



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Máster

GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS INDUSTRIALES.APLICACIÓN EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Alumno: Marta Hinojosa Aguayo

Tutor: Prof. D. Julio Terrados Cepeda

Dpto.: Ingeniería gráfica, diseño y proyectos

Diciembre, 2018



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería gráfica, diseño y proyectos

Don Julio Terrados Cepeda , tutor del Trabajo Fin de Máster titulado: **GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS INDUSTRIALES.APLICACIÓN EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**, que presenta Marta Hinojosa Aguayo, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, 14 de Diciembre de 2018

El alumno:

Los tutores:

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser la del alumno, con una letra inicial prominente y un trazo largo que se extiende hacia la derecha.

Marta Hinojosa Aguayo

Julio Terrados Cepeda

Resumen

En este trabajo Fin de máster titulado "*Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica*", se pretende analizar la aplicación e importancia de la gestión de riesgos en los proyectos industriales, así como su aplicación directa en un proyecto de instalación de una planta solar fotovoltaica, en base a las técnicas más habituales y normas establecidas para ello, en particular la ISO 21500.

Dentro del caso particular de estudio, se expondrán y explicarán las fases más notorias en el proceso de ejecución del proyecto de una instalación solar fotovoltaica. Se desarrollará la correspondiente gestión de riesgos para dicho proyecto de acuerdo a la norma teniendo en cuenta los principales procesos que la integran, como son la identificación, evaluación, tratamiento y control de los riesgos, obteniendo así resultados de dicho análisis y evaluando las posibles conclusiones obtenidas del mismo. Finalmente se elaborará un Plan de gestión y control de riesgos para dicho proyecto.

Abstract

In this thesis entitled "*Risk management in industrial projects. Application in the field of photovoltaic solar energy* ", is tried to analyze the application and the importance of risk management in industrial projects, as well as its direct application in a installation project of photovoltaic solar plant, based on the most common techniques and established standards, in particular ISO 21500.

In this particular case of study, the most important phases in the project execution process of a photovoltaic solar installation will be shown and explained. The corresponding risk management will be developed for this project according to the standard taking into account the main processes within it, such as the identification, evaluation, treatment and control of risks, obtaining results for this analysis and evaluating the possible conclusions obtained from them. To conclude, a Risk Management and Control Plan for this particular project will be drawn.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Objetivos del proyecto	10
1.3 Motivación y alcance del proyecto	11
2. EL PROYECTO	13
2.1 El Proyecto. Definición	13
2.2 Características del proyecto	14
2.3 Etapas del proyecto	14
2.4 Resultados del proyecto	16
2.5 Dimensiones del proyecto	17
2.6 Objetivos del proyecto	17
3. DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS	19
3.1 Definición e importancia actual	19
3.2 PMI/PMBOK	21
3.2.1 El instituto PMI	21
3.2.2 Guía del PMBOK	21
3.2.3 Procesos en la dirección de proyectos	22
3.3 ISO 21500	24
4. GESTIÓN DE RIESGOS	30
4.1 Definición de Riesgo	30
4.2 Evaluación del Riesgo	30
4.3 Los riesgos en los proyectos	32
4.4 Fuentes y tipos de riesgos	33
4.5 Metodología aplicable en la Gestión de riesgos	34
4.5.1 Norma UNE-ISO 21500	34
4.5.2 Norma UNE-EN 62198	36
4.5.3 Guía del PMBOK	44
4.5.4 Elementos comunes en las diferentes metodologías	52
4.6 Proceso de gestión del riesgo en un proyecto	53
4.6.1 Planificación de la gestión de riesgos	53
4.6.2 Identificación de riesgos	55
4.6.3 Evaluación de riesgos	61
4.6.4 Tratamiento de riesgos. Planificación de la respuesta	65
4.6.5 Control de riesgos	67

5. ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES ACTUALES DE LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS INDUSTRIALES	70
6. APLICACIÓN A LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	75
6.1 Energía solar fotovoltaica.	75
6.1.1 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?	75
6.1.2 Ventajas e inconvenientes.	76
6.1.3 Energía solar fotovoltaica en España.	77
6.2 Estudio de los procesos de ejecución de la instalación.	79
6.2.1 Elementos principales planta solar fotovoltaica	79
6.2.2 Proceso de ejecución planta solar fotovoltaica.	79
6.3 Identificación de riesgos. Registro de riesgos.	102
6.4 Evaluación de riesgos. Análisis cualitativo.	121
6.5 Tratamiento de riesgos. Planificación de respuesta.	140
6.6 Control y seguimiento de riesgos. Plan de gestión de los riesgos.	145
7. CONCLUSIONES	153
8. ANEXOS	157
8.1 ANEXO I. Lista de los riesgos identificados correspondientes al Registro inicial de riesgos.	157
8.2 ANEXO II. Tabla de probabilidad de los diferentes riesgos. 1º ronda de expertos.	160
8.3 ANEXO III. Tabla de impacto de los diferentes riesgos. 1º ronda de expertos.	165
8.4 ANEXO IV. Tabla de probabilidad de los diferentes riesgos. 2º ronda de expertos.	170
8.5 ANEXO V. Tabla de impactos de los diferentes riesgos. 2º ronda de expertos.	175
Bibliografía.....	180

