

COMPARATIVE ANALYSIS OF RISKS IN PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS: MURCIA-DOMINICAN REPUBLIC

Guerrero Liquet, Guido Camilo; Campos Guzmán, Verónica; Sánchez Lozano, Juan Miguel; García Cascales, María Socorro
Universidad Politécnica de Cartagena

To identify the risks affecting the profitability of a project it is essential to meet the need of the users involved in the decision-making. Assessing judgments is currently a process that remains constant in risk management through experts. In the renewable energy sector it is necessary to determine the degree of uncertainty of the risks. Our interest is to demonstrate that applying the proposed model and a sensitivity analysis these risks can be predicted.

The objectives of this study are to compare the identification of the risks of solar installations in the Region of Murcia and the Dominican Republic, and also to assess the risks with a sensitivity analysis using the Expert Choice software to simplify the decision-making process through the AHP method (Analytic Hierarchy Process).

Raw data were taken through the combination of different methods used to identify risks. The model not only allows extracting knowledge from the experts, but also understanding the significant changes likely to occur. The comparative analysis of the multi-criteria decision is crucial in the selection of risks and shows that the results are robust and consistent which also allows you to make a better decision.

Keywords: Photovoltaic Systems (PV); Risk Identification; Analytic Hierarchy Process (AHP); Expert Choice; Region of Murcia; Dominican Republic

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RIESGOS EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS: REGIÓN DE MURCIA-REPÚBLICA DOMINICANA

Para identificar los riesgos que afectan la rentabilidad de un proyecto es indispensable responder a la necesidad de los usuarios implicados en la toma de decisiones. Actualmente la evaluación de juicio es un proceso que se mantiene constante en la gestión de riesgos a través de los expertos. En el sector de las energías renovables es necesario determinar el grado de incertidumbre de los riesgos. Nuestro interés es demostrar que aplicando el modelo planteado y un análisis de sensibilidad se pueden predecir estos riesgos.

Los objetivos de este trabajo son comparar la identificación de los riesgos de instalaciones solares en la Región de Murcia y República Dominicana y evaluar los riesgos a partir de un análisis de sensibilidad utilizando el software Expert Choice para simplificar el proceso de toma de decisión mediante el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico).

Los datos primarios se tomaron a través de la combinación de diferentes métodos. El modelo no sólo permite extraer el conocimiento de los expertos, sino también conocer los cambios significativos con probabilidad de ocurrencia. El análisis comparativo de la decisión multicriterio es fundamental en la selección de riesgos, muestra que los resultados son robustos y consistentes además permite tomar una mejor decisión.

Palabras clave: Instalaciones Solares Fotovoltaicas (ISF); Identificación de Riesgo; Proceso Analítico Jerárquico (AHP); Expert Choice; Región de Murcia; República Dominicana

Correspondencia: Guido C. Guerrero Liquet - guidocgl1@gmail.com, gcg10@alu.upct.es

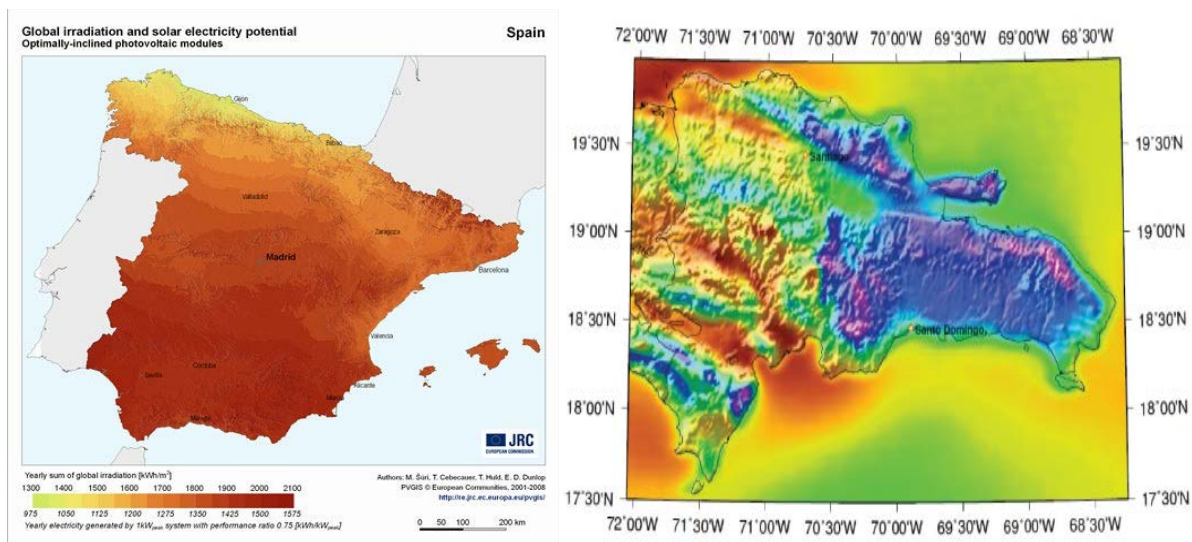
Agradecimientos: Este trabajo está parcialmente financiado por los proyectos TIN2014-55024-P del Ministerio de Ciencia e Innovación Español y P11-TIC-8001 de la Junta de Andalucía (incluidos los fondos FEDER) y el proyecto 19882/GERM/15 programa SÉNECA 2004, además de una beca de doctorado del Ministerio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

1. Introducción y objetivos

Dado que los riesgos existen desde el momento en que se concibe un proyecto, debe hacerse una elección consciente de ellos para identificar activamente y perseguir una gestión eficaz durante la vida del proyecto. En el sector de las energías renovables es necesario determinar el grado de incertidumbre de los riesgos. Nuestro interés es demostrar que aplicando procesos de toma de decisión multicriterio y mediante análisis de sensibilidad se puede establecer el orden de importancia de estos riesgos.

