

05-017

QUALITATIVE ANALYSIS ON RISK ASSESSMENT IN PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS: CASE STUDY IN THE DOMINICAN REPUBLIC

Guerrero Liquet, Guido Camilo; García Cascales, María Socorro; Sanchez Lozano, Juan Miguel

Universidad Politécnica de Cartagena

Management and risk assessment are key requirements for the financial viability of renewable energy projects. In the Dominican Republic, banks require a risk analysis covering technical, environmental and economic considerations to access financing. Therefore there is a need for practical tools to help potential investors understand the risk and thus reduce the chance of it occurring. Thus investors can evaluate the profitability, the risks, and their impact on renewable energy facilities more easily.

This paper focuses on evaluating the likelihood and impact of risks (high, medium, low) to determine the priority by which they must be addressed. To do this we combine probability and impact matrix with multiple criteria decision-making methods, namely Analytic Hierarchy Process (AHP). We apply qualitative risk analysis to a solar power system in the Dominican Republic.

Experts determine the severity of the risks in the design of the project. The urgent priority is modeled in terms of time, cost, performance and risk severity. Qualitative analysis cannot guarantee the complete success of a project, but it can help us to decide what uncertainties to deal with before and throughout its lifetime.

Keywords: Decision-Making Multi-criteria; Renewable Energy (RES); Qualitative Risk Analysis; Photovoltaic Systems (PV); Dominican Republic (RD); Probability and Impact

ANÁLISIS CUALITATIVO EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: CASO DE ESTUDIO EN REPÚBLICA DOMINICANA

La gestión y evaluación de riesgos son requisitos fundamentales para la viabilidad financiera de los proyectos de energía renovable. En República Dominicana las entidades bancarias exigen un análisis de riesgos con consideraciones técnicas, ambientales y económicas para recurrir a la financiación. Por tanto allí necesitan herramientas prácticas que ayude a los potenciales inversores a comprender el riesgo para disminuir las probabilidades de ocurrencia. De este modo los inversores pueden evaluar la rentabilidad, los riesgos y su impacto en instalaciones de energías renovables con mayor facilidad.

Este trabajo se enfoca en evaluar la probabilidad e impacto de los riesgos (alto, medio, bajo) para obtener a su vez la prioridad con la que deben ser atendidos. Para ello combinamos la matriz de probabilidad e impacto con métodos de decisión multicriterio, concretamente Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Aplicamos análisis cualitativo de riesgos a una instalación solar en República Dominicana.

Expertos determinan con el diseño del proyecto la severidad de los riesgos. La prioridad de urgencia se modela en términos de tiempo, coste, rendimiento y gravedad de los riesgos. El análisis cualitativo no puede garantizar el éxito completo de un proyecto, pero puede ayudarnos a decidir que incertidumbres atender antes y durante su vida útil.

Palabras clave: Análisis de Decisión Multicriterio; Energías Renovables (EERR); Análisis Cualitativo de Riesgos; Instalaciones Solares Fotovoltaicas (ISF); República Dominicana (RD); Probabilidad e Impacto

Correspondencia: Guido C. Guerrero Liquet - guidocgl1@gmail.com, gcgl0@alu.upct.es

Agradecimientos: Este trabajo está parcialmente financiado por los proyectos TIN2014-55024-P del Ministerio de Ciencia e Innovación Español y P11-TIC-8001 de la Junta de Andalucía (incluidos los fondos FEDER) y el proyecto 19882/GERM/15 programa SÉNECA 2004, además de una beca de doctorado del Ministerio de Educación Superior de la República Dominicana (MESCyT) con el número de contrato 1065-2015.

1. Introducción

El sector de las energías renovables se ha convertido a lo largo de estos últimos años en una realidad sobre todo en los grandes países en desarrollo como por ejemplo India, China y Brasil. El aumento de nuevas instalaciones solares fotovoltaicas en todo el mundo es prueba de las fuertes políticas de apoyo y la rápida disminución de los costos de la tecnología. Sin embargo los pequeños países insulares en vías de desarrollo apenas han iniciado la transición hacia una mayor utilización de los recursos energéticos renovables (Heinrich Blechinger & Shah, 2011).

Para impulsar esta transición los países emergentes aplican mecanismos de gestión y evaluación de riesgos con el objetivo de obtener la viabilidad financiera necesaria. El impulso en la realización de proyectos de energías renovables ha sido principalmente motivado por el sector financiero, la inversión extranjera y el apoyo gubernamental.

República Dominicana (RD) actualmente es un ejemplo de ello ya que entidades bancarias con fondos internacionales en combinación de instituciones gubernamentales promueven la realización de análisis de riesgos para recurrir a la financiación de proyectos (Ochs A. 2015). Estos análisis recurren a consideraciones técnicas, ambientales y económicas para establecer criterios de sostenibilidad en instalaciones solares, eólicas, biomasa, hidroeléctricas etc.