Índice de figuras

Figura 1.- Proyecto.....	13
Figura 2.- El concepto de proyecto	14
Figura 3.- Etapas del proyecto	15
Figura 4.- Nivel de recursos y costes asignados al proyecto	16
Figura 5.- Impacto de variables y coste de los cambios	16
Figura 6.- Objetivos del proyecto	17
Figura 7.- Los objetivos del proyecto.	18
Figura 8.- Ámbitos que abarca la dirección y gestión de proyectos.	20
Figura 9.- Project Management Institute	21
Figura 10.- Guía del PMBOK	21
Figura 11.- Procesos de la dirección de proyectos.	23
Figura 12.- Interacción de los grupos de procesos en una fase o proyecto.....	24
Figura 13.- Norma ISO 21500.	24
Figura 14.- Visión general de los conceptos de la dirección y gestión de proyectos y sus interrelaciones.	25
Figura 15.- Interacciones entre los grupos de proceso.	26
Figura 16.- Riesgo.....	30
Figura 17.- Probabilidades y Tolerancias.....	31
Figura 18.- Impacto de riesgo	31
Figura 19.- Matriz de riesgos.....	32
Figura 20.- Riesgo en el ciclo de vida de un proyecto	33
Figura 21.- Norma ISO 21500.	34
Figura 22.- Procesos de gestión de riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.....	36
Figura 23.- Norma UNE-EN 62198	36
Figura 24.- Relaciones entre los componentes del marco de trabajo para la gestión del riesgo adaptadas de la Norma ISO 31000.	37
Figura 25.- Generalidades del proceso de gestión del riesgo en un proyecto según la norma UNE- EN 62198.....	38
Figura 26.- Marco de trabajo para la gestión del riesgo según UNE-EN 62198	43
Figura 27.- Guía del PMBOK.	44
Figura 28.- Descripción general de la Gestión de los riesgos en los proyectos según PMBOK.	51
Figura 29.- Proceso de gestión e interacción de riesgos (ISO 21500).....	52
Figura 30.- Planificación de la gestión de riesgos.....	53
Figura 31.- PMBOK: Diagrama de flujo para planificación de la gestión de riesgos.....	54
Figura 32.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en la planificación de riesgos.	55
Figura 33.- Análisis DAFO.....	56
Figura 34.- Análisis modal de fallos y efectos.	57
Figura 35.- Objetivos principales análisis AMFE	58
Figura 36.- Ejemplo hoja AMFE	59
Figura 37.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en la identificación de riesgos.	60
Figura 38.- Matriz de riesgos.....	62
Figura 39.- Evaluación de probabilidad e impacto.	62
Figura 40.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el análisis cualitativo de riesgos.	63
Figura 41.- PMBOK: Ejemplos de distribuciones de probabilidad.....	64

Figura 42.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el análisis cuantitativo de riesgos.	65
Figura 43.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el tratamiento de riesgos.	66
Figura 44.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el control de riesgos.	69
Figura 45.- Energía solar fotovoltaica.	75
Figura 46.- Ventajas	76
Figura 47.- Inconvenientes	77
Figura 48.- Irradiación media diaria en la península. IDAE	78
Figura 49.- Elementos principales planta solar fotovoltaica conectada a red.	79
Figura 50.- Generador fotovoltaico tipo.	83
Figura 51.- Evolución histórica del precio de las células solares de Si.	83
Figura 52.- Sistema monitorización instalación fotovoltaica.	84
Figura 53.- Posición del inversor dentro de la planta solar fotovoltaica.	86
Figura 54.- Inversor en planta fotovoltaica.	86
Figura 55.- Cableado generador fotovoltaico.	87
Figura 56.- Cable para instalación fotovoltaica.	87
Figura 57.- Caja de conexión de string con protecciones.	88
Figura 58.- Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos.	89
Figura 59.- Verificación trámites administrativos.	89
Figura 60.- Punto de conexión a la red.	90
Figura 61.- Desbroce y limpieza de terrenos.	93
Figura 62.- Hormigón de limpieza.	94
Figura 63.- Canalización subterránea.	94
Figura 64.- Arqueta.	94
Figura 65.- Estructura del generador.	96
Figura 66.- Estructuras biposte.	97
Figura 67.- Montaje de módulos fotovoltaicos.	97
Figura 68.- Instalación elementos de monitorización.	97
Figura 69.- Porcentaje de riesgos en las diferentes fases del proyecto.	103
Figura 70.- Pagina inicial cuestionario del registro inicial de riesgos.	123
Figura 71.- Escalas de probabilidad e impacto usadas en el cuestionario.	124
Figura 72.- Cuestionario riesgos.	125
Figura 73.- Ejemplo de respuestas en el cuestionario.	126
Figura 74.- Clasificación de los riesgos en función de su severidad en ronda 1.	130
Figura 75.- Porcentaje de participación de cada fase en riesgos priorizados (ronda 1).	132
Figura 76.- Clasificación de los riesgos en función de su severidad en ronda 2.	137
Figura 77.- Porcentaje de participación de cada fase en los riesgos priorizados en ronda 2.	139
Figura 78.- Estructura organizativa dentro del proyecto.	146

Índice de tablas

Tabla 1. Entradas y salidas más comunes en los procesos según la ISO 21500.....	29
Tabla 2. Entradas y salidas en la identificación de riesgos según ISO 21500.....	35
Tabla 3. Entradas y salidas en la evaluación de riesgos según ISO 21500.	35
Tabla 4. Entradas y salidas en el tratamiento de riesgos según ISO 21500.....	35
Tabla 5. Entradas y salidas en el control de riesgos según ISO 21500.....	35
Tabla 6. Entradas y salidas según el PMBOK en la planificación de riesgos.	45
Tabla 7. Entradas y salidas según el PMBOK en la identificación de riesgos.	47
Tabla 8. Entradas y salidas según el PMBOK en el análisis cualitativo de riesgos.	48
Tabla 9. Entradas y salidas según el PMBOK en el análisis cuantitativo de riesgos.....	49
Tabla 10. Entradas y salidas según el PMBOK en la planificación de respuesta a los riesgos.	50
Tabla 11. Entradas y salidas según el PMBOK en el control de riesgos.	50
Tabla 12. Herramientas más utilizadas en función de la fase de ingeniería.	71
Tabla 13. Fases para la instalación y explotación de una planta solar fotovoltaica.	101
Tabla 14. Fases de estudio y cantidad de riesgos identificados en las mismas.	102
Tabla 15. Registro inicial de riesgos	120
Tabla 16. Matriz de probabilidad e impacto.	127
Tabla 17. Prioridad respecto a la severidad.....	128
Tabla 18. Acción requerida en el tratamiento respecto al nivel de riesgo.....	128
Tabla 19. Priorización de los riesgos respecto a la severidad obtenida en 1º ronda.	130
Tabla 20. Riesgos "no aceptables" utilizando la moda como medida de tendencia central en ronda 1	131
Tabla 21. Riesgos "no aceptables" utilizando la media como medida de tendencia central en ronda 1	132
Tabla 22. Desviaciones típicas obtenidas en la 1º y 2º ronda de expertos.....	134
Tabla 23. Datos numéricos y porcentuales referentes a la probabilidad e impacto en la desviación típica.....	134
Tabla 24. Priorización de los riesgos respecto a la severidad obtenida en ronda 2.	137
Tabla 25.- Riesgos "no aceptables" utilizando la moda como medida de tendencia central en ronda 2.	138
Tabla 26. Riesgos "no aceptables" utilizando la media como medida de tendencia central en ronda 2.	139
Tabla 27. Categorización de las acciones a tomar en función de la prioridad del riesgo. ...	140
Tabla 28. Plan de respuesta a los riesgos.	145
Tabla 29. Plan de gestión de riesgos.....	152
Tabla 30. Tabla con los 10 primeros riesgos en orden de severidad obtenidos.	155

