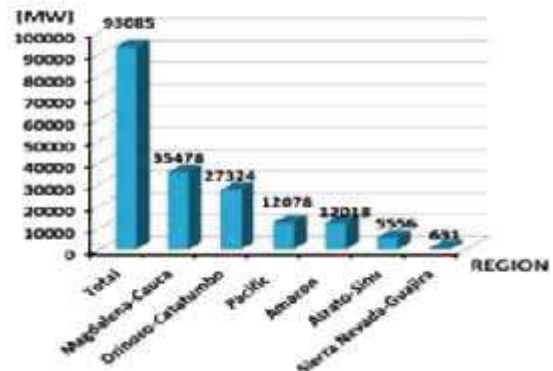


Fig. 4. Hydro-energy potential in Colombia by region.

Fuente: Morales, Álvarez, Acevedo, Díaz, Rodríguez y Pacheco, 2015.

2.3 Alcance

El alcance de este trabajo se limita a estimar la incidencia que pueden tener los principales riesgos ambientales del proyecto Santo Domingo en el aspecto económico financiero, partiendo de la información entregada por EPM y teniendo como referencia casos de proyectos anteriormente ejecutados por parte de la misma empresa o, de ser posible, por otras empresas del sector. La información que tenga restricción por parte de EPM se estimará con base en otras fuentes de información pública asociadas al sector eléctrico,

juicios de expertos o referencias bibliográficas en los temas que resulten aplicables para la realización de este trabajo: costos promedio de MW instalada en centrales hidroeléctricas, comportamiento de la bolsa y precios en el mercado de energía mayorista (MEM), costos de construcción, materiales, bienes y servicios, etc.

2.4 Justificación

Abordar la situación en estudio cobra importancia, porque un riesgo ambiental que se materialice puede incrementar los costos de construcción del proyecto, afectar su rentabilidad y sus flujos de caja, desplazar la fecha de entrada en operación (poniendo en riesgo el cubrimiento de la demanda de energía), dañar la imagen y reputación de la empresa propietaria del proyecto o llegar a hacerlo inviable completamente. Llevar a cabo este estudio resulta, entonces, fundamental para poder intervenir oportunamente y gestionar dichos riesgos con conocimiento pleno de las posibles implicaciones.

El propietario del proyecto, como principal interesado, deberá cumplir a cabalidad con la programación y las metas físicas y financieras esperadas por los posibles socios, así como por el cumplimiento de las salvaguardas exigidas por la banca o las entidades financiadoras del proyecto.

2.5 Formulación de la pregunta

¿Qué tanto pueden incidir en el aspecto económico financiero de un proyecto los riesgos ambientales?

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la incidencia económico financiera de los riesgos ambientales más relevantes del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo mediante la aplicación de la herramienta financiera probabilística @RISK, que aporte información para la toma de decisiones durante su fase de construcción.

Resultado esperado: aportarle información a los inversionistas de en qué medida estos riesgos podrían afectar la rentabilidad del proyecto.

3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los riesgos ambientales de mayor calificación identificados por EPM en el análisis preliminar de riesgos, para la fase de construcción del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo.
- Identificar opciones de manejo pertinentes para prevenir y controlar dichos riesgos en el proyecto Santo Domingo, con base en experiencias de otros proyectos similares ejecutados por EPM y por otras empresas del sector.
- Determinar los rangos de variación de los costos económicos de las opciones pertinentes identificadas para el manejo de dichos riesgos en el proyecto, con base en la experiencia de otros proyectos hidroeléctricos y en estimaciones y opiniones de expertos.
- Realizar un análisis financiero probabilístico del proyecto utilizando la herramienta @RISK, que facilite la toma de decisiones para el manejo de los riesgos durante la fase de construcción.

4 Marco de referencia conceptual

Para comprender el contexto del problema y la situación en estudio es importante conocer las siguientes terminologías y consideraciones: según la Ley 99 de 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medioambiente y Desarrollo sostenible”, en el artículo 57 se establece lo siguiente:

El estudio de impacto ambiental contendrá información sobre la localización del proyecto y los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos del medio que puedan sufrir deterioro por la respectiva obra o actividad, para cuya ejecución se pide la licencia y la evaluación de los impactos que puedan producirse. Además, incluirá el diseño de los planes de prevención, mitigación, corrección y compensación de impactos y el plan de manejo ambiental de la obra o actividad (Colombia, Congreso de la República, 1993: 1).

Según el Decreto 1753 de 1994, “Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”:

Análisis de riesgo: el estudio o evaluación de las circunstancias, eventualidades o contingencias que en desarrollo de un proyecto, obra o actividad puedan ocasionar peligro de daño a la salud humana, al medio ambiente y a los recursos naturales.

Medidas de prevención: son obras o actividades encaminadas a prevenir, controlar los posibles impactos y efectos negativos que puedan generar un proyecto obra o actividad sobre el entorno humano y natural.

Medidas de mitigación: son obras o actividades dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio ambiente afectado.

Medidas de compensación: son obras o actividades dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones y las localidades por los impactos o efectos negativos que no puedan ser evitados, corregidos o satisfactoriamente mitigados (Colombia, Ministerio del Medioambiente, 1994: 1).

Teniendo en cuenta lo anterior, y según revisiones bibliográficas por parte de investigadores, los riesgos e impactos ambientales (físico, biótico) más comunes ocasionados por la construcción de centrales hidroeléctricas están asociados a los siguientes aspectos (Trussart, Messier, Roquet y Aki, 2002):

- Pérdida de diversidad biológica
- Depósitos de sedimentos
- Afectación en la calidad del agua
- Modificación a los regímenes de flujo
- Barreras para la migración de peces

En un grado mayor a las afectaciones al medio físico biótico se encuentran los impactos ambientales socioeconómicos, que están condicionados en gran parte por las medidas y estrategias de mitigación relacionadas con el proyecto y los beneficios de compensación. La realidad es que el diseño y la implementación de estas medidas pueden determinar si un proyecto hidroeléctrico se convierte en un medio para el desarrollo de una región o, por el contrario, en un instrumento de empobrecimiento y dependencia. En la mayoría de los casos, estos proyectos generan una combinación de ganancias y pérdidas económicas y sociales.

Los impactos socioeconómicos más comunes observados a lo largo de la historia son los siguientes (Trussart *et al.*, 2002):

- Desplazamientos involuntarios
- Riesgos para la salud pública
- Impactos sobre grupos minoritarios
- Desarrollo compartido de beneficios

Asimismo, profesionales de la industria energética se han tomado el trabajo de implementar un gran número de medidas de mitigación ambiental y social en este contexto. Aunque la eficacia de tales medidas es relativamente desconocida, varios autores han llevado a cabo una revisión de las prácticas actuales de mitigación. En la Tabla 1 se pueden observar las medidas más comunes para el manejo de riesgos e impactos en el medio físico biótico y social (Trussart *et al.*, 2002).

Tabla 1. Medidas de manejo para los riesgos e impactos ambientales

Componente	Impacto	Medidas de manejo
Físico biótico	Represamiento embalse	Creación de hábitats para el desove de peces
		La diversificación de los hábitats acuáticos
		Instalación de incubadoras de peces
		Protección de la superficie equivalentes
		Conservación de terrenos colindantes con el embalse con fines ecológicos y prevención de la erosión
		Creación de reservas ecológicas con las medidas de protección rigurosas y eficaces
		Desarrollo o mejora de las zonas de anidación de aves
	Pérdida de la diversidad biológica	Elección de un sitio de depósito que minimiza la pérdida de los ecosistemas
		Tratar de limitar tanto como sea posible el tamaño del embalse
		Hacer inventarios y adquirir un mayor conocimiento de los hábitats de fauna, flora específicos dentro de la zona estudiada
Mantener intacta una parte del ecosistema cercano, que sirva de protección para las especies		

Componente	Impacto	Medidas de manejo
	Depósito de sedimentación	Selección apropiada del sitio
		Protección adecuada de los bancos y de la vegetación natural en la zona de captación
		Extracción de material grueso del lecho del río
		Dragado de depósitos de sedimentos
		Uso de estructuras cerradas para los sedimentos
		Equipos de captura de sedimentos
	Modificaciones a la calidad del agua	Selección del sitio adecuado para el control de la contaminación aguas arriba
		Tomas de muestra de agua
		Reducir el tiempo de residencia del agua en los embalses, especialmente en ambientes tropicales o subtropicales
		Dispositivos de reoxigenación
	Las modificaciones a los regímenes hidrológicos	Gestión de los interesados
		Técnicas de restauración
		Programas de restauración del hábitat de los peces
Protección de los habitantes costeros		
Socio económico	Desplazamientos involuntarios	Evitar o minimizar el desplazamiento involuntario
		Cuando el desplazamiento involuntario no se puede evitar, el reasentamiento debe ser llevado a cabo mediante la aplicación sistemática de las directrices establecidas
		Mejorar las condiciones de vida
		Asignar recursos y beneficios, basándose en las evaluaciones de costos precisos
		Promover la participación del público
		Reconstruir las comunidades.
		Proteger a las poblaciones indígenas
	Impactos sobre los grupos minoritarios vulnerables	Acuerdos sobre los desarrollos propuestos entre las comunidades y los proponentes interesados
		Protección legal para que las comunidades afectadas (derechos)

Fuente: Trussart, Messier, Roquet y Aki, 2002.

La presente investigación se desarrollará en varias etapas, y cada una de ellas se fundamentará en una base teórica, tal como se describe a continuación y se muestra, más adelante, en la Ilustración 10.

Para la etapa de selección de los riesgos ambientales críticos y el diseño y la selección de las medidas pertinentes para controlar cada uno de los riesgos seleccionados, se revisará la teoría de riesgos. Esta teoría ha sido trabajada por varios autores e instituciones, y existen diversas metodologías para su análisis: la que propone el PMI en la *Guía para la dirección de proyectos* (PMBOK), la de Mejía Quijano en su libro *Administración del riesgo*, etc. Sin embargo, para el desarrollo de esta etapa de la investigación se tendrá como base la segunda, ya que se considera más clara y pertinente para el desarrollo de esta primera fase.

Mejía Quijano (2006) propone una metodología para el manejo de riesgos, que la define como sigue:

Conjunto de acciones llevadas a cabo de forma estructurada e integral, que les permitirá a las organizaciones y proyectos evaluar aquellos riesgos que pueden resultar en un obstáculo para el cumplimiento de sus objetivos, con el propósito de comprender de una manera efectiva las medidas necesarias para responder a ellos. La administración de riesgos permite, entonces, tener un control más riguroso sobre los costos de una organización y proyecto minimizando sorpresas por pérdidas operacionales inesperadas, al establecer medidas y estrategias adecuadas que controlen los riesgos que puedan afectar la supervivencia del proyecto (Mejía Quijano, 2006: 41).

En su metodología, la autora propone las siguientes etapas para la administración del riesgo: identificación de riesgos, calificación de riesgos, evaluación de riesgos, diseño de medidas de tratamiento e implementación de medidas de manejo, y monitoreo y evaluación (Mejía Quijano, 2006). Sin embargo, en el presente trabajo se seguirá esta metodología desde la evaluación de riesgos hasta la implementación de las medidas de manejo, ya que la identificación y la calificación de los riesgos del proyecto hacen parte de la información suministrada por EPM.

Para la fase de cuantificación de las medidas para el control de los riesgos se tomará como base la propuesta de Miranda Miranda (2011) en su libro *Gestión de Proyectos*, en cuanto a la evaluación en escenarios con riesgo.

Los flujos de caja que se derivan de la formulación de un proyecto son en la mayoría de casos la resultante del juego e interacción de una serie de variables internas y externas que determinan una conducta previsible, pero, de todos modos, con algún grado de incertidumbre, lo que significa que no existe completa certeza en los resultados esperados.

En efecto, la ausencia de certidumbre tiene dos ámbitos analíticos: el de riesgo y el de la incertidumbre. El primero se define para aquellas circunstancias en que no se conoce el comportamiento exacto de ciertas variables relevantes del proyecto (riesgos ambientales), pero se puede diseñar una función de probabilidades basada en la experiencia y la información disponible y estimar sus correspondientes parámetros. La incertidumbre hace referencia a una situación en la cual no se conoce la función de probabilidad y, desde luego, se ignoran sus características.

El punto de partida de esta forma de abordar el problema es mediante la simulación de escenarios en posiciones o actitudes opuestas o alternas: la optimista, cuando se espera que la mayoría de las fuerzas funcionen a favor del proyecto; y la pesimista, en la cual los pronósticos se dan en los términos más desfavorables del comportamiento de dichas variables. Estas posiciones extremas nos conducen al llamado “estudio de sensibilidad”.

Reiterando, el análisis explícito de las variables relevantes a las cuales podemos distinguir con un comportamiento aleatorio y para las cuales diseñamos una función de probabilidad, que nos informa sobre el tipo de distribución y los parámetros que la definen. Esto se llama “análisis de riesgo” (Miranda Miranda, 2011: 39-40).

Siendo conscientes de la cantidad de riesgos e impactos ambientales que genera un proyecto de este orden, y ante la ausencia de certidumbre en cuanto a sus manifestaciones de tamaño o magnitud, probabilidad, etc., para un posible control y manejo, se pretende diseñar una función de probabilidad de los costos asociados a las medidas pertinentes basada en el estudio de proyectos similares y en información disponible. Esta información será el punto de partida para el análisis de riesgos que se propone con base en @RISK.

@RISK es una herramienta que permite la evaluación financiera de proyectos con análisis de riesgo, y utiliza simulación Montecarlo y Latino Hipercúbico para mostrar posibles escenarios en una hoja de Excel; adicionalmente, muestra qué tan factibles o tan probables son cada uno de los escenarios. Los dos métodos de muestreo mencionados se diferencian básicamente en el número de iteraciones necesarias para reproducir las distribuciones de entrada. El método Montecarlo necesita, en la mayoría de los casos, un gran número de muestras para acercarse a una distribución, fundamentalmente, si la distribución de entrada presenta sesgo y algunos resultados poco probables. El método Latino Hipercúbico hace que las muestras recolectadas se ajusten más directamente con las distribuciones de entrada y, por ende, las distribuciones convergen de una manera más rápida con las estadísticas teóricas de la distribución de entrada. Para el análisis que se propone en el presente estudio se utilizará el método Montecarlo por el sesgo en la muestra de datos y los valores poco probables (Palisade Corporation, 2015).

Con base en este análisis se puede decidir o evaluar qué riesgos tomar y cuáles evitar. Con esta herramienta se pueden contestar preguntas como las siguientes: ¿cuál es la probabilidad de que se materialicen los riesgos críticos del proyecto?, ¿cuántas veces se materializan los riesgos durante la fase construcción?, ¿cuál es la probabilidad de que los costos para el control de riesgos sean inferiores o superiores a X millones?, ¿cuál es la probabilidad de que el valor presente neto (VPN) de cada riesgo sea superior a X millones?, ¿cuál es el riesgo que más VPN aporta al VPN total?, etc. (Gómez Salazar, Mora Cuartas y Uribe Marín, 2015).

Indicadores financieros como el valor presente neto (en adelante VPN), que corresponde a la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos, y la tasa interna de retorno (TIR), que es la tasa de interés que permite obtener un $VPN = 0$, etc., serán algunos de los indicadores financieros que ayudaran a evaluar la incidencia económica de los riesgos en el proyecto, basados en la herramienta @RISK (Miranda Miranda, 2011).

Para el análisis financiero que se propone en este estudio se construirá el flujo de caja de los costos asociados al control riesgos críticos del proyecto Santo Domingo y se analizará cómo puede verse afectado su aspecto económico financiero, con base en la teoría de estudio económico propuesta por Bacca Urbina (2010), que la define de la siguiente manera:

El estudio económico o análisis económico dentro de la metodología de evaluación de proyectos, consiste en expresar en términos monetarios todas las determinaciones hechas en el

estudio técnico. Las decisiones que se hayan tomado en el estudio técnico en términos de cantidad de materia prima necesaria y cantidad de desechos del proceso, cantidad de mano de obra directa e indirecta, cantidad de personal administrativo, número y capacidad de equipo y maquinaria necesarios para el proceso, etc. (Bacca Urbina, 2010: 138).

5 Método de solución

La investigación que se propone en este estudio se considera de enfoque cuantitativo y se justifica según su definición:

La investigación parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014: 4-5).

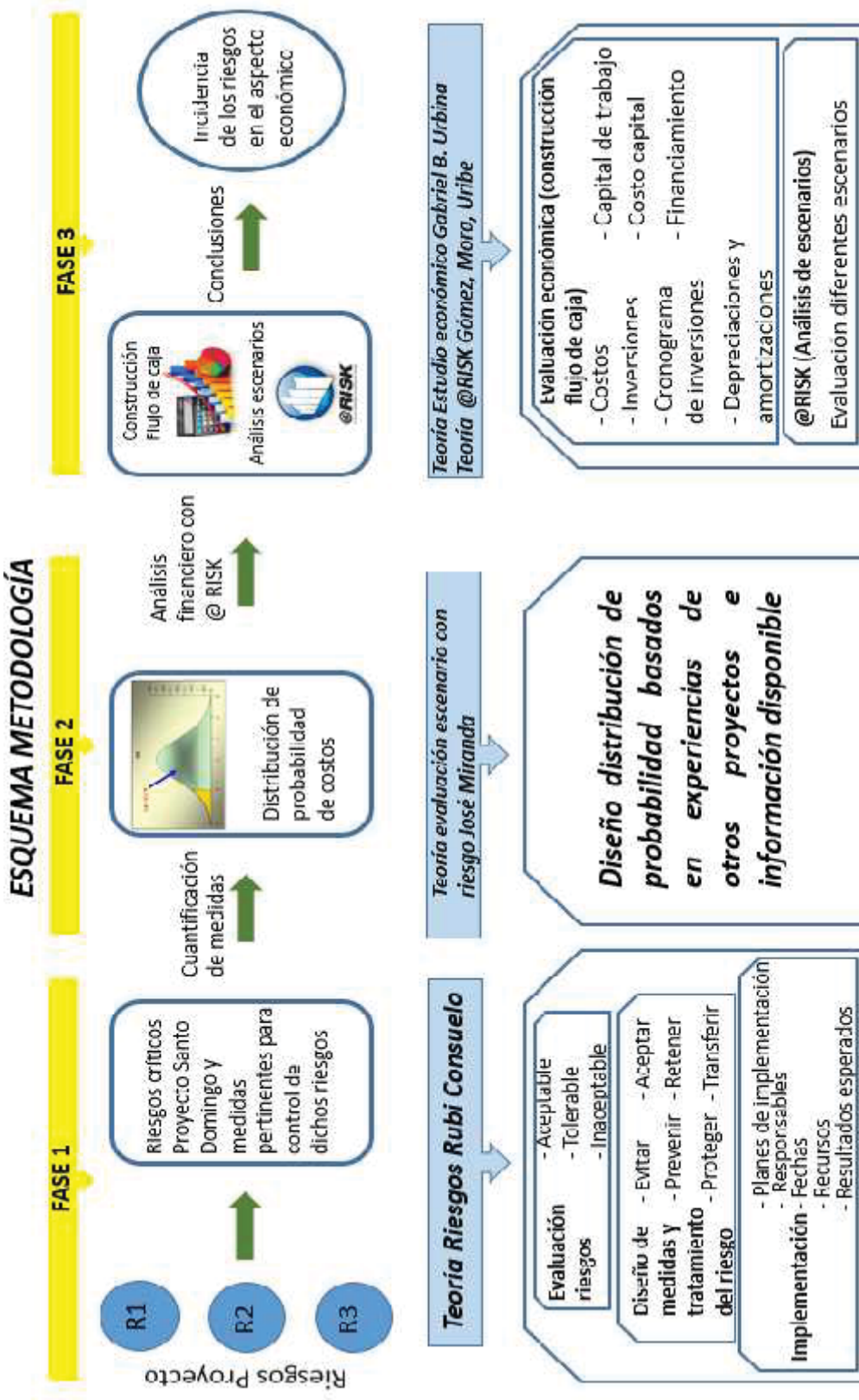
Esta investigación se llevará a cabo de esta manera, partiendo de la idea acerca de la afectación que pueden ocasionar los riesgos ambientales en el proyecto hidroeléctrico Santo Domingo y revisando detalladamente la literatura, lo que permite, en cierta medida, corroborar la hipótesis que se tiene y establecer las variables de trabajo, en este caso, los riesgos críticos que serán el objeto de estudio. Posteriormente, se procede con la medición y al análisis de datos utilizando métodos estadísticos, para, finalmente, concluir. Es importante aclarar que los datos no serán medidos en campo: se recolectarán a partir de entrevistas personales con personal de EPM y de otras empresas del sector; adicionalmente, se revisará documentación histórica.

Por otro lado, se considera de alcance correlacional por las siguientes razones: este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones solo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios correlacionales primero se mide cada una de estas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014: 93).

Lo que pretende esta investigación es analizar la incidencia de estos riesgos ambientales en la rentabilidad del proyecto, es decir, cómo se relacionan y cómo afectan su aspecto económico financiero.

En la Ilustración 10, a continuación, se presenta el esquema de la metodología que se va a seguir para la solución del problema en estudio.

Ilustración 10. Esquema de la metodología del proyecto



Fuente: Elaboración del autor, 2016.

En la Tabla 2 se puede observar el puente que comunicará la teoría y la práctica para la solución del problema.

Tabla 2. Puente entre la teoría y la práctica

Plataforma teórica	Variables	Parámetros	Instrumentos	Recabación de la información y resultados
Teoría de riesgos (Mejía Quijano)	Riesgos ambientales proyecto Santo Domingo	Cantidad de riesgos críticos Medio biótico	Entrevista personal, reunión de expertos (método Delphi) y documentación	Riesgos ambientales más críticos del proyecto Santo Domingo
		Cantidad de riesgos críticos Medio abiótico		
		Cantidad de riesgos críticos Medio social		
Teoría de riesgos (Mejía Quijano)	Medidas de manejo para riesgo ambiental crítico 1, 2 y 3	Cantidad y tipo de medidas para manejo de riesgo 1, 2 y 3	Entrevista personal, reunión de expertos (método Delphi) y documentación	Medidas más efectivas y económicas para manejo de riesgo 1, 2 y 3
	Medidas de manejo para riesgo crítico 4 y 5	Cantidad y tipo de medidas para manejo de riesgo 4 y 5	Entrevista personal, reunión de expertos (método Delphi) y documentación	Medidas más efectivas y económicas para manejo de riesgo 4 y 5
	Cuantificación medidas para manejo de riesgo 1, 2 y 3	Costos de medidas para manejo de riesgo 1, 2 y 3 (\$/medida)	Reunión de expertos (método Delphi), documentación y revisión bibliográfica	Distribución de probabilidad de costos de medidas de manejo para riesgo 1, 2 y 3
Teoría estudio económico (Urbina)	Cuantificación medidas para manejo de riesgo 4 y 5	Costos de medidas para manejo de riesgo 4 y 5 (\$/medida)	Reunión de expertos (método Delphi), documentación y revisión bibliográfica	Distribución de probabilidad de costos de medidas de manejo para riesgo 4 y 5
	Análisis financiero @RISK	Indicadores financieros (VPN, TIR)	Reunión de expertos (método Delphi), documentación y revisión bibliográfica	Incidencia de los riesgos ambientales en el aspecto económico financiero del proyecto

Fuente: elaboración del autor, 2016.

6 Justificación del trabajo en términos de gerencia de proyectos

La teoría de gerenciamiento de proyectos propuesta por el Project Management Institute (PMI), internacionalmente aceptada, especifica las variables que deben ser consideradas en todo proyecto en cada una de las fases de desarrollo: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre.

Estas variables están clasificadas como requisitos que deben ser abordados para el buen gerenciamiento de un proyecto y tienen relación con los siguientes aspectos (PMI, 2013):

- Identificar requisitos.
- Abordar las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados en la planificación y la ejecución del proyecto.
- Establecer, mantener y realizar comunicaciones activas, eficaces y de naturaleza colaborativa entre los interesados.
- Gestionar a los interesados para cumplir los requisitos del proyecto y generar sus entregables.
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto, que incluyen, entre otras, el alcance, la calidad, el cronograma, el presupuesto, los recursos y los riesgos.

Del análisis de las variables anteriores se considera que este trabajo tiene aplicación directa y específica en la maestría de Gerencia de Proyectos, en la medida en que integra todas las variables que, por definición, deben ser incluidas en el gerenciamiento de un proyecto, con un énfasis muy especial en las que puedan resultar factores restrictivos para su desarrollo o determinantes del éxito o fracaso. La realidad del mundo actual y las experiencias documentadas a nivel nacional e internacional dan cuenta de que no es posible asegurar el éxito en el gerenciamiento de un proyecto sin considerar aspectos tan sensibles como los riesgos asociados a la componente ambiental que, por definición legal, en Colombia, debe incorporar los aspectos sociales.