Aunque este país, RD, muestra un enorme potencial solar (sobre todo en las principales ciudades), no existe en la actualidad un compromiso firme que asegure el mantenimiento de este marco legislativo favorable. Por ello, los posibles inversionistas aún estiman que la realización de proyectos de este tipo, supone un elevado índice de riesgo.

Dado que el riesgo continúa siendo una fuerte barrera para el financiamiento de proyectos de energía renovable, se debe analizar no sólo sus mecanismos de reducción, sino también su implementación en aquellas zonas donde se consideren apropiados (Ochs A. 2015).

Para mitigar estos riesgos y aumentar la confianza de los potenciales inversores; se necesitan crear herramientas prácticas que ayuden a comprender el riesgo para disminuir las probabilidades de ocurrencia. De este modo, los desarrolladores e inversionistas de proyectos pueden evaluar la rentabilidad, los riesgos y el impacto en dichas instalaciones con mayor facilidad.

2. Objetivos

El principal objetivo de este estudio es evaluar la probabilidad e impacto de los riesgos y obtener la prioridad con la que deben ser atendidos los riesgos que afectan a la rentabilidad de las instalaciones fotovoltaicas ubicadas en RD.

El análisis cualitativo de los riesgos es el proceso que consiste en priorizar los riesgos para realizar acciones posteriores combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos. Con la finalidad de obtener la priorización en la que estos riesgos deben ser atendidos, se aplicará un análisis de toma de decisión multicriterio.

Para ello, se utilizará como punto de partida la matriz de probabilidad e impacto que aplica la guía fundamental de dirección de proyectos (*PMBOK 5ta Edición Español*, s. f.). En este análisis cualitativo de riesgos, se combinarán los resultados obtenidos en dicha matriz con métodos de toma de decisión multicriterio.

La prioridad de urgencia se modela en términos de tiempo, coste, rendimiento y gravedad de los riesgos en una instalación solar ubicada en Santo Domingo; RD. El sector bancario nacional e internacional continúan reacio a ofrecer préstamos debido en gran parte a los

riesgos percibidos de estas inversiones (Ochs A. 2015). Con los resultados obtenidos en este estudio se pretende ayudar a reducir los riesgos, que los inversionistas privados aún perciben, en proyectos de instalaciones de energía renovable.

3. Análisis Cualitativo de los Riesgos en las EERR

Actualmente existe muy poca literatura acerca del análisis cualitativo de riesgos en energías renovables; a fecha de hoy algunos estudios se han realizado (Gatzert & Kosub, 2016), aunque ninguno aplicado a proyectos de instalaciones solares. Se han llevado a cabo por ejemplo, estudios que evalúan cualitativamente los riesgos de impactos en los hábitats marinos (Astles, Gibbs, Steffe, & Green, 2009). En dicho trabajo, los riesgos utilizados en la evaluación de los componentes ecológicos específicos fueron definidos como la probabilidad de que las actividades del sector pesquero dieran lugar a impactos no sostenibles.

Recientemente, se ha llevado a cabo la evaluación cualitativa del riesgo de un sistema de combustible dual (GNL-Diesel) (Stefana, Marciano, & Alberti, 2016); el estudio muestra las fases del proceso de evaluación del riesgo, de acuerdo con la norma ISO 31000. En él se define el análisis cualitativo como el "proceso de comprender la naturaleza del riesgo y determinar el nivel de riesgo".

Aunque no existe una única definición para el concepto de análisis cualitativo, todas van encaminadas en la dirección de la priorización de riesgos y las probabilidades de impacto de ocurrencia. Es por ello que la guía PMBOK define el análisis cualitativo de riesgo como "el proceso que consiste en priorizar los riesgos para realizar otros análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos".

Realizar el análisis cualitativo de riesgos es por lo general un medio rápido y económico. En él se establecen prioridades para la planificación de la respuesta a los riesgos. Además sienta las bases para realizar el análisis cuantitativo de riesgos, si se requiere. El proceso debe ser revisado durante el ciclo de vida del proyecto para mantenerlo actualizado con respecto a los cambios en los riesgos del proyecto.

Realizando un análisis cualitativo de los riesgos de un proyecto, se actualiza la información del registro de los riesgos obteniendo: una lista de prioridades de riesgos, lista de riesgos que requieren respuesta a corto plazo, lista de riesgos que requieren análisis y respuesta adicionales y listas de supervisión para riesgos de baja prioridad.

Las acciones más representativas del proceso de análisis cualitativo en la gestión de riesgos según la guía PMBOK son la evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos y la evaluación de urgencia de los riesgos. Dichas acciones no se repiten en ninguna otra etapa del proceso de la gestión de riesgos.

La primera acción estudia la ocurrencia de cada riesgo específico e investiga el efecto potencial de los mismos sobre un objetivo del proyecto. Los riesgos pueden evaluarse en entrevistas o reuniones con participantes seleccionados por su familiaridad con la agenda del proyecto. Entre ellos, se incluyen los miembros del equipo del proyecto y expertos que no pertenecen al proyecto (*PMBOK 5ta Edición Español*, s. f.).