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El siguiente Trabajo Fin de Máster denominado “*Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica*” surge de la necesidad de analizar las técnicas de gestión de riesgos que se utilizan en la actualidad y su aplicación directa a un proyecto de energía solar fotovoltaica.

Desde un enfoque general, y respecto a los proyectos industriales de una forma más particular, queda demostrada, cada vez más, la importancia que ha ido tomando y tiene a día de hoy la Gestión de riesgos en cualquier proyecto de carácter industrial.

La Gestión de riesgos (*Risk management*) es un enfoque estructurado para tratar la incertidumbre relativa a una amenaza a través de una serie de actividades o procesos, es decir, es el conjunto de procesos necesarios para llevar a cabo la planificación de la gestión de riesgos, la identificación, evaluación, planificación de respuesta y control y seguimiento de los riesgos. Sus objetivos principales son aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos y disminuir la probabilidad e impacto de los eventos negativos en el proyecto.

Con el presente trabajo “*Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica*”, se pretende estudiar dichos procesos, aplicándolos a un caso particular referente a un proyecto de una instalación de una planta solar fotovoltaica, obteniendo resultados de dicho análisis y evaluando las posibles conclusiones obtenidas del mismo.

Se elaborará un Plan de gestión de riesgos para un proyecto tipo industrial, los procesos más importantes que lo componen, así como las normas principales utilizadas como referencia en este ámbito.

1.2 Objetivos del proyecto

Este trabajo Fin de Máster se ha realizado planteando y desarrollando los siguientes objetivos generales y específicos. Dentro de los objetivos generales se tienen los siguientes:

- Analizar las aplicaciones de la gestión de riesgos en los proyectos industriales.
- Estudiar las fases de ejecución de un proyecto de planta de energía solar fotovoltaica.
- Aplicar la gestión de riesgos para elaborar un plan de gestión de riesgos aplicable a la ejecución de proyectos de energía solar fotovoltaica.

En cuanto a objetivos más específicos se consideran los mostrados a continuación:

- Realizar una revisión bibliográfica y estudio de los fundamentos de la gestión de riesgos.
- Analizar de forma general las aplicaciones actuales de la gestión de riesgos en los proyectos industriales.
- Aplicación de la gestión de riesgos a un proyecto de energía solar fotovoltaica, dónde se persigue:
 - Estudio general de los procesos de diseño, ejecución y explotación de la instalación.
 - Identificación de los posibles riesgos que se pueden dar en las fases anteriores. Obtención del registro de riesgos correspondiente.
 - Evaluación de los riesgos. Análisis cualitativo de los riesgos identificados en el registro de riesgos.
 - Elaboración de la matriz de riesgos e impactos.
 - Tratamiento y gestión de los riesgos. Respuestas a los riesgos.
 - Elaboración de un plan de gestión y control de riesgos de acuerdo a la Norma ISO 21500.
- Conclusiones y futuras líneas del trabajo.

1.3 Motivación y alcance del proyecto

Tal y como se ha descrito en los objetivos del proyecto, el primer paso consistirá en una revisión bibliográfica de los fundamentos de la Gestión de riesgos. Se comenzará por una pequeña descripción de lo que es un proyecto con sus características y etapas más definitorias. También se expondrá brevemente la importancia actual de la Dirección y gestión de proyectos y sus referentes más importantes para llevarlo a cabo, como es, por ejemplo, el PMI.

En un capítulo posterior, se centrará ya en el punto central de este Trabajo Fin de Máster, la Gestión de riesgos. Se expondrá la definición de riesgo realizada o vista desde varias perspectivas o entidades, y se explicarán las etapas más importantes del proceso de Gestión del Riesgo. Será importante comentar la importancia del papel de la Gestión de Riesgos en el ámbito industrial, que es el que concierne a este trabajo. Se enumerarán las diferentes fuentes y tipos de riesgos más importantes, algunas de las normas más usadas, entre las que se encuentran, la Norma UNE-EN 62198 o la Norma UNE-ISO 21500, aclarando sus objetivos y sus características principales por las que quedan definidas. Por último, se analizará el proceso llevado a cabo para gestionar el riesgo en un proyecto con sus diferentes etapas en el orden establecido: Planificación de la gestión de riesgos, Identificación de riesgos, Evaluación de riesgos, Tratamiento de los riesgos y finalmente el Control y Seguimiento de los riesgos. Dentro de cada etapa se explica en que consiste cada una de ellas y las metodologías o herramientas más utilizadas para llevarlas a cabo.

El siguiente punto trata de un pequeño análisis de las aplicaciones actuales de la gestión de riesgos en proyectos industriales; para ello se ha buscado en bibliografía especializada, en artículos relacionados con la gestión del riesgo, etc. obteniendo así una serie de casos o ejemplos significativos en los cuales fue necesario la aplicación de la gestión de riesgos en empresas del sector industrial. Se demuestra como la aplicación de la Gestión de riesgos en el sector industrial ha ayudado a mejorar el funcionamiento de las empresas, obteniendo mejores rendimientos.

Una vez se ha hecho la revisión bibliográfica de las bases sobre las que va a ir sujeto este trabajo, la siguiente fase ha consistido en aplicar todo ese conocimiento a un caso práctico de ámbito industrial, en particular, a una instalación de energía solar fotovoltaica con captadores solares fijos. Para ello se ha realizado una breve descripción sobre la energía solar fotovoltaica, con sus ventajas e inconvenientes principales y la importancia que ha ido desarrollando en el ámbito industrial y económico en España.

