



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de Riesgos Ligados al Diseño del Sistema en Grandes Parques Fotovoltaicos

TRABAJO FIN DE MASTER

MASTER OFICIAL EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor:

Razziel Starling Castillo Tapia

Director:

Francisco de Asís, Ruz Vila

Cartagena, España, Octubre 2019



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Dedicatoria

A mi madre, la **Lic. Minerva Amantina Tapia Flores**, porque siendo ella una mujer que vino de abajo, pero de buen corazón, ha tenido el coraje suficiente para lograr con trabajo, persistencia y determinación. Todo lo que se ha propuesto, incluido darme una vida digna y una profesión. Siempre estaré agradecido de los buenos valores inculcados y del buen sentido de la vida conformándome así con las cosas inmateriales que definen nuestra calidad humana y sobre todas ellas Dios, ante todo.

Agradecimientos

A Dios: Porque nací en una cultura creyente y si algo bueno tienen en común las iglesias es que Dios ¡no hace cosas malas! gracias mi papa Dios.

A Mi familia:

- **Mi Padre:** Etanislao Castillo Reynoso; por tus sabias palabras que en medio de la tormenta salen a relucir del banco de memoria, ¡gracias rafelito!
- **Mi Tío** Arístides Tapia: por siempre mantener una cercanía en esta travesía y por el apoyo que me ha dado desde pequeño, ¡gracias papi!
- **Mi Abuela:** María teresa Reynoso de Castillo (EPD): Porque nunca habría conocido un corazón tan noble y tan amoroso tu uno te manda un beso ¡donde quiera que estés!
- **Mis tíos y primos:** Fiordaliza Flores, Geuris L. Flores, Mercedes Zapata, Vicente Castillo (EPD), Leidy Castillo, Edgar Mercado, Altagracia Castillo, Perci Zapata, Jenny M. Zapata, Jaqui M. Zapata, Benito M. Zapata, Rosanna Pineda, y a todos los demás ¡Gracias!
- **Mis amigos:** Christopher Sánchez, Amanda Dominici, Ariel Feliciano, Cristian Sánchez porque a pesar de la distancia siempre estuvieron ahí. A Carolina Esther Castillo Mejía quien ha estado conmigo hasta el último momento de este trabajo, y a Estarli Moises Peña quien me ha apoyado desde grado.

A mi director de TFM: DR Fráncico de Francisco de Asís, Ruz Vila: Porque en la primera entrevista estuvo de acuerdo en que trabajáramos juntos sin conocerme y sin haber sido antes mi profesor, confió en mí y sé que ha llovido, pero le doy las gracias por soportarme y por inculcar en mí, cosas que me prepararan no solo para la ingeniería sino para la vida, gracias por soportarme profesor “Paco” nunca lo olvidare. ¡Gracias por ayudarme!



Índice

GLOSARIO DE TÉRMINOS	7
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	8
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVOS	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
MARCO TEÓRICO.....	11
GESTIÓN DEL RIESGO.....	11
DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE GESTIÓN DE RIESGO	13
<i>Identificación de riesgos</i>	14
<i>Juicio de expertos</i>	16
<i>Análisis FODA</i>	16
<i>Análisis de riesgos</i>	16
GESTIÓN DE RIESGOS EN PARQUES SOLARES	25
JUSTIFICACIÓN	25
LÓGICA BORROSA Y LOS CONJUNTOS DIFUSOS.....	26
LÓGICA BORROSA	27
CONJUNTOS DIFUSOS.....	28
<i>Teoría de los conjuntos Difusos (Fuzzy Sets Theory)</i>	28
<i>Operaciones con números difusos basados en el concepto de α corte</i>	30
MÉTODOS DE DECISIÓN COMBINADOS CON LA LÓGICA BORROSA Y TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA.	32
MÉTODOS CONVENCIONALES.....	33
<i>FTA: Análisis de árbol de fallas</i>	33
<i>ETA: Análisis del árbol de eventos</i>	33
<i>AHP: Analytic Hierarchy Process</i>	33
METODOLOGÍAS PROPUESTAS PARA EL RIESGO BORROSO	33
<i>FFTA (Fuzzy Fault Tree Analysis)</i>	34
<i>ETA y FUZZY</i>	34
<i>Fuzzy y AHP</i>	35
APLICACIONES RECIENTES DE LÓGICA BORROSA EN EVALUACIÓN DE RIESGOS CON MÉTODOS DE DECISIÓN.	36
ANÁLISIS DEL RIESGO DIFUSO EN GRANDES PARQUES SOLARES FOTOVOLTAICOS COMBINANDO Y UTILIZANDO MÉTODOS DE DECISIÓN CON LÓGICA BORROSA Y TEORÍA DE CONJUNTOS DIFUSOS.	39
MODELO DE EVALUACIÓN PROPUESTO.....	39
APLICACIÓN	39
EXPLICACIÓN TEÓRICA.	39
<i>Paso preliminar</i>	40
<i>Definición de la función factor de riesgo y medición de las variables</i>	42
<i>Paso de inferencia borrosa</i>	47
APLICACIÓN PRACTICA	47
IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS Y SU FUENTE Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA JERÁRQUICA	48

RIESGOS TÉCNICOS	48
<i>Tecnología Fotovoltaica:</i>	49
<i>Ubicación de la planta:</i>	49
<i>Consideración de tormentas e inundaciones</i>	49
RIESGOS ECONÓMICOS:	50
<i>Ubicación de la planta:</i>	50
<i>Permisos para la instalación y puesta en marcha:</i>	50
<i>Tecnología:</i>	50
RIESGOS POLÍTICOS:	51
<i>Cambios en política medioambiental:</i>	51
<i>Licencia urbanística:</i>	51
RIESGOS LEGALES:	51
<i>Licencias urbanas:</i>	52
<i>Riesgo legal internacional:</i>	53
RIESGOS SOCIALES:	53
<i>Impacto social</i>	53
<i>Explotación del proyecto:</i>	53
CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE RIESGOS:	54
MEDIA DE LOS PARÁMETROS RI Y RP Y AGREGACIÓN DE UN NÚMERO DIFUSO INDIVIDUAL EN UN GRUPO DE NÚMEROS DIFUSOS.	55
AGREGACIÓN DE NÚMEROS DIFUSOS PARA RI Y RP	61
RESULTADOS DE VALORIZACIÓN DE EXPERTOS PARA COMPARACIÓN POR PARES EN EL SEGUNDO NIVEL DE LA JERARQUÍA CONSIDERANDO ESTE COMO NIVEL INFERIOR Y AGREGACIÓN DE NÚMEROS DIFUSOS.	68
CALCULO DE PESOS COMPARACION POR PARES CON NUMEROS ASOCIADOS, PRIMER NIVEL DE LA JERARQUÍA.....	75
CALCULO DE PESOS COMPARACION POR PARES CON NUMEROS ASOAICADOS EN SEGUNDO NIVEL DE LA JERARQUÍA.	76
RESULTADOS	79
CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFÍAS	81



Glosario de Términos

Fuzzy Set: Conjunto Difuso

Fuzzy logics: Lógica Borrosa O Difusa

AHP: Analytic Hierarchy Process

MCDM Multiple Criteria Decision Making

FTA: Análisis de árbol de falla

ETA: Análisis del árbol de eventos

RDC: Risk Discrimination Comparative

RD: Risk Discrimination

ORF: Overall Risk Factor

RI: Risk Impact

RP: Risk Probability

IRENA: The International Renewable Energy

PMI: Project Management Institute

NRLE: National Renewable Energy Laboratory

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1 DIAGRAMA DE INFLUENCIA	16
ILUSTRACIÓN 2 PROCESO DE GESTIÓN DE RIESGOS	17
ILUSTRACIÓN 3. MATRIZ DE PROBABILIDAD IMPACTO. FUENTE: (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 2013)	18
ILUSTRACIÓN 4 (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 2013).....	19
ILUSTRACIÓN 5 DIAGRAMA DE ÁRBOL DE DECISIONES FUENTE (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE 2013).....	20
ILUSTRACIÓN 6 GRAFICO DE TENDENCIAS EFICIENCIA SOLAR FUENTE: (NREL))	21
ILUSTRACIÓN 7 TENDENCIA ANUAL DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA INSTALADA EN REPÚBLICA DOMINICANA HASTA 2018	23
ILUSTRACIÓN 8 RANKING DE LOS 10 PAÍSES CON MAYOR CAPACIDAD INSTALADA EN 2018 (IRENA),.....	23
ILUSTRACIÓN 9 EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA A PARTIR DE TECNOLOGÍA FOTO VOLTAICA A NIVEL MUNDIAL DESDE EL AÑO 2010 A 2018. (IRENA)	24
ILUSTRACIÓN 10 PLANTA SOLAR FLOTANTE EN CHINA (IRENA)	24
ILUSTRACIÓN 11 EJEMPLO GRAFICO NUMERO DIFUSO FUENTE: APUNTES ASIGNATURA DE PLANIFICACIÓN Y TOMA DE DECISIONES	29
ILUSTRACIÓN 12 EJEMPLO GRAFICO NUMERO DIFUSO FUENTE APUNTES ASIGNATURA DE PLANIFICACIÓN Y TOMA DE DECISIONES	29
ILUSTRACIÓN 13 TÉRMINOS LINGÜÍSTICOS ESTABLECIDOS A TALES TÉRMINOS SE LES ASIGNA UN VALOR NUMÉRICO DE NÚMEROS DIFUSOS. (CARR Y TAH 2001)	36
ILUSTRACIÓN 14 FIG. 5 ESTRUCTURA JERÁRQUICA DE RIESGOS EN PARQUES SOLARES EN ALTA MAR EN CHINA. (WU ET AL. 2019)	37
ILUSTRACIÓN 15 MODELO PROPUESTO PARA ESTA EVALUACIÓN FUENTE: PROPIA	40
ILUSTRACIÓN 16 MODELO DE JERARQUÍA DE RIESGOS: ELABORACIÓN PROPIA.	41
ILUSTRACIÓN 17 ESTRUCTURA JERARQUÍCA DE RIESGOS FOTOVOLTAICOS EN ETAPA DE DISEÑO	54
ILUSTRACIÓN 18 ESTRUCTURA JERÁRQUICA: ELABORACIÓN PROPIA.....	54

Introducción

La gestión de riesgos es crítica al momento de planificar y ejecutar un proyecto de manera organizada. Sobre todo, cuando se trata de proyectos de innovación tecnológica o aquellos catalogados como grandes proyectos debido a la gran cantidad de recursos, tanto humanos como materiales que involucra.

A través de los años se han venido realizando investigaciones que buscan mejorar la gestión de riesgos, utilizando métodos, herramientas prácticas y teóricas dentro del ámbito de la ingeniería que buscan darle a la gestión de los riesgos una mayor valoración orientada a la identificación y análisis de los riesgos de los grandes proyectos.

Con este trabajo se pretende llegar a una aproximación de lo que representa el análisis de riesgos en la etapa de diseño de grandes parques solares fotovoltaicos utilizando métodos de decisión en combinación con la lógica matemática borrosa y la teoría de los conjuntos difusos.

Puesto que la gestión de riesgo es duradera, más allá de la etapa de planificación de los proyectos. En este trabajo nos enfocaremos en el análisis de riesgos en lo que es la etapa de diseño, hablaremos sobre las etapas que involucra la gestión de riesgo ya que el análisis tiene que ver en parte con algunas de estas etapas.

Se repasarán cuáles son los métodos y técnicas habituales que se utilizan tanto para la identificación como para el análisis de riesgos en general, y se explicaran las aplicaciones que pueda tener alguna de ellas en la industria fotovoltaica, con el objetivo de realizar nuestro propio análisis con un método seleccionado que nos permita comparar y precisar más sobre los riesgos que involucra este tipo de proyectos.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar el análisis de riesgo de grandes parques fotovoltaicos basándose exclusivamente en la etapa de diseño de este, aplicando el método de lógica borrosa y los conjuntos difusos (Fuzzy set theory), apoyado en métodos de decisión.

Objetivos específicos

1. Identificar los riesgos asociados a la etapa de diseño de grandes parques solares fotovoltaicos.
2. Definir los métodos para el análisis de riesgos utilizados en grandes parques solares fotovoltaicos.
3. Proponer un modelo de análisis utilizando riesgos identificados en la etapa de diseño.
4. Aplicar análisis de riesgo con el método propuesto para analizar los riesgos asociados a la etapa de diseño y presentar los resultados.

Marco teórico

Gestión del riesgo

“Un riesgo generalmente se define como la exposición potencial a una pérdida creada por un peligro. Un peligro es una situación (física o social) que, si se encuentra, podría iniciar un rango de consecuencias o eventos no deseados. La evaluación de riesgos es el proceso de obtener una estimación cuantitativa de un riesgo (probabilidad y consecuencias).” (Simon et al. 1997)

Según el PMI, la gestión de riesgo incluye a su vez todos los procesos para llevar a cabo la misma. Tales como la identificación, el análisis y la planificación de respuesta y control del riesgo de un proyecto, o mejor conocido en algunos ámbitos, como el plan de respuesta a riesgos. Teniendo como objetivo aumentar la probabilidad y el impacto de que ocurran eventos positivos y disminuir el impacto de eventos negativos. Recalamos que en este trabajo nos limitamos a la parte del análisis de estos.

En la gestión de riesgos se usa la información recolectada durante la fase de análisis de riesgo y se utiliza también para tomar decisiones sobre cómo mejorar la probabilidad de que ocurren eventos positivos en el proyecto, y que se logre su costo, tiempo, alcance, calidad y demás objetivos. Esto se hace reduciendo el riesgo donde es realmente necesario y oportuno hacerlo, y monitoreando y administrando los riesgos vivos que aún permanecen.

El gerente del proyecto o “*Project manager*” usa la información que este a su alcance para elegir una respuesta factible para cada riesgo identificado durante la etapa cualitativa. Esto puede implicar sin duda la modificación de los planes del proyecto para reducir el riesgo, moviendo actividades fuera de la ruta crítica ya sea adelantando algunas o incluso extendiendo el tiempo de otras, desarrollando planes de contingencia para permitir una respuesta rápida a riesgos, por lo cual se establece un monitoreo de procedimientos para las áreas críticas con el propósito de llegar temprano donde se producen los riesgos antes de que ocurra un evento no deseado.

Otra definición que ofrece el PMI, es que un riesgo puede ser un evento o una condición incierta. Que, de producirse, otorgara un efecto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto. Estos se reflejan

en el alcance, el coste, el cronograma y la calidad. También un riesgo puede tener varias causas. Que producen uno o varios impactos en caso de materializarse.

Las causas pueden ser denominadas requisitos potenciales y en su lugar los supuestos, una restricción o una condición que conlleva la posibilidad de consecuencias positivas y negativas. Un ejemplo es que entre las causas se incluya el requisito de un permiso tal para un trabajo tal, y en este caso el riesgo consiste en por ejemplo el tiempo que pueda durar una agencia que nos otorgue dicho permiso. Entonces de producirse un evento similar, podría causar un impacto en el alcance del proyecto. Destacando que las condiciones de riesgo que exista pueden incluir aspectos sobre el entorno propio del proyecto o de organizaciones que contribuyan a tales riesgos.

El origen de los riesgos del proyecto comienza con la incertidumbre que esté presente en cualquier proyecto. Donde una vez identificado y posteriormente analizados, se conocen tales riesgos. De manera consecuente esto hace posible que existan respuestas para gestionar los mismos. Existen riesgos conocidos que quizás no se puedan gestionar de una manera proactiva, pero se les debe dar de manera asignada una reserva de un plan de contingencias. Será imposible gestionar un riesgo desconocido de manera proactiva, por tal razón se le asigna la reserva de gestión. Los riesgos descritos como negativos y materializados, se consideran problemas, y los riesgos particulares o individuales tiene diferencia con el riesgo global del proyecto. Ya que este último mencionado representa el efecto de las incertidumbres con relación al proyecto en conjunto. Y se considera aún más que la suma de todos los riesgos particulares ya que también incluye todas las fuentes del proyecto que generen incertidumbre. Y representan a que nivel de exposición se encuentran todos los interesados del proyecto con respecto a los resultados y la variación que puedan tener con respecto a lo planificado.

En El libro “Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos 5ta edición (guía del PMBOOK)”. Se explica que las organizaciones perciben riesgos como el efecto que tengan las incertidumbres sobre los objetivos del proyecto, y que a las organizaciones y a todos los interesados les interesa aceptar niveles de riesgos de diferentes tipos, todo en función de la actitud frente a tales riesgos. Y que estas actitudes frente a riesgos se ven afectadas por una serie de factores que se clasifican en tres categorías las cuales son:

1. **Apetito de riesgo:** que se refiere al grado de incertidumbre que esté dispuesta a aceptar una organización pensando en una recompensa por ello.
2. **Tolerancia al riesgo:** se refiere al volumen (cantidad), de riesgos que resista una organización o persona.
3. **Umbral de riesgos:** aquí se refieren como una manera de controlar lo que se acepta como riesgos, un umbral de riesgo se refiere a medir el nivel de impacto o incertidumbre de manera que según un nivel definido lo organicen, acepte o tolere riesgos según el umbral.

A los riesgos positivos y negativos, también se les dice oportunidades y amenazas, estas dos palabras son vistas en los análisis **FODA**, que incluyen fortalezas, debilidades, y amenazas. En los proyectos los riesgos deben estar dentro del margen de tolerancias y deben estar en equilibrio con los beneficios que se puedan obtener al asumir los mismos. Los riesgos positivos son aquellos que ofrecen oportunidades que estén dentro de los límites de tolerancia a riesgos.