Estos riesgos no considerados en el gerenciamiento del proyecto tienen una incidencia directa en los cronogramas, los costos y la viabilidad misma del proyecto, como ya se ha documentado en la revisión bibliográfica.

En la actualidad se considera que ningún proyecto es viable en un medio ambientalmente inviable. Esta realidad ha inducido el fortalecimiento de las teorías de responsabilidad social empresarial y la implementación de prácticas ambientalmente responsables desde las fases tempranas de los proyectos, y a la inclusión de protocolos de sostenibilidad que se convierten en las salvaguardas para socios, inversionistas o entidades financieras. El gerenciamiento de un proyecto debe trascender el enfoque clásico limitado a lo técnico y económico.

7 Identificación de riesgos críticos del proyecto

Cabe aclarar que el análisis de riesgos que se pretende realizar en esta investigación está enfocado en la fase de construcción del proyecto, la cual, estiman algunos expertos, dure aproximadamente cuatro años.

Como se mencionó en el Marco conceptual, Mejía Quijano (2006) propone una metodología para la administración del riesgo. La identificación, la calificación, la evaluación, el diseño de medidas de tratamiento, la implementación de medidas y el monitoreo y evaluación son las etapas para la evaluación de los riesgos de cualquier proyecto. La identificación y la calificación de los riesgos del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo hacen parte del trabajo de EPM y son el insumo para el análisis que se propone en el presente trabajo.

En la Tabla 3 se resumen algunos de los aspectos más relevantes del análisis de riesgos del proyecto para la fase de construcción. Se describen la fase 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 (evaluada cualitativamente), la magnitud de la consecuencia y, finalmente, el nivel del riesgo que representa su indicador de criticidad (v. el Anexo 1).

Tabla 3. Análisis de riesgos del proyecto Santo Domingo

	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Objeto de impacto relevante	Costos	Tiempo	Personas	Reputación	Ambiente	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de riesgo
R1	Construcción	Dificultad en la toma de decisiones y en la gestión del desarrollo del proyecto	Organizacional	Tiempo	1	1				Alta	Máxima	Extremo
R2	Construcción	Deterioro del relacionamiento con las comunidades (horizonte de 4 años)	Socioambiental	Reputación	1	1		1		Alta	Máxima	Extremo
R3	Construcción	Actos contra empleados claves propios o de contratistas por grupos al margen de la ley (horizonte de 4 años)	Socioambiental, político	Reputación	1	1	1	1		Media	Máxima	Extremo
R4	Construcción	Inadecuado proceso de gestión del cambio o dificultad para la adaptación al cambio (EPC, proyectos pequeños)	Organizacional	Tiempo	1	1				Alta	Mayor	Extremo
R5	Construcción	Proyectos o actividades que compiten con el proyecto (funcionarios EPM,	Organizacional	Tiempo	1	1				Alta	Mayor	Extremo

	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Objeto de impacto relevante	Costos	Tiempo	Personas	Reputación	Ambiente	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de riesgo
R6	Construcción	recurso Manifestaciones en contra del proyecto por conflicto social. (horizonte de 4 años)	Socioambiental	Reputación	1	1		1		Alta	Mayor	Extremo
R7	Construcción	Demoras en la entrega de los diseños (ej.: diseños relacionados con la ruta crítica)	Técnico	Tiempo	1	1				Alta	Mayor	Extremo
R8	Construcción	Daños a terceros por vehículos de transporte de maquinaria, equipos, módulos de construcción	Técnico	Reputación	1	1		1		Alta	Mayor	Extremo
R9	Construcción	Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundación, deslizamientos, asentamientos	Ambiental	Tiempo	1	1				Alta	Mayor	Extremo
R10	Construcción	Dificultad en la negociación de los títulos mineros	Ambiental	Tiempo	1	1				Alta	Mayor	Extremo
R11	Construcción/ operación	Decisiones del Gobierno o del ente regulador que afecten la infraestructura del mercado y, por ende, la demanda	Político	Costo/Recurso financiero	1	1				Media	Mayor	Alto
R12	Planeación/ operación	Volatilidad desfavorable de los precios de la energía respecto al escenario base (precios de proyección: feb 2015)	Económico ambiental	Costo/Recurso financiero	1					Media	Mayor	Alto
R13	Construcción	Volatilidad de variables macroeconómicas o de precios de insumos (ej.: variación en inflación, tasa de cambio, tasas de interés mayores a los niveles presupuestados)	Económico	Costo/Recurso financiero	1	1				Muy alta	Moderada	Alto
R14	Construcción	Quiebra o insolvencia del contratista (EPC)	Técnico	Tiempo	1	1				Muy baja	Máxima	Alto
R15	Construcción/ operación	Cancelación/vencimiento/pérdida de permisos y/o aprobaciones (ej.: revocatoria de licencia ambiental)	Ambiental	Tiempo	1	1				Muy baja	Máxima	Alto
R16	Construcción/ operación	Afectación negativa a los recursos naturales (flora, fauna, aguas) como consecuencia de la ejecución del proyecto	Ambiental	Reputación	1	1		1		Baja	Mayor	Alto
R17	Construcción	Proveedor envía	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Mayor	Alto

	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Objeto de impacto relevante	Costos	Tiempo	Personas	Reputación	Ambiente	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de riesgo
		equipos que no cumplen con las especificaciones técnicas										
R18	Construcción	Pérdida/daño de equipos críticos o módulos de construcción operación por accidente durante el transporte	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Mayor	Alto
R19	Construcción	Falla en la aceptación de equipos (protocolos de aceptación).	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Mayor	Alto
R20	Construcción	Instalaciones/equipo mecánico o eléctrico claves averiados por sabotaje/terrorismo/ acto incendiario/ vandalismo. (horizonte de 4 años)	Sociopolítico	Tiempo	1	1				Alta	Moderada	Alto
R21	Construcción	Invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto, presión migratoria	Socioambiental	Reputación	1	1	1			Alta	Moderada	Alto
R22	Construcción	Accidente o daño por congestión en el sitio de la obra/falta de espacio requerido	Técnico	Tiempo	1	1				Alta	Moderada	Alto
R23	Construcción/ operación	Sobre expectativas de las comunidades	Socioambiental	Reputación	1		1			Alta	Moderada	Alto
R24	Construcción	Dificultades por interdependencia con otras obras o contratistas del proyecto	Técnico	Tiempo	1	1				Media	Moderada	Tolerable
R25	Construcción	Demora en el envío de equipos de construcción u operación (ej.: huelgas de transportadores, orden público, bloqueos)	Sociopolítico	Tiempo	1	1				Media	Moderada	Tolerable
R26	Construcción	Falla/demora en el montaje de equipos	Técnico	Tiempo	1	1				Media	Moderada	Tolerable
R27	Construcción	Afectación a la comunidad por daños a los servicios por actividades de la construcción (daños al proyecto y/o responsabilidad civil por afectación a terceros)	Socioambiental	Reputación	1		1			Media	Moderada	Tolerable
R28	Construcción	Lesiones a terceros dentro y/o fuera del sitio de la construcción	Técnico	Personas		1	1			Media	Moderada	Tolerable
R29	Planeación/ operación	Costo de operar y mantener mayores a	Organizacional	Costo/Recurso financiero	1					Media	Moderada	Tolerable

	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Objeto de impacto relevante	Costos	Tiempo	Personas	Reputación	Ambiente	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de riesgo
		los proyectados										
R30	Planeación	Sobrecosto	Organizacional	Costo/Recurso financiero	1	1				Media	Moderada	Tolerable
R31	Planeación	Cambios desfavorables en las condiciones de la financiación de EPM que impacten negativamente la viabilidad del proyecto	Organizacional	Costo/Recurso financiero	1					Media	Moderada	Tolerable
R32	Planeación/operación	Pérdida de estabilidad jurídica	Político	Costo/Recurso financiero	1					Media	Moderada	Tolerable
R33	Construcción/operación	Intervención política desfavorable	Político	Reputación	1	1	1			Baja	Moderada	Tolerable
R34	Construcción	Errores de diseño	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Moderada	Tolerable
R35	Construcción	Colapso estructural por problemas durante la construcción	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Moderada	Tolerable
R36	Planeación	Menor generación a la proyectada	Ambiental/Técnico	Costo/Recurso financiero	1					Baja	Moderada	Tolerable
R37	Construcción	Fallas de comunicación y coordinación entre el equipo del proyecto con consultores y/o proveedores	Organizacional	Tiempo	1	1				Alta	Menor	Tolerable
R38	Construcción	Dificultades por factores climáticos, tormentas eléctricas y calor, entre otros	Ambiental	Tiempo	1	1				Alta	Menor	Tolerable
R39	Construcción	Desestabilización de la economía de la región	Económico	Reputación	1	1	1			Alta	Menor	Tolerable
R40	Construcción	Problemas de interventoría (delegación responsabilidad contratante)	Organizacional	Tiempo	1	1				Media	Menor	Tolerable
R41	Construcción	Cambios en el personal clave del proyecto (ej.: traslados internos)	Organizacional	Tiempo	1	1				Media	Menor	Tolerable
R42	Construcción	Corrupción de funcionarios externos o autoridades	Político	Tiempo	1	1				Media	Menor	Tolerable
R43	Construcción	Términos de referencia mal definidos/ambiguos	Organizacional	Tiempo	1	1				Baja	Menor	Aceptable
R44	Construcción	Hurto o piratería terrestre de equipos críticos/componentes de construcción / operación durante el transporte	Social	Tiempo	1	1				Baja	Menor	Aceptable
R45	Construcción	Fallas en procedimientos de operación durante la puesta en servicio	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Menor	Aceptable
R46	Construcción	Errores en la transferencia de conocimientos de	Técnico	Tiempo	1	1				Baja	Menor	Aceptable

	Fase	Escenario de riesgo	Tipo	Objeto de impacto relevante	Costos	Tiempo	Personas	Reputación	Ambiente	Probabilidad	Consecuencia	Nivel de riesgo
		tecnología (capacitación de personal y/o documentación)										
R47	Construcción	Cambios de normas, regulaciones, licencias, estándares, desfavorables para proyecto	Político	Tiempo	1	1				Muy baja	Mínima	Aceptable

Fuente: elaboración del autor, 2016.

Con base en la tabla anterior se construyó la matriz de riesgos, que se agruparon según su probabilidad y nivel de consecuencias. Los criterios de valoración de consecuencias y de probabilidad se explican en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 4. Criterios de valoración de las consecuencias

Valor	Clasificación	Costo/Recurso Financiero	Tiempo	Personas	Imagen/Reputación	Ambiente
16	Máxima	Variación en el costo o recurso financiero mayor a USD 13.2	Variación en el tiempo mayor a 4.8 meses	Muerte o invalidez total de una (1) persona Secuestro de una (1) persona Incapacidad permanente parcial en más del 20 % de los trabajadores Incapacidad temporal en más del 60 % de los trabajadores	Se afecta la reputación: algunos de los valores corporativos son afectados en forma negativa El evento genera pérdida de confianza (credibilidad) en los compromisos de EPM por parte de alguno de los grupos de interés La confianza se recupera con acciones de intervención de naturaleza reparadora en un período superior a 12 años	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
8	Mayor	Variación en el costo o recurso financiero entre USD 6.6 y 13.2	Variación en el tiempo entre 2.4 y 4.8 meses	Incapacidad permanente parcial para el 10 al 20 % de los trabajadores Incapacidad temporal para el 40 al 60 % de los trabajadores	Se afecta la reputación: algunos de los valores corporativos son afectados en forma negativa El evento genera pérdida de confianza (credibilidad) en los compromisos de EPM por parte de alguno de los grupos de interés La confianza se recupera con acciones de intervención reparadoras en un período superior a 4 años y menor o igual a 12 años	Afectación entre 7 y 10 años Máximas consecuencias entre 1 y 12 meses Alteración del factor ambiental entre el 60 y el 80 % Impacto ambiental comprende una porción o la totalidad de un departamento, región o país Los impactos son irreversibles, por medios naturales
4	Moderada	Variación en el costo o recurso entre USD 3.3 y 6.6	Variación en el tiempo entre 1.2 y 2.4 meses	Incapacidad permanente parcial en menos del 10 % de los trabajadores Incapacidad temporal para el 20 al 40 % de los trabajadores	La afectación de la imagen (percepción negativa respecto a la promesa de valor o compromisos) es moderada Además de generar desconfianza en la prestación los servicios, compromisos y relacionamiento con los grupos de interés, se comienza a	Afectación entre 4 y 6 años Máximas consecuencias entre 13 y 18 meses Alteración del factor ambiental entre el 40 y el 60 %.

Valor	Clasificación	Costo/Recurso Financiero	Tiempo	Personas	Imagen/Reputación	Ambiente
					<p>cuestionar la credibilidad en EPM</p> <p>Inicia un proceso de desconfianza entre la Gente EPM</p> <p>La pérdida de confianza conlleva a la difusión masiva y al seguimiento por parte de los líderes de opinión</p> <p>La confianza se recupera en un período entre 2 y 4 años con acciones de intervención reparadoras</p> <p>La pérdida de confianza conlleva a la difusión masiva y al seguimiento por parte de los líderes de opinión.</p>	<p>Impacto ambiental en la totalidad de un municipio</p> <p>Los impactos son reversibles, las alteraciones pueden ser asimiladas por el entorno</p>
2	Menor	Variación en el costo o recurso financiero entre USD 1.65 y 3.3	Variación en el tiempo entre 0.6 y 1.2 meses	Incapacidad temporal para menos del 20 % de los trabajadores	<p>La afectación de la imagen es menor</p> <p>Comienza un proceso de desconfianza en los productos y servicios, compromisos y relacionamiento por parte de los grupos de interés</p> <p>Comienza un proceso de generación de opiniones que pueden llegar a medios masivos de comunicación</p> <p>La confianza se recupera en un período entre 1 y 2 años, con acciones de intervención reparadoras</p>	<p>Afectación entre 1 y 3 años</p> <p>Máximas consecuencias entre 19 y 24 meses</p> <p>Alteración del factor ambiental entre el 21 y el 40 %</p> <p>Impacto ambiental trasciende los límites de la organización</p> <p>Impacto ambiental es mitigable</p>
1	Mínima	Variación en el costo o recurso financiero menor a USD 1.65	Variación en el tiempo menor a 0.6 meses	Lesiones sin incapacidad	<p>La afectación de la imagen es insignificante</p> <p>La confianza por parte del grupo de interés se recupera en forma inmediata o en un período menor a 1 año, con acciones de intervención reparadoras</p>	<p>Afectación inferior a 1 año</p> <p>Máximas consecuencias después de 24 meses</p> <p>Alteración del factor ambiental menor o igual al 20 %</p> <p>Impacto ambiental confinado en las instalaciones de la organización</p> <p>Impacto ambiental recuperable, puede ser eliminado completamente</p>

Fuente: EPM, 2015.

Tabla 5. Criterios de valoración de las probabilidades

Valor	Clasificación	Descripción	Probabilidad de ocurrencia en el período del proyecto [%]
5	Muy alta	Muy alta probabilidad de ocurrencia Es probable que ocurra muchas veces	Mayor del 85
4	Alta	Alta probabilidad de ocurrencia Es probable que ocurra varias veces	60.1-85
3	Media	Mediana probabilidad de ocurrencia Es probable que ocurra algunas veces	25.1-60
2	Baja	Baja probabilidad de ocurrencia	5.1-25

		Es poco probable que ocurra, pero es posible	
1	Muy baja	Es casi imposible que ocurra	Menor o igual al 5
		Puede ocurrir en circunstancias excepcionales	

Fuente: EPM, 2015.

De esta manera se genera la matriz de riesgos del proyecto, presentada en la Tabla 6. Cada nivel de riesgo presentado requiere un seguimiento y una atención diferentes, así como la implementación de medidas que permitan ya sea reducir, mitigar, transferir o eliminar por completo dicho riesgo. Más adelante se describirá cada uno de los niveles de riesgos.

Tabla 6. Matriz de riesgos del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo

Probabilidad		Consecuencia				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
		1	2	4	8	16
Muy alta	5			R13		
Alta	4		R37, R38, R39	R20, R21, R22, R23	R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10	R1, R2
Media	3		R40, R41, R42	R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32	R11, R12	R3
Baja	2		R43, R44, R45, R46	R33, R34, R35, R36	R16, R17, R18, R19	
Muy baja	1	R47				R14, R15

Fuente: EPM, 2015.

7.1 Niveles de riesgo

Extremo (color rojo)

Se consideran riesgos de máxima prioridad que requieren de acciones inmediatas y de seguimiento continuo. Deben ponerse en conocimiento de la gerencia general de EPM (como dueña del proyecto), ya que, por lo general, los controles y medidas de tratamiento que estos requieren implican inversiones económicas considerables que pueden afectar su aspecto financiero y su rentabilidad. Un claro ejemplo de esto es el proyecto Porce IV, que se volvió inviable social y financieramente, obligando a suspender su ejecución

temporalmente. Es recomendable evaluar la posibilidad de transferir el riesgo a aseguradores o a terceros vía contratos cuando sea posible y realizar el análisis financiero del proyecto, incluyendo los diferentes tipos de medidas por implementar, mediante el cálculo de indicadores financieros como el VPN, el TIR, etc., pues de la variación de costos de cada una de las medidas dependerá directamente la rentabilidad del proyecto (EPM, 2015).

Alto (color naranja)

Se consideran riesgos de alta prioridad que requieren, igualmente, de acciones a corto plazo. El seguimiento debe ser periódico convenido (mínimo tres veces en el año). Deben ponerse en conocimiento de la vicepresidencia de EPM, ya que, por lo general, los controles y medidas de tratamiento que estos requieren implican inversiones económicas considerables que pueden afectar su aspecto financiero y su rentabilidad. Se recomienda transferir el riesgo a aseguradores o a terceros vía contratos, así como estudiar la posibilidad de retención parcial de riesgos (EPM, 2015).

Tolerable (color amarillo)

Se consideran riesgos de prioridad moderada que requieren de acciones a mediano plazo. Están a cargo de las direcciones y las gerencias de EPM. El seguimiento debe ser periódico convenido (mínimo dos veces al año). Se recomienda la posibilidad de retener el riesgo, parcial o totalmente (EPM, 2015).

7.2 Riesgos ambientales críticos

Para el análisis que se pretende realizar en el presente estudio, solo se tendrán en cuenta los riesgos que afectan directamente el área ambiental y los que presentan niveles extremos y altos de riesgo. En la Tabla 7 se resumen los riesgos ambientales que serán objeto de esta investigación. Los demás riesgos con calificación crítica no se incluyeron dentro del análisis, ya que dependen directamente de variables no controlables o, simplemente, dependen directamente de decisiones organizacionales o situaciones políticas.

Tabla 7. Riesgos críticos objeto del presente estudio

	Escenario de riesgo	Tipo	Nivel de riesgo
R2	Deterioro del relacionamiento con las comunidades (horizonte de 4 años)	Socioambiental	Extremo
R6	Manifestaciones en contra del proyecto por conflicto social (horizonte de 4 años)	Socioambiental	Extremo
R9	Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundación, deslizamientos, asentamientos	Ambiental	Extremo
R16	Afectación negativa a los recursos naturales (flora, fauna, aguas) como consecuencia de la	Ambiental	Alto

	ejecución del proyecto		
R21	Invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto	Socioambiental	Alto
R23	Sobrexpectativas de las comunidades	Socioambiental	Alto

Fuente: EPM, 2015.

7.3 Causas y efectos de los riesgos ambientales seleccionados

Todas las causas y efectos concretos que generan las situaciones de riesgo planteadas a continuación serán ese primer insumo que permitirá analizar a profundidad las medidas pertinentes para atacar cada uno de los riesgos. De esta manera se velará por el desarrollo normal del proyecto y por la maximización de su rentabilidad. A continuación se presentan las principales causas y los efectos más probables de cada uno de los riesgos seleccionados.

R2. Deterioro del relacionamiento con la comunidades

Causas

- Formación o aparición de una ONG en contra del proyecto.
- Formación de grupos al margen de la ley que quieran sabotear la construcción del proyecto.
- Falta o ausencia de relacionamiento por parte de EPM con las comunidades que habitan en la zona de influencia del proyecto.
- Sobrexpectativas de las comunidades con respecto al proyecto.

Efectos

- Dificultad para el desarrollo del proyecto.
- Retrasos en la ejecución del proyecto que pongan en riesgo la demanda futura de energía de las comunidades beneficiadas.
- Sobrecostos y, por ende, reducción en la rentabilidad del proyecto.

R6. Manifestación en contra del proyecto por conflicto social

Causas

- Presencia de ONG antirrepresa que actúan en la zona de influencia directa del proyecto.
- Formación de grupos al margen de la ley que quieran sabotear la construcción del proyecto.

Efectos

- Dificultad en el desarrollo del proyecto.
- Retrasos en la construcción del proyecto.
- Sobrecostos y por ende reducción en la rentabilidad del proyecto.

R9. Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundaciones, deslizamientos y asentamientos

Causas

- Condiciones hidroclimatológicas que provocan diferentes eventos como crecientes en el río Santo Domingo.

Efectos

- Pérdida de vidas de los trabajadores del proyecto.
- Destrucción o pérdida de infraestructura ya construida.
- Retrasos en la construcción del proyecto.
- Sobrecostos y, por ende, reducción en la rentabilidad de proyecto.

R16. Afectación negativa a los recursos naturales (flora, fauna, aguas) como consecuencia de la ejecución del proyecto

Causas

- Causa normal asociada a la construcción del proyecto; sin embargo, los efectos o consecuencias podrán variar según el grado de afectación a los recursos naturales.

Efectos

- Retraso en la construcción del proyecto.
- Sobrecostos y, por ende, reducción en la rentabilidad de proyecto.

R21. Invasión de predios que afecten el desarrollo del proyecto

Causas

- Corresponde a una dinámica social de invasores o forasteros que buscan aprovechar situaciones particulares para beneficio propio.

Efectos

- Retraso en la construcción del proyecto.
- Sobrecostos y, por ende, reducción en la rentabilidad de proyecto.

R23. Sobrexpectativas de las comunidades

Causas

- Mala información en cuanto a las fechas de inicio de las obras y la magnitud del proyecto.

Efectos

- Dificultad en el desarrollo del proyecto.
- Retrasos en la construcción del proyecto.
- Sobrecostos y, por ende, reducción en la rentabilidad del proyecto.

8 Identificación de medidas para prevenir y controlar dichos riesgos

Teniendo en cuenta el análisis del capítulo anterior, se procedió a diseñar y plantear esas medidas de manejo pertinentes para controlar dichos riesgos seleccionados en conformidad con las causas que los generan. Para el desarrollo de este capítulo se tomó como referencia las experiencias de otros proyectos de generación de energía de diferentes órdenes de magnitud, se estudiaron los diferentes planes de manejo ambiental (en adelante PMA) y se revisaron las opiniones de expertos de diferentes empresas del sector eléctrico, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Proyectos hidroeléctricos y referencias

Proyecto	Tipo	MW generados	Ubicación	Estado del proyecto
San Miguel	GCH	42	San Luis	Operación
San Matías	PCH	21	Cocorná	Operación
El Molino	PCH	21	Cocorná	Operación
San Bartolomé	GCH	20	Oiba (departamento de Santander)	Operación
Cañafisto	GCH	936	La Pintada	Suspendido
Santo Domingo	GCH	56	Cocorná	Planeación
Porce IV	GCH	405	Amalfi y Anorí	Suspendido
El Buey	GCH	186	Abejorral	Operación

Fuente: elaboración del autor, 2016.

Dentro de todos los riesgos ambientales críticos por analizar, el 2, el 6 y el 23 corresponden a los relacionados con las comunidades afectadas por el proyecto, más específicamente en el aspecto social; adicionalmente, presentan características similares en cuanto a su manifestación. Por este motivo se agruparán para el análisis, dado que cada plan de manejo implementado en cada uno de los proyectos relacionados con este aspecto contribuye a su control.

El riesgo 9, asociado a daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundaciones, deslizamientos y asentamientos, hace parte de un agrupamiento de varios riesgos que presentan condiciones similares (relacionadas con el clima), dentro de los cuales únicamente es posible tener control de algunos (asentamientos, inundaciones, etc). En esta oportunidad se tomará como uno solo, y en el capítulo de Cuantificación se trabajará con un promedio aproximado de los costos asociados al control de cada uno.

A continuación se describen algunos programas de manejo adoptados en diferentes proyectos, que presentan los mismos riesgos objeto de este estudio; se mencionan, además, algunos de los objetivos de cada plan identificado. Con respecto al proyecto Santo Domingo, se describirán algunas medidas del plan preliminar de manejo ambiental que, según los expertos, son las adecuadas para controlar los riesgos más críticos.