Después se ha realizado un estudio de los procesos más importantes por los que ha pasado el proyecto de la instalación, desde la fase de diseño y planificación del proyecto, pasando por la fase de ejecución de la instalación y pruebas y puesta en marcha y terminando por la fase de explotación de la misma. Han sido estas las fases elegidas para posteriormente realizar la identificación de los posibles riesgos dentro de cada una de ellas, obteniendo el registro de riesgo inicial del proyecto.

Una vez se ha obtenido el registro de riesgos, se realizó el análisis cualitativo de los mismos; para ello se realizó un cuestionario con los diferentes riesgos identificados en la fase previa. Cada riesgo contaba con un rango de probabilidad e impacto (1-5), el cual debía ser valorado por los diferentes participantes del cuestionario. Los

participantes han sido principalmente empresas que trabajan en el sector de la energía fotovoltaica, para así dotar de mayor fiabilidad a las respuestas obtenidas.

Una vez obtenidas las diferentes respuestas, se realizó una priorización de riesgos para así poder decidir cuáles deberían ser tratados y cuáles no, y las respuestas o acciones necesarias para cada riesgo. Se obtuvo así las acciones necesarias para los riesgos que en base a un análisis anterior debían ser tratados.

Por último, se ha elaborado el Plan de Gestión de Riesgos de acuerdo a la Norma ISO 21500, en el cual se ha establecido un plan de acción para aquellos riesgos que debían ser tratados, así como un seguimiento y control de todos los riesgos.

La motivación que me ha orientado a elegir este tipo de proyecto se debe a varias razones, entre las cuales se encuentran mi gran interés hacia el campo o sector de las energías renovables, en especial, de la energía solar. Después del estancamiento que ha sufrido este tipo de energía en nuestro país, parece que vuelve a renacer por diversos motivos entre los que se encuentran: el aumento de la competitividad de la tecnología y su consecuente bajada del coste de generación (comenzando a ser competente sin necesidad de subvenciones), un mayor porcentaje de autoconsumo, etc. que hace unos años.

Este proyecto es una oportunidad para aprender más acerca de la Gestión de Riesgos en Proyectos de carácter industrial, su importancia dentro de la industria y los procesos para llevarlo a cabo. Es muy importante establecer un buen Plan de Gestión de riesgos en cualquier empresa, ya que el no hacerlo puede suponer pérdidas importantes en operaciones diarias o cotidianas. La finalidad principal es focalizar y analizar, inicialmente al menos, aquellos riesgos que realmente pueden generar daños importantes para la entidad. Son cada vez más las empresas que encuentran indispensable el incluir un plan de gestión de riesgos respecto a sus actividades. Además, presenta como ventajas el favorecer la identificación de amenazas y oportunidades, aumenta las posibilidades de alcanzar los objetivos, impulsa la proactividad, mejora las labores de administración, la empresa mejora su eficacia en la asignación de recursos para la gestión del riesgo, entre otras muchas.

La unión de la Gestión de riesgos y su aplicación a la instalación de una planta solar fotovoltaica usando, principalmente, la norma ISO 21500 y UNE- EN 62198 es algo sobre lo que no se ha trabajado tal cual, por lo que resulta un reto bastante interesante, innovador y completo.

2. EL PROYECTO

La gestión de proyectos se encarga de la planificación, organización, control de recursos y motivación para conseguir uno o varios objetivos.

A continuación, se va a exponer brevemente el concepto de proyecto en sí, las características principales que lo definen, las etapas más importantes, sus resultados y dimensiones y sus objetivos principales.

2.1 El Proyecto. Definición

Un proyecto es una planificación que consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas.

De conformidad con el Project Management Institute (PMI), "un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único". (PMI, 2013)

Una de las definiciones que ofrece la Real Academia Española de la Lengua es la de "Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de cómo ha de ser y lo que ha de costar una obra de arquitectura o de ingeniería". (RAE, 2014)



Figura 1.- Proyecto

(Fuente: <https://www.uci.ac.cr>)

Esta definición es la que tradicionalmente se ha utilizado para definir el "documento proyecto", en el cual el proyectista explica de forma documentada en que consiste la obra a realizar, así como la forma de ejecutarla y el coste previsto. Anteriormente las directrices para elaborar este conjunto de documentos estaban reguladas por los requisitos derivados de la Ley de Contratos en las Administraciones Públicas y por las directrices de los distintos Colegios profesionales. A día de hoy, hay una norma que marca las pautas a seguir en la elaboración de estos documentos, que es la UNE 157001.

Actualmente, el concepto en sí de proyecto es mucho más amplio y complejo, tal y como se puede apreciar en la definición hecha del mismo por el PMI.

La norma ISO 21500 también incluye una definición del mismo, la cual es la siguiente: "Un proyecto es un conjunto único de procesos que consta de actividades coordinadas y controladas, con fechas de inicio y fin, que se llevan a cabo para lograr los objetivos del proyecto". (AENOR, 2013)

Se trata, por tanto, de crear un resultado único a través de las actividades del proyecto. Es necesario, por tanto, tener la idea inicial del proyecto, con lo que a partir de la misma y aplicando recursos y ejecutando las actividades se pueda conseguir el resultado esperado. Además, aparte de lo anterior es imprescindible realizar actividades de organización y gestión que permitan llevar el proyecto en la dirección adecuada.

En la siguiente imagen se observa lo comentado anteriormente.



Figura 2.- El concepto de proyecto

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos)

De estos conceptos, queda expuesto que la razón de un proyecto es alcanzar resultados o metas específicas dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente, y un período de tiempo previamente establecido. (Institute, 2009)

2.2 Características del proyecto

Las características más importantes de un proyecto son (Terrados & Hermoso, 2017):

- Persecución de uno o varios objetivos.
- Actividades planificadas, ejecutadas y supervisadas.
- Disponibilidad limitada de recursos.
- Limitado en el tiempo.
- Con resultado único.