España actualmente tiene tasas impositivas para la producción de energía solar fotovoltaica (RD 900/2015) a diferencia de República Dominicana que ha desarrollado un marco legislativo favorable que incentiva la implantación de tecnologías disponibles para aprovechar el potencial energético (Ley 57-07, Comisión Nacional de Energía, 2012). La literatura identifica en estos países una serie de riesgos como barreras a la inversión que deben ser examinados para desarrollar a mayor velocidad los proyectos de energías renovables (EERR) (Komendantova, Patt, Barras, & Battaglini, 2012).

Figura 1: Mapa Solar de España y de República Dominicana. Fuente: (AEMET; CNE-RD)



Por esta razón esta investigación nos conduce a identificar y comparar riesgos que generan un nivel de incertidumbre importante en la inversión de proyectos de este tipo. De esta manera, será posible evitar que los diseñadores, inversionistas, promotores, clientes y constructores de proyectos de energías renovables tomen decisiones inadecuadas.

El objetivo del estudio es verificar que el modelo de identificación de riesgos propuesto se puede aplicar a cualquier instalación solar fotovoltaica (ISF) indistintamente de la situación geográfica. Permitiendo facilitar a los inversores o prestamistas potenciales la identificación de los riesgos más importantes con el objetivo de optimizar el proyecto durante las etapas de diseño, construcción y puesta en marcha. Se obtendrá el coeficiente de importancia de los riesgos a partir de metodologías de identificación, técnicas de recopilación de información, técnicas de diagramación y procesos de evaluación de juicios a través de expertos.

El modelo será aplicado a dos casos de estudio, concretamente a un proyecto desarrollado en la Región de Murcia (España) y otro en Santo Domingo (República Dominicana). Se analizará el patrón de comportamiento y los resultados obtenidos en el proceso de toma de decisiones con el objetivo de establecer y determinar las prioridades de los riesgos. Para

ello, se facilitarán una serie de cuestionarios, a desarrollar en dos etapas, a las partes involucradas con la finalidad de conocer sus percepciones sobre los riesgos que pueden afectar la rentabilidad de las ISF.

Este análisis comparativo mostrará los coeficientes de importancia o pesos de los riesgos obtenidos a través de una serie de etapas definidas en un diagrama funcional. Posteriormente se realizará un análisis de sensibilidad con un software de decisión contrastado denominado Expert Choice para comprobar la validez de los resultados obtenidos. Dicho análisis permitirá además visualizar las variaciones que se producen en el orden de importancia de los riesgos a través del tiempo (García-Cascales & Lamata, 2009).

2. Riesgos, Toma de Decisiones y Análisis de Sensibilidad en las EERR

Son muchos los factores económicos, ambientales y políticos que están teniendo efectos significativos en las prácticas de gestión de la energía, lo que lleva a una variedad de incertidumbres a la hora de tomar decisiones (Cai, Huang, Yang, & Tan, 2009). Identificar los riesgos que causan preocupación para los inversores, e impiden la inversión en instalaciones de energías renovables podría ser un factor importante con el objetivo de desarrollar estrategias de acción a mediano y largo plazo.

Diferentes autores identifican los criterios técnicos y financieros como las principales causas del riesgo en proyectos de energías renovables. Estos autores definen estos criterios de la siguiente manera (Ghosh, Shukla, Garg, & Ramana, 2002):

1. Riesgo técnico: incertidumbre de los costos de inversión, operación, mantenimiento y desmantelamiento.
2. Riesgos financieros: incluye crédito, tasa de interés, indicadores económicos y este grupo también considera el riesgo que representa la regulación de la incertidumbre causada por los posibles cambios legislativos.

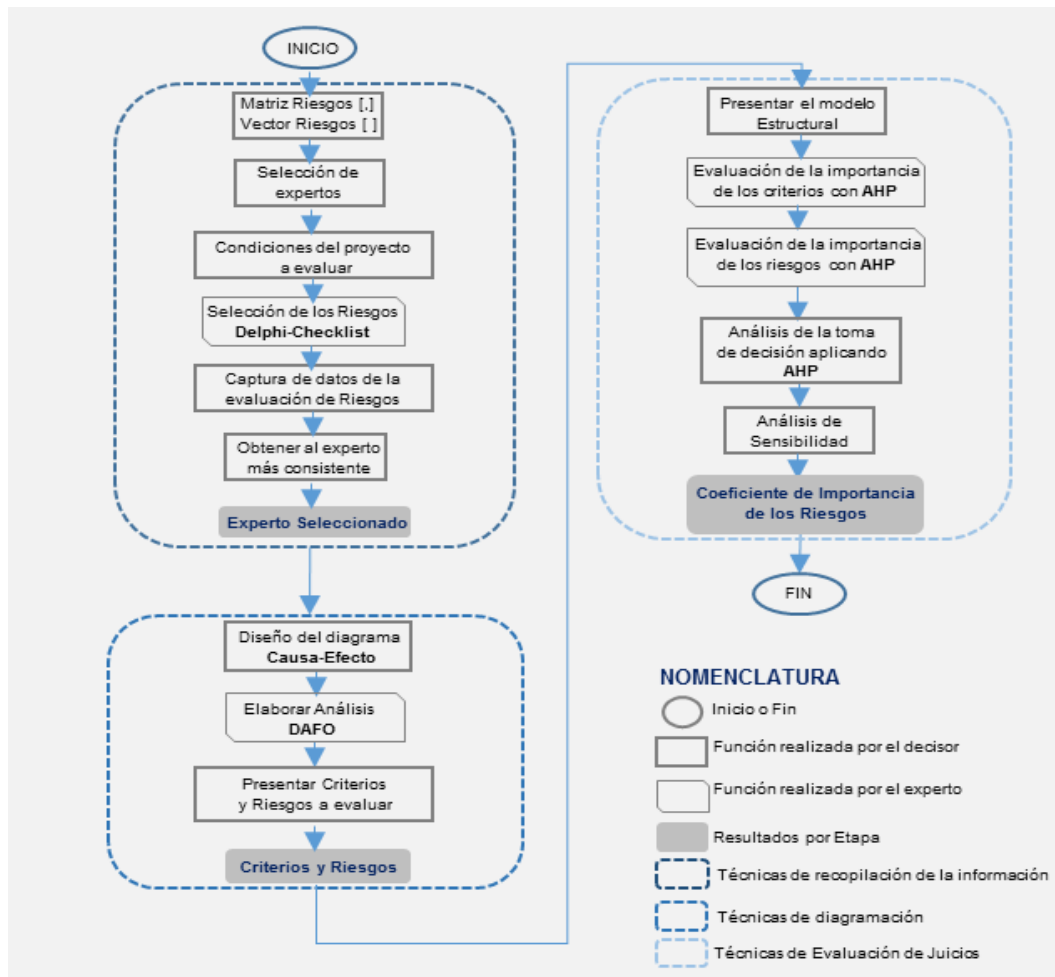
Por esta razón, este estudio se enfoca únicamente en los riesgos de tipo técnico y financiero, ya que estos engloban los problemas que ocurren en una instalación solar fotovoltaica. En primer lugar, mediante la indicación de los riesgos que necesitan ser reforzados y en segundo lugar estableciendo un orden de importancia para reducirlos.