Los gerentes de proyectos, y los grupos de trabajo. Suelen adoptar actitudes que influyen la manera en la que responden a los riesgos. Dichas actitudes son motivadas por la percepción, tolerancia y predisposición que debe estar al alcance explícito dentro de lo que sea siempre posible.

Las organizaciones deben de gestionar la materia de riesgos de manera proactiva, durante todo el ciclo del proyecto. Debe realizarse una correcta elección e identificación a todos los niveles del proyecto y así procurar una gestión de riesgos suficientemente eficaz. Los riesgos pueden existir justamente cuando el proyecto ha iniciado, por eso es necesario una comunicación eficaz que motive al enfoque proactivo, ya que avanzar en el proyecto sin tener esto controlado o al menos gestionado supone un mayor número de problemas como consecuencia de las amenazas que no se han podido identificar ni gestionar.

Descripción de los procesos de gestión de riesgo

Sobre el tema de gestión de riesgos se han dado muchas investigaciones y se han propuesto diferentes procesos y enfoques provenientes de la gestión de proyectos. Algunos de los más importantes encontramos:

PRAM (Chapman, 1997)

RAMP (Institución de Ingeniería Civil, 2002)

PMBOK (Project Management Instituto, 2008)

RMS (Instituto de Riesgo Gestión, 2002).

Casi todos estos enfoques tienen un marco similar con diferencias en lo establecido. (Nieto-Morote y Ruz-Vila 2011a)

A continuación, mostramos el grupo de procesos que conforma la gestión de riesgo según el libro “Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos 5ta edición. (guía del pmbok)”

- **Planificar la Gestión de los Riesgos:** Esta definición incluye el cómo realizar todas las actividades que involucren los procesos de grupo de gestión de riesgos.
- **Identificar los Riesgos:** consiste en determinar de manera clara cuáles son los riesgos que afectarían o afectan al proyecto.
- **Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos:** evalúa cualitativamente la probabilidad de ocurrencia de los riesgos.
- **Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos:** se encarga de estudiar de manera numérica y más precisa los riesgos identificados.
- **Planificar la Respuesta a los Riesgos:** es el proceso de planificar las acciones para hacerle frente a las amenazas que puedan manifestarse.
- **Controlar los Riesgos:** en esta etapa básicamente se pone en ejecución el proceso de implementación de los planes de respuesta a riesgos identificados y también se encarga de monitorear futuros riesgos y riesgos residuales.

Identificación de riesgos

Técnicas y herramientas para la identificación de riesgos.

Las listas de verificaciones se utilizan para la identificación de riesgos, y estas se establecen y desarrollan encima de la base histórica y del conocimiento sobre proyectos anteriores que sean similares, es utilizada también como lista de verificación, el nivel más bajo de RBS (Risk Breakdown Structure), suelen ser rápidas y sencillas, pero debe tenerse cuidado evitando una no selección adecuada durante la identificación de riesgos. Estas listas son revisadas para el tema de lecciones aprendidas al finalizar el proyecto, también deben de depurarse durante el curso para eliminar o archivar elementos.

La técnica Delphi.

La técnica Delphi utiliza expertos en riesgos, que participan de forma técnica y anónima. Se utilizan cuestionarios para pescar ideas sobre los riesgos más importantes del proyecto, para ponerse de acuerdo con nivel de expertos, luego de ser enviadas tales respuestas para ser evaluadas por tales expertos. Dicha técnica evita que personas no pertinentes ejerzan influencia sobre los resultados.

Las técnicas de diagramación.

Muchas veces nos topamos con diagramas organizacionales, que ni siquiera entendemos o sabemos para que se utilizan dentro de las organizaciones, pues no entendemos en primera instancia su objetivo, y preferimos los métodos tradicionales de documentación, pero es preciso destacar que la diagramación como herramienta es muy importante en la gestión de proyectos sobre todo para identificar problemas y causas que se originan en las incertidumbres como por ejemplo en los riesgos.

Diagramas de causa y efecto

El diagrama de espina de pescado también así llamado es una herramienta muy útil para la identificación de causas. Esta suele ser también una buena herramienta para el análisis de calidad y gestión de procesos.

Diagramas de flujo de procesos o de sistemas

Son los diagramas que describen el flujo de los procesos y la interacción que tienen dentro de un sistema.

Diagramas de influencias

Son los diagramas que muestran la influencia que tienen los procesos entre sí con los resultados que se van obteniendo.

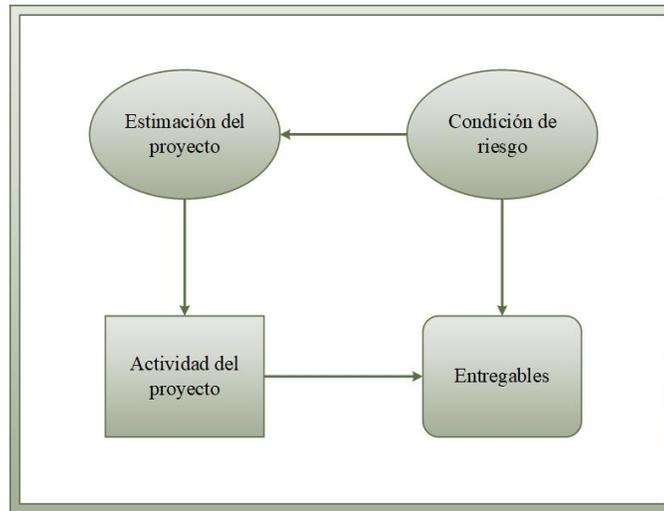


Ilustración 1 Diagrama de influencia

Fuente: elaboración propia

Juicio de expertos

Juicio de expertos es un término muy mencionado en la gestión de proyectos y tiene que ver precisamente con expertos que poseen experiencia en proyectos y áreas de negocios similares y estos pueden identificar los riesgos rápida y directamente. Es responsabilidad del gerente del proyecto invitar a dichos expertos a conocer los aspectos más relevantes del proyecto.

Análisis FODA

Podríamos decir que el análisis FODA, se divide en dos partes, la primera, que se basa en sus fortalezas y sus oportunidades y la segunda que basa en las debilidades y amenazas, dejando claro lo que se quiere obtener en el caso de los riesgos es que probabilidades exista de que ocurran las primeras considerados riesgos positivos o que probabilidad exista de que ocurra la segunda consideradas riesgos negativos.

Análisis de riesgos

El análisis de riesgo comprende el proceso de gestión de riesgo debido a que para tratar los riesgos antes hay que evaluarlos y para ello necesitamos un análisis de riesgo que inicia una vez tengamos los riesgos identificados. Para el análisis de riesgos existen diferentes términos para definirlo, así como diferentes métodos para calcularlo.

En general, los eventos inesperados ocurren en los proyectos y pueden resultar en resultados positivos o negativos que son una desviación del plan del proyecto. Los resultados positivos son oportunidades,

mientras que los resultados negativos generan una pérdida. El análisis de riesgo se centra en evitar pérdida de eventos inesperados (Williams, T. 1995).

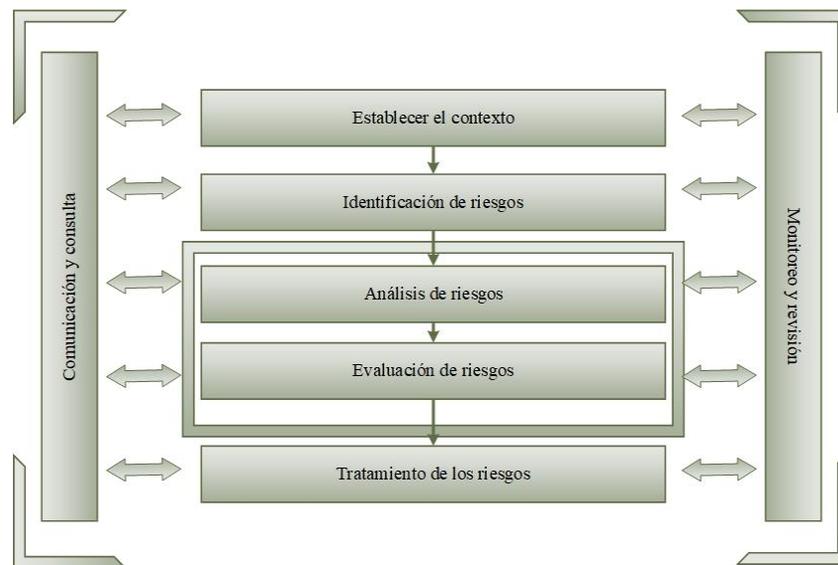


Ilustración 2 proceso de gestión de riesgos

Fuente: elaboración propia.

En la ilustración se muestra una representación gráfica del proceso de gestión de riesgo, allí vemos en qué posición se encuentra el análisis de riesgo con respecto a los demás procesos que conciernen la gestión del riesgo.

La función del análisis de riesgo es determinar cómo se encuentra la influencia de los factores de riesgo de manera general. Los eventos de riesgo forman un efecto acumulativo en uno o más aspectos del proyecto y es más fácil mitigar los eventos de riesgo si se agrupan en grupos y preferiblemente se tratan a un nivel más alto en el largo plazo que enfocarse en un evento de riesgo particular, en el cual caso de que el proyecto probablemente sea micro gestionado. Varias técnicas en la literatura que Actualmente se aplican para el análisis de proyectos también se pueden aplicar para el análisis de riesgos. (Ahmed, Kayis, y Amornsawadwatana 2007).

Después de identificar los eventos de riesgo, es necesario evaluar sus características para que sea determine si el evento de riesgo merece un análisis. Una vez que se decide que se realiza el análisis de necesidades de eventos de riesgo, entonces debe determinarse si en el evento de riesgo la información se puede adquirir a través de medios cuantitativos o cualitativos; las métricas de riesgo también deben

determinarse para que estas métricas puedan usarse para cálculo de la magnitud del riesgo y análisis de riesgos que conducen a planes de mitigación del riesgo.

Técnicas y herramientas para el análisis de riesgo

A continuación, serán descritas diferentes técnicas para el análisis de riesgo, tanto cualitativo y cuantitativo.

Matriz de probabilidad e impacto

Consiste en un cuadro donde podemos vincular la probabilidad de ocurrencia de un riesgo o varios con el impacto sobre los objetivos del proyecto en caso de que ocurra tal riesgo. Dichos riesgos son priorizados según su implicación potencial de causar efectos sobre los objetivos del proyecto. Una tabla o matriz de probabilidad e impacto es el enfoque clásico. Donde se califica a un riesgo con importancia alta, moderada o baja.

Probabilidad	Amenazas					Oportunidades				
0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05
0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03
0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05/ Muy Bajo	0,10/ Bajo	0,20/ Moderado	0,40/ Alto	0,80/ Muy Alto	0,80/ Muy Alto	0,40/ Alto	0,20/ Moderado	0,10/ Bajo	0,05/ Muy Bajo

Ilustración 3. Matriz de probabilidad impacto. Fuente: (Project Management Institute 2013)

Estimación de la confianza del sistema

La estimación de la confiabilidad del sistema es una técnica para determinar la probabilidad de un elemento del sistema tal, que esté funcionando sin una falla en un período de tiempo específico (Birolini, A. 1993). Los elementos del sistema están integrados como tener una relación en serie o en paralelo y los cálculos de confiabilidad tradicionales se usan luego para determinar la confiabilidad general del sistema, que representa su estado de salud. Por lo tanto, los efectos acumulativos en los componentes críticos del proyecto se determinan como la fiabilidad del sistema. (Ahmed, Kayis, y Amornsawadwatana 2007).

Modelado y simulación

La simulación de proyectos utiliza un modelo que hace de las incertidumbres, en un posible impacto potencial sobre los objetivos, estas son realizadas mediante la técnica Monte Carlo. En las simulaciones dicho modelo es calculado varias veces, mediante un proceso de iteración utilizando valores de entras que son seleccionados de manera arbitraria y al azar para cada iteración a partir de distribuciones de probabilidad. Luego se calcula un histograma y para los análisis de riesgos se emplea diagramas de red del cronograma con la estimación de la duración.

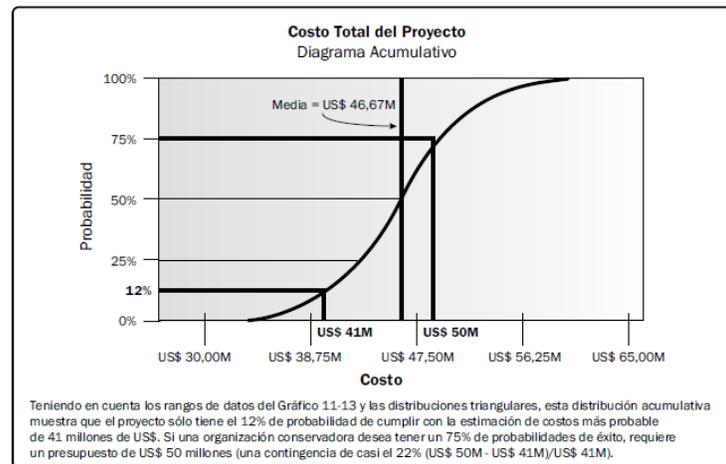


Ilustración 4 (Project Management Institute 2013)

La Ilustración 4 muestra la salida de una simulación de riesgos de costos que utiliza el modelo de los tres elementos y los rangos de riesgo. Ilustra la probabilidad respectiva de alcanzar metas específicas en materia de costos. Se pueden generar curvas similares para otros objetivos del proyecto.

El análisis del valor monetario esperado (EMV)

El análisis de valor monetario es una técnica estadística que se encarga de calcular el ingreso o valor monetario esperado concerniente al futuro del proyecto previsualizando futuros escenarios, es una especie de simulación financiera donde el valor monetario positivo se expresa como oportunidades y el negativo como amenazas. Se obtiene calculando el valor de cada resultado por su probabilidad para luego sumar los resultados, el árbol de decisiones es de uso común para estos cálculos.

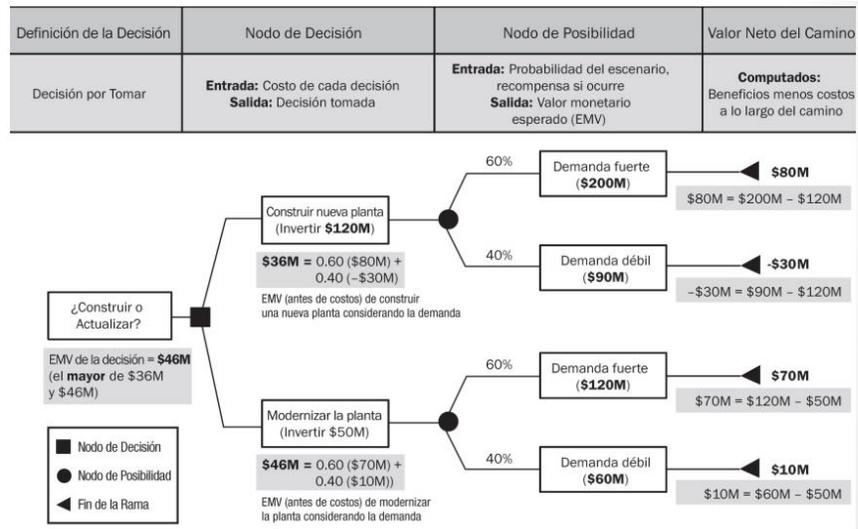


Ilustración 5 Diagrama de Árbol de Decisiones Fuente (Project Management Institute 2013)

En esta ilustración podemos observar un árbol de decisión que se utiliza para tratar un tema financiero. Sobre construir o actualizar. Este árbol es utilizado como herramienta para otros tipos de decisiones, no obstante, es ideal para este tipo de casos ya que ofrece una comparación monetaria para poder tomar una decisión más fiable.