En cambio la evaluación de urgencia de los riesgos se determina a partir de los resultados de la evaluación de probabilidad e impacto para obtener la severidad del riesgo. En esta etapa la urgencia se evalúa tomando en cuenta la prioridad de atención en términos de tiempo, coste, rendimiento y gravedad de los riesgos.

Con la finalidad de llevar a cabo las acciones mencionadas y realizar de este modo un análisis cualitativo de los riesgos en instalaciones solares fotovoltaicas, se propone en el presente estudio un proceso de análisis específico que se detalla en la figura 1; la cual

muestra los objetivos propuestos, las herramientas y técnicas utilizadas y los resultados que se pretenden obtener.

Figura 1: Esquema de Trabajo Propuesto (Fuente: Elaboración Propia)



Para lograr los objetivos propuestos se combinarán dos técnicas; una de ellas utilizada usualmente en la gestión de riesgos (matriz de probabilidad e impacto) (Astles, Gibbs, Steffe, & Green, 2009) y la otra, una técnica de evaluación de juicios de expertos ampliamente extendida en la actualidad desarrollada por (Saaty, 2000) denominada la metodología AHP (Proceso Analítico Jerárquico). A continuación se explicará cada una de las técnicas y herramientas utilizadas en el presente estudio.

3.1. Matriz de Probabilidad e Impacto de los Riesgos

Habitualmente, la evaluación de la probabilidad e impacto y, por consiguiente, del nivel de vulnerabilidad, se efectúa utilizando una tabla de búsqueda o una matriz de probabilidad e impacto. Es la técnica más utilizada en el análisis cualitativo de riesgos y oportunidades.

Esta matriz es una tabla de dos dimensiones en la que se cruzan la probabilidad con la gravedad de las consecuencias analizadas. Los expertos asignan una ponderación numérica sobre la probabilidad de ocurrencia (desde 0.10 hasta 0.90). Posteriormente, con el objetivo de ordenar los riesgos y clasificarlos en función de su prioridad (alta, media, baja), se realiza una ponderación numérica al impacto que produce cada riesgo (desde 0.05 hasta 0.80). Esta matriz que aplica la guía fundamental de dirección de proyectos (*PMBOK 5ta Edición Español*, s. f.) Plantea el llamado triángulo (rojo) de atención que corresponde a los riesgos calificados con prioridad alta.

Las oportunidades y los riesgos pueden manejarse en la misma matriz, utilizando las definiciones de los diversos niveles de impacto apropiados para cada una de ellas. Cada riesgo es clasificado según su probabilidad y su impacto.

El número de etapas en la escala será determinado por los desarrolladores del proyecto. En el caso de estudio propuesto, los datos representan la vulnerabilidad cada vez mayor a los que están sometidos los riesgos en las instalaciones fotovoltaicas y el aumento de la gravedad de estas consecuencias.

3.2. Técnicas de Evaluación de Juicio. Proceso Analítico Jerárquico AHP

El juicio de expertos es necesario tanto para evaluar la probabilidad y el impacto de cada riesgo como para determinar su ubicación dentro de la matriz y obtener la prioridad de atención de los riesgos. La obtención del juicio de expertos en materia de riesgos se logra a

menudo mediante cuestionarios a expertos. Debe tenerse en cuenta la parcialidad de los expertos en este proceso.

Este estudio propone aplicar toma de decisión multicriterio a través de la metodología AHP (Saaty, 2000) para evaluar la urgencia de los riesgos. El método AHP permite resolver un problema planteado de forma rápida y sencilla. AHP propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, de la cual se destacan tres principios básicos: el principio de la construcción de jerarquías, el principio de establecimiento de prioridades y el principio de la consistencia lógica (Guerrero-Liquet, Sánchez-Lozano, García-Cascales, & Ortuño, s. f., 2014).

Mediante esta metodología, el problema es modelado a través de una estructura jerárquica. Utilizando escalas de prioridades basadas en la preferencia de un elemento sobre otro, AHP sintetiza los juicios emitidos y proporciona un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos (Arancibia, Contreras, Mella, Torres, & Villablanca, 2003).

4. Caso de Estudio

El caso de estudio es la construcción de una instalación solar fotovoltaica en la zona de aparcamiento de un edificio de uso administrativo, concretamente las oficinas centrales de un banco en la ciudad de Santo Domingo (República Dominicana). Dicha instalación solar pretende cubrir parte de la demanda de energía eléctrica (Guerrero-Liquet, Sánchez-Lozano, García-Cascales, & Faxas-Gúzman, 2015).

A continuación (Figura 2) se detallan las características técnicas, físicas y económicas de la instalación con el objetivo de poder llevar a cabo la extracción del conocimiento de los expertos.