2.1. Técnicas de la Identificación de los Riesgos

El estudio se enfoca en identificar aquellos riesgos que pueden afectar positiva o negativamente a la rentabilidad del proyecto. Para ello se aplicarán herramientas y metodologías que respondan a la necesidad de los diferentes tipos de usuarios implicados en los procesos de toma de decisiones. La fase de identificación del riesgo consiste en definir los posibles problemas que pueden aparecer a lo largo del proyecto incluyendo la probabilidad de que la instalación sufra daños o pérdidas económicas (PMBok, 2012).

La metodología se describe en la figura 2; la cual muestra el diagrama funcional de las técnicas utilizadas para identificar los riesgos. Para aplicar el modelo propuesto es necesario llevar a cabo una exhaustiva revisión de las características técnicas y económicas de la instalación. El diagrama se plantea a partir de las diferentes técnicas que aborda (PMBok, 2012) para determinar los riesgos de un proyecto. Estos pasos son la base del modelo propuesto.

Figura 2: Diagrama Funcional de las Técnicas de Identificación de Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)



2.1.1. Técnicas de Recopilación de la Información

Para realizar la etapa de recopilación de información se combinará la técnica Delphi con la técnica Checklist. Estas técnicas se complementan proporcionando una secuencia de forma ordenada que permitirá, de forma sencilla, verificar que el resultado es el esperado.

La técnica Delphi se compone de dos cuestionarios a un grupo de expertos. Un primer cuestionario que solicita ideas acerca de los riesgos del proyecto y un segundo cuestionario basado en los resultados del primero, de esta manera se logran consenso entre los expertos. El Checklist se usa para hacer comprobaciones sistemáticas asegurándose de que no se olvide nada importante. En definitiva, sirve como registro para llevar a cabo un exhaustivo control y puede ser revisado cuantas veces sea necesario (Guerrero-Liquet, García-Cascales, Sanchez-Lozano & Faxas-Gúzman, 2015). Algunos ejemplos de estos métodos utilizados en el ámbito de las energías renovables son:

- (Celiktas & Kocar, 2010) Este trabajo que trata, el futuro de la energía renovable de Turquía se evaluó utilizando el método Delphi. Se realizó un estudio de investigación Delphi de dos rondas para determinar y medir las expectativas de los representantes del sector en relación con la previsión de las energías renovables.
- (Harmelink, Voogt, & Cremer, 2006) En este estudio se aplica Checklist para determinar la eficacia de las políticas de apoyo a las energías renovables en la Unión Europea.

2.1.2. Técnicas de Diagramación

Una vez recopilado la información arrojada por los expertos la siguiente etapa consistirá en realizar un diagrama que permita conectar gráficamente el problema con sus causas principales y secundarias. Con el diagrama de causa y efecto se muestra la relación entre una característica de calidad y los factores que la originan. Esta técnica es conocida por su simplicidad y visualización: llamado también diagrama de Ishikawa o de espina de pescado (González, 2011).

Después se selecciona el experto que con mayor consistencia respondió la etapa anterior para iniciar una nueva etapa de cuestionarios. En esta parte el experto rellena un diagrama de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (DAFO) a partir del diagrama Ishikawa para ampliar el espectro de los riesgos identificados (PMBok, 2012). Este método ya se ha aplicado con éxito en el sector de la energía renovable, por ejemplo, en identificar factores críticos en la difusión de la fotovoltaica (Reinsberger, Brudermann, Hatzl, Fleiß, & Posch, 2015).

2.1.3. Técnicas de Evaluación de Juicios. Proceso Analítico Jerárquico AHP

Debido al hecho de que el DAFO representa un simple análisis cualitativo, la combinación con el AHP hace que la comparación de las alternativas sea más conmensurable (Reinsberger et al., 2015). Para identificar los riesgos directamente y obtener un coeficiente de importancia se deberá realizar la evaluación de juicios con técnicas de toma de decisión multicriterio, el método que se propone aplicar es el AHP (Saaty, 2000) por su sencillez y robustez a la hora de resolver un problema planteado. El método AHP propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, que incluye tres principios básicos: el principio de jerarquías de construcción, el principio de la prioridad y el principio de consistencia lógica.

Para obtener la valoración y el establecimiento de las prioridades entre criterios (C), es preciso conocer previamente las preferencias del decisor a través de la construcción de las matrices pareadas, determinadas por las $n(n-1)/2$ comparaciones necesarias. En el caso de estudio el objetivo será obtener un vector de pesos que determinará la importancia relativa de cada criterio. Para ello se construirá una matriz R , donde dada la entrada r_{ij} que representa la importancia relativa de C_i sobre C_j , se verifica que la importancia de C_j sobre C_i es $1/r_{ij}$.