8.1 Proyecto Santo Domingo

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Programa de información y participación comunitaria (medida de prevención y mitigación) (HVM, 2014)

Se pretende establecer un sistema de comunicación claro y oportuno entre el dueño del proyecto, las comunidades directamente afectadas, las ONG y las administraciones municipales, que posibilite la articulación del proyecto y la región y que reduzca el surgimiento de conflictos que entorpezcan el desarrollo del proyecto. De esta manera se facilita su ejecución, se aterrizan las expectativas que se puedan generar en las comunidades y se garantiza la apropiación y continuidad del PMA.

- Infundir tanto los criterios de gestión ambiental y social como las medidas propuestas para el manejo de impactos derivados del proyecto, además de informar sobre las políticas de empleo que se aplicarán, todo en conformidad con las disposiciones legales vigentes y la política ambiental.
- Brindar elementos conceptuales y jurídicos a las comunidades interesadas en conocer o profundizar acerca de los mecanismos de control social a la ejecución de proyectos.
- 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.
- Definir soluciones conjuntas validadas por cada una de las partes involucradas frente a los proyectos del PMA.

Programa de educación y capacitación (medida de prevención y mitigación) (HVM, 2014)

Pretende motivar y ejecutar procesos de sensibilización, formación y capacitación a las personas directamente afectadas, con el fin de que se establezcan relaciones cordiales conscientes y prácticas.

- Promover una cultura de respeto al entorno, el manejo y el uso de los recursos naturales, así como incorporar recursos pedagógicos que favorezcan el conocimiento y la valoración del medioambiente, estableciendo compromisos con las comunidades basados en la reflexión y tratamiento de la problemática ambiental.
- Desarrollar procesos educativos formales y no formales en temas de uso, manejo, conservación sostenible, relaciones alternativas y sustentables con el entorno físico biótico (suelo, agua, aire, flora, fauna) dirigidos a los actores sociales del área de influencia del proyecto.

Programa de adecuación y promoción de áreas turísticas (medida de prevención y mitigación) (HVM, 2014)

- Promover y diversificar la actividad ecoturística en conjunto con las autoridades regionales, municipales y los actores sociales con incidencia en el área del proyecto, en pro del desarrollo de la región y del uso adecuado de los recursos naturales.

- Contribuir con la formación ecológica de los habitantes y visitantes de las áreas de recreación existentes y potenciar la utilización de otras.
- Brindar a la comunidad de las áreas aledañas al proyecto mayores oportunidades para la recreación y disfrute de los escenarios de atractivo natural.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo a la presión migratoria (medida de prevención y mitigación) (HVM, 2014)

- Definir las acciones para manejar el impacto causado sobre la demanda de bienes y servicios públicos y sociales por la presión migratoria en los municipios de San Francisco y Cocorná debida a las expectativas de empleo y de oferta de bienes y servicios.
- Fortalecer institucionalmente los municipios y sus sectores económicos para prevenir la llegada masiva de población foránea, dar respuesta a la mayor demanda de bienes y servicios públicos y sociales y evitar procesos inflacionarios y especulativos, incluida la propiedad inmobiliaria.
- Fortalecer la capacidad de la organización y liderazgo comunitario para afrontar procesos de cambio y elevar su nivel de participación y de gestión para que coadyuve a minimizar tensiones con población foránea.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa de rescate y ahuyentamiento de fauna (medida de prevención) (HVM, 2014)

Se pretende prevenir la afectación sobre la fauna vertebrada terrestre establecida en la zona de influencia del proyecto como consecuencia de la ejecución de las diferentes actividades.

- Estudiar, evaluar y determinar las áreas donde serán reubicadas las especies amenazadas según los requerimientos ecológicos.
- Establecer medidas de prevención para evitar la pérdida de individuos por atropellamiento en la zona de influencia.

Programa de compensación por pérdida de biodiversidad (medida de prevención) (HVM, 2014)

Se pretende compensar en la zona de influencia del proyecto todas las coberturas que se remueven debido a su construcción.

Programa de manejo de aprovechamiento forestal (medida de prevención y mitigación) (HVM, 2014)

Se pretende evitar afectaciones innecesarias a la vegetación ubicada en el área de las obras, optimizando al máximo su aprovechamiento.

- Disponer el material vegetal removido en un sitio adecuado, de manera que los drenajes y los sitios de acceso no se vean afectados.
- Implementar medidas que eviten que se generen gases de efecto invernadero por la inundación de la vegetación.

R 9. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de aguas subterráneas (medida de mitigación y control) (HVM, 2014)

- Definir acciones de manejo ambiental que permitan el manejo de aguas subterráneas durante o después de la construcción del túnel de conducción.

Programa de control del caudal de garantía ambiental y descargas de fondo (medida de mitigación y control) (HVM, 2014)

- Garantizar en todo momento el tránsito del caudal ecológico calculado en el tramo comprendido entre el sitio de captación y el sitio de descarga, con miras a reducir los impactos que se generan sobre los peces y los recursos hidrobiológicos.

Manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables (medida de prevención y control) (HVM, 2014)

- 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 o medio de susceptibilidad a procesos de remoción.
- 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.
- 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.

8.2 Proyecto San Miguel

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal (medida de mitigación y compensación) (HVM, SAG, 2009)

- Favorecer la rehabilitación de los ecosistemas afectados por las actividades del proyecto.
- Compensar las afectaciones por remoción de la cobertura vegetal en áreas dedicadas a la conservación en las que se tenga control de actividades que afectan el recurso bosque. Esta medida contribuye al control de zonas inestables y evita la formación de procesos erosivos.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa rescate flora (medida de prevención y mitigación) (HVM, SAG, 2009)

- Rescatar la flora que pueda tener afectación por la ejecución del proyecto.

Programa de aprovechamiento forestal (medida preventiva) (HVM, SAG, 2009)

- Minimizar la remoción de vegetación a partir de medias que incluyan la planificación detallada del proceso de aprovechamiento.

Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal (medida de mitigación y compensación) (HMV, SAG, 2009)

- Favorecer la rehabilitación de los ecosistemas afectados por las actividades del proyecto.
- Compensar las afectaciones por la remoción de la cobertura vegetal en áreas dedicadas a la conservación en las que se tenga control de actividades que afectan la silvicultura.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de reubicación de vivienda (medida de mitigación y compensación) (HMV, SAG, 2009)

- Reubicar anticipadamente la vivienda dentro de un proceso de información y de negociación, claro y transparente, entre los dueños del proyecto y los afectados, ya que es necesario suplir los aspectos físico, económico y social, y así mitigar las expectativas y preocupaciones generadas por el futuro desplazamiento.
- Definir con el propietario el lugar de reubicación de la vivienda y sus características específicas. Además, escoger la forma de negociación que él crea sea la más conveniente (reubicación o negociación directa).
- Apoyo dentro del proceso de reubicación y análisis poblacional de las instituciones, para prevenir la invasión de predios por parte de población que quiera sacar provecho de las reubicaciones y los beneficios otorgados por la empresa dueña del proyecto.

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de información y participación comunitaria (medida de prevención, mitigación, corrección y compensación) (HMV, SAG, 2009)

- Implementar una estrategia metodológica para la gestión de la comunicación ambiental en la interacción empresa-grupos de interés, en función de la viabilidad y sostenibilidad de los planes manejo a lo largo de todas las etapas del proyecto, en el marco del desarrollo humano sostenible y la responsabilidad social empresarial.
- Informar a todos los grupos implicados o afectados por la construcción del proyecto acerca de las operaciones y actividades que se realizarán, con el fin unificar la información de una manera clara.
- Divulgar los criterios de gestión ambiental y las medidas propuestas para el manejo de impactos derivados de la construcción y operación de la central hidroeléctrica, así como informar sobre las políticas de empleo que se aplicarán, en conformidad con la política ambiental y las disposiciones legales vigentes.

Programa de memoria y patrimonio cultural (medida de prevención y compensación) (HNV, SAG, 2009)

- Formular y aplicar una serie de programaciones alrededor de la recuperación de la memoria y el patrimonio cultural local, a partir de la implementación de una completa estructura metodológica que genere procesos sociales que dinamicen la situación actual, enfocadas al proceso de retorno o repoblamiento de las veredas del área de influencia del proyecto, y que contribuyan al fortalecimiento de las identidades, a la construcción o reconstrucción del aspecto social, a la formación de una “ciudadanía” y de sentido de pertenencia, con las prácticas y la cultura propias y con el máximo respeto y admiración por las culturas campesinas, a la condición de retornados, como medida para contrarrestar los efectos que culturas o costumbres extrañas puedan ocasionar sobre los referentes y las costumbres locales.

Educación comunitaria (medida de prevención, control y compensación) (HNV, SAG, 2009)

- Incrementar los niveles de educación en las comunidades ubicadas en la zona de influencia del proyecto, a través de un plan de capacitaciones y charlas que motiven la participación de los grupos afectados por medio de mecanismos tales como mesas ambientales, veedurías, etc., que velen por el desarrollo de la región y por la coordinación de todos los grupos de interés (empresa dueña del proyecto, autoridades, comunidad, grupos ambientales, etc.)
- Inculcar una cultura de solidaridad, iniciativa, democracia y tolerancia en la comunidad, que incite al desarrollo de la región.

Programa de apoyo al repoblamiento de las veredas del área de influencia con la formulación de proyectos productivos (medida de Compensación) (HNV, SAG, 2009)

- Mejorar la calidad de vida de las familias campesinas de las veredas del área de influencia del proyecto que se encuentran en proceso de repoblamiento, a través de la formulación y el montaje de proyectos productivos que las administraciones municipales hayan priorizado para dichas comunidades.
- Fortalecer las organizaciones comunitarias entre los habitantes de las veredas del área de influencia directa.
- Establecer una comunicación de doble vía entre la población del área de influencia directa, la empresa, las administraciones locales y la autoridad ambiental de la jurisdicción.
- Promover la siembra de productos que se le puedan comercializar a un aliado comercial estratégico, con el fin de lograr la sostenibilidad de los precios y los volúmenes de los productos.
- Construir identidad y sentido de pertenencia en la población campesina sobre las posibilidades que ofrece el campo para incrementar la calidad de vida.

- Incrementar los ingresos de los pequeños productores, dada la incorporación de mayor valor agregado a los productos ofrecidos en el mercado local o regional.
- Colaborar con la electrificación de las veredas del área de influencia directa del proyecto.

8.3 Proyecto San Matías

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Programa de información y participación comunitaria (medida de prevención, mitigación, corrección y compensación) (H MV, SAG, 2012)

- Transmitir a todos los grupos de interés toda la información acerca de las actividades y las acciones que implica el proyecto.
- Incluir a las comunidades afectadas por el proyecto y a los demás grupos de interés en la realización de todos los estudios (técnico, ambiental, legal, etc.) y en cada una de las fases del proyecto, con el fin de adquirir información veraz, válida y confiable del territorio, de las afectaciones ambientales y de todas las características de la región.
- Es de vital importancia transmitirle a todos los grupos de interés todas las medidas que se pretenden implementar con miras a prevenir, mitigar y controlar todas las afectaciones ocasionadas en la construcción del proyecto, así como los beneficios y el desarrollo que un proyecto de este orden trae.
- Implementar un sistema de respuesta oportuna, eficiente e inmediata a todas las inquietudes y problemas que se puedan generar en la zona de influencia del proyecto.

Programa de educación ambiental a la comunidad (medida de mitigación y compensación) (H MV, SAG, 2012)

- Formar a las comunidades afectadas por la construcción del proyecto en la importancia del aspecto ambiental, con el fin inculcar el buen uso de cada uno de los recursos naturales que poseen en su región.
- Minimizar las afectaciones ambientales ocasionadas por la actividad humana 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, y que son el espejo de la problemática que presenta la región hoy en día.

Programa de restablecimiento de las condiciones económicas (medida de mitigación y compensación) (H MV, SAG, 2012)

- Restituir cada una de las actividades económicas que han sido la base y el sustento de todas comunidades dueñas de las tierras afectadas a raíz de la construcción del proyecto.
- Contribuir con la recuperación del desarrollo económico de la región, reducido por la ejecución del proyecto.
- Educar y acompañar a las comunidades en la implementación de procesos sostenibles en las actividades que han sido su sustento a lo largo del tiempo.

Programa de empresarismo rural (medida de compensación) (HVM, SAG, 2012)

- Formar e inculcar en las familias campesinas de la región un pensamiento emprendedor, ayudándolas a aprovechar todos los conocimientos y habilidades adquiridas empíricamente y orientándolos en la formulación y el desarrollo de proyectos empresariales que mejoren sus condiciones de vida y que contribuyan con el desarrollo económico y social de la región. De esta manera se le da valor agregado a todas sus actividades agropecuarias y agrícolas y se promueven las demás regiones aledañas.

Programa de memoria y patrimonio cultural (medida de prevención y compensación) (HVM, SAG, 2012)

- Implementar programas sociales en las comunidades afectadas por el proyecto, que ayuden a fortalecer las prácticas culturales que siempre ha estado presentes en la región y a la vez generar nuevas experiencias que permitan un desarrollo integral en las comunidades, permitiéndoles a los niños y jóvenes crecer en el área artística.
- Fomentar por medio de programas sociales la importancia de tener un sentido de pertenencia por la cultura propia de las comunidades y la admiración y respeto que estas ameritan.

Programa de restitución de infraestructura afectada (HVM, SAG, 2012)

Implementación de procesos equitativos, donde estén presentes los dos grupos de interés, para llevar a cabo una justa restitución de toda la infraestructura que pueda presentar afectación por causa de la construcción del proyecto.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de reubicación de infraestructura y viviendas (medida de mitigación y compensación) (HVM, SAG, 2012).

- Revisar y cuantificar todas las viviendas e infraestructura afectadas, que tendrán que ser restituidas (es importante el análisis poblacional por medio de censos).
- Reubicar no solamente el aspecto físico, sino también los aspectos social, cultural y económico de las comunidades afectadas, dentro de una conciliación sana, transparente y clara entre los grupos de interés.
- Implementar un sistema de transmisión de información claro, donde se aterricen las expectativas de las comunidades y por medio del cual se enteren de cada uno de los procesos de reubicación y del restablecimiento de las condiciones de vida.
- Apoyo dentro del proceso de reubicación y análisis poblacional de las instituciones para prevenir la invasión de predios por parte de población que quiera sacar provecho de las reubicaciones y beneficios otorgados por la empresa dueña del proyecto.

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote (medida de control) (HVM, SAG, 2012)

- Disminuir la remoción de vegetación de manera que se minimicen las afectaciones sobre especies de flora y el tamaño de los parches boscosos que se conservan en el área de influencia del proyecto.
- Implementar medidas de aprovechamiento que faciliten la extracción del material y su posterior utilización. Esta medida contribuye al control de zonas inestables y evita la formación de procesos erosivos.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote (medida de control) (HVM, SAG, 2012)

- Disminuir la remoción de vegetación de manera que se minimicen las afectaciones sobre las especies de flora y el tamaño de los parches boscosos que se conservan en el área de influencia del proyecto.
- Implementar medidas de aprovechamiento que faciliten la extracción del material y su posterior utilización.

Programa de rescate de flora (medida de prevención) (HVM, SAG, 2012).

- Rescatar la flora que pueda tener afectación por la ejecución del proyecto.

Compensación por afectación a coberturas boscosas – Conformación de corredor biológico (medida de mitigación y compensación) (HVM, SAG, 2012)

Formación de corredor biológico en la longitud del río San Matías, como medida de manejo para compensar el impacto sobre las coberturas boscosas.

8.4 Proyecto El Molino

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo para el abastecimiento de agua, a la población asentada a lo largo del trazado del túnel de conducción (medida de compensación) (HVM, SAG, 2012).

- Velar por el abastecimiento del recurso hídrico a toda la comunidad ubicada en la zona de influencia del proyecto, que puede presentar afectación a raíz de la construcción del túnel de conducción.

Información y participación comunitaria (medida de prevención, mitigación, corrección y compensación) (HVM, SAG, 2012).

- Transmitir a todos los grupos de interés toda la información acerca de las actividades y acciones que implica el proyecto.

- Incluir a las comunidades afectadas por el proyecto y a los demás grupos de interés en la realización de todos los estudios (técnico, ambiental, legal, etc.) y en cada una de las fases del proyecto, con el fin de adquirir información veraz, válida y confiable del territorio, de las afectaciones ambientales y de todas las características de la región. Es de vital importancia transmitirles a todos los grupos de interés todas las medidas que se pretenden implementar, con miras a prevenir, mitigar y controlar las afectaciones ocasionadas en la construcción del proyecto, así como los beneficios y el desarrollo que un proyecto de este orden trae.
- Implementar un sistema de respuesta oportuna, eficiente e inmediata a todas las inquietudes y problemas que se puedan generar en la zona de influencia del proyecto.

Educación ambiental a la comunidad (medida de compensación y mitigación) (HMV, SAG, 2012).

- Formar a las comunidades afectadas por la construcción del proyecto en la importancia del aspecto ambiental, con el fin inculcar el buen uso de cada uno de los recursos naturales que poseen en su región.
- Minimizar las afectaciones ambientales ocasionadas por la actividad humana en la región, que han contribuido a la desaparición de fauna y flora, la formación de procesos erosivos, la contaminación del recurso hídrico, y que son el espejo de la problemática que presenta la región hoy en día.

Programa de restablecimiento de las condiciones económicas (medida de compensación y mitigación) (HMV, SAG, 2012)

- Restituir cada una de las actividades económicas que han sido la base y el sustento de todas comunidades dueñas de las tierras afectadas a raíz de la construcción del proyecto.
- Contribuir con la recuperación del desarrollo económico de la región, reducido por la ejecución del proyecto.
- Educar y acompañar a las comunidades en la implementación de procesos sostenibles en las actividades que han sido su sustento a lo largo del tiempo.

Programa de empresarismo rural (medida de compensación) (HMV, SAG, 2012)

- Formar e inculcar en las familias campesinas de la región un pensamiento emprendedor, ayudándolas a aprovechar todos los conocimientos y habilidades adquiridos empíricamente y orientándolos en la formulación y el desarrollo de proyectos empresariales que mejoren sus condiciones de vida y que contribuyan con el desarrollo económico y social de la región. De esta manera se le da valor agregado a todas sus actividades agropecuarias y agrícolas y se promueven las regiones aledañas.

Programa de memoria y patrimonio cultural (medida de prevención y compensación) (HVM, SAG, 2012)

- Implementar programas sociales en las comunidades afectadas por el proyecto, que ayuden a fortalecer las prácticas culturales que siempre ha estado presentes en la región, y a la vez generar nuevas experiencias que permitan un desarrollo integral en las comunidades, permitiéndoles a los niños y jóvenes crecer en el área artística.
- Fomentar por medio de programas sociales la importancia de tener un sentido de pertenencia por la cultura propia de las comunidades y la admiración y respeto que estas ameritan.

Programa de restitución de infraestructura afectada (programa de prevención y compensación) (HVM, SAG, 2012)

Implementación de procesos equitativos donde estén presentes los dos grupos de interés, para llevar a cabo una justa restitución de toda la infraestructura que pueda presentar afectación por causa de la construcción del proyecto.

R16. Medidas o planes de manejo

Estimación del caudal de garantía ambiental (HVM, SAG, 2012)

Se pretende calcular el caudal de garantía ambiental entre la descarga del proyecto hidroeléctrico San Matías y la captación del proyecto El Molino. Se realiza un estudio en paralelo de los dos proyectos, que operarán en cadena.

Manejo de cobertura vegetal y descapote (medida de control) (HVM, SAG, 2012)

- Implementar acciones apropiadas que permitan reducir al máximo la remoción de la vegetación y conservar la mayor parte para su uso posterior.

Rescate de flora (medida de prevención) (HVM, SAG, 2012)

- Rescatar la flora que pueda tener afectación por la ejecución del proyecto.

Compensación por afectación a coberturas boscosas – Conformación de corredor biológico (medida de mitigación y compensación) (HVM, SAG, 2012)

Formación de un corredor biológico en la longitud del río San Matías como medida de manejo para compensar el impacto sobre las coberturas boscosas.

Estudio de fauna vertebrada terrestre (medida de compensación) (HVM, SAG, 2012)

- Recolectar información acerca de la riqueza de la fauna vertebrada de la zona de influencia del proyecto a través de actividades de conteo e inventarios periódicos de la fauna presente. De esta manera resulta más fácil la identificación e implementación de medidas de manejo.

Proyecto de investigación: Estrategia de manejo de los ecosistemas acuáticos (medida de compensación) (HMV, SAG, 2012)

- Implementar medidas que mantengan el flujo del recurso hídrico uniforme con el fin de no afectar el ecosistema acuático.

R9. Medidas o planes de manejo

Manejo de cobertura vegetal y descapote (medida de control) (HMV, SAG, 2012).

- Implementar acciones apropiadas que permitan reducir al máximo la remoción de la vegetación y conservar la mayor parte para su uso posterior. Esta medida contribuye al control de zonas inestables y evita la formación de procesos erosivos.

R21. Medidas o planes de manejo

Reubicación de infraestructura y viviendas (mitigación y compensación) (HMV, SAG, 2012).

- Revisar y cuantificar todas las viviendas y la infraestructura afectadas, que tendrán que ser restituidas.
- Reubicar no solamente el aspecto físico, sino también los aspectos social, cultural y económico de las comunidades afectadas, dentro de una conciliación sana, transparente y clara entre los grupos de interés.
- Implementar un sistema de transmisión de información claro, donde se aterricen las expectativas de las comunidades, y por medio del cual se enteren de cada uno de los procesos de reubicación y del restablecimiento de las condiciones de vida.
- Apoyo dentro del proceso de reubicación y análisis poblacional de las instituciones, para prevenir la invasión de predios por parte de población que quiera sacar provecho de las reubicaciones y beneficios otorgados por la empresa dueña del proyecto.

8.5 Proyecto San Bartolomé

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Información y participación comunitaria (medida de prevención, control, mitigación y corrección) (HMV, 2009)

- Suministrar a las autoridades locales y a la comunidad de las veredas del área de influencia indirecta y directa información clara y oportuna sobre los aspectos técnicos que puedan ser del interés de la comunidad, los impactos y manejos socioambientales del proyecto.
- Minimizar las expectativas de la comunidad frente a las demandas reales del proyecto relacionadas con la mano de obra.
- Evitar, corregir y aclarar oportunamente información tergiversada o errónea relacionada con el proyecto.

- Mantener adecuados lazos de vecindad entre el proyecto, la comunidad, otros actores sociales y las autoridades locales.
- Señalar a la comunidad los mecanismos y medios establecidos por HVM Ingenieros Ltda., para atender las inquietudes o quejas de la comunidad relacionadas con el proyecto.
- Establecer y consolidar un canal de comunicación para recoger y atender oportunamente las quejas y reclamos que se generen ante las autoridades y organizaciones de la comunidad frente a las acciones del proyecto
- Identificar, recibir y atender las necesidades de información, quejas y reclamos, con su respectiva evaluación.
- Realizar el seguimiento y el ajuste del manejo de las afectaciones e impactos sociales causados durante la ejecución del proyecto.

Fortalecimiento a la participación comunitaria (medida de prevención, control, mitigación y compensación) (HVM, 2009)

- Brindar los conocimientos necesarios a los miembros de las JAC y Asojuntas para que mejoren sus competencias en la formulación, la ejecución y el seguimiento a proyectos de interés comunitario, constituyéndose en verdaderos agentes dinamizadores del mejoramiento de la calidad de vida de sus comunidades.
- Apoyar a las organizaciones y, a través de estas, a la comunidad para que realicen de una manera más efectiva su participación en los diferentes proyectos que se vayan a ejecutar en sus veredas.
- Brindar a la comunidad los conocimientos necesarios para que puedan ejercer adecuadamente sus derechos como veedores de la inversión de los recursos públicos.

Apoyo a la educación ambiental en las escuelas veredales (medida de prevención, compensación, restauración y protección) (HVM, 2009)

- Apoyar las escuelas para que sean parte de la solución de los problemas ambientales del área mediante la implementación de la asignatura de Educación Ambiental.
- Apoyar la implementación de la cátedra ambiental, contribuyendo en la transformación de las instituciones educativas, para la construcción de un nuevo ciudadano para una nueva sociedad.
- Aportar en la comprensión de las problemáticas y/o potencialidades ambientales del área, cualificando las actitudes y valores de los niños y de la comunidad educativa frente al manejo adecuado del entorno natural.
- Capacitar a educadores para que sean facilitadores efectivos de la estrategia metodológica en educación ambiental.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo paisajístico (medida de mitigación y recuperación) (HVM, 2009)

- Definir las pautas y mecanismos a ser implantados, con el fin de minimizar los impactos que sobre el paisaje se generen por la construcción de la PCH.

Manejo del recurso hídrico (medida de prevención, mitigación y control) (HMV, 2009)

- Implementar medidas para minimizar los impactos en las aguas superficiales, con el fin de velar por la preservación del ecosistema acuático.