Figura 2: Recopilación de Datos del Proyecto (Fuente: Elaboración Propia)

Condiciones definidas del proyecto				
Localización del Proyecto	Características Técnicas	Diseño	Consumo Eléctrico	Análisis Económico
➤ Instalación Solar FV ➤ Santo Domingo, R.D. ➤ Conectada a Red ➤ Lugar: Banco Caribe ➤ Área: 761.5 m² ➤ Latitud: 18.47N ➤ Altitud: 56 m ➤ Inclinación Óptima: 8.4° ➤ Azimut: 00°	➤ Radiación: 4.01 Kw.h/ m²-dia ➤ Módulos Suniva 300 w MVX300 ➤ Numero de Módulos = 380 ➤ Velocidad del Viento: 167 kph ➤ Área Utilizada: 737 m² ➤ Vida útil: 25 años ➤ Inversor Fronius CL 55.5 Delta ➤ Cantidad de Inversores = 2 ➤ Potencia Nominal del Inversor = 56 Kw	➤ Rendimiento de Transformación 80% ➤ 10 paneles en series ➤ 38 Paneles en Paralelo ➤ Eficiencia Europea del Inversor 96% ➤ Umax Inv = 600 V ➤ Umin Inv = 230 V ➤ Sistema de Montaje: Unirac ➤ 5 Combiner Box ➤ Potencia Nominal de generador = 114 Kw	➤ Consumo Promedio: 66461.54 kWh /Mes ➤ Consumo Estimado: 114.00 kWh/día ➤ Consumo Anual: 864.000 kWh ➤ Producción Mensual: 12.515,17 kWh ➤ Porcentaje de Consumo Ahorrado: 19% ➤ Potencia Anual: 217,47 Kw/mes ➤ Valor de Producción Anual = 2.223,97 US \$ ➤ Potencia Media Anual: 200,75 kW/mes ➤ Promedio de Energía Normalizada: 180.71 Wh/Wp	➤ Costo= 234.014,25 US\$ ➤ Descuento por Ley = 40% ➤ Ahorro Anual Estimado = US \$ 26,687.63 ➤ Precio del Kw = 0,18 US\$ ➤ Beneficio en 10 años: US \$ 156.212,60 ➤ Pay Back: 5 years ➤ Beneficio en 25 años: US \$ 924.707,99 ➤ TIR en 10 años: -3% ➤ TIR en 25 años: 20 %

4.1. Selección de los Riesgos y los Criterios

La obtención de los riesgos se había llevado a cabo a través de un grupo de cinco expertos en un estudio previo (Guerrero-Liquet, Sánchez-Lozano, García-Cascales, Lamata & Verdegay, 2016). En dicho estudio los expertos identificaron los riesgos de la instalación a través de una combinación de métodos siguiendo las directrices y recomendaciones de (*PMBOK 5ta Edición Español*, s. f.). En este estudio se pudo establecer un orden de importancia para cada uno de estos riesgos. Los riesgos identificados por los expertos fueron los siguientes:

- R1.Alto Pay Back: alto tiempo que tardarán en recuperar el desembolso inicial invertido en el proceso productivo.
- R2.Perdidas por Sombras: perdidas de radiación solar por sombras de las instalaciones fotovoltaicas.
- R3.Costos de Mantenimiento: precio total a pagar por la limpieza de suciedad de los paneles solares durante la vida útil de la instalación.
- R4.Daños por Fenómenos Naturales: terremotos, huracanes, tormentas etc, que puedan ocasionar daños a la instalación.
- R5.Variabilidad del VAN: es el recorrido en términos porcentuales de la rentabilidad del proyecto. Mide el momento inicial y el beneficio que proporciona en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial. Es un indicador de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto.
- R6.Falta de Mantenimiento: efectos que causa el no limpiar el polvo y suciedad de una instalación durante su vida útil.
- R7.Cambios en el marco legislativo: diferentes cambios que puedan surgir sobre la legislación vigente que rige las normas y ayudas aplicadas a este tipo de inversión.
- R8.Falta de Reemplazos y Suministros: sustitución de cualquier componente o estructura que impida la eficiencia durante la vida útil de la instalación.
- R9.Falta de Financiación: la usencia de préstamos o financiación bancaria para sostener la inversión del proyecto.

En cuanto a los criterios utilizados para la evaluación de urgencia de los riesgos estos han sido también seleccionados tomando como base la guía PMBOK. Ésta establece en el apartado de gestión de riesgos, tanto los indicadores de prioridad para dar una respuesta a los riesgos como los síntomas y las señales de advertencia en términos de atención. Estos criterios son las condiciones definidas del impacto de un riesgo sobre los principales objetivos del proyecto:

- C1.Tiempo: cuando se puede producir el riesgo y cuál es su duración.
- C2.Coste: coste económico de los problemas potenciales que ocasionara el riesgo.
- C3.Rendimiento: el desempeño del riesgo a lo largo de todo el proyecto.
- C4.Gravedad: alcance o repercusiones que puede tener el riesgo en las distintas partes del proyecto.