Best Research-Cell Efficiencies

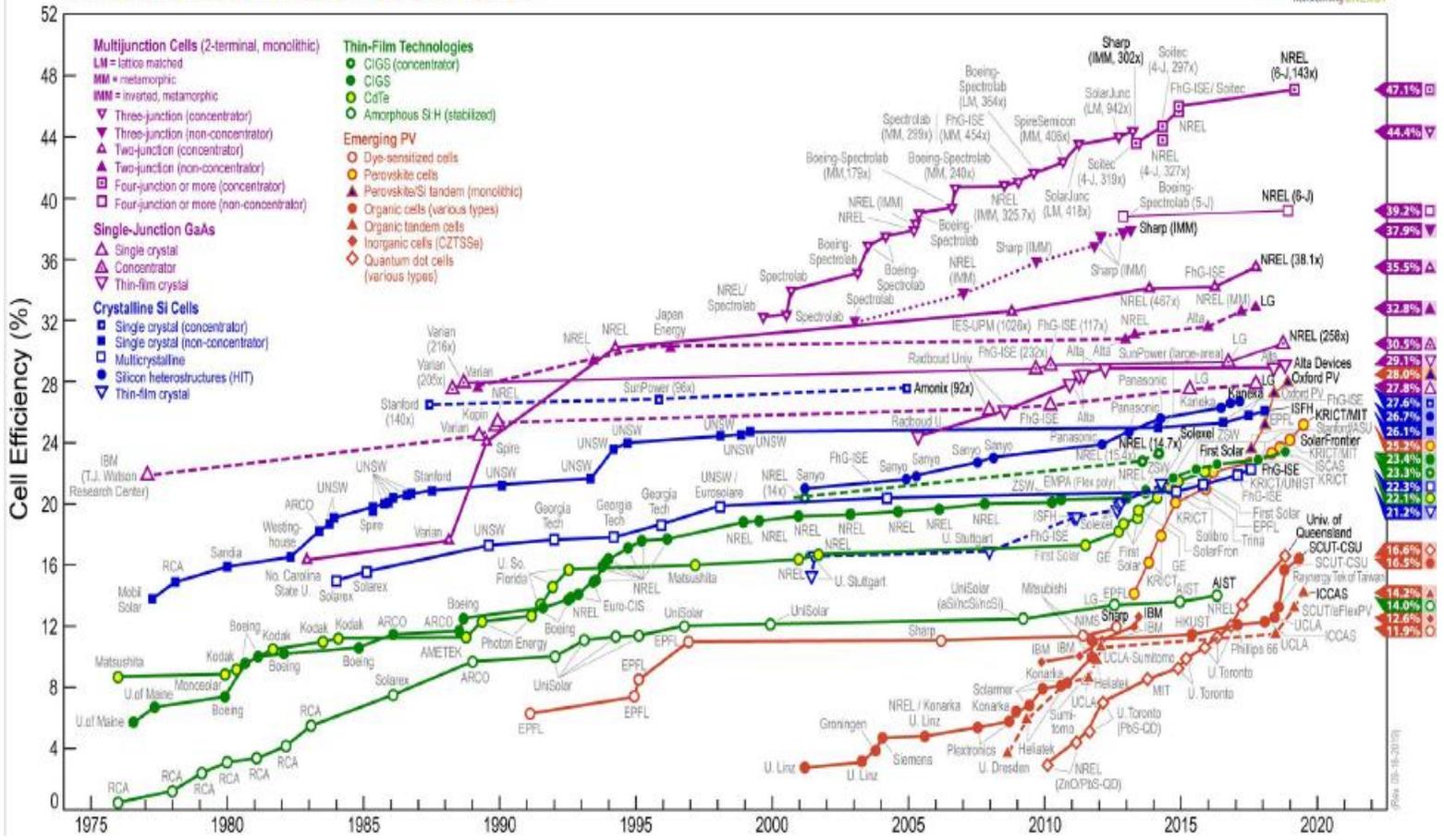


Ilustración 6 Grafico de tendencias eficiencia solar Fuente: (NREL)

En la ilustración anterior se muestran las tendencias de eficiencia de las células solares de diferentes tecnologías hasta 2018, donde se cuenta con más de un 20 por ciento de eficiencia para las células de silicio.

La tecnología solar fotovoltaica consiste en el aprovechamiento oportuno de la energía radiante del sol, que da lugar a la interacción de fotones con materiales semiconductores como el silicio, capaces de reaccionar y dar origen a energía eléctrica directa, dichos fotones viajan a través de ondas que llegan a la superficie terrestre con diferentes longitudes y energía.

“La célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico basado en semiconductores de silicio, que al recibir luz genera una corriente eléctrica. Las células fotovoltaicas se agrupan en paneles los cuales, a su vez, pueden combinarse en serie y paralelo para conseguir los voltajes y potencias adecuados a cada necesidad”.(Leza, Escriña y & Asociados S.A. 2013)

Unos conjuntos de células forman un panel, y un conjunto de paneles forma una planta generadora o un parque solar. Incluidos otros componentes del sistema denominado fotovoltaico, estos componentes son inversores, reguladores, convertidores, acumuladores, estructura de soporte, cableado etc.

Hay algunas condiciones como la temperatura, la posición geográfica, la nubosidad, entre otros factores que influyen en un sistema fotovoltaico. A menudo solemos ver módulos encima de los techos de oficinas y lugares residenciales.

Hasta el día de hoy no se ha alcanzado una mayor eficacia en el aprovechamiento del celular para generar electricidad, grupos de científicos, laboratorios y organizaciones ligadas al sector, hacen un esfuerzo por realizar avances que permitan obtener mayor eficiencia y crear innovaciones para cada vez aprovechar más la irradiación disponible aprovechable en la superficie de la tierra y poder ampliar aún más tanto a nivel macro como micro las instalaciones de energía solar.

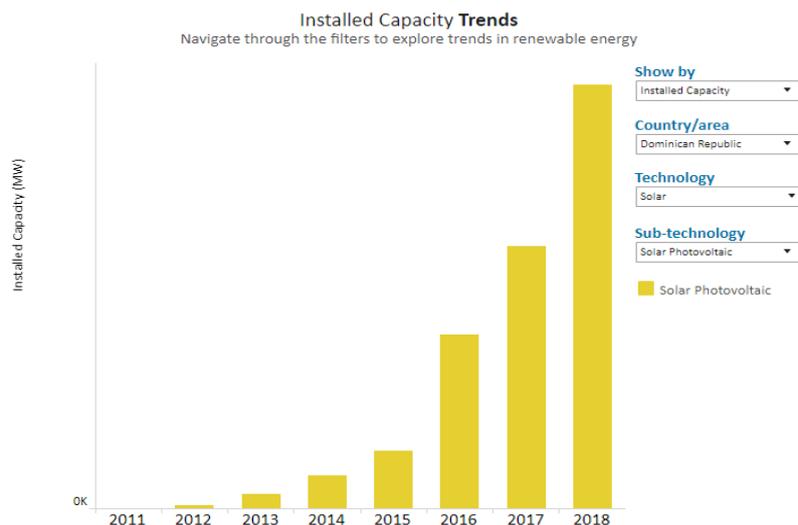


Ilustración 7 tendencia anual de energía solar fotovoltaica instalada en República Dominicana hasta 2018

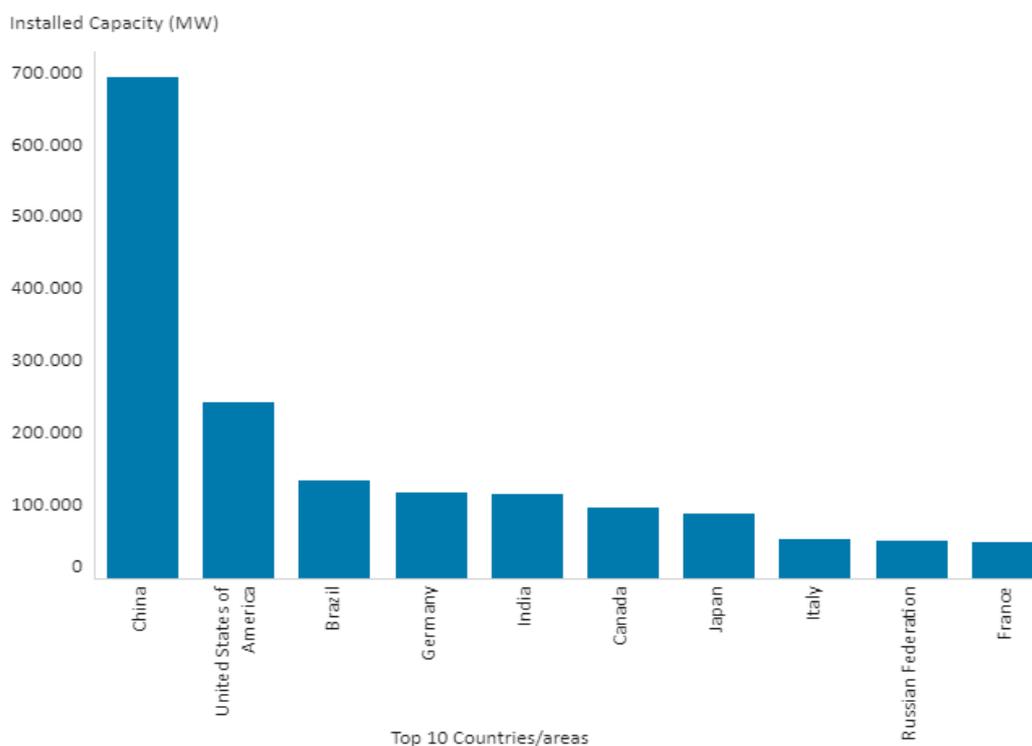


Ilustración 8 Ranking de los 10 países con mayor capacidad instalada en 2018 (IRENA).

En esta imagen podemos apreciar la capacidad instalada de tecnología solar fotovoltaica en todo el mundo en un ranking de 10 países donde lidera china. El total a nivel mundial hoy en día es de más de 400.000 megavatios. (IRENA).

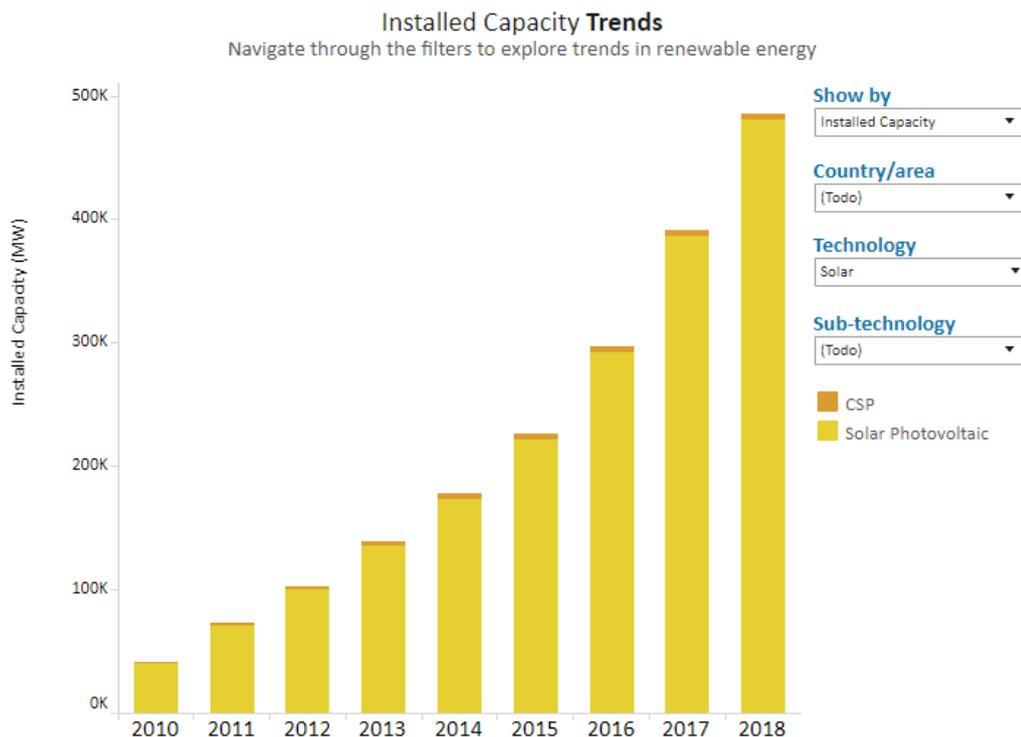


Ilustración 9 Evolución de la energía eléctrica generada a partir de tecnología foto voltaica a nivel mundial desde el año 2010 a 2018. (IRENA)

En el gráfico anterior podemos apreciar la evolución de la energía eléctrica generada a partir de tecnología fotovoltaica a nivel mundial desde el año 2010 a 2085. (IRENA).



Ilustración 10 planta solar flotante en china (IRENA)

Esta es considerada actualmente como la planta de energía solar flotante más grande del mundo. Ubicada en la ciudad de Huainan en la provincia de Anhui en China, tiene una capacidad de 40 megavatios.

Gestión de riesgos en parques solares

De manera oportuna, se han realizado algunos análisis de riesgos en diferentes plantas solares alrededor del mundo, pero debido a la inmadurez de este tipo de tecnología los métodos tradicionales no han sido capaz de arrojar resultados certeros y concretos sobre los riesgos que conlleva un proyecto de grandes parques solares fotovoltaicos. La mayoría de análisis que pueden destacarse han sido en la etapa de explotación y operación y han utilizados métodos convencionales que limitan los resultados con mucha vaguedad en los términos utilizados para catalogar los riesgos.

Justificación

Los proyectos como grandes parques solares fotovoltaicos buscan varias cosas, entre ellas reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acceso a una fuente de energía limpia que permita la independización de combustibles convencionales que además son nocivos para el medio ambiente, entre otras necesidades que han generado cierta urgencia en la búsqueda de resoluciones de energía. Los gerentes de este tipo de proyectos han adquirido presión para generar resultados satisfactorios en los proyectos en curso. Sin embargo, los objetivos de este tipo de proyectos no podrían ser cumplidos si antes no son identificados, analizados y mitigados los riesgos que supone este tipo de proyectos ya que una gran cantidad de capital es facilitado para su puesta en marcha.

La falta de identificación y gestión de los riesgos puede ser responsabilizada por los retrasos en el avance de proyectos actuales y futuros, la precisión por conocer los datos que nos ofrecen cálculos como el de análisis de riesgos y la toma de decisión nos llevan a utilizar en este caso la lógica borrosa

Lógica borrosa y los conjuntos difusos.

La teoría de la lógica difusa, o borrosa. Viene dada por la necesidad que enfrenta el amplio mundo de la ingeniería y las operaciones, de cuantificar características que son expresadas con frecuencia mediante el lenguaje natural. Es una teoría utilizada en los últimos tiempos conjuntamente con las teorías y métodos de tomas de decisiones. Podría decirse de manera coloquial que los conjuntos difusos se encargan de formalizar las expresiones lingüísticas que de manera típica contienen grado de ambigüedad, y les da un valor específico en su lugar.

Gracias al diseño de sistemas difusos y a su alto grado de precisión dentro de los sistemas de control y decisión que se han creado bajo los principios de la lógica borrosa incluye de manera abierta las áreas de aplicaciones a comunicación entre hombre-máquina, medicina, robótica, estudio y estimación de recursos naturales, análisis de señales e imágenes, sistemas de control, electrodomésticos y computadoras. (Ivan Perez 2007)

La precisión que ofrecen las matemáticas, se debe a aportes anteriores de algunos científicos y filósofos de la categoría de Aristóteles, los cuales realizaron esfuerzo en obtener una teoría concisa de lo que es la lógica.

Posteriormente fue propuesta la teoría de “leyes del pensamiento” de manera que unas de estas leyes como la “ley del medio excluyente” la cual propone la certeza de que toda preposición debe ser verdadera o falsa. Partiendo de ahí salieron las objeciones que dieron lugar a lo que es hoy en día la lógica borrosa, ya que Heráclito, por ejemplo: propuso que las cosas pudieran ser simultáneamente verdad, o no verdad. En contradicción con lo anterior que solo establece verdad o no verdad.

Platón le comenzó a dar forma a la lógica borrosa ya que propuso que en las cosas hay una tercera región de lo que simplemente se conocía como verdadero y falso, y que sería donde dichos extremos se unían. Mientras que otros filósofos modernos como Hegel, Marx y Engels dieron a conocer sus puntos de vista, pero fue Lukasicwicz quien por primera vez propuso una alternativa de manera sistemática y basada en la lógica bivalente del propio Aristóteles. (Ivan Perez 2007)

Lukasicwicz describió una lógica con tres valores, donde el tercer valor era descrito como “posible” al cual le asigno un valor de intermedio entre verdadero y falso. Lukasicwicz continuó desarrollando sus modelos matemáticos basados en notación científica para avanzar en la búsqueda de la lógica, así

mismo luego estudio la lógica con 4 valores y de valores infinitos. Se quedó con la de 4 valores ya que, era la más fácil de adaptar a la lógica aristoteliana. (Ivan Perez 2007)

En 1965 el científico, Lotffí Zadeh publica Fuzzy Sets, (conjuntos difusos). En dicho trabajo se describieron las matemáticas que rigen a los conjuntos difusos y por ende a la lógica borrosa. Dicha teoría propuso que se crease funciones de pertenencia en las cuales se establecerían extremos definidos con valores verdaderos y falsos pero operando en los rangos de 0 y 1. (Ivan Perez 2007)

Lógica borrosa

En el lenguaje natural que utilizamos a menudo, involucra términos indeterminados y precisos, de manera que. El nacimiento, la muerte, son términos precisos. En cambio, la fiebre, la anemia, obesidad, etc. Son conceptos indeterminados o vagos que dependen de cierta relatividad. (Ivan Perez 2007) La lógica que hay detrás del simple raciocinio humano no está basada en blanco y negro o cero y uno, sino en matices de valores que son intermedios.

La lógica borrosa propone una diferencia entre procesos aleatorios y procesos difusos, un proceso difuso es un proceso que está asociado con cierta imprecisión la cual está asociada con conjuntos difusos. Esto son clases en las que no se definen tajantemente pertenencias a no pertenencias, es decir en la vida diaria es difícil toparse con objetos que nos digan con precisión que tal pertenece a una clase u otra de manera precisa. Con fronteras bien delimitadas. Por ejemplo, la clase de objetos verdes es un conjunto difuso. Así como los adjetivos largo, grande, pequeño, difícil etc.

Los seres humanos tenemos la capacidad de comunicarnos utilizando términos que no son precisos como; “Razziel es unos centímetros más alto que Edlin”. Entonces podríamos decir que esta habilidad nos distingue de las máquinas ya que manejamos expresiones, términos e instrucciones difusas, y esto por el simple hecho de que estamos pre relacionado con la información que nos rodea y nuestro lenguaje natural.

Conjuntos Difusos.

Teoría de los conjuntos Difusos (Fuzzy Sets Theory)

Esta teoría, claramente se utiliza para trabajar las incertidumbres y obtener precisión en los datos que necesitamos, no tan solo en evaluación de riesgos, sino en cualquier proyecto que limita con cierta complejidad de interpretación del lenguaje.

Según Zadeh, "Una clase de objetos con continuos grados de pertenencia. Tal conjunto es caracterizado por una función de pertenencia (característica) la cual asigna a cada objeto un grado de pertenencia que varía entre cero y uno". Entonces podemos decir que un conjunto difuso está constituido por dos partes críticas, que son sus elementos y su función de pertenencia. Dicha pertenencia es la que asigna tal grado de esta a los elementos del conjunto.