Manejo de aprovechamiento forestal (medida de prevención y mitigación) (HMV, 2009)

- Ejecutar los criterios técnicos para la realización del aprovechamiento forestal en el área de intervención para la construcción de la PCH.
- Definir estrategias para la obtención, el almacenamiento y el uso racional de los recursos obtenidos por la actividad de aprovechamiento de la vegetación presente en el área que se va a intervenir.

Programa de compensación para el medio biótico (medida de protección, mitigación, compensación y restauración) (HMV, 2009)

- Realizar una compensación forestal mediante la reforestación concreta con especies nativas en zonas degradadas o deforestadas aledañas al área que se va a intervenir, en la protección de las fuentes hídricas abastecedoras de los acueductos veredales y/o municipales, como en las quebradas La Colorada, La Olávica, Muchilera, Guayaca, la cuenca del río Oibita, la cuenca del río Suárez, o en aquellas áreas definidas por la Corporación Autónoma Regional del Santander (CAS), con la compensación, en proporción 1:2 para pastos con árboles aislados y 1:3 para rastrojos y sistemas agroforestales.
- Generar empleo directo e indirecto que beneficie a la población del área mediante la ejecución del presente programa.

Manejo y protección de fauna silvestre (medida de prevención, mitigación y control) (HMV, 2009)

- Establecer estrategias o acciones para evitar la afectación sobre los hábitats de fauna silvestre.
- Establecer mecanismos para la protección de especies de fauna en el área de intervención del proyecto.

R9. Medidas o planes de manejo

Conservación y restauración de la estabilidad geotécnica (medida de prevención, mitigación y corrección) (HMV, 2009)

- Definir las acciones para conservar y restaurar la estabilidad geotécnica durante las actividades constructivas y operativas del proyecto.

Manejo de taludes (medida de prevención, mitigación y corrección) (HMV, 2009)

- Definir las medidas por implementar para la estabilización y la conformación de los taludes generados por la construcción del proyecto.

Manejo de remoción de cobertura vegetal y descapote (medida de mitigación y control) (HMOV, 2009)

- Identificar y establecer las medidas de manejo que van a ser adoptadas durante el retiro y la disposición final del material vegetal y el suelo orgánico que se va a remover, asociado a la apertura del derecho de las vías por construir y la construcción de la casa de máquinas, el punto de captación y las demás estructuras asociadas para las que se requiera, con el fin de proteger y minimizar los impactos asociados a dicha actividad.
- Almacenar en forma adecuada el material orgánico removido, con el fin facilitar su posterior aprovechamiento en la fase de reconfiguración y revegetalización de las áreas intervenidas.
- Prevenir y mitigar la ocurrencia de procesos erosivos que puedan generarse en el área del proyecto.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de negociación de predios (medida de prevención, control, mitigación, corrección y compensación) (HMOV, 2009)

- Negociar oportunamente los predios requeridos por el proyecto, a través de mecanismos claros de concertación.
- Apoyo dentro del proceso de reubicación y análisis poblacional de las instituciones para prevenir la invasión de predios por parte de población que quiera sacar provecho de las reubicaciones y los beneficios otorgados por la empresa dueña del proyecto.

Programa de adquisición de servidumbres y compensación de infraestructura social afectada (medida de prevención, control, mitigación, corrección y compensación) (HMOV, 2009)

En este programa se indican las medidas para los aspectos relacionados con la modalidad de compensación e indemnización que puedan ser afectados por la construcción del proyecto. La modalidad de compensación puede funcionar de las siguientes maneras:

- Restituir mediante el pago en dinero la adquisición de servidumbre y compensación por daños de bienes y mejoras en aquellas áreas o predios requeridos por el proyecto, a través de mecanismos claros de concertación.
- Compensar oportunamente la infraestructura afectada según lo acordado con sus beneficiarios y/o propietarios, incluyendo la infraestructura relacionada con el recurso hídrico construido tales como manantiales con captación, estanques piscícolas y abrevaderos.
- Relocalizar en caso necesario las viviendas que se encuentren en las áreas que vayan a ser ocupadas en las actividades de construcción del proyecto.

8.6 Proyecto Cañafisto

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo de los riesgos

Programa de información y participación comunitaria (medida de mitigación) (Isagén, 2014)

- Desarrollar un programa de información y participación comunitaria que garantice el suministro de información clara, veraz y oportuna de manera permanente acerca de las etapas, actividades, efectos, avances y alcances del PH Cañafisto y asegure la creación de espacios de formación, participación, consulta y construcción colectiva entre Isagén y los grupos de interés, que permitan responder oportunamente a las inquietudes individuales y colectivas identificadas acerca de la apropiación del territorio y la corresponsabilidad en su desarrollo sostenible.

Programa de conservación de áreas agrícolas cultivadas (medida de prevención y corrección) (Isagén, 2014)

- Implementar las medidas necesarias para restituir las áreas agrícolas afectadas por las diferentes obras o actividades propias del PH Cañafisto, con el fin de conservar el empleo que se podría afectar con el desarrollo del proyecto.

Programa alternativo para el restablecimiento del ingreso de las familias impactadas por el Proyecto (medida de prevención, mitigación y compensación) (Isagén, 2014)

- Fomentar iniciativas productivas con la población directamente afectada por el proyecto, con el fin de generar opciones viables en el restablecimiento del ingreso familiar, a partir de la identificación de necesidades propias en la implementación del plan de manejo ambiental.

Programa de restablecimiento integral de condiciones de vida (medida de mitigación y compensación) (Isagén, 2014)

- Generar un proceso de desarrollo sostenible con los hogares objeto de traslado que promueva el restablecimiento de sus condiciones de vida en iguales o mejores condiciones, a través del manejo integral de las variables sociales, económicas y culturales que se verán afectadas por el emplazamiento del proyecto.

Programa de empleo para la región (medida de prevención y compensación) (Isagén, 2014)

- Generar oportunidades laborales para la población económicamente activa o prestadores de servicios en la zona de influencia del proyecto, con el fin de propiciar beneficios regionales y posibilitar a quienes vean afectado su trabajo por el desarrollo del proyecto de nuevas oportunidades laborales bajo condiciones de temporalidad del empleo similares a las encontradas en la zona.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de la degradación aguas abajo de la presa (medida de prevención y mitigación) (Isagén, 2014)

- Controlar los procesos de erosión en las márgenes del río, en sitios específicos debido a su interés social y comunitario.

Programa de manejo de biodiversidad (medida de mitigación) (Isagén, 2014)

- Establecer una franja de protección, manejo y conservación del embalse con zonas de conservación inmediatas con el fin de contar con el área apropiada para realizar los manejos necesarios y prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos relacionados con la pérdida de cobertura vegetal, intervención de áreas estratégicas (Reserva ribereña del río Cauca) y afectación de fauna terrestre.
- Realizar actividades de rehabilitación y recuperación en las zonas que requieran mejoras en términos de establecimiento de cobertura vegetal.
- Compensar la afectación de ecosistemas terrestres por el embalse y obras de acuerdo con los requerimientos del Manual de asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad.

Subprograma de manejo de ecosistemas acuáticos (medida de corrección) (Isagén, 2014)

El objetivo general del presente proyecto es realizar el rescate contingente y traslado al cauce principal del río de la mayor cantidad posible de peces confinados en las pocetas aisladas que se formen en el lecho expuesto del río Cauca, una vez bajen sus niveles por las dos actividades específicas descritas.

Subprograma de manejo de ecosistemas terrestres (medida de prevención, mitigación y compensación) (Isagén, 2014)

- Minimizar la afectación de la fauna silvestre por las labores propias de las obras de construcción, llenado del embalse y la presencia de personal de obra.

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de zonas inestables (medida de prevención y mitigación) (Isagén, 2014)

- Manejar y controlar las dos zonas inestables identificadas sobre el corredor de la vía sustitutiva.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de atención a flujos migratorios y presión poblacional (medida de prevención, mitigación, corrección y compensación) (Isagén, 2014)

- Reducir los impactos sociales y económicos promovidos por la afluencia de personal atraída por el proyecto, incorporando varias estrategias, dando prioridad a la participación de autoridades municipales y regionales.

8.7 Proyecto El Buey

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Programa de información y participación ciudadana (medida de prevención y mitigación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Definir y determinar los mecanismos y las estrategias de información, comunicación y participación que permitan y garanticen el acercamiento, intercambio e interacción entre la empresa responsable del proyecto y los actores sociales identificados dentro del área de influencia, en las mejores condiciones para todos los involucrados.

Programa de restablecimiento de los niveles de producción para los comercializadores de mora y aguacate (medida de compensación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Restituir los niveles de oferta de mora y aguacate en las veredas afectadas por la ejecución proyecto, mediante el apoyo y fomento a la implementación de estos cultivos, que permitan atender la demanda de las comercializadoras Asofrutas y Aproare.

Programa de vinculación de mano de obra temporal (medida de compensación y prevención) (EPM, Ingetec, 2011)

- Vincular mano de obra temporal para las etapas de preconstrucción, construcción, operación, cierre y abandono del Proyecto Hidroeléctrico del río Buey y la consecución en la zona de servicios como transporte, alimentación, hospedaje, servicios de aseo y vigilancia, entre otros, acorde a los lineamientos de contratación de EPM y según lo concertado con las alcaldías municipales del AIS y las JAC de las veredas del AIL.

Programa de manejo de actividades minera, pesquera y turística desde la captación sobre el río Buey hasta la quebrada Sabaletas (medida de mitigación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Restituir las condiciones económicas de las familias que devengan sus ingresos de la explotación pesquera, turística y minera del río Buey desde la captación de agua en el Guaico y hasta el sector de El Cairo en la vereda Piedra Galana (Montebello).

R16. Medidas o planes de manejo riesgo

Manejo de cobertura vegetal y ecosistemas terrestres (medida de compensación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Compensar la pérdida de la cobertura boscosa removida por las actividades de obra del Proyecto.
- Compensar la pérdida de especies de flora endémicas, en peligro y/o en veda en las zonas donde se lleven a cabo las actividades de compensación.
- Compensar la fragmentación y pérdida de conectividad de los ecosistemas boscosos originales propios de la región, que en la actualidad están altamente alterados.

Manejo para fauna silvestre presente en zonas boscosas (medida de mitigación y prevención) (EPM, Ingetec, 2011)

- 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, de manera que se promueva su supervivencia y desarrollo en la región.

Manejo de comunidades acuáticas (medida de compensación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Prevenir y mitigar las alteraciones que la construcción y operación del PH Río Buey generan sobre la comunidad de peces (migratorios y no migratorios).
- Minimizar la pérdida de riqueza y abundancia de las especies de peces presentes en el tramo de caudales reducidos en los ríos Piedras y Buey, y la quebrada Santa Catalina.
- Compensar la pérdida de la productividad íctica y pesquera del sistema, por eliminación de hábitat reproductivo como posible consecuencia de la reducción de caudal.

Programa de manejo la calidad del agua (medida preventiva) ((EPM, Ingetec, 2011)

- Prevenir la alteración de las características fisicoquímicas e hidrobiológicas de los cuerpos de agua intervenidos por la construcción de las vías sustitutivas, vías de acceso, obras de regulación, captación, generación y desviación y por la instalación y operación de obras temporales.

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables (medida de prevención, mitigación, corrección y protección) (EPM, Ingetec, 2011)

- 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.
- 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.
- 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.

R21. Medidas o planes de manejo

Programa de reasentamiento de población (medida de compensación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Restablecer las condiciones de vida de la población objeto de traslado, conformada por 56 familias residentes en predios con afectación total por el PH.

- Desarrollar las acciones y los procesos inherentes a la mitigación y compensación de los impactos socioeconómicos y otros causados a la población que deberá desplazarse de manera involuntaria.
- Buscar y definir las alternativas de traslado más adecuadas para la restitución de las condiciones de vida de la población que debe ser reasentada, en circunstancias iguales o mejores.
- Garantizar el reasentamiento de la población bajo los principios de respeto, autonomía, legalidad, pertinencia, equidad, participación y concertación.
- Apoyo dentro del proceso de reubicación y análisis poblacional de las instituciones para prevenir la invasión de predios por parte de población que quiera sacar provecho de las reubicaciones y beneficios otorgados por la empresa dueña del proyecto.

Programa de fortalecimiento institucional (medida de prevención y mitigación) (EPM, Ingetec, 2011)

- Apoyar a las administraciones municipales de La Ceja del Tambo, La Unión y Abejorral en la toma de decisiones e implementación de proyectos que le apunten al manejo – control, monitoreo– del impacto migratorio y de las transferencias por expectativas durante la construcción y operación del proyecto; a la corporación autónoma regional en el manejo de nuevos recursos y su participación en el ordenamiento territorial; a las organizaciones sociales de base en el fortalecimiento de sus objetos sociales.

8.8 Proyecto Porce IV

R2, R6 y R23. Medidas o planes de manejo

Programa de comunicación y participación comunitaria. (medida preventiva) (EPM, 2008)

- Involucrar e impulsar la participación de las comunidades, instituciones y ONG ubicadas en el área de influencia del proyecto, en la gestión ambiental y en la implementación de los planes de manejo ambiental, diseñados para el PH Porce IV.

Programa de restablecimiento de las condiciones de vida de la población desplazada por el Proyecto Porce IV (medida de mitigación y compensación) (EPM, 2008)

- Restablecer en mejores condiciones, y mediante procesos participativos, las redes socioculturales y los medios y niveles de vida de la población desplazada involuntariamente por el proyecto Porce IV, teniendo en cuenta criterios de rentabilidad económica, equidad social y protección del medioambiente.

Programa de generación de empleo temporal (medida de compensación) (EPM, 2008)

- Generar empleo temporal asociado a la construcción del PH Porce IV, mediante la contratación de mano de obra y la consecución en la zona de bienes y servicios como transporte, alimentación, hospedaje, servicios de aseo, vigilancia, entre otros.

R16. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de fauna silvestre (medida de mitigación) (EPM, 2008)

- Definir las actividades para realizar el salvamento y reubicación de la fauna silvestre presente en el área del embalse y las zonas donde se realizará remoción de cobertura vegetal para la construcción de las obras principales y secundarias del proyecto.

Programa de manejo de cobertura vegetal y hábitats terrestres (medida de mitigación, compensación y prevención) (EPM, 2008)

El objetivo general de este programa de manejo es mitigar y compensar los impactos que ocasiona el proyecto durante su construcción y operación por la intervención directa e indirecta sobre los ecosistemas terrestres y particularmente sobre la cobertura vegetal, la flora e indirectamente la fauna terrestre.

Programa de rescate contingente de peces (medida de mitigación) (EPM, 2008)

- Mitigar el impacto biológico que ocasionan las zonas de lecho disminuido al generar atrapamiento de individuos en pocetas y tramos aislados.

R9. Medidas o planes de manejo

Programa de manejo de inestabilidad y erosión en taludes de cortes y llenos en vías (medida de prevención y control) (EPM, 2008)

- Prevenir y mitigar los procesos erosivos y de inestabilidad que podrían desencadenarse por la ejecución de cortes y llenos en la construcción de las vías de acceso al proyecto.

R21. Medidas o planes de manejo

Proyecto de seguimiento y manejo a la presión migratoria (medida preventiva) (EPM, 2008)

- Realizar el seguimiento a los sitios susceptibles de atraer población foránea por la construcción del proyecto y establecer medidas de manejo concertadas tendientes a mitigar los efectos causados por la migración.

8.9 Entrevista experto 1

Nombre: Adolfo Grecco Gélvez

Profesión: biólogo

Empresa: Empresas Públicas de Medellín

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 2 (deterioro del relacionamiento con las comunidades), el riesgo 6 (manifestaciones en contra

del proyecto por conflicto social) y el riesgo 23 (sobreexpectativas de las comunidades) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Se podría decir que estos riesgos, los directamente relacionados con las comunidades o aspectos sociales, son los más críticos y de mayor cuidado en la construcción de cualquier proyecto de infraestructura; grandes proyectos que pretendían contribuir con el desarrollo de un país completo han tenido que suspenderse únicamente por problemas con las comunidades afectadas. En este orden de ideas, las medidas más comunes y que más aportan a la ejecución del proyecto son: proyecto de información y comunicación a las comunidades, programas de generación de empleo, programas de educación ambiental y proyecto de restablecimiento de las condiciones de vida de las comunidades (Londoño González, 2017a).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 16 (afectación negativa a los recursos naturales –flora, fauna, aguas– como consecuencia de la ejecución del proyecto) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Aunque es un riesgo muy generalizado que abarca muchas variables y que tiene asociadas infinidad de medidas de manejo concretas, es diferente y se manifiesta de una manera distinta en un proyecto como Ituango que en un proyecto como Santo Domingo. Para un proyecto de esta magnitud se llevan a cabo medidas más generales que hacen referencia al manejo de fauna terrestre, de vegetación y suelo y de fauna acuática (Londoño González, 2017a).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 9 (daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayo, inundación, deslizamientos, asentamientos) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Dentro de este riesgo hay variables climáticas de las cuales no tenemos un control directo; sin embargo, para el caso de deslizamientos, inundaciones y asentamientos, se pueden llevar a cabo medidas que controlen de cierta manera estos eventos. La medida más común implementada en la mayoría de los proyectos hidroeléctricos es el programa de manejo de la inestabilidad y la erosión (Londoño González, 2017a).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 21 (invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. La medida para el manejo de este riesgo empieza desde una etapa temprana de la construcción del proyecto, incluso desde su formulación. Comienza con un acercamiento y con inspecciones periódicas o censos en la zona de influencia, que pretenden estudiar las condiciones económicas, sociales, culturales, etc., de todas las comunidades que habitan el sector, con el fin de evitar que oportunistas que quieran sacar provecho de la construcción del proyecto invadan la zona reclamando derechos que nunca han tenido. Este hace parte de uno de los riesgos más críticos de este tipo de proyectos (Londoño González, 2017a).

En la Tabla 9 se observan los porcentajes de costos totales de manejo ambiental más comúnmente presentados en proyectos hidroeléctricos.

Tabla 9. Porcentaje de los costos totales de manejo ambiental de cada medida

Riesgos	Programas para control de riesgos	Costos totales de manejo ambiental [%]	Costos totales del programa [%]
R9	Programa de manejo de los aspectos físicos		3.37
	Proyecto de manejo de la inestabilidad y la erosión	3.37	
R16	Programa de manejo de los aspectos bióticos		12.35
	Proyecto de manejo de nuevos hábitats acuáticos	1.37	
	Proyecto de manejo de la fauna terrestre	1.15	
	Proyecto de manejo de la vegetación y el suelo	8.23	
	Proyecto de manejo de la fauna acuática	1.60	
R2, R6, R23	Programa de manejo de los aspectos sociales		10.73
	Proyecto de información y comunicación	2.97	
	Proyecto de generación de empleo	1.14	
	Proyecto de educación ambiental	2.05	
	Proyecto de restablecimiento de la base económica de la población	4.57	
R21	Proyecto para control de flujos migratorios	18.60	18.60

Fuente: Londoño González, 2017a.

8.10 Entrevista experto 2

Nombre: Sebastián Gutiérrez

Profesión: ingeniero ambiental

Empresa: Servicios Ambientales y Geográficos (SAG S. A.)

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 2 (deterioro del relacionamiento con las comunidades) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Para el relacionamiento con las comunidades del área de influencia de los proyectos, la medida de manejo más típica es el programa de información, participación y comunicación (Londoño González, 2017b).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 6 (manifestaciones en contra del proyecto por conflicto social) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Además del programa anterior, se deben implementar otras medidas de manejo en el caso de que el proyecto pueda generar algunos impactos adicionales que puedan generar afectación o molestias a las comunidades. Entre ellas están, el programa de reubicación de infraestructura y viviendas, en el caso de que por la construcción del proyecto se requiera relocalizar familias que estén asentadas en el área de interés del proyecto. Otra medida para mitigar dichos impactos es el programa de contratación de mano de obra local, que busca incluir a la población del área de influencia dentro de las labores constructivas del proyecto (Londoño González, 2017b).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 23 (sobrexpectativas de las comunidades) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Además del programa de información, participación y comunicación, se debe implementar un programa de educación ambiental a la comunidad, en el cual se explique, de manera clara y específica los principales impactos ambientales del proyecto, y se capacite a los pobladores en el manejo y la conservación de los recursos naturales; y, con los lineamientos propuestos en el PMA, crear una conciencia de cuidado hacia el entorno en donde se desarrolla el proyecto (Londoño González, 2017b).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 16 (afectación negativa a los recursos naturales –flora, fauna, aguas– como consecuencia de la ejecución del proyecto) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Para estos riesgos se proponen típicamente medidas de manejo dependiendo del componente que se vaya a afectar.

En la Tabla 11 se presentan las medidas más típicas según el impacto por controlar (Londoño González, 2017b).

Tabla 10. Medidas de manejo, experto 2

Impacto	Programa de manejo
Afectación de flora	Programa de aprovechamiento forestal
	Programa de compensación por pérdida de biodiversidad
Afectación de fauna	Programa de rescate y ahuyentamiento de fauna
Afectación de aguas	Programa de manejo de aguas residuales domésticas y no domésticas
	Programa de control del caudal de garantía ambiental

Fuente: Londoño González, 2017b.

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 9 (daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayo, inundación, deslizamientos, asentamientos) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Estos riesgos son inherentes a cualquier proyecto de infraestructura, y para esto la medida de manejo más común y eficiente es el plan de contingencia; sin embargo, para el control de asentamientos y deslizamiento existen programas complementarios; los más comunes son programas de manejo de taludes y de estabilidad de tierras y el programa de compensación de coberturas vegetales, que evitan la formación de procesos erosivos y el manejo de zonas inestables donde sea el caso (Londoño González, 2017b).

P. ¿Cuáles son las medidas de manejo más comunes y eficientes para el control del riesgo 21 (invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto) en un proyecto del orden de magnitud de Santo Domingo?

R. Previo a la construcción del proyecto, en las etapa de factibilidad, estudios y diseños, se deben realizar procesos de negociación de predios y servidumbres con los propietarios de los terrenos donde se piensa ejecutar el proyecto. Es muy importante el apoyo y la presencia de las instituciones locales, ya que propician negociaciones sanas y evitan invasiones de personas que quieran sacar provecho y reclamar beneficios que no les corresponden. Esta actividad es fundamental en los procesos posteriores de relacionamiento con las comunidades de manera efectiva y para el desarrollo mismo del proyecto (Londoño González, 2017b).

8.11 Conclusiones de las medidas de manejo pertinentes para los riesgos ambientales seleccionados

Según el análisis de la sección anterior se presenta en la Tabla 11, a continuación, un resumen de las medidas adoptadas en cada uno de los proyectos revisados para atacar los riesgos seleccionados en la fase de construcción. Adicionalmente, se señalan las medidas más comunes adoptadas en los proyectos estudiados, que son seleccionadas como las medidas pertinentes para controlar los riesgos críticos del proyecto Santo Domingo.

Es importante aclarar que para cada uno de los programas y planes citados existen diversas acciones y actividades que, a su vez, tienen asociados diferentes costos. En el siguiente sección se pretende cuantificar cada una de esas medidas, según la experiencia de otros proyectos, para proceder, finalmente, con el análisis financiero que se plantea en el Objetivo general.

Tabla 11. Tabla resumen de las medidas de manejo para controlar los riesgos críticos del proyecto Santo Domingo

Riesgos críticos	Medidas de manejo	Proyectos								TOTAL
		San Miguel	San Matías	El Molino	San Bartolomé	Cañafisto	Santo Domingo	Porce IV	El Buey	
R2, R6, R23	Programa de información y participación comunitaria	X	X	X	X	X	X	X	X	8
	Programa de educación y capacitación	X	X	X	X		X			5
	Programa de adecuación y promoción de áreas turísticas						X			1
	Programa de memoria y patrimonio cultural	X	X	X						3
	Programa de apoyo al repoblamiento de las veredas del área de influencia con la formulación de proyectos productivos	X								1
	Programa de restablecimiento de las condiciones de vida		X	X		X		X	X	5
	Programa de empresarismo rural		X	X						2
	Programa de restitución de infraestructura afectada		X	X						2
	Programa de manejo para el abastecimiento de agua, a la población asentada a lo largo del trazado del túnel de conducción				X					1
	Programa de conservación de áreas agrícolas cultivadas					X				1
	Programa de empleo para la región					X		X	X	3
Programa de manejo de actividades minera, pesquera y turística								X	1	
R21	Programa de manejo a la presión migratoria						X	X		2
	Programa de reubicación de vivienda	X	X	X					X	4
	Programa de negociación de predios				X					1
	Programa de atención a flujos migratorios y presión poblacional					X				1
	Programa de fortalecimiento institucional								X	1
R16	Programa de compensación por pérdida de biodiversidad		X	X	X	X	X			5

Riesgos críticos	Medidas de manejo	Proyectos								TOTAL
		San Miguel	San Matías	El Molino	San Bartolomé	Cañafisto	Santo Domingo	Porce IV	El Buey	
	Programa de manejo de aprovechamiento forestal	X			X		X			3
	Programa de rescate de flora	X	X	X						3
	Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal	X	X	X				X	X	5
	Estimación del caudal de garantía ambiental			X						1
	Estudio y rescate de fauna vertebrada terrestre			X	X	X	X	X	X	5
	Proyecto de investigación: Estrategia de manejo ecosistemas acuáticos			X		X		X	X	4
	Programa de manejo paisajístico				X					1
R9	Programa de manejo de aguas subterráneas						X			1
	Programa de control del caudal de garantía ambiental y descargas de fondo						X			1
	Manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables				X	X	X	X	X	5
	Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal	X	X	X	X					4

Fuente: elaboración del autor, 2016.