4.2. Evaluación de Probabilidad e Impactos de los Riesgos

En esta etapa se obtiene la prioridad de probabilidad e impacto de los riesgos y el nivel de vulnerabilidad de cada uno de ellos aplicando la matriz de probabilidad e impacto de acuerdo a los efectos de rentabilidad y la probabilidad de ocurrencia. Para aplicar dicha matriz se elaboró un cuestionario que permitía evaluar la prioridad y el impacto de cada riesgo de forma independiente. A continuación se detallan las preguntas de dicho cuestionario para cada uno de los riesgos:

1. ¿Seleccione la probabilidad de ocurrencia de que esta instalación tenga X riesgo?

1	3	5	7	9
---	---	---	---	---

Siendo:

- 1: Probabilidad de ocurrencia mínima
- 3: Probabilidad de ocurrencia entre mínima y media
- 5: Probabilidad de ocurrencia media
- 7: Probabilidad de ocurrencia entre media y alta
- 9: Probabilidad de ocurrencia alta

2. ¿Seleccione el impacto (en %) que puede causar X riesgo en la instalación?

5	10	20	40	80
---	----	----	----	----

Siendo:

5: Impacto Bajo

10: Impacto entre Bajo y Medio

20: Impacto Medio

40: Impacto entre Medio y Alto

80: Impacto Alto

Se obtuvieron una serie de ponderaciones numéricas las cuales fueron introducidas en la matriz de probabilidad e impacto (tabla 1). Mediante la multiplicación de las filas y columnas entre sí fue posible obtener el valor de entrada a la matriz y calcular la prioridad de la probabilidad e impacto de los riesgos para cada experto.

Tabla 1: Matriz de Probabilidad e Impacto (Fuente: Elaboración Propia)

		Riesgo = Probabilidad x Impacto				
Probabilidad	0,9	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72
	0,7	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56
	0,5	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40
	0,3	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24
	0,1	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08
		0,05	0,10	0,20	0,40	0,80
		Impacto				

Prioridad alta

Prioridad media

Prioridad baja

Con esta matriz quedan definidos tres grupos de niveles de probabilidad e impacto para los riesgos:

- Prioridad baja: los riesgos que pertenezcan a este grupo deben ser incluidos en una lista de supervisión y monitorización.
- Prioridad media: con este grupo de riesgos se debe tener una acción de gestión proactiva.
- Prioridad alta: este grupo de riesgos necesita prioridad de acción y estrategias de respuesta agresivas.

Para obtener un promedio global de los resultados arrojado por los expertos se aplicó la media geométrica a los valores de probabilidad e impacto obtenidos de cada riesgo (tabla 2).

Tabla 2: Calculo de la probabilidad e impacto de los riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

Riesgos	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Resultado Global	
R1: Alto Pay Back	0,24	0,20	0,20	0,24	0,24	0,22	Prioridad Alta
R2: Perdidas por Sombras	0,03	0,06	0,03	0,12	0,10	0,06	Prioridad Media
R3: Costos de Mantenimiento	0,14	0,04	0,05	0,20	0,02	0,06	Prioridad Media
R4: Daños por Fenómenos Naturales	0,36	0,40	0,02	0,28	0,28	0,18	Prioridad Alta

R5: Variabilidad del VAN	0,06	0,28	0,10	0,20	0,06	0,12	Prioridad Media
R6: Falta de Mantenimiento	0,02	0,04	0,56	0,04	0,03	0,06	Prioridad Media
R7: Cambios en el marco legislativo	0,28	0,72	0,40	0,20	0,56	0,39	Prioridad Alta
R8: Falta de Reemplazos y Suministros	0,01	0,08	0,04	0,04	0,12	0,04	Prioridad Baja
R9: Falta de Financiación	0,28	0,40	0,72	0,20	0,12	0,29	Prioridad Alta

Mostrando los resultados finales en forma de gráfico (figura 3), es posible apreciar a simple vista que existe un grupo intermedio de cuatro riesgos aceptables (prioridad media); otro grupo de cuatro riesgos que requiere mayor análisis (prioridad alta) y un solo riesgo con prioridad baja.

Para finalizar esta etapa se preparó una lista que reflejase el nivel de vulnerabilidad de cada riesgo (alta, baja o moderada) a partir de la prioridad de probabilidad e impacto obtenido (tabla 3).

En este listado es evidente que solo el riesgo R8 (falta de reemplazos y suministros) tiene un nivel de vulnerabilidad bajo. Este riesgo debe ser monitorizado para tenerse en cuenta en contingencias a largo plazo.

Los riesgos R2, R3, R5 y R6 tienen un nivel de vulnerabilidad moderado y los restantes son riesgos con un nivel de vulnerabilidad alto.