Las dos características que más definen a un proyecto son la **temporalidad y unicidad**. La temporalidad básicamente implica que cualquier proyecto debe de tener definido un comienzo y un fin, el cual se alcanzará cuando se hayan conseguido todos los objetivos o cuando por el contrario se conozca que ya no llegarán a alcanzarse. Por otro lado, la unicidad se refiere al hecho de que el proyecto se desarrolla con el fin de realizar un producto o servicio único, es decir, que no se haya realizado con anterioridad.

2.3 Etapas del proyecto

Las etapas de un proyecto son las fases que de forma secuencial y ordenadas en el tiempo todo proyecto debe cumplir, desde la idea inicial hasta la conclusión de todas las actividades del proyecto.

Las etapas de un proyecto pueden dividirse en las siguientes:

- **Idea:** “Consiste en establecer la necesidad u oportunidad a partir de la cual es posible iniciar el diseño del proyecto”. Se recopila información y datos, se realizan análisis previos, se establecen objetivos iniciales, recursos necesarios, etc. para una propuesta inicial. La idea de proyecto puede iniciarse debido a alguna de las siguientes razones (Wikipedia, 2018) :

- Existen necesidades insatisfechas actuales o se prevé que existirán en el futuro si no se toma medidas al respecto.
 - Existen potencialidades o recursos sub aprovechados que pueden optimizarse y mejorar las condiciones actuales.
 - Es necesario complementar o reforzar otras actividades o proyectos que se producen en el mismo lugar.
- **Diseño ó desarrollo:** En esta etapa se valoran las opciones, tácticas y estrategias a seguir. Se aprueba el proyecto y una vez dada la aprobación, se realiza la planificación operativa, que consiste en definir los objetivos del proyecto, alcance del mismo, plazos de tiempo necesarios para conseguirlo, costo de las actividades y se nombra al equipo de trabajo que lo va a llevar a cabo. También se evalúan los riesgos asociados al mismo y por último se presenta el plan general del proyecto para poder pasar a la fase de ejecución.
 - **Ejecución:** Puesta en práctica de la planificación estipulada en la fase de diseño ejecutando las actividades del proyecto. Se establecen los paquetes de trabajo. Es muy importante realizar un seguimiento tanto en costes, tiempo como consecución de objetivos.
 - **Evaluación ó cierre:** Etapa final de un proyecto en la que se realiza la entrega y aceptación formal de los resultados. El proyecto es revisado, llevando a cabo las valoraciones pertinentes sobre lo planeado y lo ejecutado, así como sus resultados, en consideración al logro de los objetivos planteados.

En la siguiente figura puede verse de forma esquematizada las distintas fases en el orden correspondiente.



Figura 3.- Etapas del proyecto

(Fuente: <https://sites.google.com/site/formulaciondeproyectosmgrp/proceso>)

Para pasar a una fase siguiente debe haberse conseguido una serie de resultados o entregas en la fase anterior.

En la siguiente figura adjunta se puede apreciar el nivel de esfuerzo, tanto humano como económico en las distintas fases del proyecto. El esfuerzo tiende a un gran incremento en las fases iniciales, alcanzando el máximo de la curva durante la fase de ejecución del mismo y acaba disminuyendo en la última fase, la correspondiente al cierre.

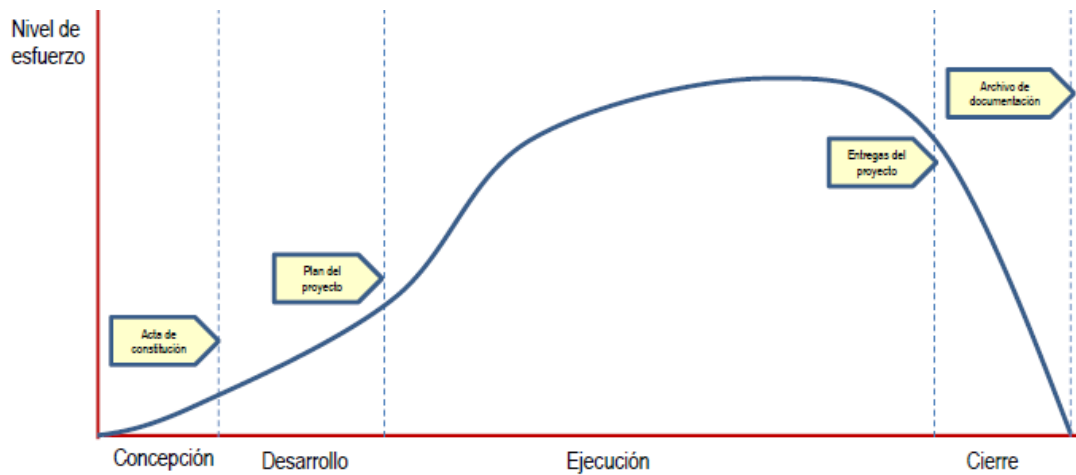


Figura 4.- Nivel de recursos y costes asignados al proyecto

(Fuente: PMI, 2008)

Tal y como explica el PMI, otro aspecto interesante a tener en cuenta es que conforme se avanza en el ciclo de vida del proyecto la influencia de las partes interesadas, el riesgo y la incertidumbre van disminuyendo, mientras que el coste de realizar cambios o corregir errores se va incrementando. En la siguiente figura puede verse gráficamente.

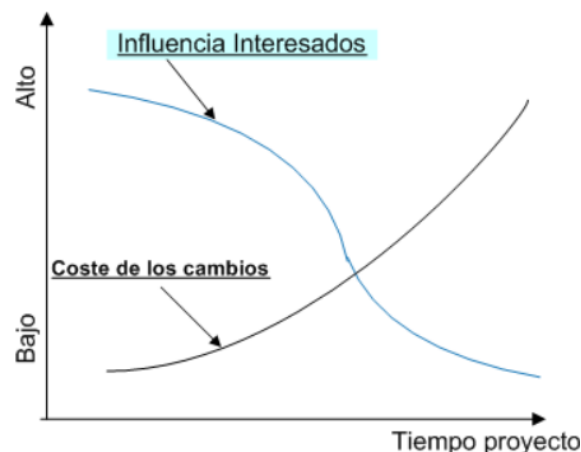


Figura 5.- Impacto de variables y coste de los cambios

(Fuente: <http://www.ehu.eus/asignaturasKO/PM/PMBOK/cap2PMBOK.htm>)

2.4 Resultados del proyecto

Cada proyecto genera un producto, servicio o resultado que es único. El resultado puede ser tangible o intangible (Terrados & Hermoso, 2017). Un proyecto puede generar:

- Un producto (elemento final, componente de otro elemento, mejora de un elemento, etc.)
- Un servicio o la capacidad de realizar un servicio.
- Una mejora de las líneas de productos o servicios existentes.
- Un resultado (conclusión, documento, etc.)