Figura 3: Matriz de Comparación Binaria Fuente: (Saaty, 2000)

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad \boxed{r_{ij} \cdot r_{ji} = 1}$$

Para las matrices recíprocas se cumple que el autovalor máximo $\lambda_{m\acute{a}x}$ es un número real positivo y que existe asociado un vector propio, cuyas componentes son también positivas. Uno de los problemas que pueden aparecer en AHP es el de la inconsistencia, para ello se define el índice de consistencia (CR) de la siguiente forma (Saaty, 2000):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Donde CI es el Índice de Consistencia:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Y *RI* es el Índice de Consistencia Aleatorio cuyo valor depende del orden de la matriz de comparación (J. A. Alonso & Lamata, 2006) (tabla 1).

Tabla (1). Índice de consistencia aleatoria según el orden de la matriz.

	1-2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0.5247	0.8816	1.1086	1.2479	1.3417	1.4057	1.4499	1.4854

En el presente estudio la metodología AHP es fundamental puesto que permite obtener de forma sencilla y eficaz el peso de cada criterio, es decir, el peso de cada riesgo previamente identificado.

Con el objetivo de corroborar los resultados proporcionados por la metodología AHP, se llevará a cabo un análisis de sensibilidad. Éste permitirá estudiar diferentes situaciones con la finalidad de observar si se producen cambios significativos relevantes.

Este análisis se realiza para ver cómo cambia el orden de importancia de los riesgos mediante el aumento o la disminución de la importancia de los criterios. El análisis de sensibilidad es un elemento dinámico en una jerarquía. Los resultados obtenidos con este tipo de análisis proporcionan una visión más de las causas de los riesgos e indican el cambio relativo máximo que puede ocurrir en la categoría de los riesgos (Mangla et al., 2015).

Este análisis se puede hacer con una herramienta informática diseñada para aplicar la metodología AHP, Expert Choice 2000. La aplicación ofrece cuatro modos gráficos de análisis de sensibilidad: dinámico, gradiente, el rendimiento y el análisis de dos dimensiones (Expert Choice, 2000). Esta herramienta informática es rápida, intuitiva y sencilla de manejar para abordar cualquier proceso de toma de decisiones. Con Expert Choice es posible identificar el impacto de los cambios en la importancia de los criterios, es decir mostrar las variaciones relativas de los pesos de los criterios a través del tiempo (García-Cascales & Lamata, 2009).

3. Casos de Estudios

3.1. Caso 1: Instalación Fotovoltaica en la Región de Murcia

La generación de energía eléctrica con autoconsumo en España está regulada por la ley (RD 900/2015). Después de muchos años a la vanguardia de las energías renovables tanto en Europa como en todo el mundo, España experimentó una transformación repentina en 2012 en el modelo de desarrollo de las energías renovables en el que se eliminó parte del respaldo del gobierno nacional y los incentivos financieros, lanzando el sector de las EERR a una parálisis que continúa hasta nuestros días (P. M. Alonso et al., 2016). Todos los subsidios se eliminaron (RD 1/2012), provocando una situación de gran incertidumbre con respecto al futuro de las energías renovables en España. La capacidad del país para cumplir con su medio plazo (2020) y el cumplimiento de los objetivos de mitigación del cambio climático a largo plazo (2050), que en el pasado muy reciente parecían asegurados, ahora se pueden ver seriamente puestos en entredicho.

La mayoría de los proyectos en energía renovables (teniendo en cuenta las instalaciones con todos los procedimientos administrativos aceptados), están enfocados a los sectores eólico y solar. La Región de Murcia tiene un gran potencial en energía solar fotovoltaica, energía eólica, y biogás. No obstante, para favorecer su desarrollo es necesaria la

promoción y un fuerte apoyo que permita el desarrollo de este tipo de tecnologías (Gómez-López et al., 2010). Por todo ello y, con el objetivo de aumentar la confianza de los inversores, es de notable interés identificar los riesgos de este tipo de instalaciones.

Durante la búsqueda de soluciones al problema que supone la falta de confianza de los inversores resulta posible identificar los riesgos que actualmente afectan la rentabilidad de las instalaciones solares fotovoltaicas en la Región de Murcia. A modo de ejemplo, se propone como caso de estudio una ISF conectada a red, integrada en la cubierta de un aparcamiento existente en la Universidad de Murcia.

La tecnología solar fotovoltaica empleada es de película delgada CdTe. Dicha instalación fue construida a finales de 2008 y comenzó a operar y proporcionar información en julio de 2009. La latitud y longitud de la instalación solar son, respectivamente, 38°01'12"N y 1°09'56"W y, el promedio anual de la irradiación diaria es 5320 Wh/m² (Serrano-Luján et al., 2015).

Figura 4: Aparcamiento 222 Kwp Universidad de Murcia Fuente:(Serrano-Luján et al., 2015)



Figura 5: Recopilación de Datos de ISF Murcia (Fuente: Elaboración Propia)