En un universo X , un subconjunto difuso A de X se define por una función, esta le llamamos función de pertenencia. $\mu_A(x)$ esto ubica a cada elemento x en X con números reales de intervalo $[0,1]$. Entonces la función $\mu_A(x)$ lo que hace es que identifica el grado de pertenencia en x de A . "Cuando $\mu_A(x)$ es mayor, su grado de pertenencia en x se denomina Fuerte."

Entre la diversidad de los conjuntos difusos encontramos de manera especial y de basta importancia a los números borrosos, donde podemos encontrar $A = \{x, \mu_A(x)\}$, Donde x , corresponde a números reales R y su función de pertenencia μ_A , entonces $R \rightarrow [0,1]$.

Las siguientes propiedades o lineamientos quedan definidos:

- El mapeo de R queda contenido en el intervalo $[0,1]$
- Las constantes en $(-\infty, a] = \mu_A(x) = 0$ para todo $x (-\infty, a]$
- Incremento estrictamente en $[a, b]$
- Las constantes en $[b, c]: \mu_A(x) = 0$ para todo $x [c/c]$
- Reduciendo estrictamente en $[c, d]$.
- Las constantes en $[d, \infty) = \mu_A(x) = 0$ para todo $x [d, \infty)$

A, b, c, d son números reales, y de manera eventual se obtiene la siguiente relación

- $a = -\infty$
- $b=c$

- $a=b$
- $e=d$
- $e=-\infty$

μ_A^L es llamada; función de pertenencia izquierda de un número borroso A, entonces definiendo $\mu_A^L(x) = \mu_A(x)$ para todo $x \in [a, b]$.

μ_A^R como la función de pertenencia derecha de un número borroso, definiendo $\mu_A^R(x) = \mu_A(x)$ para todo $x \in [c, d]$.

Entendiendo lo anterior decimos que un número trapezoidal difuso se refiere a un número difuso denotado como $A = (a, b, c, d)$ a continuación explicamos su función de pertenencia.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{Para } x < a \\ \mu_A^L(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{Para } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{Para } b \leq x \leq c \\ \mu_A^R(x) = \frac{x-d}{c-d} & \text{Para } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{Para } x > d \end{cases}$$

Formula 1

Claramente vemos como la función $\mu_A(x)$ comprende los extremos que van de 0,1 y a, b, c, d son números reales y en el caso de que b sea igual a c , entonces hablamos de un número difuso triangular.

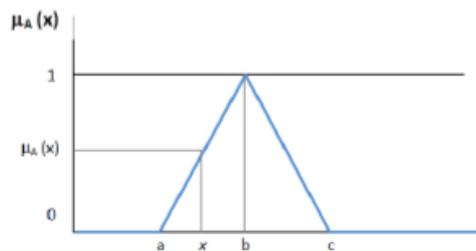


Ilustración 11 Ejemplo grafico Numero difuso Fuente: Apuntes Asignatura de planificación y toma de decisiones

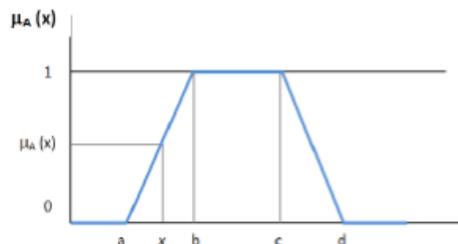


Ilustración 12 Ejemplo grafico Numero difuso Fuente Apuntes Asignatura de planificación y toma de decisiones

Según el principio de extensión de Zadeh, las operaciones aritméticas entre dos números difusos trapezoidales deben cumplir con las siguientes leyes:

Suma difusa:

$$A_1 \oplus A_2 \equiv (\alpha^1 + \alpha^2, b^1 + b^2, c^1 + c^2, d^1 + d^2)$$

Formula 2

Resta Difusa:

$$A_1 \ominus A_2 \equiv (\alpha^1 - d^2, b^1 - c^2, c^1 - b^2, d^1 - \alpha^2)$$

Formula 3

Multiplicación Difusa:

$$A_1 \otimes A_2 \approx (\alpha^1 \times \alpha^2, b^1 \times b^2, c^1 \times c^2, d^1 \times d^2)$$

Formula 4

División Difusa:

$$A_1 \oslash A_2 \approx (\alpha_1/d_2, b_1/c_2, c_1/b_2, d_1/\alpha_2)$$

Formula 5

Teniendo en cuenta que la suma o resta de dos números difusos representa otro número difuso, pero la multiplicación y división de ambos solo representa una aproximación y no un número difuso trapezoidal concreto.

La multiplicación escalar si es otro número difuso que se representa como:

$$k \times A \equiv (k \times a, k \times b, k \times c, k \times d) \text{ si } k > 0$$

$$k \times A = (k \times d, k \times c, k \times b, k \times a) \text{ si } k < 0$$

Formula 6

Operaciones con números difusos basados en el concepto de α corte.

Los cortes α de números difusos con función de pertenencia $\mu_A(x)$ son definidos como el conjunto nítido que contiene a todos los elementos R cuyos grados de membresía en A son mayores o igual al valor de α

$$A^\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \geq \alpha, 0 \leq \alpha \leq 1\}$$

Formula 7

Se denotan como:

$$[A_l^\alpha, A_r^\alpha], \text{ i.e., } A^\alpha = [A_l^\alpha, A_r^\alpha].$$

Las operaciones de multiplicación y división en los intervalos cerrado $A^\alpha = [A_l^\alpha, A_r^\alpha]$ y $B^\alpha = [B_l^\alpha, B_r^\alpha]$ se definen se definen :

$$(A \times B)^\alpha = [A_l^\alpha \times B_l^\alpha, A_r^\alpha \times B_r^\alpha]$$

Formula 8

para la multiplicación,

$$\text{y } (A \oslash B)^\alpha = [A_l^\alpha / B_r^\alpha, A_r^\alpha / B_l^\alpha], \text{ y,}$$

Formula 9

para la división.

De acuerdo con el principio de extensión de Zadeh, un conjunto difuso arbitrario A, se puede representar únicamente como:

$$A = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha _ A^\alpha(x)$$

Formula 10

Donde \cup representa la unión estándar borrosa, y A^α representa el conjunto difuso especial cuya función de pertenencia se define como:

$$\mu_{\alpha _ A^\alpha} = \begin{cases} \alpha & \text{para } x \in A^\alpha \\ 0 & \text{para } x \notin A^\alpha \end{cases}$$

Formula 11

De manera que las operaciones de división o multiplicación de cualquier número borroso positivo de A y B con ∞ corte se denota como: $A^\alpha = [A_l^\alpha, A_r^\alpha]$ y $B^\alpha = [B_l^\alpha, B_r^\alpha]$

Pueden ser expresados para la multiplicación como:

$$A \otimes B = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha _ (A \times B)^\alpha(x) \text{ y,}$$

Formula 12

para la división:

$$A \oslash B = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha_{(A/B)}^\alpha(x)$$

Formula 13

Métodos de decisión combinados con la lógica borrosa y teoría de conjuntos difusos para la evaluación de riesgos en proyectos de ingeniería.

A continuación, explicaremos el procedimiento utilizado para el análisis de riesgos borrosos, en los cuales se involucran métodos de decisión que son utilizados de manera convencional para el cálculo y la toma de decisión en proyectos en los cuales se busca la priorización y ponderación de alternativas. Algunos métodos de decisión han sido últimamente modificados para el análisis de riesgo, de manera que se combinan con técnicas como la lógica borrosa y los conjuntos difusos. Todo por apostar a una mayor precisión en los datos que se trabajan en grandes proyectos. El uso de estas herramientas se convierte en una herramienta valiosa para la etapa de diseño y planificación de este tipo de proyectos. Apoyándose en la mano experta y el juicio de estos que facilitan la identificación y cálculo.

Debido a la naturaleza de proyectos grandes como los de construcción y diseño, en los procesos de análisis de riesgos, se han identificado sustancialmente incertidumbre y subjetividad, lo cual dificulta en gran manera la aplicación de métodos y técnicas para el análisis de riesgos ya que se requieren datos que ofrezcan la mayor certeza y confianza posible.

Como hemos visto anteriormente, de manera reciente se han aplicado enfoques que evalúan riesgos basados en el uso de evaluaciones lingüísticas y no numéricas. De manera en que los datos que se utilizan se definen con vaguedad y los términos lingüísticos utilizados se limitan a **baja probabilidad, grave impacto, o alto riesgo.**(Nieto-Morote y Ruz-Vila 2011b) Ya que se entiende que tales términos no pueden ser definidos con valores únicos y precisos, pero si difusos, es ahí donde nos apoyamos en la teoría de conjunto difuso que proporciona la manera en la cual estos términos se pueden definir formalmente dentro de la lógica matemática y llevarlos a una expresión numérica precisa.

Dentro del marco del análisis de riesgo se han realizados diversas investigaciones incluyendo los riesgos difusos combinadas con teorías de decisión multi criterio MCDM, pero esto no se ha limitado a lo convencional de manera que se han implementado y propuesto modificaciones donde se definen,

por ejemplo: modelos basados en el desglose de la estructura jerárquica de los riesgos como lo es el enfoque “Analytic Hierarchy Process” AHP.

Métodos convencionales

FTA: Análisis de árbol de fallas

“El análisis del árbol de fallas (FTA) es un método ampliamente utilizado para el análisis de sistemas en el que un tipo particular de falla se expande deductivamente a varias causas (eventos), y se determinan las causas básicas (eventos). La representación de la relación entre la ocurrencia de un evento superior y la de los eventos inferiores se denomina operación de puerta. Aquí, cada aparición de evento se representa mediante variables booleanas y las operaciones de la puerta se basan en el álgebra booleana”. (T. Fujino y Hadipriono s. f.)

ETA: Análisis del árbol de eventos

Esta es una técnica complementaria a FTA, pero define los eventos consecuentes que fluyen del evento "iniciador" primario. Los árboles de eventos se utilizan para investigar las consecuencias de eventos que generan pérdidas con el fin de encontrar formas de mitigar, en lugar de prevenir, las pérdidas.

AHP: Analytic Hierarchy Process

La jerarquía analítica AHP es una teoría de medición donde los criterios son en primer lugar intangibles. De manera que, partiendo de este enfoque, se derivan mediciones de comparación por pares mediante una escala de prioridades luego de conocer los elementos a medir. (Saaty 2005) “El AHP es útil para tomar decisiones multicriterio que involucran beneficios, oportunidades, costos y riesgos” (Saaty 2005)

Metodologías propuestas para el riesgo borroso

En varios proyectos de investigación relacionados a la construcción, se han utilizado aproximaciones difusas, de las cuales algunas han utilizado métodos clásicos de evaluación de riesgos como ETA y FTA. (Nieto-Morote y Ruz-Vila 2011b), pero también algunas se han realizado fuera del marco convencional apoyándose en técnicas como la decisión multi criterio y añadiendo el toque esencial de la lógica borrosa que tiene como objetivo obtener una mayor precisión en los datos.

FFTA (Fuzzy Fault Tree Analysis)

(Tomoyuki Fuzion 1994) en el artículo “*The development of a method for investigating construction site accidents using fuzzy fault tree analysis*”. Plantea que pese a los esfuerzos que se han hecho para disminuir los accidentes en el campo de la construcción, aun ocurren muchos accidentes, y se piensa que la imprecisión es la causante de que las contramedidas no funcionen bien, ya que en las investigaciones en los sitios de construcción se basan en juicios subjetivos.

El método FFTA se aplica al sector de la construcción de manera que se le da un giro al método tradicional FTA combinándolo con la teoría de conjuntos difusos. En esta investigación las consideraciones principales fueron; **valores de eventos, operaciones de puerta de enlace y técnicas de evaluación.**

Se crearon las técnicas desde el punto de vista de cada evento básico y su evento principal, se propuso un índice de efectividad mínima para la ruta de eventos (MEP) con el objetivo de encontrar el efecto de los eventos básicos en el evento principal. También se introdujo un índice de clasificación para FFTA sobre la evaluación de los índices de clasificación para conjunto difuso.

Los tipos de accidentes analizados fueron dos; un trabajador golpeado por una topadora, y un accidente por caída específicamente por grúa. Los eventos que representan subjetividad fueron incluidos en la expansión del evento principal, luego el árbol de fallas se aplicó en la investigación de dos accidentes reales.

“Los resultados de los estudios de aplicación muestran que FFTA puede ser un método eficaz para investigar accidentes en sitios de construcción usando juicios subjetivos.”(T. Fujino y Hadipriono s. f.)

ETA y FUZZY

(David Huang y Mao-Jiun J Wang) en su artículo publicado “*A Fuzzy Set Approach for Event Tree Analysis. Fuzzy Sets and Systems*” 2013. Explican que el método de análisis de árbol de eventos proporciona una representación cada evento superior utilizando una probabilidad única, pero realmente evaluar un evento sin considerar la incertidumbre inherente y la imprecisión, se aleja mucho de la realidad. Pero ya que la teoría de conjunto difuso se aplica universalmente para resolver este tipo de problema este método tiene como propósito construir una solución fácil para evaluar los errores humanos para integrarlos en el árbol de eventos mediante el uso de conceptos difusos.

En este estudio Proponen un algoritmo de análisis sistemático en un árbol de eventos difusos con el objetivo de evaluar el riesgo de un sistema a gran escala tal procedimiento se aplicó de manera practica en una planta nuclear.

Fuzzy y AHP

Jiahao Zeng y Min An en su artículo “*Application of a fuzzy based decision making metodología to construction project risk assessment*” 2007, plantean que la criticidad de la gestión de riesgo se debe a la complejidad que exhiben los crecientes proyectos de la industria de construcción, que han plagado los mismos con importantes riesgos y perdidas. Destacan que la probabilidad de riesgo, y la gravedad de riesgo son dos parámetros, de manera que existen muchos factores de riesgo en construcción que contribuyen al fracaso y los mismos no deben ser ignorados en el proceso de evaluación.

Basado en el proceso de toma de decisiones para la evaluación de riesgo, se introduce un índice de factores para estructurar los factores e integrarlos en el proceso. La metodología es presentada para afrontar riesgos en situaciones de construcción complejas, las técnicas de raciocinio difuso proponen manejar las incertidumbres y subjetividades en tal proceso de construcción.

El método utilizado es el de jerarquía analítica modificada, de manera que se estructuran y priorizan diferentes factores de riesgo. El ejemplo que se usa es el de un análisis de riesgo en la construcción de acero de un centro comercial. La probabilidad de riesgo se identifica como RL, la gravedad de riesgo como RS y la índice factorial como FI. Todos los anteriores han sido definidos lingüísticamente, las variables se transforman de manera trapezoidal difusa. Como salida se obtiene magnitud de riesgo RM y la relación ente FI y RL se representa como RS.

Finalmente demuestran que dicho método propuesto es un método eficiente y preciso para la evaluación de riesgo en proyectos de construcción de acero.

Joseph H. M. Tach y Mbatu Tah en el artículo “*A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system*” 2001. De igual forma plantean lo plagado de riesgos que se encuentra la industria de la construcción, y que a medida que más moderno y complejo se vuelve aún más riesgos se propagan obteniéndose como resultado un bajo rendimiento. “Los términos vagos son inevitables ya que los individuos a menudo les resulta más fácil describir los riesgos en términos cualitativos” (Carr y Tah 2001)

Definen un modelo basado en la estructura jerárquica donde los riesgos se definen de manera lingüísticas utilizando aproximaciones difusas, se presenta la relación entre la fuente de riesgo y las consecuencias a medida que avanza el proyecto. La relación que tienes los factores de riesgos, con

los riesgos y su consecuencia se presentan en diagrama de causa y efecto, lo que se combina con la borrosidad para y se puede aplicar para analizar la relación entre la fuente de riesgo y las consecuencias sobre el proyecto. Este modelo propone de manera procedente, la formulación del problema de riesgo mediante una estructura jerárquica.

El segundo nivel representaría los riesgos agrupados de manera céntrica, y el tercer nivel los factores de riesgo que influyen a los riesgos centrales.

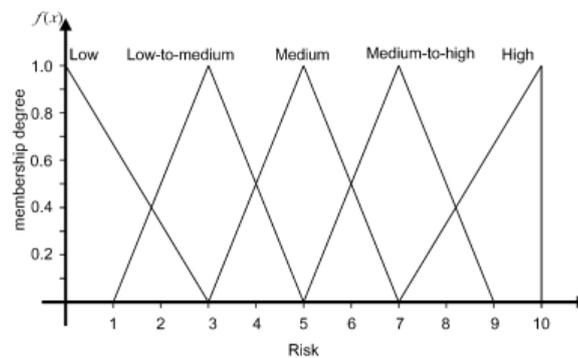


Ilustración 13 términos lingüísticos establecidos a tales términos se les asigna un valor numérico de números difusos. (Carr y Tah 2001)

Aplicaciones recientes de lógica borrosa en evaluación de riesgos con métodos de decisión.

Yunna Wu, Lingwenying Li y demás autores, en su artículo: *“Risk assessment on offshore photovoltaic power generation projects in China based on a fuzzy analysis framework”* 2019. explican como en china apostando por la innovación y el aprovechamiento de las costas y sus características, apuestan por las instalaciones offshore de manera que ahorran el uso de espacio que a veces suele ser una problemática. A pesar de las ventajas que tiene este tipo de instalaciones, al ser una nueva innovación está sujeta a un sin número de riesgos que merecen ser analizados, de manera que dentro del marco difuso esta investigación se basa en el análisis de riesgos de instalaciones fotovoltaicas en alta mar. Son identificados 4 grupos más 16 factores de riesgo, que afectan a proyectos fotovoltaicos en alta mar en China. Este tipo de proyectos aún no ha sido estudiado numerosamente por investigadores, de manera que contribuye al estudio y conocimiento más a fondo.