Figura 3: Resultados de Probabilidad e Impacto de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

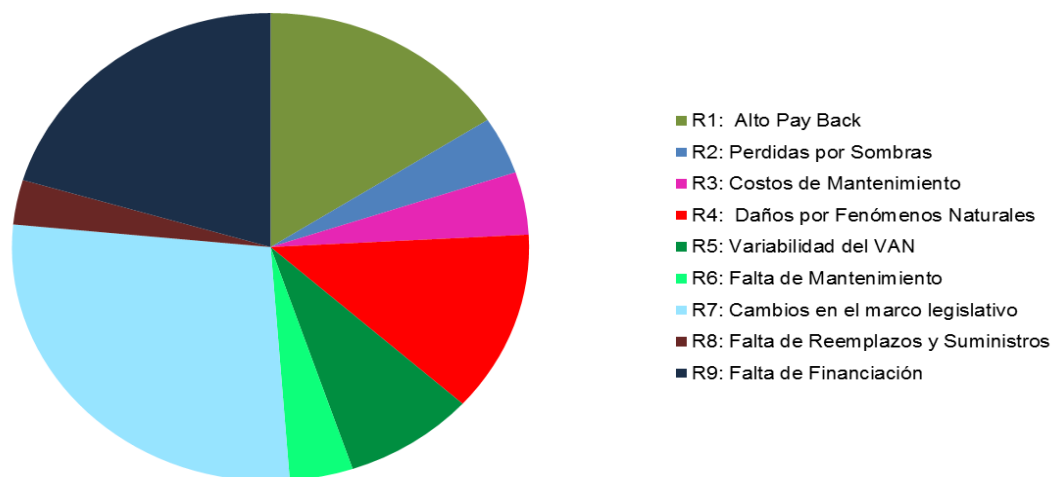


Tabla 3: Listado del Nivel de Vulnerabilidad de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

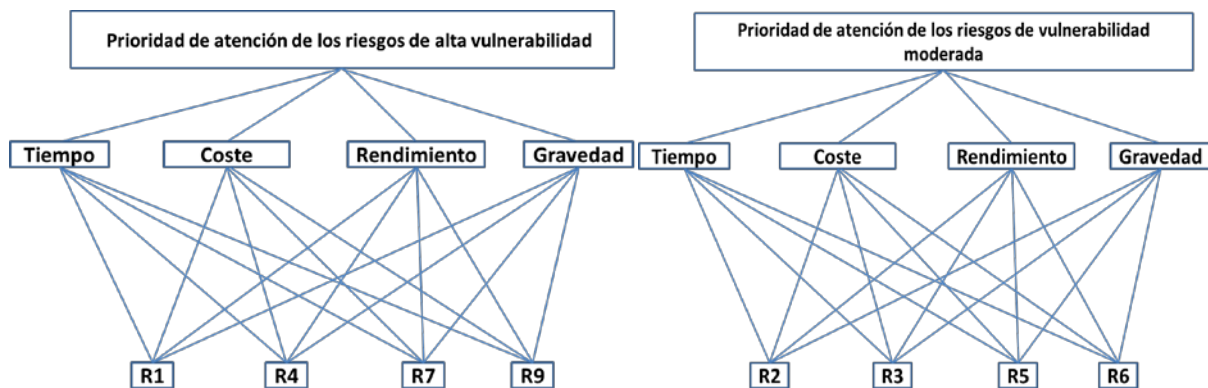
Riesgo Bajo	Riesgo Moderado	Riesgo Alto
R8: Falta de Reemplazos y Suministros	R2: Perdidas por Sombras	R1: Alto Pay Back
	R3: Costos de Mantenimiento	R4: Daños por Fenómenos Naturales
	R5: Variabilidad del VAN	R7: Cambios en el marco legislativo
	R6: Falta de Mantenimiento	R9: Falta de Financiación

4.3. Evaluación de la Urgencia de los Riesgos

Después de haber obtenido dos grupos de riesgos que requieren acciones a corto plazo se inició la siguiente etapa del análisis cualitativo de los riesgos. Está consistía en considerar la prioridad en la que deben ser atendidos cada uno de los riesgos mencionados según el grupo al que pertenezcan.

Para obtener la prioridad de urgencia de los riesgos según la vulnerabilidad (moderada o alta) la metodología AHP fue aplicada. Para ello, se elaboró un cuestionario utilizando la escala de preferencia de (Saaty, 2000). La estructura jerárquica de la metodología AHP para el caso particular propuesto estaba compuesta por tres niveles (figura 4): objetivos, criterios y riesgos según el nivel de vulnerabilidad obtenido (tabla 3).

Figura 4: Estructuras Modélicas Jerárquicas AHP del Caso (Fuente: Elaboración Propia)



El cuestionario constaba de dos partes claramente diferenciadas; una permitiría establecer las prioridades locales de los criterios comparando cada par de criterios y, evaluando la importancia de uno con respecto al otro.

La segunda parte proporcionaría las prioridades locales de los riesgos, comparando cada riesgo y evaluando la importancia de cada uno con respecto al otro para cada uno de los criterios. Los resultados obtenidos en dicho cuestionario fueron modelados en una hoja de cálculo.

Con el objetivo de comprobar si los juicios de los expertos debían ser revisados y obtener de este modo, la importancia de los riesgos; el índice de consistencia para cada uno de los expertos fue calculado.