9 Determinación de los rangos de variación de los costos económicos de las opciones pertinentes identificadas

Una vez identificados los riesgos ambientales de mayor calificación del proyecto Santo Domingo y las medidas más comunes y eficientes implementadas en diferentes proyectos hidroeléctricos para controlar dichos riesgos, se procederá a realizar un análisis cuantitativo de cada una de estas medidas, es decir, a estimar los costos de implementación de cada programa en cada uno de los proyectos revisados anteriormente durante su fase de construcción; de esta manera se tendrá una muestra representativa de sus costos. Para el presente estudio se tendrán cuatro muestras de datos que corresponden a los costos de implementación de programas para controlar los riesgos 2, 6 y 23; y el 21, el 9 y el 16. Cada una de estas muestras está compuesta por nueve datos, así: siete datos históricos de costos reales en los proyectos San Miguel, San Matías, El Molino, San Bartolomé, Porce IV, El Buey y Cañafisto; un dato que corresponde a la opinión de un experto; y otro que hace referencia a los costos de manejo ambiental descritos en el PMA preliminar del proyecto Santo Domingo.

Con esta información se procede a realizar pruebas de bondad de ajuste que pretenden verificar la hipótesis nula de que cada conjunto dado de observaciones o datos se ajusta a una distribución de probabilidad especificada (Milton y Arnold, 2004), tal como lo propone Miranda Miranda (2011), para, finalmente, realizar el análisis financiero probabilístico mediante la herramienta @RISK, como se propone en el Objetivo general. Para la realización de un buen ajuste de los datos se recomienda tener al menos una muestra mínima de 30 datos. Ante la ausencia de información, por su complejidad o confidencialidad, se pretende completar la muestra a 30 datos con base en unas metodologías de imputación. En secciones posteriores se describirán las metodologías más usadas y se justificará la metodología seleccionada para completar la muestra.

En el numeral siguiente se describen algunas de las funciones de probabilidad más comunes y usadas en análisis de riesgos, con el fin de obtener información útil y veraz para la realización de las pruebas de bondad de ajuste mencionadas anteriormente, así como las diferentes metodologías para la imputación de datos en muestras con datos faltantes.

9.1 Funciones de probabilidad

Las variables aleatorias están determinadas a través de características que se pueden cuantificar, ya sea por medición o por conteo para experimentos aleatorios, es decir, son variables debido a que el resultado cambia de una variable a otra, y aleatorias debido a que no se puede predecir su comportamiento. En la caracterización de un fenómeno o proceso natural se establecen los posibles valores que puede asumir la variable y sus respectivas ocurrencias, y el resultado de establecer los valores que puede asumir la variable genera un

nuevo espacio muestral numérico de un experimento aleatorio, es decir, el rango o recorrido espacial y la asignación de la ocurrencia a los respectivos valores, que se efectúa haciendo uso de funciones de la probabilidad, las cuales describen el comportamiento de cada resultado de un rango espacial en términos de probabilidad (Prieto, 2015: 4).

Las distribuciones de probabilidad pueden ser discretas o continuas. A continuación se describen las más representativas de cada tipo.

9.1.1 Funciones de probabilidad discretas

Una variable aleatoria es discreta si puede asumir un número finito o uno infinito contable de valores posibles. Las densidades de probabilidad discretas se definen sobre el conjunto de los números reales, y para cada número x real dado, $f(x)$ es la probabilidad de que la variable aleatoria X asuma el valor de x (Milton y Arnold, 2004).

Distribución binomial

Para reconocer una situación que incluya una variable de este tipo se requiere que se cumplan los siguientes supuestos: 1) el experimento consiste en un número fijo n de ensayos que da por resultado éxito E o fracaso F ; 2) los ensayos son idénticos e independientes, por lo que la probabilidad de éxito p permanece sin cambio de un ensayo a otro; y 3) la variable aleatoria X denota el número de éxitos obtenidos en n ensayos (Milton y Arnold, 2004).

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad 0 < p < 1, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n$$

Un ejemplo claro de esta distribución es la ocurrencia de un evento de riesgo. En este caso solo existen dos posibilidades: que se materialice el riesgo o que no lo haga; adicionalmente, cada caso presenta la misma probabilidad de ocurrencia. Otro ejemplo importante, tal vez el más común, es la opción de cara o cruz al lanzar una moneda. Por último está el caso asociado a la venta de un producto: si se supone que la probabilidad o riesgo de que este se venda es constante para cada persona, esta distribución será el modelo adecuado, ya que las personas presentan un criterio independiente al comprar.

Distribución binomial negativa

Para reconocer una situación que incluya una variable de este tipo se requiere que se cumplan los siguientes supuestos: 1) el experimento consiste en una serie de ensayos idénticos e independientes, cada uno con una probabilidad p de éxito; 2) los ensayos se observan hasta obtener exactamente r éxitos, donde la persona que realiza el experimento establece el valor de r ; y 3) la variable aleatoria X corresponde al número de ensayos para obtener los r éxitos (Milton y Arnold, 2004).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \binom{x-1}{r-1} p^r (1-p)^{x-r} \quad r = 1, 2, 3 \dots, \quad x = r, r+1, r+2 \dots$$

Este tipo de distribución es comúnmente utilizada para modelar estadísticas de accidente. Por ejemplo, las estadísticas de accidente evidencian que los jóvenes presentan

más accidentes automovilísticos que las personas de más edad y más accidentes que las mujeres. Debe considerarse esta distribución para evaluar el número de ocurrencias en el tiempo y en el espacio cuando la frecuencia de estas no es constante. Este mismo ejemplo puede aplicarse para riesgos de accidente en cualquier tipo de proyectos.

Distribución de Poisson

Para la solución de un problema de este tipo se deben seguir los siguientes pasos: 1) determinar la unidad básica que se usa; 2) determinar el número promedio de casos del evento por unidad. Este número se llama λ ; 3) establecer la magnitud o tamaño del período de observación s ; y 4) la variable aleatoria X , el número de ocurrencias del evento en el intervalo de tamaño s , corresponde a una distribución Poisson con el parámetro $k = \lambda s$ (Milton y Arnold, 2004).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \frac{e^{-k} k^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2 \dots, \quad k > 0$$

Gran cantidad de eventos aleatorios suceden de manera independiente con una velocidad constante en el espacio o tiempo. Un ejemplo típico puede ser el número de personas que llegan a una tienda de autoservicio en un tiempo determinado. Este mismo caso puede ser aplicado en riesgos de proyectos hidroeléctricos, concretamente en la evaluación del número de personas que invaden los predios o la zona de influencia del proyecto para reclamar beneficios en un tiempo determinado. Por último, el número de riesgos ambientales en un cultivo a raíz de la construcción de un proyecto hidroeléctrico.

Distribución discreta

Una función de probabilidad discreta presenta las siguientes aplicaciones: 1) describe una variable que puede tomar uno de entre un conjunto de valores discretos; 2) describe probabilidades condicionales para distintos estados de la naturaleza donde cada estado tiene una probabilidad p de ocurrencia; y 3) arma distribuciones de probabilidad compuesta con base en la opinión de expertos y donde a cada opinión se le asigna una ponderación p (Johnson, 1997).

Sus parámetros son los siguientes:

Discrete (X, P)

$$f(x) = p \text{ para } x = x$$

$$f(x) = 0 \text{ para } x \notin \{x\}$$

Un ejemplo de distribución de este tipo podría estar asociado al riesgo de demandas a raíz de la construcción de un proyecto hidroeléctrico, donde el 30 % es la probabilidad de obtener un veredicto positivo, el 60 % de tener el veredicto negativo y el 5 % la probabilidad de que el juicio se repita.

9.1.2 Funciones de probabilidad continuas

Se dice que una variable aleatoria es continua si esa puede tomar cualquier valor en uno o más intervalos de números reales y la probabilidad que asuma un valor específico es 0.

Distribución uniforme

Todos los valores de x de α y β son igualmente probables en el sentido de que la probabilidad de que x se encuentre en un intervalo de amplitud Δx enteramente contenido en el intervalo de α y β es igual a $\Delta x/(\beta - \alpha)$, sin importar la ubicación exacta del intervalo (Johnson, 1997).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{(\beta - \alpha)} & \text{para } \alpha < x < \beta \\ 0 & \text{en otra parte} \end{cases}$$

La distribución uniforme puede asociarse al siguiente ejemplo: los costos ambientales de un proyecto hidroeléctrico están en la mayoría de los casos entre el 2.5 y el 3 % de los costos totales del proyecto; dentro de este rango, todos los posibles casos de costos ambientales presentan la misma probabilidad de ocurrencia.

Distribución exponencial (Gamma)

La distribución Gamma es origen de la familia de variables aleatorias exponenciales. La distribución exponencial es un caso de la distribución Gamma con $\alpha = 1$. En la práctica, esta distribución surge en el estudio de procesos de Poisson. En este tipo de procesos se observan eventos discretos en un intervalo de tiempo continuo. Se denota el tiempo en que ocurre el primer evento (Johnson, 1997).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} \right\} \text{ para } x > 0, \beta > 0$$

Este tipo de función es muy utilizada en el análisis de colas, ya que denota el tiempo en que ocurre el primer suceso. En el análisis de riesgos es de utilidad para evaluar el posible tiempo que transcurre para que se materialice un evento de riesgo de cualquier tipo en un proyecto. Otro posible ejemplo podría asociarse al tiempo de respuesta por parte del constructor de un proyecto en dar respuesta ante cualquier evento de riesgo.

Distribución normal

También conocida como distribución gaussiana, es considerada una de las distribuciones más importantes por la cantidad de fenómenos que explica. Algunas de sus características más relevantes son las siguientes: 1) su grafica se asemeja a una campana y presenta un único pico; 2) la media, mediana y moda coinciden con su pico y son el mismo valor; 3) su pico es su eje simétrico; 4) es asintótica con respecto al eje X ; y 5) sus parámetros son la media μ y la desviación estándar σ (Johnson, 1997).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty, \quad -\infty < \mu < \infty, \quad \sigma > 0$$

Un ejemplo claro de la distribución normal son algunas variables meteorológicas, tales como la temperatura y las precipitaciones o lluvias; el comportamiento de estas variables siguen, por lo general, una distribución de este tipo. Es importante la utilización de esta distribución para la evaluación de riesgos relacionados con el clima en cualquier tipo de proyectos, especialmente en los hidroeléctricos, donde su análisis puede ser determinante para su ejecución. Otro ejemplo claro de esta distribución son los precios de la energía.

Distribución Weibull

La distribución Weibull surge del estudio de confiabilidad, que se relaciona con la evaluación acerca de si un sistema funciona correctamente bajo las condiciones para las cuales fue diseñado o no. Se pretende describir el comportamiento de la variable aleatoria X , el tiempo necesario para la falla de un sistema que es irreparable una vez deja de funcionar. α corresponde a un parámetro de escala y β de forma (Johnson, 1997).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \alpha\beta x^{(\beta-1)} e^{-\alpha x^\beta}, \quad \alpha > 0, \quad x > 0, \quad \beta > 0$$

Esta distribución es comúnmente usada en el análisis de riesgos de falla de algún sistema en un proyecto determinado, por ejemplo, el tiempo en que ocurre la falla de una subestación eléctrica en un proyecto hidroeléctrico. Con base en lo anterior es también posible usarla para programas de mantenimiento de equipo, para la evaluación de costo por mantenimiento, etc.

Distribución triangular

Como su nombre lo indica, tiene la forma de un triángulo y presenta un valor mínimo o pesimista, un valor máximo u optimista y una moda o valor más probable. Por lo general es usada para describir una población o una muestra que cuenta con pocos datos (Johnson, 1997).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x/a, b, c) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{para } a \leq x < c \\ \frac{2}{(b-a)} & \text{para } x = c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{para } c < x \leq b \end{cases}$$

Uno de los casos donde puede usarse es en la evaluación proyectos hidroeléctricos, en el estudio climático para la evaluación de riesgos.

Cuando se tienen datos de temperatura máxima, mínima y la promedio, es posible usar esta distribución para modelar las temperaturas en el área de influencia e implementar medidas de contingencia.

Distribución beta general

Especifica una distribución beta con valor mínimo y máximo definidos y parámetros de forma α_1 y α_2 . Esta distribución es derivada de la distribución beta al escalar el rango 0, 1 de la distribución beta usando el mínimo y el máximo para delimitar el rango. Por lo general se usa para modelar fracciones o proporciones (Palisade Corporation, 2015).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha_1 - 1}(\max - x)^{\alpha_2 - 1}}{B(\alpha_1, \alpha_2)(\max - \min)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}}$$

Un ejemplo para el uso de esta distribución puede ser el siguiente: los costos ambientales totales de un proyecto hidroeléctrico por lo general están entre el 2.5 y el 3 % de los costos totales; si se asume que esta proporción sigue una distribución beta, podría ser útil para el análisis de probabilidades de que los costos ambientales superen X % de los costos totales del proyecto.

Distribución Pert

Esta distribución es muy similar a la distribución triangular, por lo que también posee los mismos tres parámetros: el valor máximo, el mínimo y el más probable. Desde el aspecto técnico es un caso especial de la distribución beta escalada o general. Corresponde a una de las distribuciones más prácticas y sencillas de manejar. Es considerada superior a la distribución triangular cuando los parámetros resultan en una distribución sesgada, ya que su forma suavizada pone menos énfasis en la dirección del sesgo. Así como en la distribución triangular, la Pert está acotada en los dos extremos o colas; por este motivo podría no ser ideal para crear modelos en donde la intención sea capturar los valores extremos o colas (Palisade Corporation, 2015).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \frac{(x - \min)^{\alpha_1 - 1}(\max - x)^{\alpha_2 - 1}}{\beta(\alpha_1, \alpha_1)(\max - \min)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}}$$

En esta distribución de probabilidad se enfatiza más en el valor probable que en los valores extremos y puede usarse para la evaluación de precios de productos, costos de fabricación, análisis de volúmenes de ventas de energía o de cualquier producto, en precios de materia prima, etc.

Distribución lognormal

Esta distribución ocurre en la práctica siempre que exista una variable aleatoria en la que su logaritmo corresponde a una distribución normal. Es positivamente sesgada, es decir, tiene una cola derecha extendida o prolongada (Johnson, 1997). Se utiliza para valores que nunca son inferiores a cero, pero tiene un potencial positivo ilimitado.

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} x^{-1} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} & \text{para } x > 0, \beta > 0 \\ 0 & \text{en otra parte} \end{cases}$$

Esta distribución es usualmente utilizada como una representación del valor futuro de un activo en cualquier tipo de proyecto, donde su valor en porcentaje cambia de una forma aleatoria e independiente. En proyectos petrolíferos es común también que se use para modelar reservas una vez se realizan los estudios geológicos cuyos resultados sean inciertos. Otro de los casos donde se puede aplicar esta distribución es en el análisis de riesgos que involucran acciones, para modelar su comportamiento.

Distribución de valores extremos o de Gumbel

Presenta dos parámetros: uno de localización α y uno de escala β . Por lo general es utilizada para modelar valores extremos o mínimos (Palisade Corporation, 2015).

La función que la describe es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{1}{e^{z+e^{-z}}} \right)$$

$$z = \frac{x - \alpha}{\beta}$$

Esta distribución presenta gran utilidad para el análisis de riesgos de inundaciones, terremotos, etc., especialmente en proyectos relacionados con el tema hidrológico, como por ejemplo los hidroeléctricos. En este caso, para el análisis de los valores máximos que podrían alcanzar los niveles de un río durante un tiempo determinado.

9.2 Bondad de ajuste

Se habla de *prueba de bondad de ajuste* cuando se intenta comparar una distribución de frecuencias observadas con los correspondientes valores de una distribución esperada o teórica. Los indicadores estadísticos para la evaluación de bondad de ajuste más comunes y usados son: Chi cuadrado, Kolmogorov Smirnov (k-s), Anderson Darling (A-D, versión sofisticada K-S) y el Akaike (AIC). El indicador Chi cuadrado es el menos potente de todos y es usado para distribuciones continuas y discretas; presenta desventaja en cuanto a que no existen guías claras para seleccionar los intervalos o segmentos. El Kolmogorov Smirnov (A-D) es usado en distribuciones continuas y no es tan sensible para revelar diferencias en las colas; por lo general, es más eficiente que el indicador Chi cuadrado para el análisis de muestras pequeñas. El Anderson Darling es considerado una versión mejorada del Kolmogorov Smirnov, pues pone más atención a las colas (Johnson, 1997).

Generalmente los valores K-S y A-D son de uso limitado para ajustar valores críticos cuando hay menos de 30 datos observados; sin embargo, esto se puede corregir usando el K-D y el A-D modificados.

El estadístico AIC se calcula con la función log-probabilidad y considera el número de parámetros libres para la distribución ajustada, es decir, en el caso hipotético de tener una distribución normal y una beta general, que son consideradas ambas un buen ajuste para una muestra de datos, es preferible el uso de la distribución normal, ya que solo cuenta con dos parámetros ajustables, mientras que la beta general cuenta con cuatro. Al igual que el Chi cuadrado, el AIC, puede usarse tanto para datos continuos como independientes (Palisade Corporation, 2015).

Es importante tener en cuenta que mientras más pequeño sea el valor del indicador respectivo será mejor el ajuste entre los datos observados y los teóricos, y que pueden existir diversas distribuciones que se ajusten a una misma serie de datos.

Como fue mencionado, @RISK es una herramienta que permite la evaluación financiera de proyectos con análisis de riesgo, utiliza simulación Montecarlo para mostrar posibles escenarios en una hoja de Excel y, adicionalmente, muestra qué tan factibles o tan probables son cada uno de los escenarios. Esta herramienta permite, además, realizar pruebas de bondad de ajuste mediante la opción ajuste de distribución. En esta opción se ingresa el nombre que se le dará a la serie de datos, el rango de la serie y si la información corresponde a datos continuos o discretos. Al presionar el botón “ajustar” se pueden visualizar de manera gráfica el histograma de frecuencias y la función que se ajustó mejor a los datos observados; adicionalmente, se puede apreciar una jerarquización de ajuste, es decir, se pueden observar las funciones que más se ajustan a la serie, ordenándolas de menor a mejor ajuste a partir de estadísticos Chi cuadrado, Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling (Gómez Salazar, Mora Cuartas Uribe Marín, 2015).

9.3 Métodos de imputación

La palabra “imputación” hace referencia a la sustitución de observaciones, ya sea porque no se cuenta con información (valores perdidos) o porque dentro de la muestra que se tiene existen valores que no hacen referencia al comportamiento esperado. Para estos casos, en la mayoría de las veces se repone la información aplicando algún método de imputación y de sustitución de datos. A continuación se presentan los métodos de imputación más conocidos (Medina y Galván, 2007).

Imputación por el método de las medias no condicionadas

Por lo general se asume que los datos faltantes presentan un patrón MCAR (*missing completely at random*), y se trata de sustituir los faltantes utilizando promedios. La aplicación del método afecta la distribución de probabilidad de la variable imputada, disminuye la correlación con el resto de variables y subestima la varianza. En este método se podría decir que el valor medio se conserva, pero estadísticos como varianza, kurtosis, covarianza, etc., se ven alterados (Medina y Galván, 2007).

Es una metodología muy usada, ya que existe la falsa creencia de que en una distribución normal la media de los datos representa una buena estimación de las observaciones faltantes (Medina y Galván, 2007).

Imputación por medias condicionadas para datos agrupados

Este método es una variante del anterior y pretende conformar categorías con base en covariables correlacionadas con la variable en análisis y posteriormente imputar los datos perdidos o faltantes con observaciones provenientes de submuestras que presentan características similares. Para esta metodología, igualmente se asume que el patrón de datos es MCAR. Es importante tener en cuenta que existirán tantos promedios como categorías se formen, lo cual contribuye a disminuir los sesgos en cada celda, pero no los elimina (Medina y Galván, 2007).

Imputación Hot Deck

Esta metodología tiene como objetivo completar los registros faltantes (receptores) con información completa (donantes); la información faltante se reemplaza a partir de una selección aleatoria de los datos observados, que no ingresan sesgos a la varianza. El propósito de este método es mantener la distribución de probabilidad de las variables con datos incompletos. Se identifican las características similares de los donantes y receptores y se decide qué valores se emplearán para reemplazar los datos omitidos (Medina y Galván, 2007).

Imputación por regresión

Si los datos faltantes siguen un patrón MCAR, es posible utilizar modelos de regresión para imputar información en la variable Y , con base de covariables (X_1, X_2, \dots, X_p) correlacionadas. Esta metodología se basa en eliminar las observaciones con información incompleta y calcular la ecuación de la regresión para estimar los valores de Y , que permitirá reemplazar los valores faltantes, de modo que el valor de Y se construye como una media condicionada de las covariables X . No se considera apropiado cuando el análisis secundario de información involucra técnicas de análisis de datos o de correlaciones, ya que sobrestima la relación entre variables (Medina y Galván, 2007).

Imputación por máxima verosimilitud

Esta metodología tiene como objeto realizar estimaciones máximo verosímiles de los parámetros de una distribución cuando existe información faltante. Se asume que la información faltante sigue un patrón MAR (*missing at random*) y que la distribución marginal de la información observada está relacionada con una función de verosimilitud para un parámetro desconocido, siempre que el modelo sea indicado para todo el conjunto de datos (Medina y Galván, 2007).

Imputación múltiple

Esta metodología se basa en métodos de Montecarlo y reemplaza la información faltante a partir de un número ($m > 1$) de simulaciones. Consta de varias etapas, y en cada simulación se estudia la matriz de datos completos con base en métodos estadísticos convencionales, para después combinar los resultados y generar estimadores robustos, el error estándar y los intervalos de confianza (Medina y Galván, 2007).

Modelo de ajuste a muestras pequeñas con valores extremos positivos

Ajusta los dos valores extremos de una muestra de datos univariados positivos, asunto que aún no se ha resuelto desde la teoría de la curva normal. Usa tres datos positivos que se consideran representativos: la media, el valor mínimo y el máximo. Este modelo maneja la media como una constante matemática. No usa parámetro de dispersión, no remite a tablas de fin de texto, posee función inversa y separa magnitud de distribución teórica adimensional. Este método parte de la curva de Lorenz (CL), de una muestra univariada K ordenada de mayor a menor; usa la media de los datos como una constante, más los dos valores extremos. Entrega una función $K(P)$, que posee una función inversa $P(K)$ (Chaves Márquez, 2007).

De una manera muy simple, permite calcular la ecuación que representa la muestra de datos y, por ende, estimar los valores perdidos o datos faltantes. A continuación se describe el paso a paso del método.

1) Estimación de parámetros a , b y e , donde:

$$a = \frac{K_{\max}}{u} - 1, \text{ donde } K_{\max} \text{ es el valor máximo de la muestra y } u \text{ la media}$$

$$b = 1 - \frac{K_{\min}}{u}, \text{ donde } K_{\min} \text{ es el valor mínimo de la muestra y } u \text{ la media}$$

$$e = \frac{b}{a}$$

2) La curva de Lorenz esta denotada así:

$$L(P) = (a + 1)P - aP^{(e+1)}$$

3) La función $K(P)$ está denotada así:

$$\frac{dL}{dP} = (a + 1) - a(e + 1)P^e$$

4) Donde $K(P)$ real es denotada así:

$$K(P) = u[(a + 1) - (a + b)P^e]$$

9.4 Costos de implementación de medidas de manejo para controlar los riesgos seleccionados en los diferentes proyectos revisados anteriormente

En este apartado se pretende recoger toda información asociada con los costos de implementar cada una de estas medidas estudiadas, para controlar los riesgos ambientales

del proyecto Santo Domingo. Hay que tener en cuenta que, como cada uno de los proyectos estudiados obedece a diferentes órdenes de magnitud, asimismo tanto los costos totales como los ambientales variarán según su tamaño. Como lo que se quiere en esta investigación es identificar los costos probables de implementar las medidas ya mencionadas en el proyecto Santo Domingo, basados en los costos de implementación de las mismas medidas en los diferentes proyectos revisados anteriormente, resulta determinante normalizar o estandarizar los costos de todos los proyectos para así tener información comparable y útil.