Se comienza con la identificación de riesgos la cual es básica en toda evaluación y procedimiento, en esta investigación se utilizan 3 pasos para la identificación de riesgos: el **primer** paso se basa en la búsqueda de trabajos anteriores y referencias sobre el tema, específicamente sobre plantas fotovoltaicas en altamar. Establecen ciertas reglas como la fuente de información de donde se hace la exhaustiva recopilación de información, se establecen límites de fecha sobre la publicación de los documentos, y se selecciona una cantidad de documentos específica. El **segundo** paso se trata de analizar proyectos fotovoltaicos en alta mar que se encuentren en china. Estos proyectos deben estar ya terminados y deben localizarse en china ya que el objetivo de la investigación establece el país. El Tercer paso se trata de hacer un juicio de expertos invitando a dos profesores de tales áreas en este caso para evaluar la lista de factores y establecer los mismos. Una vez establecidos se puede clasificar.

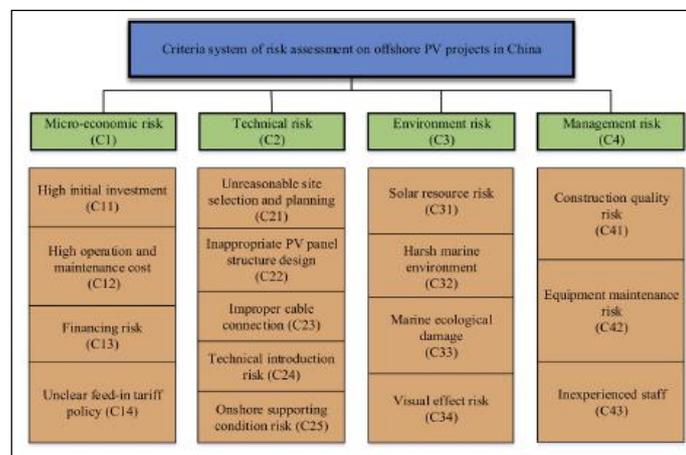


Ilustración 14 Fig. 5 estructura jerárquica de riesgos en parques solares en alta mar en china. (Wu et al. 2019)

Las 4 categorías que involucran los 16 factores de riesgo que influyen en este tipo de proyectos son: riesgo técnico, riesgo económico, riesgo de gestión, y riesgo ambiental.

El método ANP se usa para determinar la ponderación que existe entre cada riesgo considerando su relación. El método HFLT se encarga de la información lingüística y los factores de riesgo, entonces el TNF se utiliza para transformar los términos lingüísticos en formas computables. Luego con la FIOWha a través de un operador se agregan los TNF de cada experto a un factor de riesgo. Finalmente, el método FSE y el principio de similitud se utilizan para calcular el riesgo global del proyecto. (Wu et al. 2019)

El modelo propuesto de investigación de riesgos asociados a decisión multi criterio y a técnicas de lógica borrosa supone 6 pasos.

Primer paso: determinación y correlación de los pesos de los criterios. Existen diferencias en la importancia de cada criterio. La relatividad sobre la criticidad de cada criterio debe ser reflejada por

el peso. Para determinar el peso en este estudio se utiliza el proceso de red analítica **ANP** y el software **Superdecision**.

Segundo paso: se describe la definición del conjunto de términos lingüísticos, y se obtiene el HFLTS (conjuntos de términos lingüísticos difusos dudosos). La evaluación de riesgos en este tipo de proyectos es compleja e involucra factor que resultan ser incomodo de expresar por los expertos ya que no pueden familiarizarse fácilmente, el método HFLTS proporciona una ayuda y resolución para este tipo de problemas. Y se emplea para reducir la perdida de información y dar precisión en el proceso de decisión.

Tercer paso: en este paso se transforman los HFLTS, en números difusos triangulares. Con la finalidad de mostrar los conocimientos expertos imperfectos en la investigación y toma de decisiones, el número difuso triangular se utiliza en el modelo de investigación.

Cuarto paso: la evolución de riesgos en parques solares offshore es un problema de toma de decisiones grupal donde un grupo de expertos proporciona sus datos de manera que, el número triangular difuso obtenido con HFLTS, es introducido en este paso.

Quinto paso: ya que este es un proyecto se evalúa un problema de ambigüedad e incertidumbre con relación a los riesgos de este, y ya que se trata de varios criterios, el proceso de evaluación sintética (FSE) modificado, que implica el juicio subjetivo de los expertos. Se aplica en esta investigación para agregar números difusos triangulares de cada criterio, para obtener un riesgo general a nivel del proyecto.

Sexto paso: como ya vimos en los pasos anteriores, el nivel de riesgo de este proyecto se expresa en números difusos triangulares. Con la finalidad de entender mejor la información, se introduce el grado de similitud con los números difusos triangulares y se procede a la Defuzzificación el grado de similitud de dos números difusos triangulares se representa de manera numérica así:

$$Sd(\alpha, \beta) = 1 - \frac{|\alpha^L - \beta^L| + |\alpha^M - \beta^M| + |\alpha^U - \beta^U|}{3}$$

Donde $\alpha = (\alpha^L, \alpha^M, \alpha^U)$ y $\beta = (\beta^L, \beta^M, \beta^U)$

Entonces $Sd(\alpha, \beta)$ representa la similitud que existe entre ambos números difusos triangulares. De manera que representa a que nivel de riesgo se acerca más el resultado apoyado en el principio de similitud.

Análisis del riesgo difuso en grandes parques solares fotovoltaicos combinando y utilizando métodos de decisión con lógica borrosa y teoría de conjuntos difusos.

A continuación, se explicará detalladamente, el procedimiento utilizado para la evaluación de riesgos en grandes parques solares fotovoltaicos. Se tomará un modelo propuesto y se explicaran las técnicas y la base teórica de la cual se sustenta.

Modelo de evaluación propuesto

En 2011 **Nieto-Morote y Ruz-Vila** en su artículo publicado en “science direct”, llamado: “*A fuzzy approach to construction project risk assessment*” Presentaron una nueva metodología basada en “número borroso trapezoidal” que basa en el análisis de riesgos de construcción utilizando herramienta de decisión y estructura jerárquica de riesgos, para hacer frente a los riesgos asociados con los proyectos de construcción donde la información para evaluar riesgos no es cuantificable, es incompleta, o no obtenible en situaciones señaladas. (Chan y Wang 2013)

“Todos estos métodos de evaluación de riesgos difusos cuentan con algo en común, y es que el procedimiento es prácticamente el mismo: **Definición y medición de factores de riesgo, definición de inferencia, y defuzzificación** para la obtención de un valor exacto”. (Chan y Wang 2013)

Aplicación

Explicación teórica.

Se ha propuesto un modelo de investigación de riesgos basado en el razonamiento difuso, este cuenta con tres pasos principales **1.** paso preliminar **2.** definición de la función del factor de riesgo y medida de variables **3.** Inferencia borrosa. Explicaremos cada paso y todo lo que conllevan detalladamente.

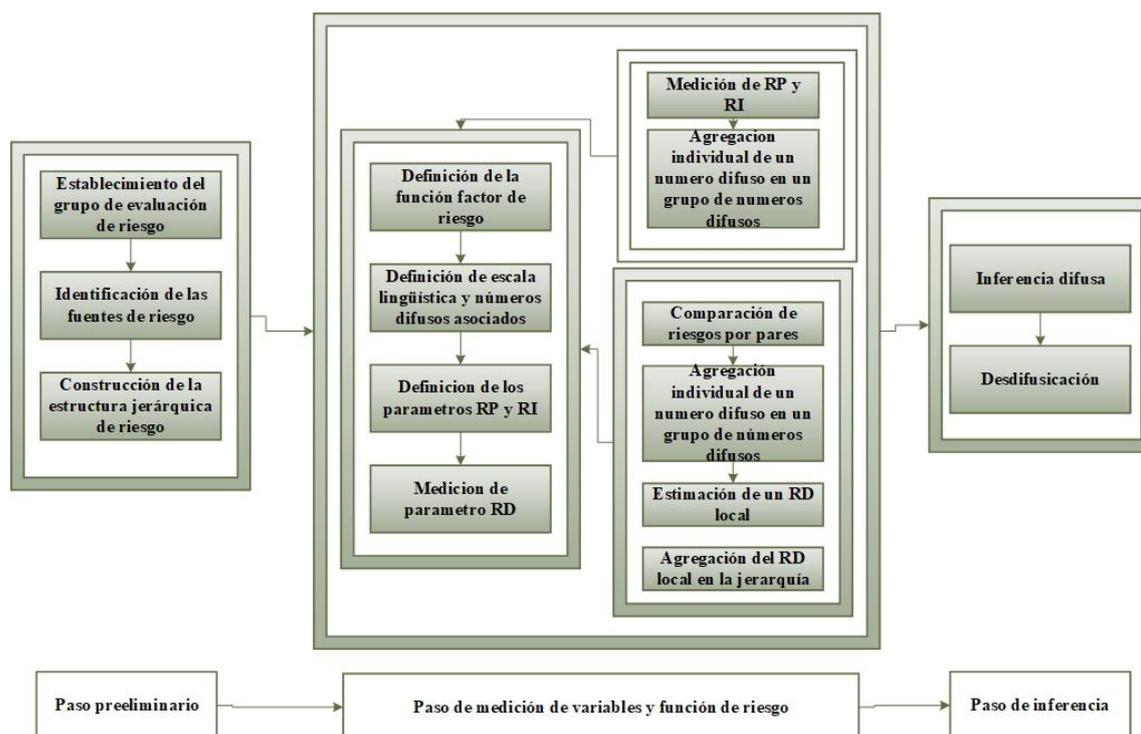


Ilustración 15 modelo propuesto para esta evaluación Fuente: propia

Paso preliminar

Establecer grupo de investigación de riesgo:

Es donde se selecciona de manera cautelosa a los miembros que conformaran el grupo de investigación, deber ser expertos con un grado muy alto de conocimientos en materia de riesgos y que tengan experiencia en proyectos de energía solar. Este equipo debe estar conformado por: gerente de proyecto, miembros clave del equipo de proyecto, clientes, expertos, usuarios finales, y demás *stakeholders* del proyecto.

Estos se encargarán de realizar la identificación de riesgos deberán utilizar las herramientas pertinentes para una buena identificación de riesgo.

Identificación de las fuentes de riesgo:

Se trata de estudiar las situaciones que se dan en el proyecto con el objetivo de darse cuenta de que podría salir mal en el mismo durante su desarrollo en cualquier punto de tiempo del proyecto. Se

deberá realizar una investigación sobre todas las posibles fuentes que influyan en el con el objetivo de identificar sus riesgos y consecuencias.

Es de mucha importancia ya que el proceso de respuesta a riesgo es exitoso cuando existe una buena identificación del riesgo y sus influencias.

Los riesgos pueden evolucionar, o pueden surgir durante el ciclo de vida del proyecto. Por esta razón este proceso a veces suele ser iterativo. Los expertos conocen métodos intuitivos para la identificación de riesgos, aun así, existen herramientas de identificación como los son: las listas de verificación, los diagramas de causa y efecto, diagramas de influencia, etcétera.

Construcción de la estructura jerárquica de riesgos:

Se trata de una descomposición de los riesgos, la cual es realizada por los miembros quienes son requeridos para identificar y clasificar los riesgos, para descomponer los riesgos adecuadamente se genera una estructura jerárquica de riesgos donde pueden ser evaluados eficientemente, estos son clasificados en x números de grupos en función de los tipos de riegos. La continuación de su descomposición dependerá de la independencia de sus elementos dados. Para la realización de los cálculos en este trabajo sol utilizamos el nivel 2.



Ilustración 16 Modelo de jerarquía de riesgos: Elaboración Propia.

Definición de la función factor de riesgo y medición de las variables

Definición de la función de factor de riesgo.

(RF) Risk factor, indica el **factor de riesgo**, y de manera general puede calcularse utilizando dos parámetros fundamentales que son, el impacto de riesgo (RI) y la probabilidad de riesgo (RP).

El parámetro de **impacto** representa el efecto potencial del riesgo en un objetivo del proyecto. Como el coste, tiempo, alcance, calidad. El parámetro de **probabilidad** indica el grado de probabilidad de que ocurra un riesgo en específico, pero estos parámetros no calculan el impacto en sentido general.

Para lograr una evaluación eficiente y efectiva se ha propuesto el parámetro (RD) ‘*Risk Discrimination*’, **Discriminación de riesgo**, el cual nos proporciona una perspectiva más general de lo que es el impacto a nivel global en el proyecto en cambio de cada riesgo específico.

Utilizando estos tres datos mencionados anteriormente podemos calcular nuestro riesgo específico de la manera siguiente:

$$\text{Factor de riesgo general} = \frac{\text{Impacto de riesgo X probabilidad de riesgo}}{\text{Discriminación de riesgo}}$$

Formula 14

Definir escalas lingüísticas y números borrosos asociados.

En este trabajo hacemos gran referencia a la dificultad que existe para calcular riesgos bajo situaciones de incertidumbre e imprecisión y una de las causas a veces es la información no cuantificable. Las imprecisiones provocan en las evaluaciones de riesgos resultados que no son exactos sino aproximados. Y los juicios que proporcionan los expertos se basan en términos lingüísticos y no en números reales.

Ciertamente los términos lingüísticos utilizados dependen de la naturaleza de los riesgos por ende del mismo proyecto. A continuación, mostraremos términos lingüísticos utilizando frecuentemente y de manera general:

Para (RI) **impacto de riesgo**, definimos una escala de cinco puntos.

- Crítico (C),
- Grave (S),
- Moderado (Mo),
- Menor (Mi)
- Negligible (N)

Para (RP) **Probabilidad de riesgo**, definimos una escala de tres puntos.

- Alta (H),
- Media (M)
- Baja probabilidad (L).

Para (RD) **discriminación de riesgo**, este parámetro se obtendrá por una comparación por pares y la escala se describe de la manera siguiente.

- Mucho menos (MI),
- Menos (L)
- Misma (S),
- Más (M)
- mucho más (Mm).

El objetivo es convertir datos vagos e imprecisos que vienen dados por términos lingüísticos de un lenguaje natural, en números difusos que se operaran para combatir la imprecisión dada. Considerando que, en las operaciones con números difusos, los resultados dependen grandemente de la función de pertenencia.

Cabe destacar que mientras más simples son la función de pertenencia, más intuitiva y natural resulta la interpretación. Los números trapezoidales y triangulares son con frecuencia los más comunes, ya que con este tipo de número el trabajo resulta ser más simple.

Definición del parámetro de RI y RP.

Medición de los parámetros

Estos parámetros deben ser medidos por cada experto utilizando las escalas lingüísticas definidas en el paso anterior, calculando cada riesgo en el nivel inferior de la jerarquía. Estas medidas lingüísticas calculadas por cada experto se convertirán en números difusos.

Los números difusos obtenidos por RI y RP se describen como: RI_i^m y RP_i^m

Agregación de números difusos individuales en un grupo de números difusos

Se agregan al grupo de números difusos utilizando la media aritmética difusa que se define:

$$RI_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RI_i^n = \frac{1}{m} \times (RI_i^1 \oplus RI_i^2 \oplus \dots \oplus RI_i^m)$$

Formula 15

$$RP_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RP_i^n = \frac{1}{m} \times (RP_i^1 \oplus RP_i^2 \oplus \dots \oplus RP_i^m)$$

Formula 16

I es cada uno de los riesgos en el nivel inferior de la jerarquía, **m** es el número de miembros en la evaluación de riesgos, **x** es la multiplicación escalar y **+** es la adición difusa.

Medición del parámetro RD discriminación de riesgo

Comparación de riesgos por pares

Dentro de un marco general, los expertos deben proporcionar una comparación por pares sobre los riesgos del proyecto para cada riesgo del mismo nivel.

Para cada miembro del grupo de evaluación se otorga la siguiente matriz para el grupo g y el nivel 1 de la jerarquía;

$$A_{gl}^m = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12}^m & \dots & RDC_{1n}^m \\ (RDC)_{21}^m & - & \dots & RDC_{2n}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_{n1}^m & RDC_{n2}^m & \dots & - \end{bmatrix}$$

Formula 17

n es el número de riesgos en el grupo g, del nivel l de la jerarquía. Y m es el número de miembros de la investigación de riesgos

Agregación de números difusos individuales en un grupo de números difusos

En este caso para RD Discriminación de riesgo de igual forma se agregan los números difusos comparativos utilizando la media aritmética:

$$RDC_{ij} = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RDC_{ij}^n = \frac{1}{m} \times (RDC_{ij}^1 \oplus RDC_{ij}^2 \oplus \dots \oplus RDC_{ij}^m)$$

Formula 18

- i y j son los riesgos del grupo g pertenecientes al nivel 1 de la jerarquía
- m, es el número de miembros
- \times es la multiplicación escalar
- \oplus es la adición difusa

La matriz para el grupo g del nivel 1 de la jerarquía queda:

$$A_{g^l} = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12} & \dots & RDC_{1n} \\ (RDC)_{21} & - & \dots & RDC_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_{n1} & RDC_{n2} & \dots & - \end{bmatrix}$$

Formula 19

n es el número de riesgos del grupo g en el nivel 1 de la jerarquía.

Estimación del RD local

Esta estimación será posible mediante el uso de métodos difusos clásicos para el cálculo de los pesos de los criterios adaptados para operar con números difusos trapezoidales.