Finalmente para obtener los resultados de los juicios de los expertos de forma global, se llevó a cabo una agregación homogénea utilizando la media geométrica. Tras aplicar la metodología AHP se obtuvo la prioridad de atención de cada riesgo según el nivel de vulnerabilidad (alto o moderado) (tabla 4).

Tabla 4: Prioridad de Atención de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

AHP		
Riesgos Moderados	Pesos	Prioridad de Atención
R2: Perdidas por Sombras	0,178	3
R3: Costos de Mantenimiento	0,175	4
R5: Variabilidad del VAN	0,275	2
R6: Falta de Mantenimiento	0,372	1

Riesgos Altos	Pesos	Prioridad de Atención
R1: Alto Pay Back	0,120	4
R4: Daños por Fenómenos Naturales	0,211	3
R7: Cambios en el marco legislativo	0,392	1
R9: Falta de Financiación	0,277	2

Con estos resultados resulta posible establecer un orden de urgencia para atender los problemas que afectan a la rentabilidad de la instalación fotovoltaica. Los criterios con mayor peso en la decisión fueron C4 (gravedad) y C2 (costos) y los criterios con menor peso fueron C3 (rendimiento) y C1 (tiempo).

El riesgo que mayor atención reclama es el riesgo financiero R7 (cambios en el marco legislativo) ya que es el riesgo de alto nivel de vulnerabilidad que mayor prioridad de atención ha obtenido (figura 5).

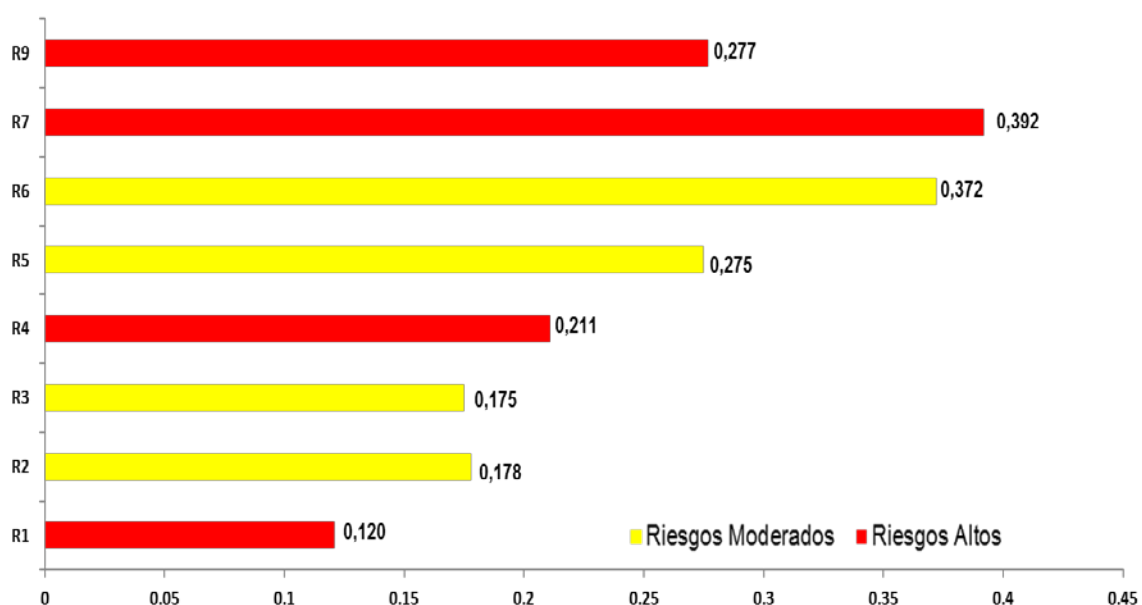
En ese mismo orden R7 es seguido de R9 (falta de financiación) que es otro riesgo de tipo financiero. En la tercera posición de atención se encuentra R4 (daños por fenómenos naturales) que es el único riesgo de tipo técnico que tiene una alto nivel de vulnerabilidad.

La última prioridad de atención entre los riesgos de alto nivel de prioridad es R1 (alto pay back), la justificación a este resultado podría encontrarse en la dependencia que presenta este riesgo con el marco legislativo establecido.

En cuanto a los riesgos con un nivel de vulnerabilidad moderado es interesante destacar que R6 (falta de mantenimiento) es el riesgo de tipo técnico que presenta mayor prioridad de atención seguido muy de cerca del riesgo financiero R5 (variabilidad del VAN) lo que denota una mayor importancia de los riesgos financieros de forma global.

El tercer orden de prioridad lo proporciona el riesgo técnico R2 (perdidas por sombras), estando en el último lugar el riesgo financiero R3 (costos de mantenimiento) probablemente esto se debe a su alta vinculación con el riesgo R6 (falta de mantenimiento).