Condiciones definidas del proyecto de Murcia

Localización del Proyecto	Características Técnicas	Diseño	Consumo Eléctrico	Análisis Económico
<ul style="list-style-type: none"> ➢ Instalación Solar FV ➢ Murcia, España ➢ Conectada a Red ➢ Lugar: Universidad de Murcia UMU ➢ Área: 2.263,36 m² ➢ Latitud: 38° 01' N ➢ Longitud: 1° 09' 56'' ➢ Altitud: 49 m ➢ Inclinación Óptima: 7° ➢ Azimut: -20° 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Radiación: 4,96 Kw.h/m2.día ➢ Módulos de CdTe FirstSolar Series FS-267, FS-270, y FS-272 ➢ Potencia de Módulos: 67,5, 70, y 72,5 Wp ➢ Numero de Módulos = 3.144 ➢ Área Utilizada: 2.246 m² ➢ Vida útil: 30 años ➢ Inversores SMA Solar SMC7000HV Sunny ➢ Cantidad de Inversores = 30 ➢ Potencia Nominal del Inversor = 6,7 Kw 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Rendimiento de Transformación= 80,7% ➢ 8 Paneles en series ➢ 30 Subgrupos con 13 paneles en paralelo ➢ Eficiencia Europea del Inversor= 95,3% ➢ Umax Inv = 335 V ➢ Umin Inv = 560 V ➢ Sistema de Montaje: Estructura Metálica ➢ 30 Sensor Box ➢ Potencia Nominal del Generador = 222,36 Kwp 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Consumo Promedio: 66.461,54 kWh/Mes ➢ Consumo Estimado: 221 Kwh/ día ➢ Consumo Anual: 864.000 Kwh ➢ Producción Mensual: 27.518 Kwh ➢ Porcentaje de Consumo Ahorrado: 41 % ➢ Potencia Anual: 200,75 Kw/mes ➢ Valor de Producción Anual: 8.805,76 ➢ Promedio de Energía Normalizada: 123,93 Wh/Wp 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Costo: 513.150,52 US\$ ➢ Descuento por Ley: 35% ➢ Precio del Kw/h: 0.32 US\$ ➢ Ahorro Anual Estimado: 105,669,12 US\$ ➢ Beneficio en 10 años: 787.670,40 US\$ ➢ Pay Back: 4 años ➢ Beneficio en 25 años: 3.825.299,31 US\$ ➢ TIR en 10 años: 15% ➢ TIR en 25 años: 30%

En la figura 5 se muestra un cuadro detallado de todas las características técnicas, físicas y económicas que tiene este aparcamiento fotovoltaico el cual se ha utilizado como planta solar modelo para llevar a cabo la extracción del conocimiento a través del grupo de expertos, los cuales se encargarán de identificar y comparar los riesgos.

3.2. Caso 2: Instalación Fotovoltaica en República Dominicana

Este caso de estudio es un banco que pretende construir una instalación solar fotovoltaica en la zona de aparcamiento de sus oficinas principales en la ciudad de Santo Domingo para cubrir parte de su demanda eléctrica (Guerrero-Liquet, et al. 2015). Al igual que en el caso anterior se presenta (figura 6) un cuadro detallado de todas las características técnicas, físicas y económicas de la instalación.

Figura 6: Recopilación de Datos de ISF República Dominicana (Fuente: Elaboración Propia)

Condiciones definidas del proyecto de República Dominicana				
Localización del Proyecto	Características Técnicas	Diseño	Consumo Eléctrico	Análisis Económico
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instalación Solar FV ➤ Santo Domingo, R.D. ➤ Conectada a Red ➤ Lugar: Banco Caribe ➤ Área: 761.5 m² ➤ Latitud: 18.47 N ➤ Altitud: 56 m ➤ Inclinación Óptima: 8,4° ➤ Azimut: 00° 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Radiación: 4.01 Kw.h/ m²-día ➤ Módulos Suniva 300 w MVX300 ➤ Numero de Módulos = 380 ➤ Velocidad del Viento: 167 kph ➤ Área Utilizada: 737 m² ➤ Vida útil: 25 años ➤ Inversor Fronius CL 55.5 Delta ➤ Cantidad de Inversores = 2 ➤ Potencia Nominal del Inversor = 56 Kw 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendimiento de Transformación 80% ➤ 10 paneles en series ➤ 38 Paneles en Paralelo ➤ Eficiencia Europea del Inversor 96% ➤ Umax Inv = 600 V ➤ Umin Inv = 230 V ➤ Sistema de Montaje: Unirac ➤ 5 Combiner Box ➤ Potencia Nominal de generador = 114 Kw 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consumo Promedio: 66461.54 kWh /Mes ➤ Consumo Estimado: 114.00 kWh/día ➤ Consumo Anual: 864.000 kWh ➤ Producción Mensual: 12.515,17 kWh ➤ Porcentaje de Consumo Ahorrado: 19% ➤ Potencia Anual: 217,47 Kw/mes ➤ Valor de Producción Anual = 2.223,97 US \$ ➤ Potencia Media Anual: 200,75 kW/mes ➤ Promedio de Energía Normalizada: 180.71 Wh/Wp 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Costo=234.014,25 US\$ ➤ Descuento por Ley = 40% ➤ Ahorro Anual Estimado = US \$ 26,687,63 ➤ Precio del Kwh = 0,18 US\$ ➤ Beneficio en 10 años: US \$ 156.212,60 ➤ Pay Back: 5 years ➤ Beneficio en 25 años: US \$ 924.707,99 ➤ TIR en 10 años: -3% ➤ TIR en 25 años: 20 %

3.3. Recopilación y Análisis de la información de los expertos

Se recurrió a un grupo de cinco expertos. Dicho grupo estaba constituido por investigadores del ámbito de las energías renovables con experiencia en proyectos fotovoltaicos. A partir de la información recopilada del proyecto, los expertos fueron capaces de identificar y comparar los riesgos con la finalidad de obtener una mayor consistencia en los resultados.

Las entrevistas a los expertos se llevaron a cabo de forma anónima e independiente. Previamente debían haber revisado la totalidad de la información concerniente a ambos proyectos. Para que los expertos identificaran los riesgos de ambos proyectos con mayor facilidad, se elaboró un cuestionario que estaba distribuido en dos etapas.

Se realizó un primer cuestionario con preguntas abiertas mediante la técnica Delphi. Tras la aplicación de dicha técnica se obtuvieron una serie de riesgos que constituyeron el punto de partida para elaborar un nuevo cuestionario combinando las técnicas Delphi y Checklist. En esta segunda fase los expertos clasificaron los riesgos que previamente habían indicado de acuerdo a los efectos de rentabilidad y la probabilidad de ocurrencia. En la figura (7) se muestra dicho cuestionario.