En los métodos clásicos, el tomador de decisiones proporciona sus preferencias en criterios por pares W_{ij} . Donde W_{ij} denota el grado de preferencia de los criterios c_i sobre c_j y se define como un sigleton difuso el cual es un conjunto difuso que contiene un solo elemento.

Si los valores de preferencia difusa en los criterios por pares son consistentes, W'_{ij} por propiedad recíproca de la relación de preferencia difusa, es decir:

$$W'_{ij} + W'_{ji} = 1$$

“Esta sería una relación funcional explícita entre W'_{ij} y los valores difusos W_i y W_j que reflejan la clasificación de los valores de criterios c_i y c_j ” (Ma et al., 2006):

$$W'_{ij} = 0.5 \times [1 + \psi(w_i) - \psi(w_j)]$$

Formula 20

La propiedad recíproca mencionada para los valores de W'_{ij} satisface la propiedad de transitividad aditiva, es decir:

$$W'_{ik} + W'_{jk} + W'_{ki} = 1.5$$

Entonces la ecuación $W'_{ij} = 0.5 \times [1 + \psi(w_i) - \psi(w_j)]$ se transforma en:

$$W'_{ij} = \frac{w_i + (1 - w_j)}{2}$$

Formula 21

De manera general la comparación por pares que ofrecen los métodos de decisión tiene cierta inconsistencia. Eso es $W'_{ik} < 0.5$ para $W'_{ij} \geq 0.5$ y $W'_{jk} \geq 0.5$ “la transitividad es una propiedad que suele ser aceptada para tratar problemas de relaciones de consistencia difusa”. (Wang and Chen, 2008; Dong et al., 2008)

Los valores w_i y w_j son calculados por la diferencia de minimización método de cálculo de W_{ij} .
Obtenido por los expertos y por W'_{ij} Definido como las relaciones de preferencia difusa ideal.

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (W'_{ij} - W_{ij})^2 \right]$$

Formula 22

Consideramos nuestro caso de manera que los valores de preferencia difusas sobre los riesgos son
obtenidos directamente de los expertos RDC_{ij} y los valores de las relaciones de preferencia difusa
ideales que son consistentes RDC'_{ij} son números trapezoidales difusos.

Expresamos el método difuso se expresa en lugar del método clásico como:

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (RDC'_{ij} \ominus RDC_{ij})^2 \right]$$

Formula 23

Donde RDC_{ij} es definido en términos de valores difusos de RD_i^* y RD_j^* , que reflejan los valores de
clasificación de los riesgos r_i y r_j como:

$$RDC'_{ij} = (RD_i^* \oplus (1 \ominus RD_i^*)) / 2$$

Formula 24

Donde i y j son riesgos del grupo g del primer nivel de la jerarquía. La principal implicación de este
método es que la suma de RD_i^* debe ser ahora un número difuso trapezoidal alrededor de uno. Que
debe ser unificado correctamente para obtener una solución. La matriz para el grupo g del primer
nivel de la jerarquía para RD^* los números difusos se definen como:

$$B_{gl} = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} RD_1^* \\ RD_2^* \\ \dots \\ RD_n^* \end{bmatrix}$$

Formula 25

Donde n es el número de riesgo del grupo g del primer nivel de la jerarquía.

Agregado RD^* en jerarquía.

Se asume el riesgo r que tienen t grupos superiores a diferentes niveles de la jerarquía de estructura de riesgo. Y $RD^*_{grupo}^{(j)}$ es el valor de RD^* que tiene el grupo superior que contiene el riesgo r_i en la jerarquía. El valor final de RD para cada riesgo r_i se calcula como:

$$RD_i = RD_i^* \otimes \prod_{j=1}^t (RD^*_{grupo}^{(j)})$$

Formula 26

Donde i es cada uno de los riesgos en el nivel inferior de la jerarquía y \otimes representa la multiplicación borrosa utilizando la operación aritmética de α corte

Paso de inferencia borrosa

En este paso lo que hacemos es que convertimos los números difusos de RI , RP y RD , en un número difuso que representa el factor de riesgo total de cada riesgo.

Inferencia borrosa

En el momento que se toman los parámetros RI , RP y RD . Estos son expresados por números difusos trapezoidales, se calcula el factor de riesgo general como:

$$ORF_i = (RI_i \otimes RP_i) \oslash RD_i$$

Formula 27

Donde i es cada uno de los riesgos en el nivel inferior de la jerarquía, donde \otimes y \oslash representan la multiplicación difusa y la división difusa utilizando operaciones aritméticas de α corte

Defuzzificación

La Defuzzificación es un procedimiento que consiste en generar un número no borroso, es decir un número que represente a números borrosos en un solo valor.

$$(ORF_i)_i = \frac{\int_0^1 x \cdot ORF_i(x) d(x)}{\int_0^1 ORF_i(x) d(x)}$$

Formula 28

donde i es cada uno de los riesgos en el nivel inferior de la jerarquía, y como resultado de este procedimiento se obtiene una calificación final de riesgo.

Aplicación practica

Hemos establecido un grupo de expertos los cuales han identificado y evaluado los riesgos, este grupo consta de 5 expertos en el área de energías renovables y energía solar fotovoltaica en República Dominicana.

Se han identificado las fuentes de riesgos y hemos construido una estructura jerárquica de riesgos, la misma cuenta con 5 riesgos principales en el primer nivel, 12 al segundo nivel y 35 al tercer nivel. En su totalidad estamos hablando de 52 “riesgos”. El tercer nivel de la jerarquía se utilizará como factores que ayudaron a los expertos a responder con mayor peso y para los cálculos se utilizara el nivel 2 de la jerarquía como nivel inferior.

Identificación de los riesgos y su fuente y construcción de estructura jerárquica

Serán descritos los siguientes “riesgos” que influyen en la etapa de diseño de los grandes parques solares fotovoltaicos. Como ya hemos dicho anteriormente en este trabajo para la aplicación del método a utilizar, nos enfocaremos única y exclusivamente en la etapa de diseño, por lo tanto, existen un sin número de riesgos asociados a proyectos fotovoltaicos que no incluiremos en este análisis.

Riesgos técnicos, Riesgos económicos, Riesgos Sociales, Riesgos políticos, Riesgos legales.

A continuación, el desglose de cada riesgo mencionados anteriormente. Para definirlos orientados a la etapa de diseño, ya que es con esta es que trabajaremos. Para lograr una comparación binaria que más adelante se conocerá con el método aplicado para la ponderación de los mismos, no sin antes concluir con el tercer nivel del desglose y realizar un esquema completo donde se visualizaran todos los riesgos de la etapa de diseño

Los riesgos que han podido ser identificados hasta un último y tercer nivel en este caso, así de manera organizada podríamos completar la jerarquía de riesgos identificados para posteriormente analizarlos y compararlos con el método propuesto. Procederemos a describir aquellos derivados directamente del segundo y anterior nivel concernientes a la etapa de diseño de grandes parques solares fotovoltaicos.

Riesgos Técnicos

Los riesgos técnicos son los que surgen del módulo, los inversores y otros componentes mecánicos y eléctricos, así como la ingeniería del sistema, el modelado de energía y la instalación. Estos riesgos

suponen la división o el desglose que veremos más adelante en un segundo nivel que sería el emplazamiento de la planta, y la tecnología fotovoltaica.

Tecnología Fotovoltaica:

Se refiere a la tecnología procedente de los módulos y los componentes que involucran la instalación fotovoltaica, recordando que en fotovoltaica se diseña en base a la demanda. En República Dominicana un punto crítico desde el punto de vista técnico son los terrenos donde se instalarían los paneles y es que suelen existir problemas debido a la titularidad de los terrenos.

- Elección del panel fotovoltaico
- Elección del inversor de corriente
- Elección de la estructura que soportara los paneles

Ubicación de la planta:

Se refiere a los riesgos que conlleva la elección del lugar de la planta, es decir donde se va a realizar la instalación y puesta en marcha de la misma.

- Buen análisis de la radiación solar disponible
- Terremotos
- Consideración de tormentas e inundaciones

Riesgos económicos:

Son los riesgos que surgen de las actividades que generan finanzas y que pueden causar efectos negativos para la economía de los patrocinadores del proyecto, afectando a la inversión. Por lo general en grandes proyectos de este tipo suelen contar con aseguradoras que ofrecen pólizas de seguro para que los patrocinadores puedan transferir riesgo de este tipo.

Sobre los riesgos económicos en República Dominicana se puede decir que tienen que ver en su gran mayoría sobre donde se encuentra la planta y sus condiciones atmosférica debido a que un país tropical existe alto riesgo de huracanes y tormentas por lo cual representa generación de pérdidas financieras.

Ubicación de la planta:

Este riesgo tiene que ver con los ingresos por producción que reciban los patrocinadores, y el coste que conlleva la instalación de esa planta en dicho emplazamiento.

- Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar.
- Recursos para trabajos de terraplenado.

Permisos para la instalación y puesta en marcha:

Este riesgo desde el punto de vista económico definirá que tan viable sería la instalación de esta planta debido al alto coste de los compromisos económicos.

- Costes de conexión a la red eléctrica.
- Costes asociados a los acuerdos con los propietarios de los terrenos

Tecnología:

Selección de la tecnología inadecuada puede concurrir en un alto riesgo económico por una mala decisión en esta etapa de diseño, debido a la alta variedad de ofertas en el mercado debe realizarse un análisis económico de la tecnología a instalar considerando el presupuesto.

- Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico.
- Costes debidos a la inadecuada elección del inversor de corriente.
- Costes debidos a la falta de resistencia de la estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegida.

Riesgos políticos:

Son los riesgos que tienen que ver con la influencia de la política tanto nacional o internacional, que puedan establecer parámetros operativos y de diseño e instalación para este tipo de proyectos. Estos riesgos deben ser tratados según el país donde se vaya a instalar el proyecto.

Debido a que la tecnología fotovoltaica en países como en República Dominicana es vista internacionalmente como madura, los riesgos políticos impactan más sobre las políticas internas y representa muchas veces problemas debido a que los leyes que rigen los municipios suelen exigir mucho además de la titularidad de los terrenos.

Cambios en política medioambiental:

Tiene que ver con la política de medio ambiente que se trabaje en el lugar de la planta, por lo general tiene que ver con los requisitos que suponen los permisos medioambientales otorgados por las entidades del estado para la instalación de dichas plantas.

- Políticas de normativas internacionales
- Políticas de normativa nacional

Licencia urbanística:

Son las licencias otorgadas por los ayuntamientos los cuales tienen la potestad para otorgar las mismas supondría un riesgo no contar con ella a la hora de comenzar el proyecto.

- Aprobación de licencias por vía de ayuntamientos e instituciones gubernamentales
- Obtención de licencia de obra

Riesgos legales:

Este riesgo suele confundirse con los riesgos políticos puesto que guardan ciertas relaciones, aunque de manera más objetiva los riesgos legales se tratan de aquellas actividades que puedan causar algún acto

legal de las autoridades del lugar donde se instale la planta, así como el pago de impuestos, penas y demás dándole un giro más orientado al cumplimiento de las leyes y obligaciones tributarias.

Los riesgos legales en República Dominicana, se relaciona mucho con las empresas que gestionan el manejo de la electricidad, y es que existen organismos que tienen la potestad para entregar permisos de prueba hasta de aprobación de planos y puesta en marcha del sistema. En dicho país todas las generadoras pertenecen al sector privado o de capital mixto. Y son las empresas de distribución y de gestión que se encargan de supervisar los proyecto desde el nivel técnico hasta el nivel legal.

Licencias urbanas:

Estos riesgos están ligados a cualquier incidencia que pueda ocurrir en la legalidad que aprueba la instalación del proyecto, a la hora de comenzar si ocurren cambios que hacen incompatible al proyecto con los requisitos legales podría derrumbar todo el proyecto debido a la falta de licencia.

- Cambios legislativos en la Aprobación del proyecto.
- Cambios legislativos en la Licencia de Obras.
- Conexión con la red eléctrica:

Debido a los cambios que surgen de las normativas correspondientes a la conexión eléctrica supone un riesgo, el cambio que pueda ocurrir a la hora de poner en marcha o realizar pruebas lo cual es clave para el funcionamiento y rentabilidad de la planta.

- Cambios legislativos en el Acta de Puesta en Marcha de la planta.
- Autorización de la Superintendencia de Electricidad Dominicana (SIE) para la puesta en servicio.
- Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas
- Revisión del diseño y construcción por el distribuidor ETED
- Aprobación del plano del diseño eléctrico

Riesgo legal internacional:

Son aquellos que se derivan de los acuerdos internacionales que estén involucrados los países como por ejemplo el protocolo de Kioto, si en el país donde se vaya a instalar a la hora de diseñar debe tomarse en cuenta si existen o no acciones legales para este tipo de proyecto.

- Acciones legales sobre incumplimientos de normativas internacionales.
- Cambios en el acta de puesta en marcha

Riesgos sociales:

A la hora de instalar cualquier proyecto, no tan solo en fotovoltaica, sino en sentido general. Debemos conocer quienes son los interesados y cuál es su perfil, así como sus intenciones con el proyecto, este tipo de riesgo involucra directamente la sociedad y su percepción e intención para y con el proyecto.

Desde el punto de vista social estos proyectos son bien aceptados por la sociedad en República Dominicana, un país donde la matriz energética depende en su mayoría de combustible fósil.

Impacto social

Este impacto tiene un alcance local, regional y nacional. A la hora de diseñar debemos tomar en cuenta los riesgos que afecten dichas partes interesadas.

- Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos.
- Aceptación social

Explotación del proyecto:

Tiene que ver con todos los riesgos sociales que intervengan en dicha fase, pero desde un punto de vista social.

- Robo
- Vandalismo
- Terrorismo

Construcción de la estructura jerárquica de riesgos:

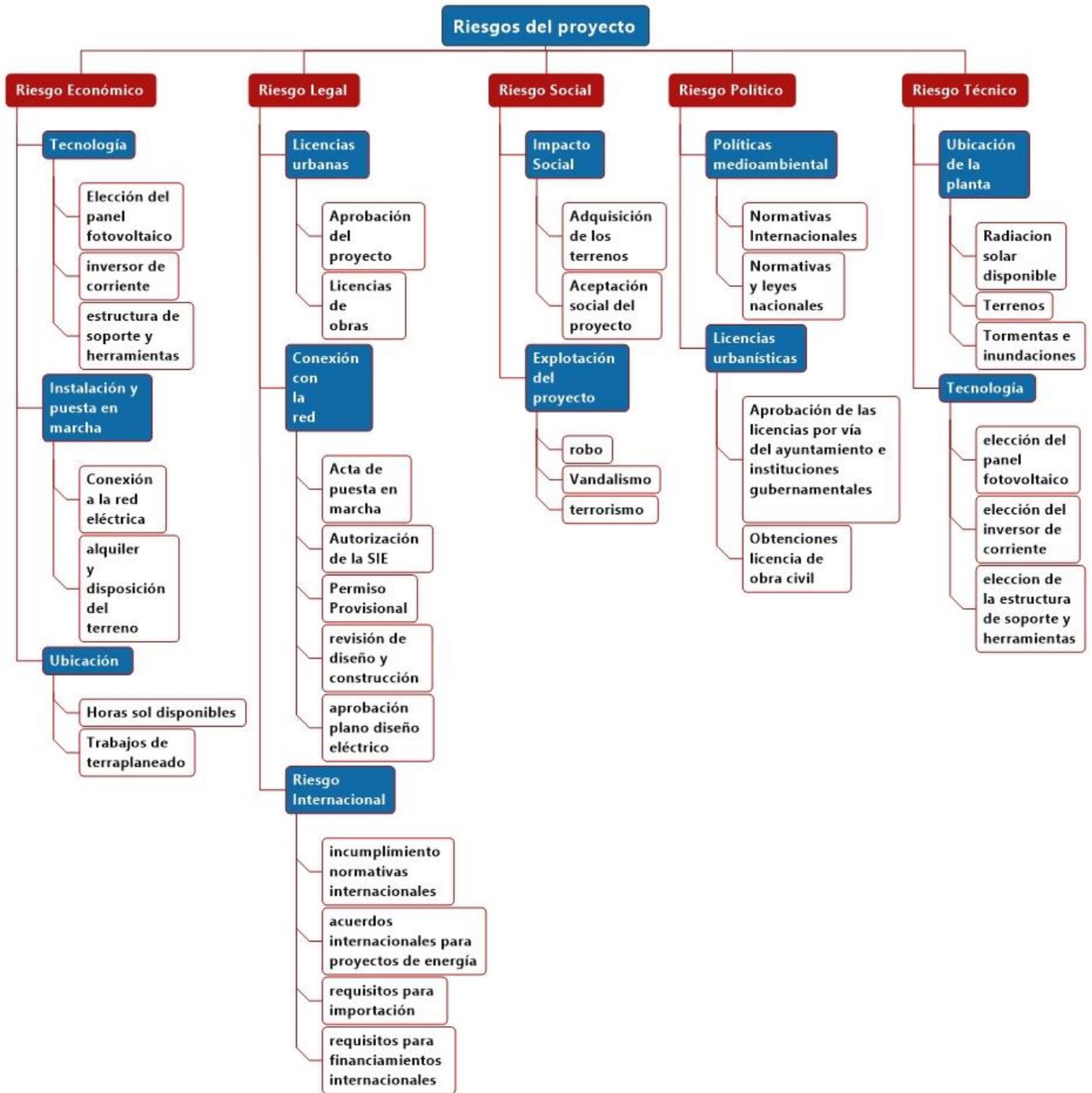


Ilustración 18 Estructura jerárquica: Elaboración Propia

Media de los parámetros RI y RP y agregación de un número difuso individual en un grupo de números difusos.