2.5 Dimensiones del proyecto

Hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales para llevar a cabo la correcta ejecución final de los objetivos del proyecto (Pereña Brand, 1996).

- **Dimensión Técnica:** depende de la naturaleza del proyecto y de los conocimientos técnicos y científicos tanto del proyectista como del ejecutor del proyecto.
- **Dimensión Humana:** importante, ya que es necesario coordinar a un grupo de personas. En esta dimensión influirán en gran medida las relaciones humanas y el liderazgo del director o jefe de proyecto.
- **Dimensión de Gestión:** será necesario la aplicación de una serie de metodologías y técnicas de organización y gestión, que aseguren por parte del jefe de proyecto y de su equipo, la consecución de los objetivos del proyecto.

2.6 Objetivos del proyecto

El objetivo de cualquier proyecto es siempre (Terrados & Hermoso, 2017):

- **Resultado:** es el motivo por el que se emprende el proyecto y su finalización marca el éxito o el fracaso del mismo y se definirá con un determinado alcance y/o una determinada calidad. Consiste en la obra, trabajo o servicio que se desea realizar.
- **Coste:** está referido al coste que el proyecto en su conjunto supone. “Para proyectos externos, el coste suele venir impuesto. Sin embargo, en los proyectos internos es frecuente que este objetivo no figure de forma explícita”.
- **Plazo:** el plazo es el objetivo que muchas veces es más difícil de cumplir. Por ello es necesario hacerle un seguimiento especial. En algunos casos puede llegar a ser el objetivo más importante, ya que marca la oportunidad de poner en el mercado un nuevo producto o un nuevo servicio.



Figura 6.- Objetivos del proyecto

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de proyectos)

Alguna bibliografía habla de 4 objetivos: **Alcance, coste, plazo y calidad**. Aunque se suele dejar en 3 objetivos ya que la unión de alcance y calidad da lugar al resultado.

“El acuerdo sobre los objetivos del proyecto supone un equilibrio entre los aspectos de plazo, coste y calidad” (Terrados & Hermoso, 2017).

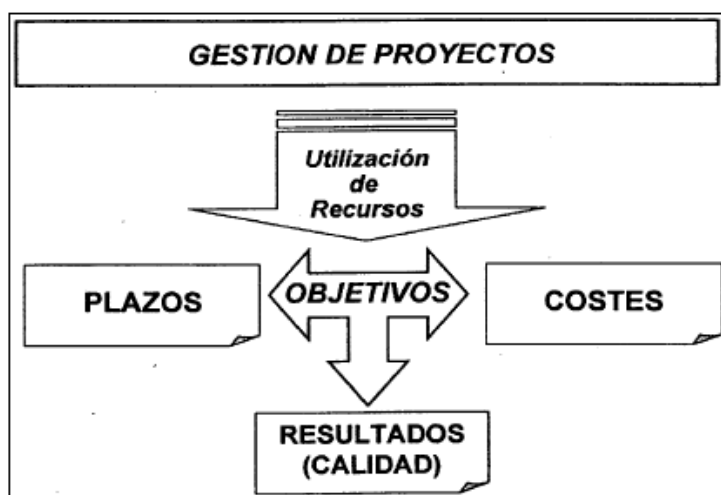


Figura 7.- Los objetivos del proyecto.

(Fuente: Gómez Senent, 1999)

3. DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS

La dirección y gestión de proyectos, es la aplicación del conocimiento, habilidades y técnicas para ejecutar los proyectos de una forma eficiente y efectiva. Es una competencia estratégica para las organizaciones, y les permite vincular los resultados de los proyectos a las metas del negocio, y así poder disponer de una mejor competencia en su mercado.

3.1 Definición e importancia actual

En toda ejecución de un proyecto es muy importante desarrollar a la par la labor de dirección y gestión del mismo, para así poder conseguir todos los objetivos que se buscan con el mismo y poder llevarlo de la mejor manera posible. Este concepto es conocido como **“Project Management”**, el cual se puede definir de una forma general como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo. Consiste en reunir varias ideas para llevarlas a cabo, y es un emprendimiento que tiene lugar durante un tiempo limitado, y que apunta a lograr un resultado único. Surge como respuesta a una necesidad, acorde con la visión de la organización, aunque ésta puede desviarse en función del interés.

Las definiciones más utilizadas en la actualidad para este término son:

“Es la aplicación de métodos, herramientas, técnicas y competencias a un proyecto” (AENOR, 2013)

“Project management incluye la planificación, organización, seguimiento y control de todos los aspectos del proyecto de una forma continuada para alcanzar sus objetivos” (Standardization, 1997)

“Es la aplicación de conocimientos, aptitudes, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto, encaminados a satisfacer o colmar las necesidades y expectativas de las entidades y organizaciones involucradas en un proyecto” (P.M.I. Project Management Institute)

“Es la planificación, organización, seguimiento y control de todos los aspectos de un proyecto, así como la motivación de todos aquellos implicados en el mismo, para alcanzar los objetivos del proyecto de una forma segura, y satisfaciendo las especificaciones definidas de plazo, coste y rendimiento. Ello también incluye el conjunto de tareas de liderazgo, organización y dirección técnica del proyecto, necesarias para su correcto desarrollo” (I.P.M.A. International Project Management Association)

La dirección y gestión de proyectos abarca todos los apartados que se pueden apreciar en la figura.



Figura 8.- Ámbitos que abarca la dirección y gestión de proyectos.