Figura 7: Cuestionario Método Delphi y Checklist (Fuente: Elaboración Propia)

DELPHI	CHECKLIST
<p>1. ¿Cuáles son los problemas técnicos que podrían afectar la rentabilidad de la instalación?</p> <p>2. ¿Cuáles son los problemas financieros que podrían afectar la rentabilidad de la instalación?</p> <p>3. Tomando en cuenta información histórica en este tipo de instalación y el conocimiento de proyectos similares. ¿Elabore una lista de estos problemas en orden de prioridad?</p>	<p>4. Marque con una X cuales de estos riesgos técnicos, en caso de ocurrir, podrían afectar la rentabilidad de la instalación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Degradación y Suciedad de Paneles <input type="checkbox"/> Perdidas por Sombras <input type="checkbox"/> Derrumbe por Fenómenos Atmosféricos <input type="checkbox"/> Falta de Suministro y Reemplazos <p>5. Marque con una X cuales de estos riesgos financieros, en caso de ocurrir, podrían afectar la rentabilidad de la instalación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Cambios en el Marco Jurídico <input type="checkbox"/> Costes del Mantenimiento <input type="checkbox"/> Variabilidad del VAN <input type="checkbox"/> Falta de Financiamiento <input type="checkbox"/> Alto Pay Back

El primer cuestionario (preguntas 1 y 2 de la técnica Delphi) permitió identificar los riesgos que afectaban a las instalaciones solares según el grupo de expertos. El segundo cuestionario (pregunta 3 de la técnica Delphi y preguntas 4 y 5 de la técnica Checklist) permitió establecer una relación entre los riesgos marcados con Checklist y la lista de los problemas identificados, reflejando de este modo el consenso alcanzado por los expertos.

Este procedimiento es sencillo y permite seleccionar al experto que continúa la evaluación de las siguientes etapas. Tanto los riesgos identificados como sus correspondientes órdenes de prioridad se observan en la tabla 2, siendo, el experto sombreado de amarillo el más consistente.

El experto 5 es el más consistente porque las respuestas dadas por este coinciden mayoritariamente con las valoraciones respondidas por los demás expertos. En la tabla 2 se muestra como sucesivamente el experto 5 coincidió en 7 ocasiones con al menos otro experto. Siendo así este experto el que más coincidencias tuvo y por tanto el que tuvo más aciertos con respecto a los demás.

Tabla 2: Informe final de la Selección de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

Lista de los riesgos en orden de prioridad de la ISF de Murcia					
Riesgos	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5
R1: Alto Pay Back	6	9	9	4	6
R2: Perdidas por Sombras	2	7	3	5	4
R3: Costos de Mantenimiento	9	8	5	7	7
R4: Daños por Fenómenos Naturales	8	6	4	9	9
R5: Variabilidad del VAN	5	3	6	6	3
R6: Falta de Mantenimiento	4	5	2	2	2
R7: Cambios en el marco legislativo	1	1	1	1	1
R8: Falta de Reemplazos y Suministros	7	4	8	3	5
R9: Falta de Financiación	3	2	7	8	8

Los riesgos R2, R4, R6 y R8 se clasifican en la categoría de riesgos técnicos mientras que los riesgos R1, R3, R5, R7, R9 estarían situados en la categoría de riesgos financieros.

4. Resultados de las técnicas de diagramación

Es importante destacar que ambos casos de estudio fueron modelados de la misma manera para realizar un análisis comparativo riguroso y de manera proporcional. Los resultados del informe final de la selección de riesgos del caso 2: Instalación fotovoltaica de República Dominicana fueron presentados en estudios previos (Guerrero-Liquet, et al, 2015). Por lo cual en este estudio los nuevos resultados presentados corresponden con los obtenidos en el caso de estudio 1: Instalación fotovoltaica de la Región de Murcia.

A partir de la construcción del diagrama de causa y efecto se obtienen los resultados del diagrama de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades DAFO. Éste sirve de orientación para las acciones correctoras que se realizan. Al aplicar esta técnica de diagramación en ambos casos de estudio se identificaron como causas principales los problemas técnicos y financieros de dichas instalaciones. Las causas secundarias seleccionadas correspondían con los riesgos identificados por los expertos. Dado que ambos casos de estudio tenían los mismos riesgos, se utilizó el mismo diagrama.

Posteriormente el diagrama DAFO permitió detectar aspectos tales como las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de los proyectos para aumentar el reflejo de los riesgos identificados (Guerrero-Liquet, et al, 2015). El experto más consistente fue el seleccionado para llevar a cabo la etapa de evaluación posterior.

4.1. Resultados de la Evaluación de Juicio

Para aplicar la metodología AHP descrita con anterioridad con objeto de valorar la importancia de los riesgos según fuesen técnicos o financieros se elaboró un cuestionario utilizando la escala de preferencia de (Saaty, 2000). El cuestionario proporcionó una serie de resultados que fueron modelados en una hoja de cálculo midiendo la consistencia del experto para obtener la importancia de los riesgos. Tras aplicar la metodología AHP se obtuvo el peso o coeficiente de importancia de los riesgos en cada caso de estudio (tabla 3), por lo que pudo efectuarse una comparación analítica de los resultados obtenidos.

Tabla 3: Coeficiente de Importancia de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