a continuación, los resultados de opiniones de los expertos para los valores RI y RP

Tabla 1 Tabla de términos lingüísticos de los parámetros RI y RP

Descripciones:	Interpretación general:
Impacto del riesgo	
Critico (C)	Involucra un impacto muy alto
Serio (S)	Involucra un impacto alto
Moderado (M)	Involucra un impacto moderado
Menor (Mi)	Involucra un impacto pequeño
Negligente (N)	Involucra un impacto no sustancial
Probabilidad del riesgo	
Alto (A)	Muy probable que ocurra
Medio (M)	Probable que ocurra
Bajo (B)	La ocurrencia es improbable

Experto 1

		Experto 1		
Grupo	Sub Grupo	Descripción	Evaluación	
		Riesgo	lingüístico	lingüística
Riesgos Económicos	Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	S	B
		Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	S	B
		estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	C	M
	Permisos para la	Costes de conexión a la red eléctrica	S	M
		Costes asociados con los propietarios de los	C	A
	Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar	C	A
Recursos para trabajos de terraplenados		M	B	
Riesgos Legales	Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del	C	M
		Cambios legislativos en las licencias de obras	C	M
	Conexión en la red eléctrica	Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta	S	M
		Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas	M	M
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio	M	M
		Revisión del diseño y construcción por el	M	M
		Aprobación del plano del diseño eléctrico	C	A
	Riesgo legal internacional	Acciones legales sobre incumplimiento de normativas internacionales	M	B
		acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	M	B
		requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	M	M
	cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	C	A	
Riesgos Sociales	Impacto Social	Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	M	B
		Aceptación social	N	B
	Explotación del proyecto	Robo	C	M
		Vandalismo	C	M
	Terrorismo	C	M	
Riesgos Políticos	Políticas Medio	Políticas de normativas internacionales	N	B
		Políticas de normativas nacionales	M	M
	Licencias Urbanísticas	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	S	A
		Obtención de licencias de obras	C	A
Riesgos Técnicos	Ubicación de la planta	Radiación solar disponible	S	B
		Terrenos	C	M
		Tormentas e inundaciones	C	A
	Tecnología fotovoltaica	Elección del panel fotovoltaico	S	B
		Elección del inversor de corriente	S	B
		Elección de la estructura que soportara los	S	M

Experto 2

		Experto 2		
Grupo	Sub Grupo	Descripción	Evaluación	
		Riesgo	RI liguistic	RP lingüísti
Riesgos Económicos	Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	S	M
		Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	S	M
		estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	C	M
	Permisos para la	Costes de conexión a la red eléctrica	M	M
		Costes asociados con los propietarios de los	M	M
	Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar	S	M
Recursos para trabajos de terraplenados		s	M	
Riesgos Legales	Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del	C	M
		Cambios legislativos en las licencias de obras	C	M
	Conexión en la red eléctrica	Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta	C	M
		Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas	S	B
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio	S	B
		Revisión del diseño y construcción por el	S	B
	Riesgo legal internacional	Aprobación del plano del diseño eléctrico	S	B
		Acciones legales sobre sobre incumplimiento de normativas internacionales	M	M
		acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	S	M
		requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	M	M
	cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	S	M	
Riesgos Social	Impacto Social	Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	M	B
		Aceptación social	S	B
	Explotación del proyecto	Robo	M	M
		Vandalismo	S	M
	Terrorismo	C	B	
Riesgos Políticos	Políticas Medio	Políticas de normativas internacionales	S	M
		Políticas de normativas nacionales	S	M
	Licencias Urbanísticas	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	S	M
		Obtención de licencias de obras	S	M
Riesgos Técnicos	Ubicación de la planta	Radiación solar disponible	S	M
		Terrenos	C	M
		Tormentas e inundaciones	C	M
	Tecnología fotovoltaica	Elección del panel fotovoltaico	S	M
		Elección del inversor de corriente	S	M
		Elección de la estructura que soportara los	C	M

Experto 3

		Experto 3		
		Descripción	Evaluación	
Grupo	Sub Grupo	Riesgo	RI linguistic	RP lingüísti
Riesgos Economicos	Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	S	M
		Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	C	M
		estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	C	M
	Permisos para la	Costes de conexión a la red eléctrica	Mi	A
		Costes asociados con los propietarios de los	N	A
	Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar	S	A
Recursos para trabajos de terraplenados		M	M	
Riesgos Legales	Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del	S	M
		Cambios legislativos en las licencias de obras	S	M
	Conexión en la red eléctrica	Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta	C	M
		Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas	C	M
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio	S	M
		Revisión del diseño y construcción por el	M	B
	Riesgo legal internacional	Aprobación del plano del diseño eléctrico	M	B
		Acciones legales sobre sobre incumplimiento de normativas internacionales	S	M
		acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	S	M
		requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	Mi	M
		cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	M	M
Riesgos Social	Impacto Social	Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	M	M
		Aceptación social	M	A
	Explotación del proyecto	Robo	S	A
		Vandalismo	Mi	M
		Terrorismo	N	B
Riesgos Poli	Políticas Medio	Políticas de normativas internacionales	Mi	M
		Políticas de normativas nacionales	Mi	M
	Licencias Urbanísticas	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	Mi	B
		Obtención de licencias de obras	Mi	B
Riesgos Tecníc	Ubicación de la planta	Radiación solar disponible	C	A
		Terrenos	C	M
		Tormentas e inundaciones	C	A
	Tecnología fotovoltaica	Elección del panel fotovoltaico	S	A
		Elección del inversor de corriente	S	A
		Elección de la estructura que soportara los	C	A

Experto 4

		Experto 4		
		Descripción	Evaluación	
Grupo	Sub Grupo	Riesgo	RI ligística	RP lingüísti
Riesgos Económicos	Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	S	B
		Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	C	B
		estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	C	M
	Permisos para la	Costes de conexión a la red eléctrica	S	B
		Costes asociados con los propietarios de los	M	B
	Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar	Mi	M
Recursos para trabajos de terraplenados		S	M	
Riesgos Legales	Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del	C	M
		Cambios legislativos en las licencias de obras	S	M
	Conexión en la red eléctrica	Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta	S	B
		Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas	S	B
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio	Mi	B
		Revisión del diseño y construcción por el	M	B
	Riesgo legal internacional	Aprobación del plano del diseño eléctrico	M	M
		Acciones legales sobre sobre incumplimiento de normativas internacionales	C	B
		acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	Mi	B
		requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	M	B
Riesgos Sociales	Impacto Social	cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	M	M
		Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	Mi	B
	Explotación del proyecto	Aceptación social	Mi	B
		Robo	M	M
		Vandalismo	Mi	B
Riesgos Políticos	Políticas Medio	Terrorismo	N	B
		Políticas de normativas internacionales	M	B
	Licencias Urbanísticas	Políticas de normativas nacionales	M	M
Riesgos Técnicos	Ubicación de la planta	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	Mi	M
		Obtención de licencias de obras	Mi	B
		Radiación solar disponible	Mi	M
	Tecnología fotovoltaica	Terrenos	M	M
		Tormentas e inundaciones	Mi	B
		Elección del panel fotovoltaico	S	B
		Elección del inversor de corriente	S	M
	Elección de la estructura que soportara los	C	M	

Experto 5

		Experto 5		
		Descripción	Evaluación	
Grupo	Sub Grupo	Riesgo	RI lingüística	RP lingüística
Riesgos Económicos	Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	c	b
		Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	c	b
		estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	c	b
	Permisos para la	Costes de conexión a la red eléctrica	c	a
		Costes asociados con los propietarios de los	c	b
	Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar	s	b
		Recursos para trabajos de terraplenados	m	b
Riesgos Legales	Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del	s	m
		Cambios legislativos en las licencias de obras	s	m
	Conexión en la red eléctrica	Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta	s	m
		Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas	s	b
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio	mi	m
		Revisión del diseño y construcción por el	m	m
	Riesgo legal internacional	Aprobación del plano del diseño eléctrico	m	m
		Acciones legales sobre sobre incumplimiento de normativas internacionales	c	b
		acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	c	b
		requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	c	b
	cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	c	b	
Riesgos Sociales	Impacto Social	Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	n	b
		Aceptación social	n	b
	Explotación del proyecto	Robo	m	b
Vandalismo		m	b	
Terrorismo		m	b	
Riesgos Políticas	Políticas Medio	Políticas de normativas internacionales	c	b
		Políticas de normativas nacionales	c	m
	Licencias Urbanísticas	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	c	b
		Obtención de licencias de obras	c	m
Riesgos Técnico	Ubicación de la planta	Radiación solar disponible	n	b
		Terrenos	n	b
		Tormentas e inundaciones	n	b
	Tecnología fotovoltaica	Elección del panel fotovoltaico	mi	b
		Elección del inversor de corriente	c	b
		Elección de la estructura que soportara los	m	b

Agregación de números difusos para RI y RP

Tabla 2 Tabla de conversión a números difusos de los parámetros RI y RP

Descripciones:	Interpretación general:	Números Difusos
Impacto del riesgo		
Critico (C)	Involucra un impacto muy alto	(0.8, 0.9, 1, 1)
Serio (S)	Involucra un impacto alto	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
Moderado (M)	Involucra un impacto moderado	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menor (Mi)	Involucra un impacto pequeño	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)
Negligente (N)	Involucra un impacto no sustancial	(0, 0, 0.1, 0.2)
Probabilidad del riesgo		
Alto (A)	Muy probable que ocurra	(0.7, 0.9, 1, 1)
Medio (M)	Probable que ocurra	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
Bajo (B)	La ocurrencia es improbable	(0, 0, 0.1, 0.2)

Grupo				
Riesgos Económicos				
Sub grupo	Riesgo	Expertos	RI # Fuzzy	RP # Fuzzy
R1 Tecnología	Costes debidos a la inadecuada elección del panel fotovoltaico	E1	0,75	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,75	0,50
		E4	0,75	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,80	0,26
	Costes debido a la inadecuada selección del inversor de corriente	E1	0,75	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	1,00	0,50
		E4	1,00	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,90	0,26
	Costes debido a la falta de resistencia de la estructura soporte de los paneles fotovoltaicos elegidos	E1	1,00	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	1,00	0,50

		E4	1,00	0,50
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	1,00	0,42
R2 Permisos para la instalación y puesta en marcha	Costes de conexión a la red eléctrica	E1	0,75	0,50
		E2	0,50	0,50
		E3	0,25	1,00
		E4	0,75	0,10
		E5	1,00	1,00
		PROMEDIO	0,65	0,62
	Costes asociados con los propietarios de los terrenos	E1	1,00	1,00
		E2	0,50	0,50
		E3	0,10	1,00
		E4	0,50	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,62	0,54
R3 Ubicación de la planta	Estimación de ingresos basada en las horas efectivas de radiación solar (HSP)	E1	1,00	1,00
		E2	0,75	0,50
		E3	0,75	1,00
		E4	0,25	0,50
		E5	0,75	0,10
		PROMEDIO	0,70	0,62
	Recursos para trabajos de terraplenados	E1	0,25	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,50	0,50
		E4	0,75	0,50
		E5	0,50	0,10
		PROMEDIO	0,55	0,34

Grupo				
Riesgos Legales				
Sub grupo	Riesgo	Expertos	RI # Fuzzy	RP # Fuzzy
R4 Licencias Urbanas	Cambios legislativos en la aprobación del proyecto	E1	1,00	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	0,75	0,50
		E4	1,00	0,50

		E5	0,75	0,50
		PROMEDIO	0,90	0,50
Cambios legislativos en las licencias de obras		E1	1,00	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	0,75	0,50
		E4	0,75	0,50
		E5	0,75	0,50
		PROMEDIO	0,85	0,50
		Cambios legislativos en el acta de puesta en marcha de la planta		E1
E2	1,00			0,50
E3	1,00			0,50
E4	0,75			0,10
E5	0,75			0,50
PROMEDIO	0,85			0,42
Permiso de interconexión provisional para realización de pruebas				E1
		E2	0,75	0,10
		E3	1,00	0,50
		E4	0,75	0,10
		E5	0,75	0,10
		PROMEDIO	0,75	0,26
		Autorización de la SIE para la puesta en servicio		E1
E2	0,75			0,10
E3	0,75			0,50
E4	0,25			0,10
E5	0,25			0,50
PROMEDIO	0,50			0,34
Revisión del diseño y construcción por el distribuidor				E1
		E2	0,75	0,10
		E3	0,50	0,10
		E4	0,50	0,10
		E5	0,50	0,50
		PROMEDIO	0,55	0,26

		E1	1,00	1,00
		E2	0,75	0,10
		E3	0,50	0,10
		E4	0,50	0,50
		E5	0,50	0,50
		PROMEDIO	0,65	0,44
R6 Riesgo legal internacional	Acciones legales sobre sobre incumplimiento de normativas internacionales	E1	0,50	0,10
		E2	0,50	0,50
		E3	0,75	0,50
		E4	1,00	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,75	0,26
	Acuerdos y/o normativas internacionales medioambientales para proyectos de energía	E1	0,50	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,75	0,50
		E4	0,25	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,65	0,26
	Requisitos para la importación de equipos provenientes del extranjero	E1	0,50	0,50
		E2	0,50	0,50
		E3	0,25	0,50
		E4	0,50	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,55	0,34
	Cumplimientos de requisitos exigidos por instituciones internacionales para financiamiento de proyectos energéticos	E1	1,00	1,00
		E2	0,75	0,50
E3		0,50	0,50	
E4		0,50	0,50	
E5		1,00	0,10	
PROMEDIO		0,75	0,52	

Grupo					
Riesgos Sociales					
Sub grupo	Riesgo	Expertos	RI # Fuzzy	RP # Fuzzy	
R7 Impacto Social	Consecuencias sociales como resultado de la adquisición de los terrenos	E1	0,50	0,10	
		E2	0,50	0,10	
		E3	0,50	0,50	
		E4	0,25	0,10	
		E5	0,10	0,10	
		PROMEDIO	0,37	0,18	
	Aceptación social	E1	0,10	0,10	
		E2	0,75	0,10	
		E3	0,50	1,00	
		E4	0,25	0,10	
		E5	0,10	0,10	
		PROMEDIO	0,34	0,28	
	R8 Explotación del proyecto	Robo	E1	1,00	0,50
			E2	0,50	0,50
E3			0,50	0,50	
E4			0,50	0,50	
E5			0,50	0,10	
Vandalismo		PROMEDIO	0,60	0,42	
		E1	1,00	0,50	
		E2	0,75	0,50	
		E3	0,25	0,50	
		E4	0,25	0,10	
		E5	0,50	0,10	
Terrorismo		PROMEDIO	0,55	0,34	
		E1	1,00	0,50	
		E2	1,00	0,10	
		E3	0,10	0,10	
			E4	0,10	0,10

		E5	0,50	0,10
		PROMEDIO	0,54	0,18

Grupo				
Riesgos Políticos				
Sub grupo	Riesgo	Expertos	RI # Fuzzy	RP # Fuzzy
R9 Políticas Medio ambientales	Políticas de normativas internacionales	E1	0,10	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,25	0,50
		E4	0,50	0,10
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,52	0,26
	Políticas de normativas nacionales	E1	0,50	0,50
		E2	0,75	0,50
		E3	0,25	0,50
		E4	0,50	0,50
		E5	1,00	0,50
		PROMEDIO	0,60	0,50
R10 Licencias Urbanísticas	Aprobación de las licencias por vía del ayuntamiento e instituciones gubernamentales	E1	0,75	1,00
		E2	0,75	0,50
		E3	0,25	0,10
		E4	0,25	0,50
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,60	0,44
	Obtención de licencias de obras	E1	1,00	1,00
		E2	0,75	0,50
		E3	0,25	0,10
		E4	0,25	0,10
		E5	1,00	0,50

		PROMEDIO	0,65	0,44
--	--	-----------------	------	------

Grupo				
Riesgos Técnicos				
Sub grupo	Riesgo	Expertos	RI # Fuzzy	RP # Fuzzy
R11 Ubicación de la planta	Radiación solar disponible	E1	0,75	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	1,00	1,00
		E4	0,25	0,50
		E5	0,10	0,10
		PROMEDIO	0,57	0,44
	Terrenos	E1	1,00	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	1,00	0,50
		E4	0,50	0,50
		E5	0,10	0,10
		PROMEDIO	0,72	0,42
	Tormentas e inundaciones	E1	1,00	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	1,00	1,00
		E4	0,25	0,10
		E5	0,10	0,10
		PROMEDIO	0,67	0,44
R12 Tecnología fotovoltaica	Elección del panel fotovoltaico	E1	0,75	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,75	1,00
		E4	0,75	0,10
		E5	0,25	0,10
		PROMEDIO	0,65	0,36
	Elección del inversor de corriente	E1	0,75	0,10
		E2	0,75	0,50
		E3	0,75	1,00

		E4	0,75	0,50
		E5	1,00	0,10
		PROMEDIO	0,80	0,44
	Elección de la estructura que soportara los paneles	E1	0,75	0,50
		E2	1,00	0,50
		E3	1,00	1,00
		E4	1,00	0,50
		E5	0,50	0,10
		PROMEDIO	0,85	0,52

Resultados de valorización de expertos para comparación por pares en el segundo nivel de la jerarquía considerando este como nivel inferior y agregación de números difusos.