Figura 5: Coeficientes de importancia de los riesgos según AHP (Fuente: Elaboración Propia)



Los riesgos que tienen un nivel de vulnerabilidad moderado quedan supeditados a un segundo plano en orden de importancia llevándose a cabo acciones proactivas con cada uno de ellos. En cambio los riesgos de alto nivel de vulnerabilidad deberán ser sometidos a acciones y estrategias agresivas para responder a las mitigaciones y contingencias como corresponde de acuerdo con la prioridad de atención obtenida.

5. Conclusiones

Determinando la severidad y la prioridad de atención de cada uno de los riesgos a los que está sometido el proyecto se cumple con el objetivo principal de este estudio. Con los resultados obtenidos, los inversores y desarrolladores podrán evaluar la rentabilidad, el impacto y la probabilidad de ocurrencia de una instalación solar fotovoltaica con mayor facilidad.

En este análisis queda claro cuáles son las incertidumbres que habría que atender antes y durante la vida útil de este tipo de proyectos. En primer lugar de urgencia queda establecido el riesgo financiero R7 (cambios en el marco legislativo), se demuestra por tanto que este tipo de instalaciones no deben estar sometidas bajo ningún concepto a cambios retroactivos en sus normativas y subvenciones ya que se podría ver afectada de forma inmediata su rentabilidad.

Por otro lado es importante que el proyecto cuente con una financiación sólida que asegure un tiempo de retorno apropiado de la inversión. En cuanto a los aspectos técnicos, es obligatorio tener en cuenta las previsiones necesarias para que no se produzcan daños en la infraestructura de la instalación ya que el país insular donde está ubicada la instalación (el Caribe) está sometido a continuos fenómenos climatológicos adversos.

Ha sido identificado por los expertos como poco importante un solo riesgo en el proceso de evaluación, específicamente R8 (reemplazos y suministros), quedando dispuesto en una lista de supervisión para riesgos de baja prioridad para una monitorización continua. Los resultados obtenidos en este riesgo demuestran su estrecha vinculación con el mantenimiento de la instalación el cual debe ser objeto de una gestión proactiva.

En cuanto a la metodología aplicada conviene destacar que la matriz de impacto y probabilidad ha permitido facilitar la búsqueda de la prioridad de atención de los riesgos. La metodología AHP garantizó una selección consensuada de todos los actores que intervinieron en el proceso de toma de decisión proporcionando además, una medición eficaz de la consistencia de cada uno de los expertos.

Este análisis cualitativo garantiza la calidad de las acciones posteriores del proceso de gestión de riesgos y ha permitido identificar los riesgos que necesitan respuestas a corto plazo. Como propuestas para investigaciones futuras es interesante mencionar la problemática en la obtención de datos cuantificables.

Motivo por el cual no resulta posible realizar un estudio más exhaustivo a través de un análisis cuantitativo del riesgo que permita planificar las respuestas de mitigación y contingencia de forma eficiente. Otra línea de investigación podría ser analizar el riesgo y las consecuencias potenciales que surgen a partir de estimaciones claras a través del tiempo de cada uno de los riesgos.

Referencias

- Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P., & Villablanca, I. (2003). Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. *Universidad de Chile*.

- Astles, K. L., Gibbs, P. J., Steffe, A. S., & Green, M. (2009). A qualitative risk-based assessment of impacts on marine habitats and harvested species for a data deficient wild capture fishery. *Biological Conservation*, 142(11), 2759-2773. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.006>
- Gatzert, N., & Kosub, T. (2016). Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 982-998. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.103>
- Guerrero-Liquet, G. C., Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., & Ortuño, A. (s. f.). Comparison of AHP/ANP decision making methodologies in a case study of renewable energy in the Dominican Republic. http://www.aepro.com/files/congresos/2014alcaniz/CIDIP2014_1561_1575.4269.pdf
- Guerrero-Liquet, G. C., Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., & Faxas-Gúzman, R. Risk management in the renewable energy field: comparative analysis and study case in the Dominican Republic. <http://www.aepro.com/files/congresos/2015granada/05033.4452.pdf>
- Guerrero-Liquet, G. C., Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., Lamata M.T., & Verdegay J.L. (2016). Decision-Making for risk management in sustainable renewable energy facilities: A case study in the Dominican Republic. *Sustainability*, 8(5), 455. <http://www.mdpi.com/2071-1050/8/5/455> doi:10.3390/su8050455
- Heinrich Blechinger, P. F., & Shah, K. U. (2011). A multi-criteria evaluation of policy instruments for climate change mitigation in the power generation sector of Trinidad and Tobago. *Energy Policy*, 39(10), 6331-6343. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.034>
- Ochs, A.; Konold, M.; Matthew Lucky, S.; Musolino E.; Ahmed A.; and Weber M. Harnessing Energy Resources Sustainable of the Dominican Republic. Worldwatch Institute. Washington DC, July 2015.
- PMBok (2012). *Project Management Institute*. "Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK)". 5a Ed., Pennsylvania USA.
- Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications.
- Stefana, E., Marciano, F., & Alberti, M. (2016). Qualitative risk assessment of a Dual Fuel (LNG-Diesel) system for heavy-duty trucks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 39, 39-58. <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.11.007>