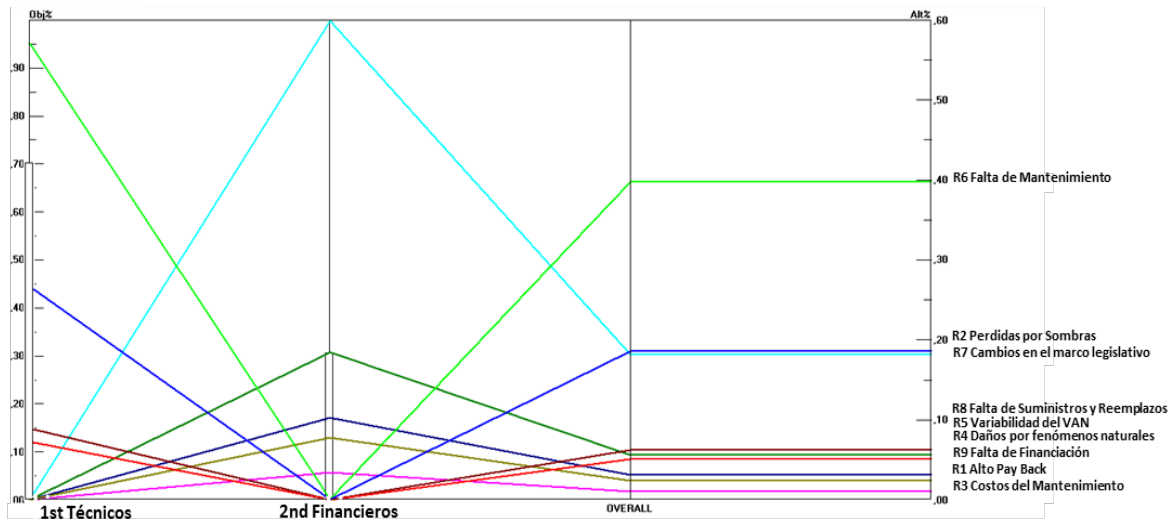
AHP		
Casos de Estudios	ISF Murcia	ISF RD
Riesgos Técnicos	Pesos	Pesos
R2: Perdidas por Sombras	0,267	0,640
R4: Daños por Fenómenos Naturales	0,073	0,063
R6: Falta de Mantenimiento	0,571	0,235
R8: Falta de Reemplazos y Suministros	0,090	0,063
Riesgos Financieros	Pesos	Pesos
R1: Alto Pay Back	0,078	0,068
R3: Costos de Mantenimiento	0,034	0,069
R5: Variabilidad del VAN	0,185	0,138
R7: Cambios en el marco legislativo	0,600	0,508
R9: Falta de Financiación	0,103	0,217

En la Región de Murcia el riesgo técnico más importantes es R6 (falta de mantenimiento) y el riesgo financiero más importante es R7 (cambios en el marco legislativo). Mientras que en RD el riesgo financiero más importante continúa siendo R7 no pasa igual con los riesgos técnicos pues el más importante es R2 (perdidas por sombras). Esto denota una clara diferencia en el aspecto técnico entre ambas instalaciones al estar ubicadas en latitudes tan dispares. Quedando estas diferencias poco evidenciadas en el aspecto financiero. Por esta razón en el análisis de sensibilidad vamos a aumentar el peso del criterio técnico.

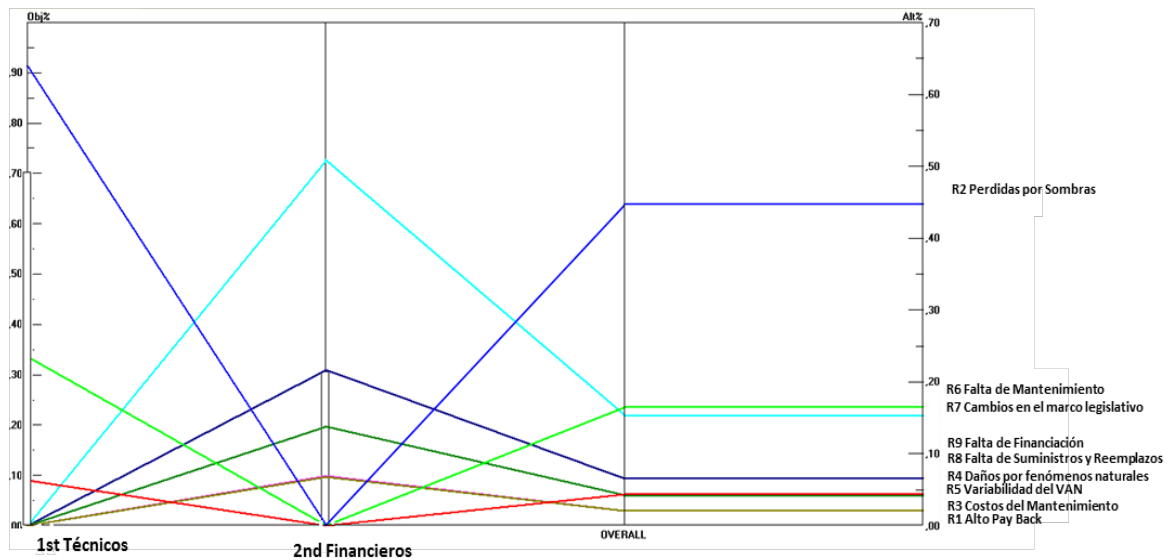
4.2 Resultados del análisis de sensibilidad

Finalmente para ver las variaciones en la importancia relativa de los riesgos a través del tiempo se realizó el análisis de sensibilidad con (Expert Choice, 2000). El análisis permite verificar los resultados de la decisión través de las distintas variaciones del peso de los tipos de criterios (técnicos y financiero) en cada caso. En la figura 8 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad en cada caso, aumentando la importancia del criterio técnico un 70 % y disminuyendo la importancia del criterio financiero un 30 %.

Figura 8: Análisis de sensibilidad importancia del criterio técnico 70 %, importancia del criterio financiero 30%, Fuente: (Expert Choice, 2000)



Resultados Caso 1: Instalación Fotovoltaica Región de Murcia



Resultados Caso 2: Instalación Fotovoltaica República Dominicana

- | | | |
|---|--|-------------------------------|
| ■ R2: Perdidas por Sombras | ■ R4: Daños por Fenomenos Naturales | ■ R6: Falta de mantenimiento |
| ■ R8: Falta de Reemplazos y Suministros | ■ R1: Alto Pay Back | ■ R3: Costos de Mantenimiento |
| ■ R5: Variabilidad del VAN | ■ R7: Cambios en el marco legislativos | ■ R9: Falta de Financiación |

Observando cada caso se aprecian los riesgos que tienen mayor nivel de importancia, así como los riesgos que mantienen un mismo nivel de importancia en las dos instalaciones. El

riesgo R7 (cambios en el marco legislativo) mantiene el mayor nivel de importancia entre los riesgos de tipo financiero. Sin embargo en la categoría de riesgos técnicos dos riesgos se disputan el primer lugar R6 (falta de mantenimiento) y R2 (perdidas por sombras) lo que demuestra que R7 es el riesgo que mayor consistencia tiene.