Teniendo en cuenta lo anterior, los costos de implementación de las medidas que controlan cada riesgo se presentarán como un porcentaje de los costos totales de manejo ambiental de cada uno de los proyectos. En la Tabla 12 se pueden observar los costos totales de manejo ambiental de cada uno de los proyectos estudiados. Para el caso de Santo Domingo se estima, según los expertos, que los costos totales de manejo ambiental pueden llegar a costar aproximadamente \$ 14 millones; los demás valores son los costos reales de los programas de manejo ambiental implementados en cada uno de los proyectos durante la fase de construcción. Se consideró importante incluir los proyectos Porce IV y Cañafisto dentro del análisis, ya que hacen parte de los proyectos críticos que han tenido que ser suspendidos por la materialización de riesgos ambientales. Aunque es poco probable que esto suceda para el caso del proyecto en estudio, por su orden de magnitud hay que considerar su poca probabilidad de ocurrencia.

Tabla 12. Costos totales de manejo ambiental

Proyectos	Costos totales de manejo ambiental [\$]
Santo Domingo (estimación)	14.000.000.000
San Miguel	4.184.478.667
San Matías	3.068.986.485
El Molino	4.502.574.330
San Bartolomé	1.165.428.000
El Buey	17.951.743.023
Cañafisto	631.811.000.000
Porce IV	42.334.467.475

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Es importante tener en cuenta que para este análisis se agruparán todos los costos de las medidas que controlan cada riesgo en cada proyecto analizado con el fin de trabajar con datos reales, ya que difícilmente en un proyecto se implementa una sola medida de manejo. Por lo general, las medidas para controles de riesgos en este tipo de proyectos vienen acompañadas de varios programas en conjunto.

Como se mencionó, el riesgo 9 es el resultado del agrupamiento de varios riesgos con condiciones similares; cabe aclarar que los costos presentados en la Tabla 16 hacen

referencia a un promedio de los costos asociados al control de cada uno de manera individual.

En la Tablas 14 a 17, continuación, se presentan los costos individuales de implementación de cada medida en cada proyecto y los porcentajes totales de costos de grupos de medidas para el control de cada riesgo (datos muestrales para pruebas de bondad de ajuste).

Tabla 13. Costos medidas para control de los riesgos 2, 6 y 23 durante la fase de construcción

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
Santo Domingo	Programa de información y participación comunitaria (estimación)	457.000.000	4.66
	Programa de educación y capacitación (estimación)	190.800.000	
San Miguel	Programa de información y participación comunitaria	93.393.000	8.74
	Programa de memoria y patrimonio	90.666.667	
	Programa de educación comunitaria	181.687.500	
San Matías	Programa de información y participación comunitaria	60.760.000	6.43
	Programa de educación ambiental a la comunidad	57.260.000	
	Programa de restablecimiento de las condiciones económicas	42.000.000	
	Programa de memoria y patrimonio cultural	37.200.000	
El Molino	Programa de información y participación comunitaria	61.070.000	4.44
	Educación ambiental a la comunidad	59.520.000	
	Programa de restablecimiento de las condiciones económicas	42.000.000	
	Programa de memoria y patrimonio cultural	37.200.000	
San Bartolomé	Programa de información y participación comunitaria	206.560.000	27.12
	Programa de fortalecimiento a la participación comunitaria	37.420.000	
	Programa de apoyo a la educación ambiental en las escuelas veredales	72.070.000	
El Buey	Programa de información y participación ciudadana	395.069.500	3.06
	Programa de vinculación de mano de obra temporal	—	
	Programa de manejo de actividades minera, pesquera y turística desde la captación sobre el río Buey hasta la quebrada Sabaletas	153.545.000	
Cañafisto	Programa de información y participación comunitaria	50.664.573.770	11.10

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
	Programa de restablecimiento integral de condiciones de vida	10.219.315.520	
	Programa de empleo para la región	9.265.297.280	
Porce IV	Programa de comunicación y participación comunitaria	3.636.647.500	50.52
	Programa de restablecimiento de las condiciones de vida de la población desplazada por el proyecto	17.748.709.877	
	Programa de generación de empleo temporal	–	
Experto EPM (Adolfo Grecco)	Proyecto de información y comunicación	3 %	10.73
	Proyecto de generación de empleo	1 %	
	Proyecto de educación ambiental	2 %	
	Proyecto de restablecimiento de la base económica de la población	5 %	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Tabla 14. Costos medidas para control del riesgo 21 durante la fase de construcción

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
Santo domingo	Programa de manejo a la presión migratoria (estimación)	94.908.000	0.68
San Miguel	Programa de reubicación de viviendas	37.400.000	0.89
San Matías	Programa de reubicación de infraestructura y viviendas	101.003.000	3.29
El Molino	Programa de reubicación de infraestructura y viviendas	203.009.000	4.51
San Bartolomé	Programa de negociación de predios	36.260.000	6.22
	Programa de adquisición de servidumbres y compensación de infraestructura social afectada	36.260.000	
El Buey	Programa de reasentamiento de población	3.476.400.000	21.05
	Programa de fortalecimiento institucional	302.137.000	
Cañafisto	Programa de atención a flujos migratorios y presión poblacional	6.458.963.140	1.02
Porce IV	Proyecto de seguimiento y manejo a la presión migratoria	8.500.000.000	20.08
Experto EPM (Adolfo Grecco)	Proyecto de seguimiento y manejo a la presión migratoria	–	18.26

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Tabla 15. Costos medidas para control de riesgo 16 durante la fase de construcción

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
Santo Domingo	Programa de rescate y ahuyentamiento de fauna (estimación)	97.683.040	14.31
	Programa de compensación por afectación de biodiversidad (estimación)	1.799.225.000	
	Programa de manejo de aprovechamiento forestal (estimación)	94.413.064	
San Miguel	Programa de rescate de flora	45.600.000	18.91
	Programa de aprovechamiento forestal	34.592.000	
	Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal	711.200.000	
San Matías	Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote	10.810.000	16.85
	Programa de rescate de flora	71.223.085	
	Programa de compensación por afectación a coberturas boscosas – Conformación de corredor biológico	435.201.400	
El Molino	Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote	12.995.000	21.38
	Programa de rescate de flora	77.088.430	
	Programa de compensación por afectación a coberturas boscosas – Conformación de corredor biológico	456.201.400	
	Programa de estudio de fauna vertebrada terrestre	323.450.000	
	Proyecto de investigación: Estrategia de manejo ecosistemas acuáticos	92.775.000	
San Bartolomé	Programa de manejo del recurso hídrico	11.550.000	4.80
	Programa de manejo de aprovechamiento forestal	5.427.500	
	Programa de compensación para el medio biótico	13.420.090	
	Programa de manejo y protección de fauna silvestre	25.500.000	
El Buey	Programa de manejo de cobertura vegetal y ecosistemas terrestres	664.555.200	8
	Programa de manejo para fauna silvestre presente en zonas boscosas	713.579.400	
	Programa de manejo de comunidades acuáticas	121.613.600	
	Programa de manejo de la calidad del agua	–	
Cañafisto	Programa de manejo de la degradación aguas abajo de la presa	1.139.101.800	28
	Programa de compensación por pérdida de biodiversidad	153.651.419.500	
	Subprograma de manejo de ecosistemas acuáticos	12.691.685.000	

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
	Subprograma de manejo de ecosistemas terrestres	11.353.573.000	
Porce IV	Programa de manejo de fauna silvestre	208.615.633	15
	Programa de manejo de cobertura vegetal y hábitats terrestres	6.048.789.950	
	Programa de rescate contingente de peces	13.372.200	
Experto EPM (Adolfo Grecco)	Proyecto de manejo de nuevos hábitats acuáticos	1.37 %	12
	Proyecto de manejo de la fauna terrestre	1.15 %	
	Proyecto de manejo de la vegetación y el suelo	8.23 %	
	Proyecto de manejo de la fauna acuática	1.60 %	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Tabla 16. Costos medidas para control de riesgo 9 durante la fase de construcción

Proyecto	Programa	Costos control de riesgos [\$] (etapa construcción)	Costos totales de manejo ambiental [%]
Santo Domingo	Manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables (estimación)	470.000.000	3.38
San Miguel	Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal	711.200.000	17.00
San Matías	Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote	10.810.000	0.35
El Molino	Programa de manejo de cobertura vegetal y descapote	12.995.000	0.29
San Bartolomé	Programa de conservación y restauración de la estabilidad geotécnica	12.450.000	2.90
	Programa de manejo de taludes	12.450.000	
	Programa de manejo de remoción de cobertura vegetal y descapote	8.927.500	
El Buey	Programa de manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables	89.726.500	0.50
Cañafísto	Programa de manejo de zonas inestables	21.000.000.000	3.32
Porce IV	Programa de manejo de inestabilidad y erosión en taludes de cortes y llenos en vías	39.773.750	0.09
Experto EPM (Adolfo Grecco)	Proyecto de manejo de la inestabilidad y la erosión	3.37 %	3.37

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Como se mencionó anteriormente, se analizaran cuatro muestras de datos que hacen referencia a los costos de implementación de cada medida para el control de cada riesgo seleccionado. Para la realización de las pruebas de bondad de ajuste se recomienda, según

las teorías de ajuste, contar al menos con una muestra de 30 datos; como la información observada no alcanza este tamaño muestral, se pretende completar la información fundamentándose en teorías de imputación de datos explicadas en secciones anteriores.

La metodología seleccionada para la imputación de datos fue la propuesta por (Chaves Márquez, 2007) para el análisis de modelos de ajuste para muestras pequeñas con valores extremos positivos. Se consideró apta para esta investigación por la facilidad en su aplicación y por el éxito que ha tenido en diferentes estudios.

A continuación se presentarán cada uno de los parámetros descritos en la explicación del método para cada riesgo analizado y se calculará la ecuación que describe la información observada.

R2, R6 y R23. Los parámetros para la formulación de la ecuación se presentan en la Tabla 18.

Tabla 17. Parámetros ecuación riesgos 2, 6 y 23

Valor máximo	50.52 %
Valor mínimo	3.06 %
Valor Medio	14.09 %
Parámetro a	2.585951
Parámetro b	0.783059
Parámetro e	0.302813

Fuente: elaboración del autor, 2017.

La ecuación que describe la información observada es la siguiente:

$$K(P) = 14,09 * [(2,5859 + 1) - (2,5859 + 0,7830)P^{0,3}]$$

donde el valor de P varía entre 0 y 1 para los valores máximo y mínimo de la muestra, respectivamente. De esta manera se calculan los demás datos.

En la Tabla 18 se presenta la muestra que describe los costos asociados a los riesgos 2, 6 y 23, a la cual se le hará la prueba de bondad de ajuste en la sección siguiente.

Tabla 18. Muestra de datos riesgos 2, 6 y 23 [%]

50.52	17.56	9.86	4.55
34.10	16.59	9.25	4.09
30.27	15.68	8.67	3.64
27.62	14.83	8.10	3.20
25.54	14.02	7.55	3.06
23.80	13.25	7.02	
22.28	12.51	6.50	
20.93	11.81	5.99	
19.71	11.13	5.50	

18.59	10.48	5.02	
-------	-------	------	--

Fuente: elaboración del autor, 2017.

R21. Los parámetros para la formulación de la ecuación se presentan en la Tabla 20.

Tabla 19. Parámetros ecuación riesgo 21

Valor máximo	21.05 %
Valor mínimo	0.68 %
Valor Medio	8.45 %
Parámetro a	1.492328
Parámetro b	0.919230
Parámetro e	0.615970

Fuente: elaboración del autor, 2017.

La ecuación que describe la información observada es la siguiente:

$$K(P) = 8,45 * [(1,4923 + 1) - (1,4923 + 0,91923)P^{0,6}]$$

donde el valor de P varía entre 0 y 1 para los valores máximo y mínimo de la muestra respectivamente. De esta manera se calculan los demás datos.

En la Tabla 20 se presenta la muestra que describe los costos asociados al riesgo 21, a la cual se le hará la prueba de bondad de ajuste en la siguiente sección.

Tabla 20. Muestra de datos riesgo 21 [%]

21.05	11.35	6.18	1.96
18.70	10.76	5.73	1.57
17.45	10.19	5.28	1.19
16.43	9.65	4.84	0.81
15.53	9.11	4.41	0.68
14.72	8.59	3.99	
13.97	8.09	3.57	
13.26	7.60	3.16	
12.59	7.11	2.76	
11.96	6.64	2.36	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

R16. Los parámetros para la formulación de la ecuación se presentan en la Tabla 22.

Tabla 21. Parámetros ecuación riesgo 16

Valor máximo	28.31 %
Valor mínimo	4.80 %
Valor Medio	15.56 %
Parámetro a	0.818800

Parámetro b	0.691805
Parámetro e	0.844901

Fuente: elaboración del autor, 2017.

La ecuación que describe la información observada es la siguiente:

$$K(P) = 15,56 * [(0,8188 + 1) - (0,8188 + 0,6918)P^{0,8}]$$

donde el valor de P varía entre 0 y 1 para los valores máximo y mínimo de la muestra respectivamente. De esta manera de calculan los demás datos.

En la Tabla 22 se presenta la muestra que describe los costos asociados al riesgo 16, a la cual se le hará la prueba de bondad de ajuste en la siguiente sección.

Tabla 22. Muestra de datos riesgo 16 [%]

28.31	19.80	13.04	6.80
27.09	19.09	12.39	6.19
26.12	18.39	11.76	5.59
25.23	17.70	11.12	5.00
24.39	17.01	10.49	4.80
23.57	16.33	9.87	
22.78	15.66	9.25	
22.02	15.00	8.63	
21.27	14.34	8.02	
20.53	13.68	7.41	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

R9. Los parámetros para la formulación de la ecuación se presentan en la Tabla 24.

Tabla 23. Parámetros ecuación riesgo 9

Valor máximo	17.00 %
Valor mínimo	0.09 %
Valor Medio	3.47 %
Parámetro a	3.901931
Parámetro b	0.972903
Parámetro e	0.249339

Fuente: elaboración del autor, 2017.

La ecuación que describe la información observada es la siguiente:

$$K(P) = 3,47 * [(3,9019 + 1) - (3,9019 + 0,9729)P^{0,2}]$$

donde el valor de P varía entre 0 y 1 para los valores máximo y mínimo de la muestra respectivamente. De esta manera de calculan los demás datos.

En la Tabla 24 se presenta la muestra que describe los costos asociados al riesgo 9, a la cual se le hará la prueba de bondad de ajuste en la siguiente sección.

Tabla 24. Muestra de datos riesgo 9 [%]

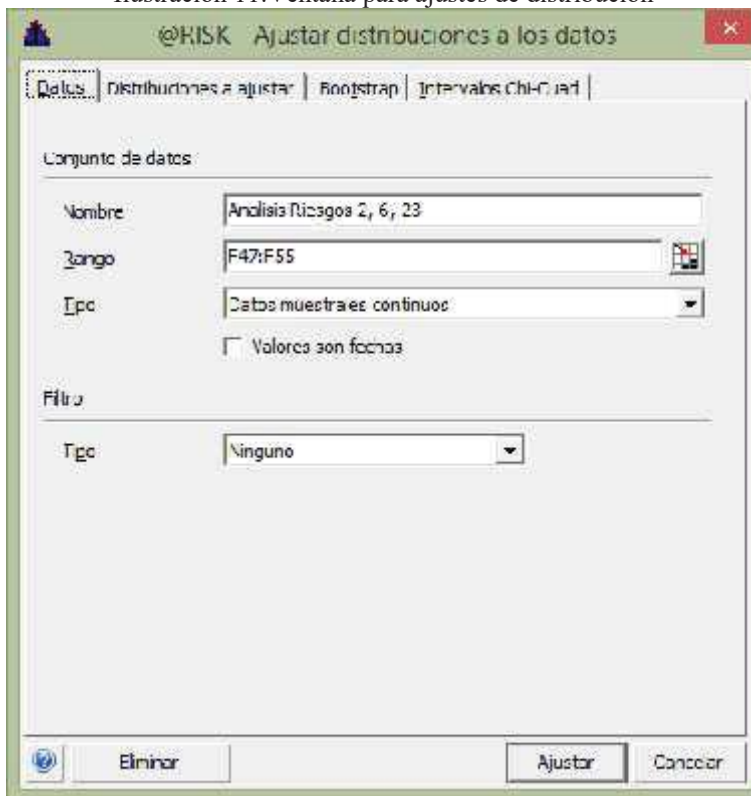
17.00	4.48	2.12	0.53
9.95	4.18	1.93	0.40
8.62	3.89	1.76	0.27
7.72	3.63	1.59	0.14
7.03	3.38	1.42	0.09
6.46	3.15	1.26	
5.97	2.92	1.11	
5.54	2.71	0.96	
5.15	2.50	0.81	
4.80	2.30	0.67	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

9.5 Resultados de las pruebas de bondad de ajuste

La herramienta @RISK permite la realización de pruebas de bondad de ajuste mediante la opción “Ajuste de distribución”. Dentro de esta opción se despliega un cuadro de diálogo, que se muestra en la Ilustración 11, a continuación, que permite nombrar la serie de datos que se pretende analizar y seleccionar el rango de la muestra y el tipo de datos, ya sean discretos o continuos. En este caso, para cada una de las pruebas se escogió la opción de “Datos continuos”, ya que los costos asociados a cada medida para controlar dichos riesgos en el proyecto Santo Domingo pueden tomar cualquier valor dentro de este rango de datos establecido. El estadístico que se utilizó para el ajuste de cada muestra fue seleccionado con base en un criterio visual y en el análisis de las desviaciones de cada distribución (Chi cuadrado, Kolmogorov Smirnov (k-s), Anderson Darling (versión sofisticada K-S) y el Akaike (AIC)).

Ilustración 11. Ventana para ajustes de distribución

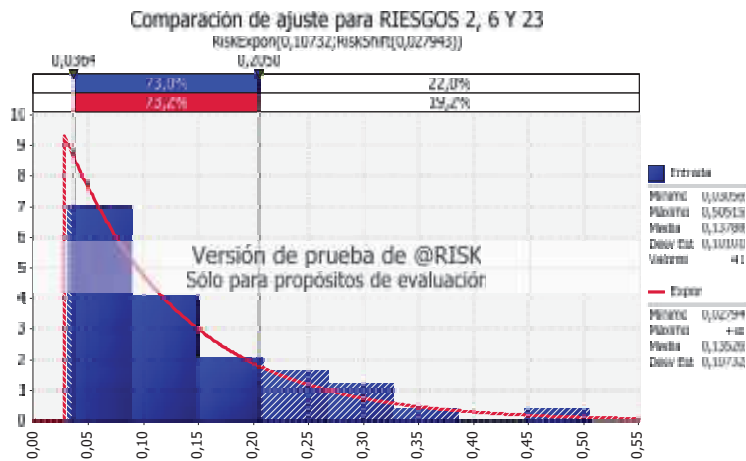


Fuente: @RISK.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de bondad de ajuste de cada una de las series de datos expuestas en el numeral anterior; adicionalmente se realiza un análisis de las gráficas y se expone un ejemplo de cómo se digita la distribución en Excel, con sus respectivos parámetros, para el análisis financiero probabilístico que se propone en el Objetivo general de esta investigación (v. el Anexo 2).

R2, R6 y R23. Grafica ajuste serie de datos a distribución, tal como se muestra en la Ilustración 12 a continuación.

Ilustración 12. Ajuste serie de datos análisis riesgos 2, 6 y 23



Fuente: @RISK.

Análisis de resultados

Como se puede observar en la gráfica, los costos de las medidas asociadas al control de los riesgos 2, 6 y 23 siguen una distribución exponencial. Según los resultados, existe 73 % de probabilidad de que estos costos estén entre el 3.6 y el 20 % de los costos ambientales totales de un proyecto hidroeléctrico; podría decirse que en condiciones normales no excederían estos porcentajes. Por otro lado, se concluye que existe 19 % de probabilidades de que los costos sean superiores al 20 %, incluso alcanzando valores del 50 %, como es el caso del proyecto Porce IV que, por la magnitud de sus riesgos socioambientales materializados, se incrementaron de una manera tal que obligaron a suspender temporalmente el proyecto. Lo mismo ocurrió con el proyecto Cañafisto: la magnitud de las afectaciones a las comunidades, entre otras razones, obligó a la autoridad ambiental a negarles la licencia ambiental. Adicionalmente, se puede concluir que lo más probable es que estos costos estén por el lado del 13 %, y que no serán menores del 3 % de los costos totales.

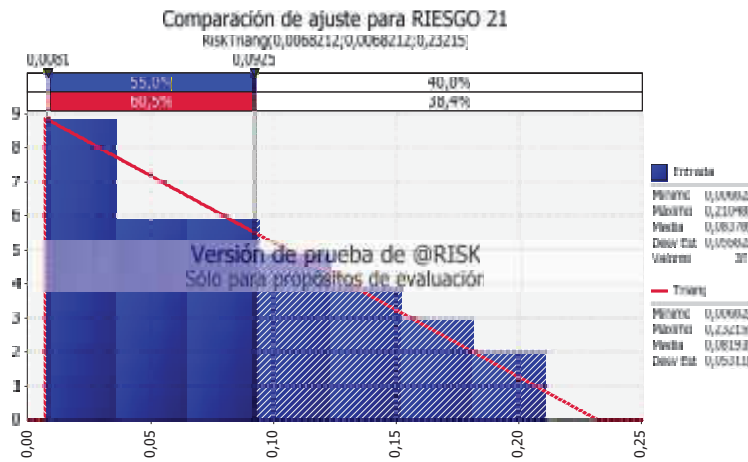
En la construcción del flujo de caja, para la realización del análisis financiero probabilístico, los costos asociados al manejo de este riesgo deberán ingresarse como una función exponencial de la siguiente manera:

$$Riskexpon(0,10732),$$

donde 0,10732 es el parámetro β

R21. Grafica ajuste serie de datos a distribución, tal como se muestra en la Ilustración 13 a continuación.

Ilustración 13. Ajuste serie de datos análisis riesgos 21



Fuente: @RISK.

Análisis de resultados

Como se puede observar en la gráfica, los costos de las medidas asociadas al control del riesgo 21 siguen una distribución triangular. Existe el 60 % de probabilidades de que los costos para el control de dicho riesgo estén entre el 0.8 y el 9 % de los costos ambientales totales. Por lo general, estos costos están por el orden del 8 %; sin embargo, existe el 38 % de probabilidades de que sean superiores al 9 %, incluso alcanzando una cifra del 20 %. El proyecto Porce IV superó esta cifra. De los censos realizados en 2006, en la fase preliminar del proyecto se encontró que existían aproximadamente 2.800 habitantes en la zona de influencia del embalse; para 2009, inicio de fase diseños, ya habían más 8.500 personas en la zona. Esto evidencia la materialización de un riesgo que hizo inviable financieramente el proyecto, aun contando con la licencia ambiental. Los riesgos 2, 6 y 23, evaluados anteriormente, y el 21 hacen parte de los riesgos del aspecto social más críticos de un proyecto de esta índole; sin embargo, es importante tener presente que los costos para el control de los riesgos 2, 6 y 23, en conjunto, pueden llegar a ser el 50 % de los costos ambientales totales, mientras que, únicamente para el riesgo 21, pueden llegar a estar por los lados del 21 %. Esto demuestra que es un riesgo decisivo que hay que analizar y controlar desde las fases tempranas de un proyecto.

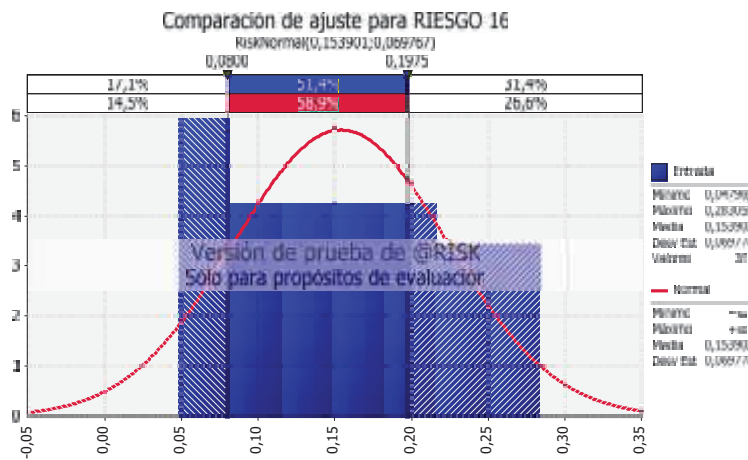
En la construcción del flujo de caja, para la realización del análisis financiero probabilístico, los costos asociados al manejo de este riesgo deberán ingresarse como una función beta general de la siguiente manera:

$$\text{RiskTriang}(0,0068212; 0,0068212; 0,23215),$$

donde 0,0068212 es el valor mínimo
 0,0068212 es el valor más probable
 0,23215 es el valor máximo

R16. Grafica ajuste serie de datos a distribución, tal como se muestra en la Ilustración 14.