(Fuente: <http://noticiaseinformaciondetec.blogspot.com/2016/05/direccion-de-proyectos.html>)

En la actualidad la dirección y gestión de proyectos está tomando un papel realmente importante, ya que cada vez la sociedad se encuentra más “proyectizada”, siendo mayor el número de organizaciones o empresas las que utilizan los proyectos para llevar a cabo sus actividades. La “proyectización” del trabajo en las organizaciones implica identificar ciertas características que una empresa tiene que cumplir con el fin de integrar con éxito el trabajo temporal de los proyectos con los procesos permanentes de la organización (Terrados & Hermoso, 2017). Trabajar en proyectos requiere diferentes modos de gestión, que los utilizados en los procesos permanentes establecidos desde hace tiempo en la organización. Por ello ha sido necesario “normalizar” los métodos y procedimientos para mejorar los resultados en las empresas que desarrollan proyectos. Y tanto el PMI (Project Management Institute) a través del “PMBOOK of Knowledge” como ISO a través de la Norma ISO 21.500, han desarrollado un cuerpo de conocimiento muy desarrollado para la gestión de proyectos.

Dentro del ámbito de la dirección y gestión de proyectos hay dos funciones claramente diferenciadas (Terrados & Hermoso, 2017):

- **Funciones de gestión:** Pertenecen a este campo las funciones de planificación, seguimiento y control del proyecto. Todas ellas enfocadas a conseguir los objetivos del proyecto utilizando los recursos disponibles.
- **Funciones de Dirección:** Referidas a las funciones de organización del proyecto y recursos humanos.

3.2 PMI/PMBOK

3.2.1 El instituto PMI

El **Project Management Institute** (PMI), fundada en 1969 en EEUU y con sede en Pensilvania, es la mayor organización sin ánimo de lucro dedicada a la Dirección de Proyectos reconocida mundialmente, la cual asocia a profesionales relacionados con la Gestión de Proyectos. Desde 2011 es la más grande del mundo. Está constituida por profesionales de todo el mundo (500 mil miembros en casi 100 países) donde tiene como principal objetivo el establecimiento de los estándares de la Dirección de Proyectos (Wikipedia, 2018). El producto más reconocido del PMI es el **Project Management Body of Knowledge** (PMBOK) siendo una guía donde se recogen los fundamentos para la Dirección de Proyectos.



Figura 9.- Project Management Institute

Entre sus objetivos fundamentales se encuentran: Establecer estándares de Dirección de Proyectos, generar conocimiento a través de la investigación, así como organizar seminarios y programas educativos, promover la Gestión de Proyectos como profesión a través de sus programas de certificación, la cual está siendo cada vez más reconocida y demandada por el mercado laboral. De este modo fomenta y contribuye con la calidad y el alcance de la Dirección de Proyectos. Esta organización provee un reconocido foro para el libre intercambio de ideas, aplicaciones y soluciones de Dirección de Proyectos generadas entre los miembros del Instituto y otros interesados o involucrados con la Dirección de Proyectos.

3.2.2 Guía del PMBOK

La Guía del PMBOK contiene una descripción general de los fundamentos de la Gestión de Proyectos reconocidos como buenas prácticas para lograr una dirección eficaz y eficiente del proyecto, es decir, proporciona pautas para la dirección de proyectos, define conceptos relacionados con la dirección de proyectos, el ciclo de vida de la dirección de proyectos y los procesos relacionados en él. No hay que confundir con una metodología para la gestión de proyectos (Wikipedia, 2018).

La Guía contiene el estándar (documento formal que describe normas, métodos, procesos y prácticas), reconocido mundialmente y cuyo contenido evoluciona a raíz de las buenas prácticas reconocidas de profesionales dedicados a la dirección de proyectos, y la guía para la profesión para la dirección de proyectos.

Actualmente en su sexta edición, es el único estándar ANSI para la gestión de proyectos. Posee la información suficiente para realizar el **inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control**, y el **cierre** de un proyecto. Estos cinco aspectos forman los Grupos de Procesos que se encuentran en el PMBOK.

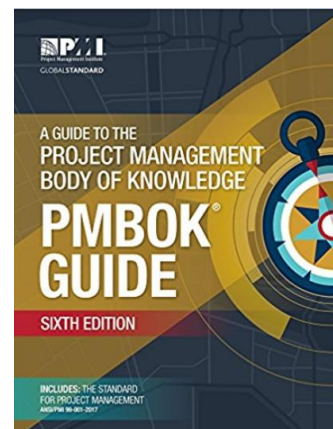


Figura 10.- Guía del PMBOK

En la versión 6.0 La guía del PMBOK describe 49 procesos de dirección de proyecto que clasifica en 10 áreas de conocimiento (Integración, Alcance, Tiempo, Costes, Calidad, Recursos, Comunicación, Riesgos, Adquisiciones e Interesados) y 5 grupos de procesos (Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y control y Cierre).

3.2.3 Procesos en la dirección de proyectos

“Un proceso es un conjunto de acciones y actividades, relacionadas entre sí, que se realizan para crear un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que se pueden aplicar y por las salidas que se obtienen” (PMI, 2013).

Los procesos de un proyecto, de forma general, pueden agruparse en alguna de las siguientes 2 categorías:

- **Procesos de la dirección de proyectos:** Son aquellas que proporcionan la seguridad de que el proyecto avanza eficazmente en su ciclo de vida.
- **Procesos orientados al producto:** En ellos se detallan y generan el producto del proyecto y normalmente están definidos por el ciclo de vida del mismo, cambiando según el área de aplicación y la fase del ciclo de vida en la que se encuentre.