5. Conclusiones

Con este estudio no solo se ha comprobado que los riesgos de dos instalaciones fotovoltaicas ubicadas en latitudes tan dispares son coincidentes, sino también queda demostrado que el riesgo financiero R7 (cambios en el marco legislativo) es el riesgo predominante. Es por ello que este riesgo exige una mayor atención a la hora de acometer inversiones en instalaciones solares fotovoltaicas en ambos países.

Se ha verificado que el modelo de identificación de riesgos propuesto se puede aplicar a cualquier instalación solar fotovoltaica (ISF). Permitiendo que los inversores conozcan el riesgo de la inversión para optimizar el proyecto durante las etapas de diseño, construcción y puesta en marcha. Se demuestra también que sin importar el lugar en el que se encuentre el proyecto o el nivel de desarrollo en el que esté, se puede realizar una gestión eficaz de las distintas etapas que intervienen en la gestión de riesgos.

Además, aplicando un proceso de toma de decisiones como la metodología AHP se puede obtener la priorización de los riesgos que afectan a las instalaciones solares. El análisis de sensibilidad realizado permite verificar la consistencia de los resultados proporcionando un modelo de identificación de riesgos robusto y fiable. Sin embargo las incertidumbres identificadas en estas instalaciones deben ser sometidas a un mayor análisis para saber la probabilidad de ocurrencia y dar respuestas inmediatas a cada uno de estos riesgos.

Para lograr la mitigación y el control de estos riesgos es importante aplicar soluciones y tener modelos claros de previsión, supervisión y control. Por esa razón, la siguiente etapa a abordar debería ser establecer la prioridad con la que deben ser atendidos estos riesgos.

Otro aspecto importante a destacar es que en este proceso de identificar los riesgos se presenta un diagrama funcional. Éste constituye un excelente punto de partida para la creación de una herramienta informática capaz de facilitar la extracción del conocimiento del grupo de expertos, y realizar el análisis en mucho menor tiempo y con mayor eficacia. Herramienta sobre la que aún se debe trabajar a fondo para lograr mejoras significativas.

Referencias

- Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(04), 445-459. <http://doi.org/10.1142/S0218488506004114>
- Alonso, P. M., Hewitt, R., Pacheco, J. D., Bermejo, L. R., Jiménez, V. H., Guillén, J. V., ... de Boer, C. (2016). Losing the roadmap: Renewable energy paralysis in Spain and its implications for the EU low carbon economy. *Renewable Energy*, 89, 680-694. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.004>
- Cai, Y. P., Huang, G. H., Yang, Z. F., & Tan, Q. (2009). Identification of optimal strategies for energy management systems planning under multiple uncertainties. *Applied Energy*, 86(4), 480-495. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.025>
- Celiktas, M. S., & Kocar, G. (2010). From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach. *Energy*, 35(5), 1973-1980. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.012>

- Decreto-Ley: República Dominicana. *Ley 57-07 Reglamento Decreto 202-08. Sobre Incentivos al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales*. (Comisión Nacional de Energía, 2012).
- Expert Choice, 2000. Product brief, <http://www.expertchoice.com/product-brief/>
- García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2009). Selection of a cleaning system for engine maintenance based on the analytic hierarchy process. *Computers & Industrial Engineering*, 56(4), 1442-1451. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.09.015>
- Ghosh, D., Shukla, P. R., Garg, A., & Ramana, P. V. (2002). Renewable energy technologies for the Indian power sector: mitigation potential and operational strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(6), 481-512. [http://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00015-1](http://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00015-1)
- Gómez-López, M. D., García-Cascales, M. S., & Ruiz-Delgado, E. (2010). Situations and problems of renewable energy in the Region of Murcia, Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1253-1262. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.12.015>
- González, J. B. C. (2011). Evaluación y análisis de la mejora del servicio de autorización de exportación del registro de bienes culturales de matanzas. *Avanzada Científica*, 13(2), 1-15.
- Guerrero-Liquet, G. C., Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., & Faxas-Guzman. RISK MANAGEMENT IN THE RENEWABLE ENERGY FIELD: COMPARATIVE ANALYSIS AND STUDY CASE IN THE DOMINICAN REPUBLIC <http://www.aepro.com/files/congresos/2015granada/05033.4452.pdf>.
- Harmelink, M., Voogt, M., & Cremer, C. (2006). Analysing the effectiveness of renewable energy supporting policies in the European Union. *Energy Policy*, 34(3), 343-351. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.031>
- Komendantova, N., Patt, A., Barras, L., & Battaglini, A. (2012). Perception of risks in renewable energy projects: The case of concentrated solar power in North Africa. *Energy Policy*, 40, 103-109. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.008>
- Mangla, S. K., Kumar, P., & Barua, M. K. (2015). Risk analysis in green supply chain using fuzzy AHP approach: A case study. *Resources, Conservation and Recycling, Part B*, 375-390. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.01.001>
- PMBok (2012). *Project Management Institute. \Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK)*". 5a ed., Pennsylvania USA.
- Reinsberger, K., Brudermann, T., Hatzl, S., Fleiß, E., & Posch, A. (2015). Photovoltaic diffusion from the bottom-up: Analytical investigation of critical factors. *Applied Energy*, 159, 178-187. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.117>
- Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory With the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications.
- Serrano-Luján, L., García-Valverde, R., Espinosa, N., García-Cascales, M. S., Sánchez-Lozano, J. M., & Urbina, A. (2015). Environmental benefits of parking-integrated photovoltaics: a 222 kWp experience. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23(2), 253-264.
- Wang, W., Dong, C., Dong, W., Yang, C., Ju, T., Huang, L., & Ren, Z. (s. f.). The design and implementation of risk assessment model for hazard installations based on AHP-FCE method: A case study of Nansi Lake Basin. *Ecological Informatics*. <http://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.010>.