Ilustración 14. Ajuste serie de datos análisis riesgo 16



Fuente: @RISK.

Análisis de resultados

Los costos asociados a las medidas para el control del riesgo 16 siguen una distribución normal. Como se puede observar en la gráfica, existe 60 % de probabilidad de que los costos estén entre el 8 y 19 % de los costos totales ambientales, con un valor más probable del 15 %. Por lo general, es un riesgo que en la mayoría de los casos se materializa, ya que es inevitable la afectación a los ecosistemas terrestres y acuáticos y, por lo general, no se logran compensar todos sus impactos. El grado de afectación de cada proyecto hidroeléctrico dependerá, en su mayoría de veces, del tipo y magnitud del proyecto, es decir, si es a filo de agua o si es con embalse. Por lo general, los proyectos a gran escala, que requieren necesariamente de la formación de un embalse, generan más impactos sobre la fauna y la flora y casi siempre generan sobrecostos en los proyectos. El proyecto Cañafisto, por ejemplo, que requería la construcción de un gran embalse, es uno de los proyectos con los costos más elevados para el control de dicho riesgo.

En la construcción del flujo de caja, para la realización del análisis financiero probabilístico, los costos asociados al manejo de este riesgo deberán ingresarse como una función normal de la siguiente manera:

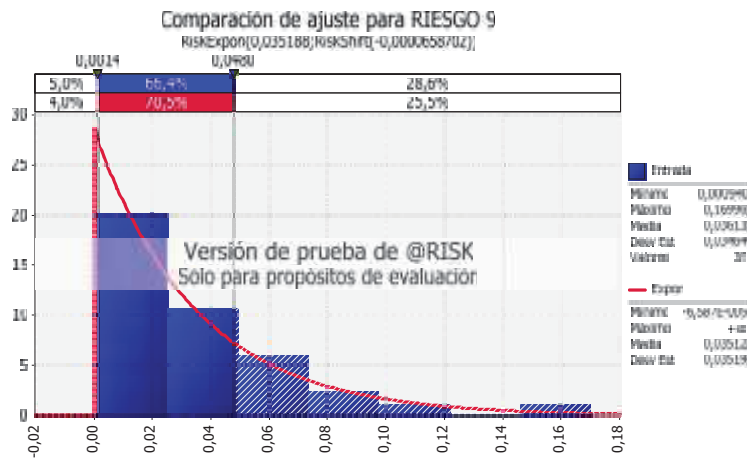
$$RiskNormal(0,1539; 0,06976)$$

donde 0,1539 es la media

0,06976 es la desviación estándar

R9. Grafica ajuste serie de datos a distribución, tal como se muestra en la Ilustración 15 a continuación.

Ilustración 15. Ajuste serie de datos análisis riesgo 9



Fuente: @RISK.

Análisis de resultados

Los costos asociados al control de este riesgo siguen una distribución exponencial. Se puede observar en la gráfica que son los más bajos en comparación con los demás riesgos analizados. Existe una probabilidad del 71 % que los costos estén entre el 0.1 y el 5 % de los costos ambientales totales del proyecto. Por otro lado, existe 25 % de probabilidad de que sean superiores al 5 %, logrando cifras del 18 %. Esto, probablemente, ocurre en proyectos ubicados zonas que presentan condiciones geotécnicas débiles y altamente inestables. Para estos casos deben implementarse medidas más rigurosas; estas condiciones se presentaron en el proyecto San Miguel, analizado anteriormente. En este tipo de proyecto lo más común es que los costos estén por los lados del 3.6 %.

En la construcción del flujo de caja, para la realización del análisis financiero probabilístico, los costos asociados al manejo de este riesgo deberán ingresarse de como una función exponencial de la siguiente manera:

$$Riskexpon(0,035188)$$

donde 0,035188 es el parámetro β

10 Análisis financiero probabilístico del proyecto Santo Domingo

El análisis financiero que se desarrollará en este capítulo está enfocado en la fase de construcción del proyecto, la cual se estima, según los expertos, dure aproximadamente un período de cuatro años.

Con base en los resultados de las pruebas de bondad de ajuste realizadas en el capítulo anterior, se procede a la construcción del flujo de caja de los riesgos ambientales críticos del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo, fundamentado en la herramienta @RISK. Para la construcción del flujo de caja se siguieron los siguientes pasos (v. el Anexo 3):

1. Construcción de la matriz inicial

Está conformada por los siguientes rubros:

Probabilidades de que se materialicen los riesgos ambientales durante la fase de construcción del proyecto

Esta información viene del análisis preliminar de riesgos del proyecto realizado por EPM.

Rubro donde se verifica si el riesgo ocurre o no

Esta información se calcula a partir de una función binomial, usando como parámetros las probabilidades de ocurrencia de cada evento.

Rubro de impacto si ocurre

Este valor corresponde al costo de afectación al proyecto si se materializa el riesgo, es decir, el costo de implementación de las medidas para su debido control. Se calcula a partir de las funciones de probabilidad arrojadas en las pruebas de bondad de ajuste, que describen los datos asociados a los costos del control de cada riesgo. Como los datos observados corresponden a porcentajes de costos ambientales totales, es indispensable multiplicar la función de probabilidad por los costos ambientales totales del proyecto Santo Domingo.

Rubro de impacto medio

Este valor se calcula multiplicando el impacto si ocurre por la probabilidad de ocurrencia. Hace referencia al costo medio para el control de cada riesgo.

Rubro de impacto real

Calculado multiplicando el impacto si ocurre con la casilla de si ocurre o no el riesgo, es decir, la calculada con la función binomial. En la Tabla 25, a continuación, se presenta un caso posible de la matriz.

Tabla 25. Matriz inicial construcción flujo de caja

Evento de riesgo	Probabilidad por año [%]	Ocorre	Impacto si ocurre [\$]	Impacto medio [\$]	Impacto real [\$]
R2. Deterioro del relacionamiento con la comunidades	30	0	663.257.375	198.977.212	0
R6. Manifestación en contra del proyecto por conflicto social					
R23. Sobre expectativas de las comunidades					
R21. Invasión de predios que afecte el desarrollo del proyecto	30	1	486.677.464	146.003.239	486.677.464
R16. Afectación negativa a los recursos naturales (flora, fauna, aguas) como consecuencia de la ejecución del proyecto	10	0	2.624.299.920	262.429.992	0
R9. Daño, interrupción y/o retrasos en la construcción por vientos fuertes, rayos, inundación, deslizamientos, asentamientos	30	0	384.218.763	115.265.629	0
Total	100	1	4.158.453.522	722.676.073	486.677.464

Fuente: elaboración del autor, 2017.

2. Construcción de la matriz de frecuencias

Se calcula con base en la matriz de probabilidades de que se materialicen los riesgos. En este proyecto, según el análisis realizado por EPM, existe la misma probabilidad de que se materialice cada riesgo en cada período de la fase de construcción del proyecto, tal como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Matriz de probabilidades en el período de construcción del proyecto [%]

Evento / Período	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4	
	1	2	3	4	5	6	7	8
R2	30	30	30	30	30	30	30	3
R6								
R23								
R21	30	30	30	30	30	30	30	30
R16	10	10	10	10	10	10	10	10
R9	30	30	30	30	30	30	30	30

Fuente: elaboración del autor, 2017.

Una vez calculada la matriz de probabilidades se calcula la matriz de frecuencias, que indica el número de veces que se materializa el riesgo en cada uno de los períodos en la fase construcción del proyecto. Se calcula a partir de la función de probabilidad de Poisson de la matriz de probabilidades. En la Tabla 27 se presenta uno de los casos posibles de la matriz de frecuencias.

Tabla 27. Matriz de frecuencias

Evento / Período	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Total proyecto
	1	2	3	4	5	6	7	8	
R2	3	0	0	0	0	0	0	0	3

Evento / Período	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Total proyecto
	1	2	3	4	5	6	7	8	
R6									
R23									
R21	2	0	0	1	0	1	0	1	5
R16	0	0	0	0	1	0	0	0	1
R9	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total año	5	0	0	1	1	2	0	1	10

Fuente: elaboración del autor, 2017.

En esta matriz es importante asignarles variable de salida a todos los totales tanto de cada riesgo como de cada período, pues permite, una vez se corre la simulación, analizar las probabilidades de las frecuencias de materialización de cada evento.

3. Construcción de la matriz de impacto probable

Hace referencia a los costos probables en cada período asociados al control de cada riesgo. Se calcula con base en las funciones de probabilidad arrojadas en las pruebas de bondad de ajuste. En la Tabla 28 se presenta uno de los casos posibles de la matriz de impacto probable.

Tabla 28. Matriz de impacto probable [€]

Evento / Período	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4	
	1	2	3	4	5	6	7	8
R2								
R6	412.278.266	81.950.579	233.014.696	52.082.428	177.317.659	35.171.978	95.361.725	144.380.205
R23								
R21	290.978.217	86.625.095	189.179.995	297.887.171	42.578.392	132.848.640	100.201.571	164.760.477
R16	387.034.959	357.751.771	441.372.748	154.962.095	259.089.431	411.180.642	55.881.980	87.630.365
R9	11.137.691	54.735.498	94.909.251	29.486.782	32.075.417	107.056.447	2.982.730	132.460.654

Fuente: elaboración del autor, 2017.

4. Construcción de la matriz impacto si ocurre

Corresponde a la matriz final o flujo de caja de los riesgos. Se construye multiplicando la matriz de impacto probable, que hace referencia a los costos para el control de cada evento, por la matriz de frecuencias, que indica el número de veces que se materializa cada riesgo por período de evaluación. En la última columna de la matriz se calculó el VPN de los costos en cada semestre, y la tasa utilizada para descontarlos (TIO) fue del 12 %. Según expertos, en la mayoría de proyectos de esta índole la tasa de descuento de los flujos es de aproximadamente 12 %, razón por la cual, fue la tasa utilizada para el desarrollo de la investigación. A cada uno de estos VPN se les asignó una variable de salida para analizar sus probabilidades, y en la última fila se totalizaron todos los costos para el cálculo del VPN total de los riesgos ambientales críticos del proyecto Santo Domingo. En la Tabla 29, a continuación, se puede observar uno de los casos de la matriz.

Tabla 29. Matriz impacto si ocurre (matriz flujo de caja riesgos) [\\$]

Evento / Período	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		VPN riesgo
	1	2	3	4	5	6	7	8	
R2	0	71.508.978	61.187.528	3.190.762	0	0	0	0	102.586.381
R6									
R23									
R21	348.439.450	0	0	0	0	13.770.996	86.097.139	283.686.685	471.605.735
R16	277.521.983	0	0	0	0	0	0	0	247.787.484
R9	0	0	59.145.891	0	0	0	146.755.080	258.836.443	213.023.120
Total año	625.961.433	71.508.978	120.333.418	3.190.762	0	13.770.996	232.852.219	542.523.128	1.035.002.720

Fuente: elaboración del autor, 2017.

5. El estudio financiero de los riesgos críticos del proyecto Santo Domingo estará fundamentado en el análisis de indicadores como el VPN total de los riesgos y el VPN de cada riesgo independiente. Con base en estos indicadores se puede calcular cuál es el porcentaje de los costos totales del proyecto que corresponde a los costos para el control de todos los riesgos. Según los expertos, un proyecto hidroeléctrico que presente unos costos de manejo ambiental superiores al 3 % está sujeto a revisión, ya que posiblemente este no sea rentable. De esta manera se podrá revisar qué tan grandes son estos costos con respecto a los costos totales, que se presume estén por el orden de los \$ 260.000 millones, y si es posible que afecten su condición económica. A cada uno de estos indicadores y porcentajes se les asignó variable de salida para analizar todos sus posibles escenarios. En la Tabla 30 se presenta uno de los casos de los indicadores financieros.

Tabla 30. Indicadores financieros

TIO	12 %
VPN risk	\$576.394.940
VPN (más probable)	\$ 717.057.687
% de costos de control de riesgos con respecto los costos totales del proyecto	0.222
% promedio de costos de control de riesgos con respecto los costos totales del proyecto	0.275

Fuente: elaboración del autor, 2017.

10.1 Análisis de resultados

Se podría decir que la razón de ser de todo proyecto de inversión es su rentabilidad o su aspecto económico financiero; por este motivo, resulta determinante evaluar y analizar todas las situaciones que puedan alterar o afectar de una u otra manera este aspecto. En proyectos hidroeléctricos resulta mucho más complejo este análisis, pues tienen asociadas muchas variables, como la socioambiental, que han afectado el aspecto económico de muchos proyectos y han obligado a suspender otros cuantos mencionados anteriormente.

Por lo anterior, y por lo que significan estas inversiones para el desarrollo de un país, surge la necesidad de profundizar en el estudio de riesgos ambientales en el proyecto Santo Domingo.

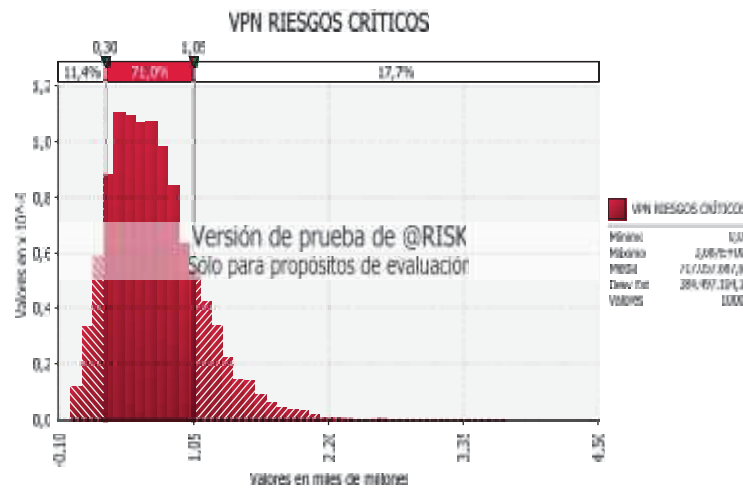
El análisis estará enfocado en los indicadores financieros calculados anteriormente mediante la herramienta @RISK.

VPN de todos los riesgos ambientales críticos

En la Ilustración 16 y la Fuente: @RISK.

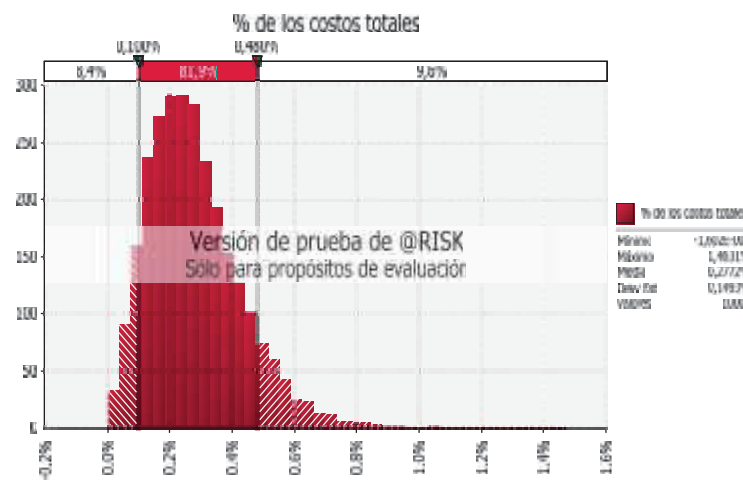
Ilustración 17 se pueden observar el comportamiento del VPN de todos los riesgos objeto de este estudio y el porcentaje total de los costos de los riesgos con respecto al costo total del proyecto, respectivamente.

Ilustración 16. VPN Riesgos ambientales críticos



Fuente: @RISK.

Ilustración 17. Porcentaje de los costos ambientales críticos con respecto a los costos totales del proyecto



Fuente: @RISK.

- La Ilustración 16 representa el VPN de todos los costos asociados al control de los riesgos ambientales críticos del proyecto Santo Domingo durante los cuatro años de construcción. Como se puede observar, existe un 70 % de probabilidades de que el VPN se encuentre entre \$ 300 y 1.050 millones, con un valor más probable de \$ 717.057.687.
 - Existe 18 % de probabilidades de que el VPN sea superior a \$ 1.050 millones, incluso que alcance \$ 3.687 millones. Dentro de este rango de posibilidades es cuando el aspecto económico financiero del proyecto podría estar amenazado; por este motivo es indispensable llevar un control más riguroso acerca de cuál riesgo presenta más sensibilidad y cuál aporta más al incremento del VPN.
 - Existe una probabilidad del 11 % de que el VPN sea inferior a \$ 300 millones. Este corresponde al escenario menos probable, pues difícilmente en un proyecto de esta índole los costos sean inferiores a esta cifra.
 - Antes de analizar la Fuente: @RISK.
- Ilustración 17, es importante tener en cuenta que, según los expertos, el costo total del proyecto se encuentra por los lados de \$ 260.000 millones, y que lo ideal es que los costos de manejo ambiental no excedan el 3 %, para no comprometer la rentabilidad. Teniendo claro lo anterior, se puede observar que existe 81 % de probabilidad de que el porcentaje de los costos para el control de estos riesgos esté entre el 0.1 y el 0.5 % de los costos totales, que el valor más probable es 0.27 %, y que existe 9.6 % de probabilidades de que los costos sean superiores al 0.5 % de los costos totales, alcanzando cifras hasta del 1.46 %.
 - Teniendo en cuenta de que dentro de estos costos (3 %) no solamente están incluidas las medidas para el control de estos riesgos, sino también la implementación de los demás planes de manejo ambiental (los aspectos físico, una parte del biótico y el social) para el manejo de los demás riesgos e impactos, que se estima estén por los lados del 2.5 %, se considera un valor relativamente alto únicamente para el control de los riesgos objeto de este estudio.
 - El aporte de VPN individual de cada riesgo al VPN total de los riesgos críticos se puede observar en la Tabla 31.

Tabla 31. Aportes VPN riesgos individuales al VPN total (valores más probables)

VPN valores más probables [\$]		[%]
VPN R2, 6 y 23	276.677.165	39
VPN R21	212.541.370	30
VPN R6	133.073.742	19
VPN R9	91.535.564	13
VPN Total riesgos	717.057.687	

Fuente: elaboración del autor, 2017.

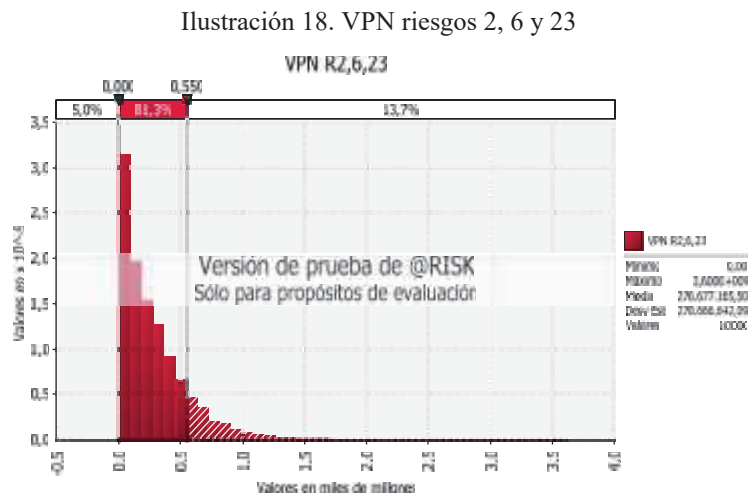
Con una cifra aproximada del 70 %, los riesgos que más aportan al VPN total del proyecto son los relacionados con las comunidades directamente afectadas: R2, R6, R23 y R21.

Esto corrobora la importancia del manejo del aspecto social y el seguimiento continuo que requiere desde etapas tempranas de la construcción. En términos generales, son los riesgos más sensibles del proyecto y los que más atención necesitan, ya que pueden afectar considerablemente la rentabilidad del proyecto.

Aunque críticos, los R16 y R9 no se consideran determinantes en el aspecto económico financiero, pues el costo para su control es relativamente bajo con respecto a los demás y no presenta tanta variabilidad como el aspecto social.

VPN R2, R6 y R23

En la Ilustración 18 se observan los resultados del análisis.



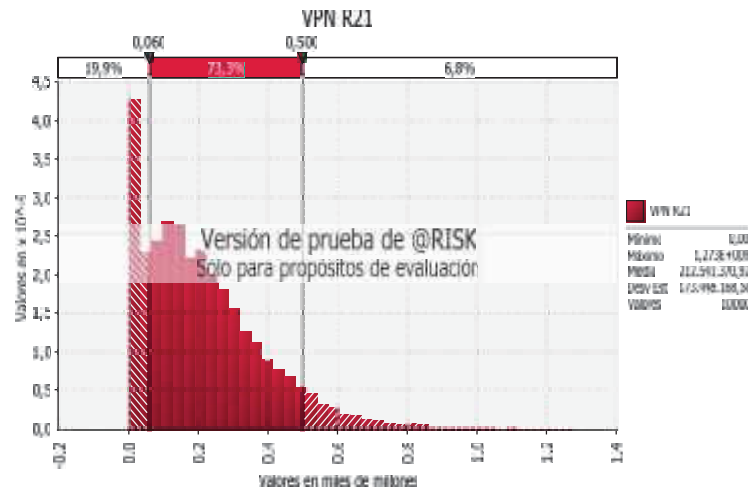
Fuente: @RISK.

Como se puede observar, existe 81.3 % de probabilidades de que el VPN de los costos asociados a estos riesgos sean inferiores a \$ 550 millones, con un valor más probable aproximado de \$276.677.165. En términos generales se esperaría que para el proyecto Santo Domingo los costos estén cercanos a este valor medio; sin embargo, existe 13.7 % de probabilidades que los costos superen este valor, alcanzando cifras de hasta \$ 3.600 millones. Como se mencionó anteriormente, representan los riesgos más sensibles y volátiles del proyecto, y su manejo resulta determinante para maximizar la rentabilidad, razón por la cual el acercamiento a las comunidades por parte de los dueños del proyecto debe ser constante y comenzar incluso antes del inicio de la construcción, con campañas de sensibilización y demás medidas ya estudiadas anteriormente.

VPN R21

En la Ilustración 19, a continuación, se observan los resultados del análisis.

Ilustración 19. VPN riesgo 21



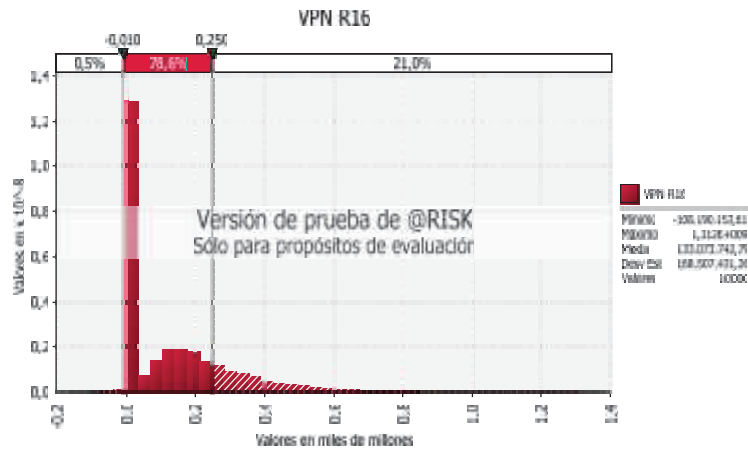
Fuente: @RISK.

Como se puede observar en la gráfica, existe 73 % de probabilidades de que el VPN de los costos asociados al control de este riesgo en el proyecto Santo Domingo estén entre \$ 60 y 500 millones, con un valor más probable de \$ 212.541.370. Este, al igual que los riesgos anteriores, hace parte de los riesgos más sensibles, aportando valores considerables de VPN al VPN total. Existe 6.8 % de probabilidades que el VPN supere los \$ 500 millones, incluso con valores hasta de \$ 1.270 millones. Para que estas cifras no lleguen a este punto y amenacen el aspecto económico financiero del proyecto, el control y seguimiento para este riesgo debe comenzar mucho antes del inicio de la construcción, ya que es en estas etapas prematuras donde los invasores buscan establecerse en la zona de influencia, buscando beneficios que no les corresponden. Es importante para el manejo de este riesgo el apoyo de las autoridades regionales, ya que, por lo general, ocasiona conflictos de orden social que se podrían tornar violentos.

VPN R16

En la Ilustración 20, a continuación, se observan los resultados del análisis.