Tabla 3 Tabla de conversión a números difusos para el parámetro RDC

Descripciones:	Interpretación general:	Números Difusos
Mucho más (M+)	Mucho más impacto en el marco general del proyecto que	(0, 0, 0, 0.3)
Mas (M)	Más impacto en el marco general del proyecto que	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
Igual (I)	Igual impacto en el marco general del proyecto que	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menos (Mi)	Menos impacto en el marco general del proyecto que	(0.5, 0.75, 0.75, 1)
Mucho menos (M-)	Mucho menos impacto en el marco general del proyecto que	(0.7, 1, 1, 1)

Resultados de opiniones Primer Nivel de la jerarquía

Riesgos primer nivel		Riesgos Económicos	Riesgos Legales	Riesgos Sociales	Riesgos Políticos	Riesgos Técnicos	
Riesgos Económicos	E1		Menos Impacto	Menos Impacto	Menos Impacto	Menos Impacto	
	E2		Igual	Más Impacto	Igual	Igual	
	E3		Más Impacto	Más Impacto	Más Impacto	Igual	
	E4		Mucho Más Impacto	Mucho Más Impacto	Más Impacto	Igual	
	E5		Menos Impacto	Mucho Más Impacto	Igual impacto	Mucho menos impacto	
Riesgos Legales	E1	Más Impacto		Menos Impacto	Menos Impacto	Más Impacto	
	E2	Igual		Más Impacto	Igual	Más Impacto	
	E3	Menos Impacto		Igual	Más Impacto	Menos Impacto	
	E4	Mucho menos impacto		Más Impacto	Igual	Mucho menos impacto	
	E5	Más impacto		Mucho más impacto	Más impacto	Más impacto	
Riesgos Sociales	E1	Más Impacto	Más Impacto		Menos Impacto	Más Impacto	
	E2	Menos Impacto	Menos Impacto		Menos Impacto	Menos Impacto	
	E3	Menos Impacto	Igual		Igual	Menos Impacto	
	E4	Mucho menos impacto	Menos Impacto		Menos Impacto	Mucho menos impacto	
	E5	Mucho menos impacto	Mucho menos impacto		menos impacto	Mucho más impacto	
Riesgos Políticos	E1	Más Impacto	Más Impacto			Más Impacto	
	E2	Igual	Igual			Más Impacto	Más Impacto
	E3	Menos Impacto	Menos Impacto			Igual	Menos Impacto
	E4	Menos Impacto	Igual			Más Impacto	Más Impacto
	E5	Igual Impacto	Menos Impacto			Más Impacto	Mucho más impacto
Riesgos Técnicos	E1	Menos Impacto	Menos Impacto	Menos Impacto	Menos Impacto		
	E2	Igual	Menos Impacto	Más Impacto	Menos Impacto		
	E3	Igual	Más Impacto	Más Impacto	Más Impacto		
	E4	Igual	Mucho Más Impacto	Mucho Más Impacto	Menos Impacto		

	E5	Mucho Más Impacto	Menos Impacto	Mucho menos Impacto	Mucho menos Impacto	
--	----	-------------------	---------------	---------------------	---------------------	--

Resultados de opiniones Segundo Nivel de la jerarquía

Riesgos técnicos		Ubicación de la planta	Tecnología fotovoltaica
Ubicación de la planta	E1		Menos Impacto
	E2		Más Impacto
	E3		Igual
	E4		Mucho Menos Impacto
	E5		
Tecnología fotovoltaica	E1	Más Impacto	
	E2	Menos Impacto	
	E3	Igual	
	E4	Mucho Más Impacto	
	E5		

Riesgos Políticos		Políticas medio ambientales	Licencias urbanísticas
Políticas medio ambientales	E1		Menos Impacto
	E2		Más Impacto
	E3		Más Impacto
	E4		Igual
	E5		Igual
Licencias urbanísticas	E1	Más Impacto	
	E2	Menos Impacto	
	E3	Menos Impacto	
	E4	Igual	
	E5	Igual	

Riesgos Sociales		Impacto Social	Explotación del proyecto
Impacto social	E1		Mucho Más Impacto
	E2		Igual
	E3		Menos Impacto
	E4		Mucho Menos Impacto
	E5		Igual
Explotación del proyecto	E1	Mucho Menos Impacto	
	E2	Igual	
	E3	Más Impacto	
	E4	Mucho Más Impacto	
	E5	Igual	

Riesgos Legales		Licencias urbanas	Conexión con la red eléctrica	Riesgo legal internacional
Licencias urbanas	E1		Mucho Más Impacto	Menos Impacto
	E2		Menos Impacto	Menos Impacto
	E3		Más Impacto	Menos Impacto
	E4		Igual	Más Impacto
	E5		Mucho Más Impacto	Mucho Más Impacto

Conexión con la red eléctrica	E1	Mucho Menos Impacto		Menos Impacto
	E2	Más Impacto		Menos Impacto
	E3	Menos Impacto		Menos Impacto
	E4	Igual		Más Impacto
	E5	Mucho Menos Impacto		Mucho Más Impacto
Riesgo legal internacional	E1	Más Impacto	Más Impacto	
	E2	Más Impacto	Más Impacto	
	E3	Más Impacto	Más Impacto	
	E4	Menos Impacto	Menos Impacto	
	E5	Mucho Menos Impacto	Mucho Menos Impacto	

Riesgos Económicos		Tecnología	Permisos para la instalación y puesta en marcha	Ubicación de la planta
Tecnología	E1		igual	Mucho Más Impacto
	E2		Menos Impacto	Menos Impacto
	E3		Más Impacto	Igual
	E4		Mucho Mas Impacto	Más Impacto
	E5		Mucho Menos Impacto	Igual
	E1	Igual		Mucho Más Impacto

Permisos para la instalación y puesta en marcha	E2	Más Impacto		Más Impacto
	E3	Menos Impacto		Menos Impacto
	E4	Mucho Menos Impacto		Más Impacto
	E5	Mucho Mas Impacto		Mucho Más Impacto
Ubicación de la planta	E1	Mucho Menos Impacto	Mucho Menos Impacto	
	E2	Menos Impacto	Menos Impacto	
	E3	Igual	Más Impacto	
	E4	Menos Impacto	Menos Impacto	
	E5	Igual	Mucho Menos Impacto	

Calculo de pesos comparacion por pares con numeros asociados, primer nivel de la jerarquía.

Primer nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios		Riesgos Económicos	Riesgos Legales	Riesgos Sociales	Riesgos Políticos	Riesgos Técnicos
Riesgos Económicos $w_1=0,12$	E1	.	0,75	0,75	0,75	0,75
	E2	.	0,5	0,25	0,5	0,5
	E3	.	0,25	0,25	0,25	0,5
	E4	.	0	0	0,25	0,5
	E5	.	0,75	0	0,5	1
	Promedio	.	0,45	0,25	0,45	0,65
Riesgos Legales $w_2=0,21$	E1	0,25	.	0,75	0,75	0,25
	E2	0,5	.	0,25	0,5	0,25
	E3	0,75	.	0,5	0,25	0,75
	E4	1	.	0,25	0,5	1
	E5	0,25	.	0	0,25	0,25
	Promedio	0,55	.	0,35	0,45	0,50
Riesgos Sociales $w_3=0,32$	E1	0,25	0,25	.	0,75	0,25
	E2	0,75	0,75	.	0,75	0,75
	E3	0,75	0,5	.	0,5	0,75
	E4	1	0,75	.	0,75	1
	E5	1	1	.	0,75	0
	Promedio	0,75	0,65	.	0,70	0,55
Riesgos Políticos $w_4=0,25$	E1	0,25	0,25	0,25	.	0,25
	E2	0,5	0,5	0,25	.	0,25
	E3	0,75	0,75	0,5	.	0,75
	E4	0,75	0,5	0,25	.	0,25
	E5	0,5	0,75	0,25	.	0
	Promedio	0,55	0,55	0,30	.	0,30
Riesgos Técnicos $w_5=0,1$	E1	0,75	0,75	0,75	0,75	.
	E2	0,5	0,75	0,25	0,75	.
	E3	0,5	0,25	0,25	0,25	.
	E4	0,5	0	0	0,75	.
	E5	0	0,75	1	1	.
	Promedio	0,45	0,50	0,45	0,70	.

Calculo de pesos comparacion por pares con numeros asoicados en segundo nivel de la jerarquía.

Segundo Nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios				
Riesgos Económicos		Tecnología	Permisos instalación y puesta en marcha	Ubicación de la planta
R1 Tecnología $w_1=0,33$	E1	.	0,5	0
	E2	.	0,75	0,75
	E3	.	0,25	0,5
	E4	.	0	0,25
	E5	.	1	0,5
	Promedio	.	0,50	0,40
R2 Permisos para la instalación y puesta en marcha $w_2=0,21$	E1	0,5	.	0
	E2	0,25	.	0,25
	E3	0,75	.	0,75
	E4	1	.	0,25
	E5	0	.	0
	Promedio	0,50	.	0,25
R3 Coste Ubicación de la planta $w_3=0,46$	E1	1	1	.
	E2	0,25	0,75	.
	E3	0,5	0,25	.
	E4	0,75	0,75	.
	E5	0,5	1	.
	Promedio	0,60	0,75	.

Segundo Nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios				
Riesgos Legales		Licencias urbanas	Conexión con la red eléctrica	Riesgo legal internacional
R4 Licencias urbanas $w_1=0,2$	E1	.	0	0,75
	E2	.	0,75	0,75
	E3	.	0,25	0,75
	E4	.	0,5	0,25
	E5	.	0	0
	Promedio	.	0,30	0,50
	E1	1	.	0,75

R5 Conexión con la red eléctrica $w_2=0,44$	E2	0,25	.	0,75
	E3	0,75	.	0,75
	E4	0,5	.	0,25
	E5	1	.	0
	Promedio	0,70	.	0,50
R6 Riesgo legal internacional $w_3=0,36$	E1	0,25	0,25	.
	E2	0,25	0,25	.
	E3	0,25	0,25	.
	E4	0,75	0,75	.
	E5	1	1	.
	Promedio	0,50	0,50	.

Segundo Nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios			
Riesgos Sociales		Impacto Social	Explotación del proyecto
R7 Impacto social $w_1=0,5$	E1	.	0
	E2	.	0,5
	E3	.	0,75
	E4	.	0,75
	E5	.	0,5
	Promedio	.	0,50
R8 Explotación del proyecto $w_2=0,5$	E1	1	.
	E2	0,5	.
	E3	0,25	.
	E4	0,25	.
	E5	0,5	.
	Promedio	0,50	.

Segundo Nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios			
Riesgos Políticos		Políticas Medioambientales	Licencias Urbanísticas
R9 Políticas medio ambientales $w_1=0,45$	E1	.	0,75
	E2	.	0,25
	E3	.	0,25
	E4	.	0,5
	E5	.	0,5
	Promedio	.	0,45
R10 Licencias urbanísticas $w_2=0,55$	E1	0,25	.
	E2	0,75	.
	E3	0,75	.
	E4	0,5	.
	E5	0,5	.
	Promedio	0,55	.

Segundo Nivel de la jerarquía de Riesgos o Criterios			
Riesgos técnicos		Ubicación de la planta	Tecnología Fotovoltaica
R11 Ubicación de la planta $w_1=0,7$	E1	.	0,75
	E2	.	0,25
	E3	.	0,5
	E4	.	1
	E5	.	1
	Promedio	.	0,70
R12 Tecnología fotovoltaica $w_2=0,3$	E1	0,25	.
	E2	0,75	.
	E3	0,5	.
	E4	0	.
	E5	0	.
	Promedio	0,30	.

Resultados

Tabla 4 Tala de resultados

Valores RD,ORF y ORFt.					
Riesgos	RD*	RD	ORF	ORFt	Ranking
A	0,12				
R1	0,33	0,165	1,7091	0,0965	9
R2	0,21	0,0525	7,0152	0,0075	12
R3	0,46	0,345	0,8696	0,3968	3
B	0,21				
R4	0,2	0,06	7,2917	0,0082	11
R5	0,44	0,22	1,0320	0,2132	5
R6	0,36	0,18	1,2938	0,1391	8
C	0,32				
R7	0,5	0,25	0,3266	0,7655	2
R8	0,5	0,25	0,7060	0,3541	4
D	0,25				
R9	0,45	0,2025	1,0509	0,1927	6
R10	0,55	0,165	1,6667	0,0990	7
E	0,1				
R11	0,7	0,49	0,5778	0,8481	1
R12	0,3	0,09	3,7481	0,0240	10

Conclusiones

Hemos aplicado satisfactoriamente la metodología propuesta para la evaluación de riesgos en la etapa de diseño de grandes parques solares fotovoltaicos utilizando números difusos, para el mismo se ha contado con la opinión de 5 expertos en el área de energía solar fotovoltaica, los mismos han identificado 5 riesgos principales y 12 riesgos en el segundo nivel de la jerarquía, los demás riesgos que continúan el desglose han sido utilizados como factores con el propósito de que las opiniones fuesen más consistentes, como resultado de los cálculos realizados según el método propuesto y el ranking mostrado en la tabla 4, el riesgo número 12 que corresponde al grupo E es el de “ubicación de la planta” ocupando el puesto número 1 de esta priorización, le continúan respectivamente los riesgo de “impacto social” y “coste de ubicación”.

Al riesgo no se le resta importancia porque cada riesgo representa una amenaza para los objetivos del proyecto, cuando obtenemos una priorización es más eficiente generar un plan de accione sobre el grupo de riesgos que hemos presentado.

En el marco teórico de este trabajo se muestran los métodos básicos para el análisis de riesgos, así como nuevos métodos que buscan consigo mayor precisión a la hora de priorizar y analizar los riesgos de este tipo de proyectos.

Cuando nos encontramos con métodos que solo nos ofrecen priorizaciones a base de datos lingüísticos, para este tipo de proyectos no es tan preciso y con el método que proponemos combinamos los datos lingüísticos de impacto de riesgo y probabilidad para luego asociar estos datos con números difusos trapezoidales, así mismo se realiza una comparación por pares de cada riesgo, estas son utilizadas en métodos conocidos como AHP y el objetivo es conseguir los pesos de cada riesgo en el nivel inferior de la jerarquía, los números difusos se traducen con las expresiones verbales y luego se integran para el cálculo de un factor de riesgo global que nos ofrezca datos más precisos sobre cada riesgo, es bueno entender que en este tipo de análisis mientras mayor sea el desglose de factores que afecten los objetivos del proyecto, mayor será la precisión de los datos.

Este trabajo se ha centrado en la etapa de diseño de grandes parques fotovoltaicos, pero como los riesgos pueden persistir más allá de dicha etapa es recomendable que se profundice aún más en este tipo de aplicaciones incluso desde la fabricación de las células solares se pudiera realizar análisis de este tipo.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, Ammar, Berman Kayis, y Sataporn Amornsawadwatana. 2007. «A Review of Techniques for Risk Management in Projects». Editado por S.C.L. Koh. *Benchmarking: An International Journal* 14 (1): 22-36. <https://doi.org/10.1108/14635770710730919>.
- Birolini, A. 1993. “*Design for reliability*”,. new york.
- Carr, V., y J. H. M. Tah. 2001. «A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system». *Advances in Engineering Software* 32 (10-11): 847-57. [https://doi.org/10.1016/S0965-9978\(01\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0965-9978(01)00036-9).
- Chan, Hing Kai, y Xiaojun Wang. 2013. *Fuzzy Hierarchical Model for Risk Assessment: Principles, Concepts, and Practical Applications*. Springer Science & Business Media.
- Fujino, T., y F.C. Hadipriono. s. f. «New gate operations of fuzzy fault tree analysis». (:unav). Accedido 23 de marzo de 2019. <https://doi.org/10.1109/fuzzy.1994.343643>.
- Fujino, Tomoyuki. 1994. «The Development of a Method for Investigating Construction Site Accidents Using Fuzzy Fault Tree Analysis». PhD Thesis, Columbus, OH, USA: Ohio State University.
- Gaurav, Siddharth, Nicholas Chileshe, y Tony Ma. 2011. «Project Risk Analysis of Solar Energy Project Delays in India», 12.
- «Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications | Request PDF». s. f. ResearchGate. Accedido 2 de abril de 2019. <http://dx.doi.org/10.2307/2008199>.
- Ivan Perez, Betzabeth Leon. 2007. *Logica difusa para principiantes Teoria y Practica*. Primera. Caracas.

Leza, Escriña, y & Asociados S.A. 2013. «Nuevos riesgos energia solar fotovoltaica», 07.15, .

- Lotfi A. Zadeh. 1965. «Fuzzy sets» 1.
- Lowder, T., M. Mendelsohn, B. Speer, y R. Hill. 2013. «Continuing Developments in PV Risk Management: Strategies, Solutions, and Implications». NREL/TP-6A20-57143, 1064515. <https://doi.org/10.2172/1064515>.

- Nieto-Morote, A., y F. Ruz-Vila. 2011a. «A Fuzzy Approach to Construction Project Risk Assessment». *International Journal of Project Management* 29 (2): 220-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.02.002>.
- 2011b. «A Fuzzy Approach to Construction Project Risk Assessment». *International Journal of Project Management* 29 (2): 220-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.02.002>.
- Project Management Institute. 2013. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía PMBOK)*.
- Saaty, Thomas L. 2005. «Analytic Hierarchy Process». En *Encyclopedia of Biostatistics*. American Cancer Society. <https://doi.org/10.1002/0470011815.b2a4a002>.
- Salamone, T.A. 1995. *What Every Engineer Should Know About Concurrent Engineering*. new york.
- Williams, T. 1995. *A classified bibliography of recent research relating to risk management*”, *European Journal of Operational Research*. 1.^a ed. Vol. 85.
- Wu, Yunna, Lingwenying Li, Zixin Song, y Xiaoshan Lin. 2019. «Risk Assessment on Offshore Photovoltaic Power Generation Projects in China Based on a Fuzzy Analysis Framework». *Journal of Cleaner Production* 215 (abril): 46-62. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.024>.