Ilustración 20. VPN riesgo 16



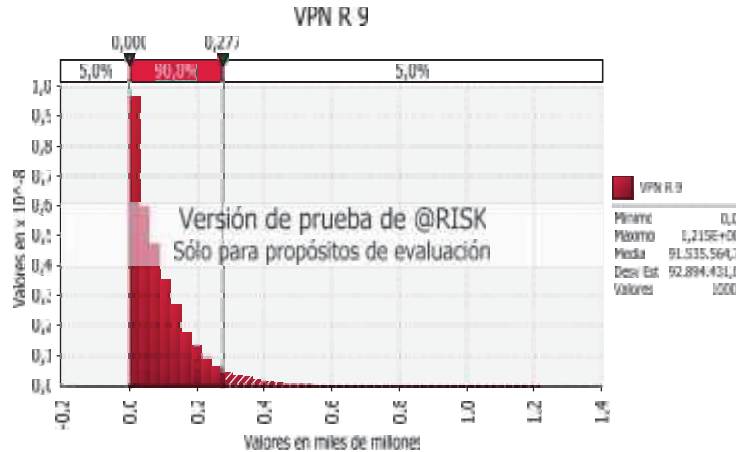
Fuente: @RISK.

Como se puede observar en la gráfica, existe 78,6 % de probabilidades de que el VPN de los costos asociados al control de dicho riesgo para en el proyecto Santo Domingo se encuentre entre \$10 y 250 millones. Lo más probable es que estén por los lados de \$ 133.073.742. Aunque existe 21 % de probabilidades de que los costos estén por encima de los \$ 250 millones, incluso que puedan alcanzar un valor de \$ 1.300 millones, no se considera posible, por las condiciones del proyecto en estudio, al ser a filo de agua y no requerir la construcción de un embalse, hace que los impactos a los ecosistemas acuáticos y terrestres sean mucho menores que un proyecto que si lo requiera. Los costos asociados al control de este riesgo no se consideran tan realmente críticos para que puedan llegar a afectar la rentabilidad del proyecto.

VPN R9

En la Ilustración 21 se observan los resultados del análisis.

Ilustración 21. VPN riesgo 9



Fuente: @RISK

Como se puede observar en la gráfica, existe una probabilidad del 90 % de que el VPN de los costos asociados al control de este riesgo en el proyecto Santo Domingo, sean inferiores a \$ 277 millones. En términos generales se podría decir que nunca va a salir de este rango y que lo más probable es que estén por los lados de \$91.535.564. Aunque existe 5 % de probabilidad de que los costos superen los \$ 277 millones, incluso alcanzado cifras de \$ 1.200 millones, no se considera posible que esto ocurra por las condiciones geológicas y climáticas que caracterizan la zona de construcción del proyecto y por la magnitud de las obras civiles que este requiere. Este riesgo presenta el VPN más pequeño en comparación con los demás riesgos analizados y, al igual que el anterior, no se considera que pueda llegar a afectar la rentabilidad del proyecto.

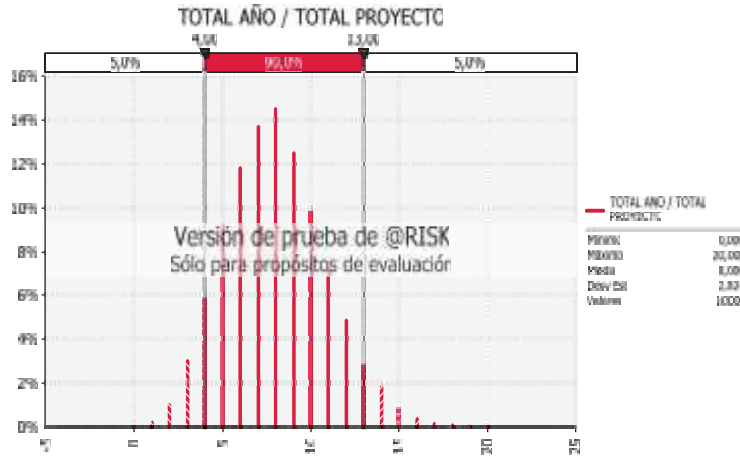
Análisis de frecuencias de materialización riesgos

A continuación se presentarán los resultados de frecuencias de materialización de cada uno de los riesgos críticos del proyecto.

Frecuencias de riesgos totales

En la Ilustración 22 se observan los resultados del análisis de las frecuencias de materialización de todos los riesgos durante los cuatro años de construcción del proyecto.

Ilustración 22. Frecuencias de materialización de todos los riesgos críticos del proyecto en la fase de construcción

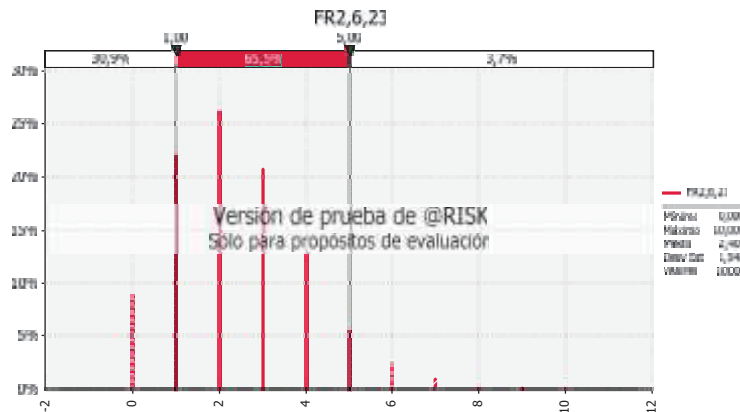


Fuente: @RISK.

Como se puede observar en la gráfica, existe 90 % de probabilidades de que el número de riesgos materializados durante la fase de construcción se encuentre entre cuatro y 13. Para el proyecto Santo Domingo se espera que se materialicen aproximadamente ocho eventos durante los cuatro años; de ser así, el VPN total de los riesgos sería el valor promedio descrito anteriormente: \$ 717.057.687. Adicionalmente, existe 5 % de probabilidades de que se presenten más de 13 eventos, alcanzando incluso un máximo de 20 eventos. En estas condiciones, el VPN de los costos estaría muy por encima del valor promedio.

En la Ilustración 23 se observan los resultados del análisis de frecuencias de los riesgos 2, 6 y 23.

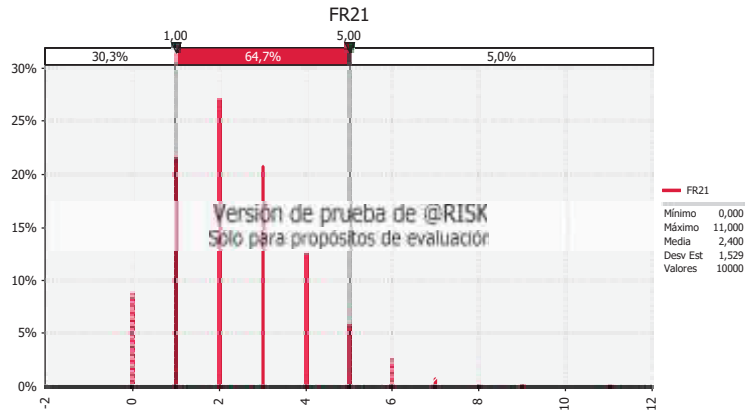
Ilustración 23. Frecuencias de materialización de los riesgos 2, 6 y 23 durante la fase de construcción



Fuente: @RISK.

En la Ilustración 24 se observan los resultados del análisis de frecuencias del riesgo 21.

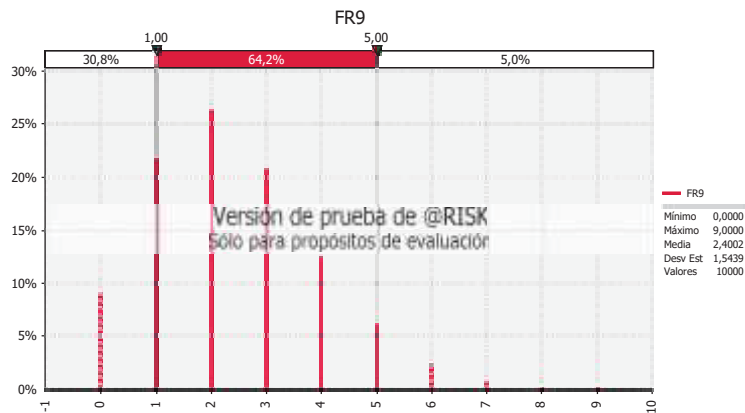
Ilustración 24. Frecuencias de materialización del riesgo 21 durante la fase de construcción



Fuente: @RISK.

En la Ilustración 25, a continuación, se observan los resultados del análisis de frecuencias del riesgo 9.

Ilustración 25. Frecuencias de materialización del riesgo 9 durante la fase de construcción



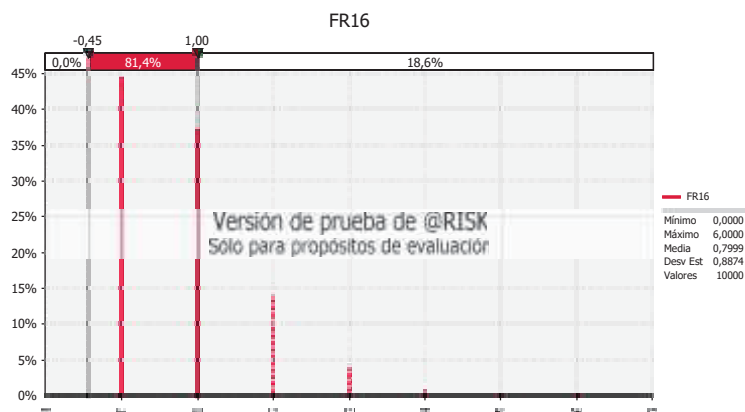
Fuente: @RISK.

Como se puede observar en las gráficas, los resultados del análisis de frecuencias de los riesgos 2, 6, 23, 21 y 9 presentan un comportamiento similar; esto se debe a que, según el análisis preliminar de riesgos del proyecto realizado por EPM, los cinco riesgos presentan la misma probabilidad de ocurrencia durante la fase de construcción. Según el gráfico, existe aproximadamente 65 % de probabilidades de que se materialicen entre uno y cinco eventos de estos tipos de riesgos, con un valor más probable de 2,4. El valor máximo posible de eventos materializados se encuentre entre nueve y 11 eventos por riesgo, con una probabilidad cercana del 5 %. Con estas condiciones extremas, muy probablemente se ponga en duda la rentabilidad del proyecto.

En la

Ilustración 26 se observan los resultados del análisis de frecuencias del riesgo 16.

Ilustración 26. Frecuencias de materialización del riesgo 16 durante la fase de construcción



Fuente: @RISK.

Como se puede observar en la gráfica existe 81.4 % de probabilidades de que no se alcance a materializar un evento de riesgo de este tipo en el proyecto Santo Domingo, con un valor más probable de 0.79. Esto, como se explicó anteriormente, se debe a las condiciones del proyecto, que no requiere la formación de un embalse, reduciendo considerablemente la afectación a los ecosistemas terrestres y acuáticos; sin embargo, existe 18.6 % de probabilidades de que se materialice este riesgo más de una vez durante la construcción del proyecto, alcanzando un valor máximo de seis eventos.

Resumen análisis de resultados

Para dar solución a los Objetivos general y específicos propuestos para el desarrollo de esta investigación, se establece lo siguiente:

Los riesgos ambientales más críticos y de mayor calificación del proyecto hidroeléctrico Santo Domingo, según el análisis preliminar de riesgos para la fase de construcción del proyecto, son los que se presentan a continuación.

Riesgos críticos

R2, R6, R23, R21, R16 y R9.

Después de un análisis cuidadoso de diferentes proyectos hidroeléctricos, unos ya construidos y otros suspendidos por materialización de riesgos ambientales, se pudo estudiar y concluir que existen diversas medidas para el manejo y control de los riesgos mencionados anteriormente y que muchas de ellas dependerán del tipo y de las condiciones del proyecto; sin embargo, se encontró una similitud en muchas otras que, fundamentalmente, son las decisivas a la hora de controlar dichos riesgos. Para el proyecto

Santo Domingo, por sus características y orden de magnitud, se consideró que las más apropiadas y pertinentes son las mencionadas a continuación.

Medidas de manejo R2, R6 y R23

- Programa de información y participación comunitaria
- Programa de educación y capacitación
- Programa de memoria y patrimonio cultural
- Programa de restablecimiento de las condiciones de vida
- Programa de empleo para la región

Medidas de manejo R21

- Programa de manejo a la presión migratoria
- Programa de atención a flujos migratorios y presión poblacional
- Programa de reubicación de vivienda
- Programa de fortalecimiento institucional

Medidas de manejo R16

- Programa de compensación por pérdida de biodiversidad
- Programa de manejo de aprovechamiento forestal
- Programa rescate flora
- Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal
- Estudio y rescate de fauna vertebrada terrestre
- Manejo de ecosistemas acuáticos

Medidas de manejo R9

- Manejo de la pérdida de suelo, de taludes y de zonas inestables
- Programa de restauración y compensación de la cobertura vegetal

Conociendo las medidas pertinentes para el control de los riesgos críticos, se prosiguió con su cuantificación. Esta etapa se llevó a cabo de la misma manera que la anterior: se revisaron los costos reales de la implementación en los distintos proyectos y se realizaron unas pruebas de bondad de ajuste para encontrar las funciones de distribución que representaban las series de datos. Una vez encontradas esas distribuciones, se pasó al análisis financiero, con la construcción del flujo de caja de los costos asociados al control de cada riesgo, el cual se construyó con base en las probabilidades de ocurrencia suministradas por EPM para la fase de construcción. Finalmente, se calcularon los indicadores financieros, para determinar la incidencia económica de los riesgos ambientales críticos del proyecto.

El análisis financiero arrojó los siguientes resultados:

- El VPN total de los riesgos ambientales del proyecto se espera esté por los lados de \$ 717.057.687, con un aporte del VPN de los riesgos 2, 6 y 23 de \$ 276.677.165; del riesgo 21, de \$ 212.541.370; del riesgo 16, de \$ 133.073.742; y del riesgo 9, de \$ 91.535.564.
- Con estas condiciones probables, los costos para el control de estos riesgos serían aproximadamente el 0.27 % de los costos totales de construcción del proyecto.

Aunque existen pocas probabilidades de que los costos superen las cifras mencionadas anteriormente, se recomienda a la dueña del proyecto llevar un seguimiento más riguroso de los riesgos 2, 6, 23 y 21, que corresponden a los riesgos más sensibles y que más VPN aportan. Un mal manejo de estos riesgos podría incluso incrementar los costos, alcanzando un valor hasta del 1.46 % de los costos totales de construcción. Es en este punto donde se ve amenazada la rentabilidad del proyecto, pues con unos costos de manejo ambiental superiores al 3 % de los costos totales, el proyecto estaría sujeto a revisión.

11 Conclusiones

Según los resultados del estudio, los riesgos ambientales más representativos con probabilidad de afectar los costos del proyecto Santo Domingo son los riesgos 2, 6, 23 y 21, asociados a la componente social.

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 % que se tiene estimado para este tipo de proyectos.

Las medidas para el control de los riesgos relacionados con el aspecto social implementadas en los proyectos que se tomaron como referencia para este estudio, por lo general se remiten a la implementación de programas definidos en los respectivos PMA, y están muy orientadas a procesos de información, educación, generación de empleo y programas sociales que pueden resultar insuficientes o poco efectivos a la luz de las nuevas tendencias sociales con grupos opositores a la construcción de proyectos hidroeléctricos, que reclaman un diálogo social más directo y participativo y un modelo más eficiente de transferencia de beneficios para sus territorios. Este es un riesgo que no ha sido considerado para el proyecto Santo Domingo y que puede generar alguna incertidumbre.

Un aspecto que puede ser considerado como una buena práctica en el proyecto Santo Domingo, y que seguramente contribuirá a la disminución de riesgos ambientales y a la disminución de la probabilidad de que se materialicen, son las inversiones realizadas por EPM desde la fase de estudios en obras de infraestructura y proyectos de desarrollo para las comunidades de influencia, que, sin duda, le aportan a la viabilidad social y a la regulación de los costos durante la construcción y la operación.

La realidad de numerosos proyectos de desarrollo en Colombia y otros países vecinos revela que la componente ambiental se ha convertido y seguirá siendo un factor determinante de la viabilidad y la sostenibilidad futura de los proyectos, y que en la mayoría de los casos estos costos han sido subestimados en algunos proyectos, llegando a hacerlos inviables incluso después de haber iniciado su construcción.

La componente ambiental de los proyectos hidroeléctricos no solo tiene alta incidencia en sus costos, sino que se convierte en factor de competitividad frente a otras opciones de generación.

Los proyectos de generación de energía, para la toma de decisiones, deben ajustar desde sus fases tempranas los estándares de gestión ambiental e internalizar los crecientes costos ambientales y sociales a la realidad del país.

12 Recomendaciones

No demorar mucho la decisión de iniciar la construcción del proyecto para evitar cambios indeseables en las condiciones sociales del territorio, principalmente por la dinámica de los grupos opositores a las PCH en el oriente antioqueño.

Mantener un equipo calificado de profesionales para la atención de los temas ambientales durante la transición del inicio de la construcción, para fortalecer el relacionamiento institucional y con las comunidades de influencia del proyecto.

Buscar la forma de potenciar los beneficios del proyecto, articulando las medidas de manejo ambiental y de control de riesgos con las oportunidades que ofrece la agenda del posconflicto a los municipios de influencia.

Establecer mecanismos de atención inmediata de peticiones, quejas y reclamaciones de la comunidad durante la fase de la construcción, para evitar factores detonantes de riesgos en la componente ambiental.

Incorporar en futuros análisis de riesgos las experiencias recientes en proyectos del sector minero energético colombiano que han visto frustradas sus expectativas de ejecución por causas ambientales y sociales que han derivado en sentencias y fallos judiciales (casos SU 133 – 17, caso Marmato, ST 622 – 16, río Atrato y CE – 14 río Bogotá).

13 Referencias y Bibliografía

- Awojobia, O. y Jenkinsa, G. (2016). Managing the Cost Overrun Risks of Hydroelectric Dams: An Application of Reference Class Forecasting Techniques. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 63: 19-32.
- Bacca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Baird, I. y Quastel, N. (2015). Rescaling and Reordering Nature-Society Relations: The Nam Theun 2 Hydropower Dam and Laos–Thailand Electricity Networks. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(6): 5-6.
- Cabral de Sousa, W. y Reid, J. (2010). Uncertainties in Amazon Hydropower Development Risk Scenarios and Environmental Issues around the Belo Monte Dam. *Water Alternatives*, 3(2) 249-268.
- Chaves Márquez, E. J. (2007). *Modelo de ajuste a muestras pequeñas con valores extremos positivos* [presentación Powerpoint]. Disponible en <https://www.google.com.co/search?q=Modelo+de+ajuste+a+muestras+peque%C3%B1as+con+valores+extremos+positivos&oq=Modelo+de+ajuste+a+muestras+peque%C3%B1as+con+valores+extremos+positivos&aqs=chrome..69i57.392j0j4&{google:bookmarkBarPinned}sourceid=chrome&{google:omniboxStartMarginParameter}ie=UTF-8>
- Chen, S., Chen, B. y Fath, B. (2015). Assessing the cumulative environmental impact of hydropower construction on river systems based on energy network model. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 42: 78-92, febrero.
- Colombia, Congreso de la República (1993, 22 de diciembre). *Ley 99*. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=297>
- Colombia, Ministerio del Medioambiente (1994, 3 de agosto). *Decreto 1753*. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal1.jsp?i=1299>.
- Comisión mundial de represas (2000). *Represas y desarrollo*. Reino Unido y Estados Unidos: Earthscan Publications Ltd. Disponible en <http://adivima.org.gt/archivos/Informe%20Comision%20Mundial%20de%20Represas%202000.pdf>
- EPM (2008a). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico Porce IV*. Medellín.
- EPM (2008b). *Proyecto hidroeléctrico Ituango. Estudio de impacto ambiental*. Medellín.
- EPM (2010a). *Informe proyecto hidroeléctrico Porce IV (situación actual, 19 de abril de 2010)*. Medellín.
- EPM (2010b). *Informe proyecto Porce III y Porce IV*. Medellín.
- EPM (2012). *Proyecto hidroeléctrico Ituango*. Medellín.
- EPM (2015). *Análisis de riesgos proyecto hidroeléctrico Santo Domingo*. Medellín.
- EPM, Ingetec (2011). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico El Buey*. Medellín.
- Fearnside, P. (2015). Brazil's São Luiz do Tapajós Dam: The Art of Cosmetic Environmental Impact Assessments. *Water Alternatives*, 8(3): 373-396.

- Gómez Salazar, E. A., Mora Cuartas, A. M. y Uribe Marín, R. (2015). *Análisis de riesgo en proyectos con @RISK* (2.^a ed.). Medellín: Copyright.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- HMV (2009). *Plan de manejo ambiental PCH San Bartolomé*. Medellín.
- HMV (2014). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico San Francisco*. Medellín.
- HMV, SAG (2009). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico San Miguel*. Medellín.
- HMV, SAG (2012a). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico San Matías*. Medellín.
- HMV, SAG (2012b). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico El Molino*. Medellín.
- Hochstetler, K. (2011). The Politics of Environmental Licensing: Energy Projects of the Past and Future in Brazil. *Estudios in comparative international development*, 46(4): 349-371.
- Isagén (2014). *Plan de manejo ambiental proyecto hidroeléctrico Cañafisto*. Medellín.
- Johnson, R. (1997). *Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund*. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall Hispanoamericano.
- 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: 102-110, abril.
- Kumar, D. y Katoch, 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): 2-6.
- Kumar, D. y Katoch, S. (2016). Environmental sustainability of run of the river hydropower projects: A study from western Himalayan region of India. *Renewable Energy*, 93: 3-5.
- Londoño González, F. (2017a, 7 de junio). *Medidas de manejo más comunes para riesgos ambientales en proyectos hidroeléctricos* [entrevista a A. Grecco Gélvez]. Medellín.
- Londoño González, F. (2017b, 7 de junio). *Medidas de manejo más comunes para riesgos ambientales en proyectos hidroeléctricos* [entrevista a S. Gutiérrez]. Medellín.
- López, V. (2009). *No solo "...una forma inteligente, de sembrar el agua para cosechar energía"*. *Implicaciones del proyecto Coca Codo Sinclair para la Amazonía ecuatoriana*. Memorias del 5.º Encuentro Nacional del Foro de los Recursos Hídricos, Quito.
- Matthews, N. (2012). Water Grabbing in the Mekong Basin – An Analysis of the Winners and Losers of Thailand’s Hydropower Development in Lao PDR. *Water Alternatives*, 5: 10-11.
- Medina, F. y Galván, M. (2007). *Imputación de datos, teoría y práctica*. Santiago de Chile: Cepal, Estudios estadísticos y prospectivos
- Mejía Quijano, R. C. (2006). *Administración de riesgos. Un enfoque empresarial*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.

- Mendía, J. y Roca, J. (1992). Consideraciones sobre el impacto ambiental del emprendimiento hidroeléctrico de Piedra del Águila en la cuenca del río Limay (república de Argentina). *Boletín geográfico*, 18: 127-145.
- Milton, S. y Arnold, J. (2004). *Probabilidad y estadística*. México, D. F.: McGraw-Hill.
- Miranda Miranda, J. J. (2011). *Gestión de Proyectos*. Bogotá: AC Editores.
- Mirumachi, N. y 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: 3-6.
- Morales, S., Álvarez, C., Acevedo, C., Díaz, C., Rodríguez, M. y Pacheco, L. (2015). An overview of small hydropower plants in Colombia: Status, potential, barriers and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 1650-1657, octubre.
- Palisade Corporation (2015). *@RISK, programa de complemento para el análisis y simulación de riesgos en Microsoft Excel*. Ítaca: Palisade Corporation.
- PMI (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pensilvania: Project Management Institute.
- Prieto, A. (2015). *Distribuciones de probabilidad*. Bogotá: Universidad de Cundinamarca.
- Sahin, S. y Kurum, E. (2002). Erosion risk analysis by GIS in environmental impact assessments: a case study Seyhan Kopru Dam construction. *Journal of Environmental Management*, 66(3): 239-247.
- Singer, J. y Watanabe, T. (2014). Reducing reservoir impacts and improving outcomes for dam-forced resettlement experiences in central Vietnam. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 19(3): 225-235, septiembre..
- Tahseem, S. y Karney, B. (2016). Reviewing and critiquing published approaches to the sustainability assessment of hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67: 225-234.
- Trussart, S., Messier, D., Roquet, V. y Aki, S. (2002). Hydropower projects: a review of most effective mitigation measures. *Energy Policy*, 30(14): 1251-1259.

14 Anexos

Anexo 1. Proyecto Santo Domingo, criterios de valoración de probabilidad

Anexo 2. Proyecto Santo Domingo, pruebas de bondad de ajuste

Anexo 3. Proyecto Santo Domingo, flujo de caja riesgos TIO

Nota: los anexos de este trabajo de grado están incluidos como hojas Excel en la versión electrónica.