Los procesos en la dirección de proyectos suelen agruparse en 5 categorías, establecidas también así por el PMBOK (PMI, 2013):

- **Procesos de inicio:** están relacionados con el reconocimiento formal de que el proyecto o una fase del mismo va a comenzar y las tareas necesarias de realizar en ese momento. Los procesos de inicio se utilizan para definir la fase del proyecto o los objetivos del proyecto y para autorizar al director de proyecto a proceder con el trabajo del proyecto.
- **Procesos de planificación:** en estos procesos se establece alcance del proyecto, la estimación de los costes y la planificación temporal de las actividades. Su objetivo primordial es desarrollar el detalle de la planificación y así poder establecer unas líneas base para controlar la implementación y gestión del proyecto en sí.
- **Procesos de ejecución (implementación):** son los procesos relacionados con las personas y los recursos ejecutores del proyecto. Son los encargados de las actividades de la gestión de proyecto y para apoyar la producción de los entregables de acuerdo con los planes establecidos.
- **Procesos de seguimiento y control:** vinculados con el seguimiento de la ejecución, la identificación de las posibles desviaciones y el establecimiento de medidas correctoras (preventivas y correctivas). Por tanto, su función es la de seguir, medir y controlar el desempeño del proyecto con respecto al plan de proyecto inicial.
- **Procesos de cierre:** son los procesos relacionados con la entrega formal del proyecto y la terminación formal de sus actividades. Con ellos se declara formalmente que el proyecto está finalizado y es posible asimilar las lecciones aprendidas para que sean consideradas e implementadas.

En la dirección de proyectos los procesos se presentan como elementos aislados o bien diferenciados; sin embargo, la realidad es que en la práctica estos se superponen

y actúan unos con otros de diversas maneras. Su relación viene determinada por los resultados de cada proceso y de cada grupo de procesos, que se convierten en entradas para otros procesos o grupos de ellos. Además, los grupos de procesos se pueden ir solapando a lo largo del ciclo de vida del proyecto y teniendo distintos niveles de intensidad a lo largo del mismo.

En la imagen adjunta se puede ver de forma gráfica la relación entre los distintos procesos y su naturaleza integradora. Tal y como se puede apreciar, los procesos de monitoreo y control realizan acciones unos sobre otros de una manera recíproca, a la vez que transcurren al mismo tiempo con los pertenecientes a otros grupos. Se puede decir, que el grupo de monitoreo y control es considerado como un “grupo de fondo” para los otros grupos de procesos que se ven en la figura.

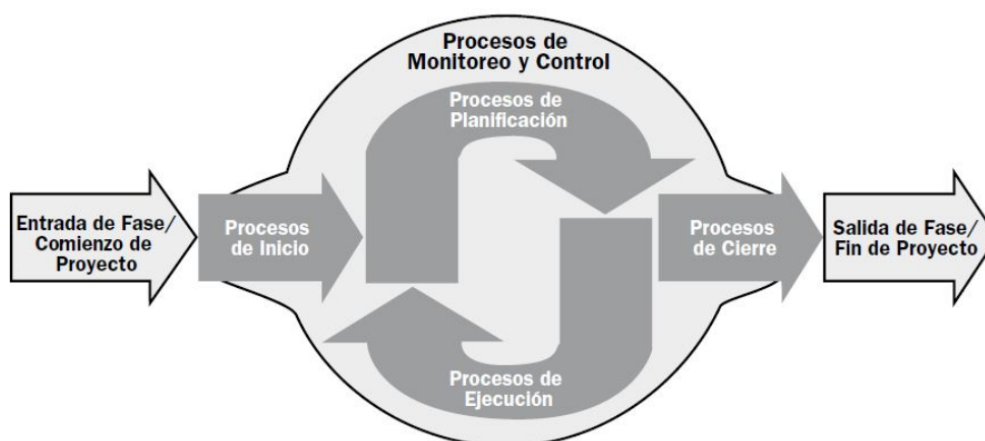


Figura 11.- Procesos de la dirección de proyectos.

(Fuente: PMBOK)

En la siguiente figura extraída del PMBOK, se ilustra cómo actúan entre sí los distintos grupos de procesos y el nivel de superposición en las distintas etapas. Hay que tener claro que los grupos de procesos no son fases del ciclo de vida del proyecto, ya que, de hecho, sería posible que todos los grupos pudieran relacionarse entre sí en una sola fase. Estos se relacionan entre sí a través de las salidas de los mismos, ya que la salida de un proceso suele ser la entrada para otro proceso. Por ejemplo, los procesos de Planificación suministran a los procesos de Ejecución el plan para la dirección del proyecto y los documentos del proyecto y, conforme el proyecto avanza, a menudo genera actualizaciones al plan para la dirección del proyecto y a los documentos del proyecto.

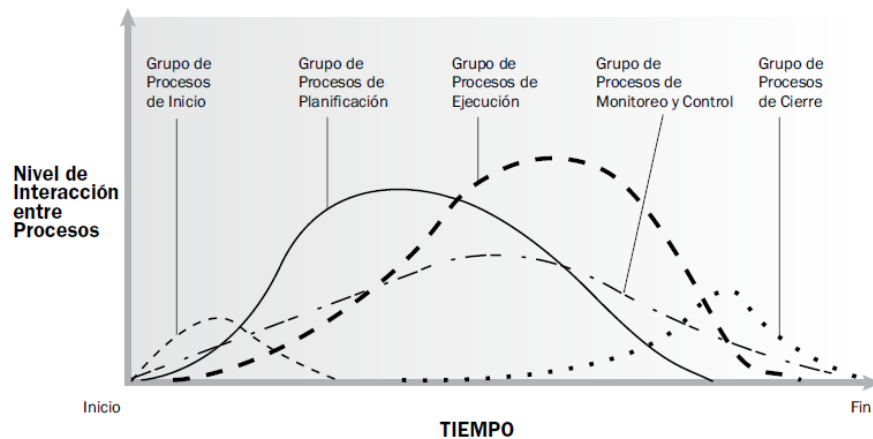


Figura 12.- Interacción de los grupos de procesos en una fase o proyecto.
(Fuente: elaboración propia)

3.3 ISO 21500

La norma “**ISO 21500. Directrices para la dirección y gestión de proyectos**” (2013) es una norma internacional, que proporciona orientación sobre los conceptos y los procesos relacionados con la dirección y gestión de proyectos, pero sin entrar en los requisitos y exigencias sobre herramientas y técnicas a emplear para realizar cada proceso. Ha sido elaborada por la Organización Internacional para la Normalización (ISO).

ISO (*Organization for Standardization*) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). Se trata de una organización independiente y no-gubernamental, la cual es la mayor desarrolladora mundial de estándares internacionales de carácter voluntario. Fue fundada en 1947 y su sede se encuentra en Ginebra (Suiza). La organización promueve el uso de estándares propios, industriales y comerciales a nivel mundial. Son los comités técnicos de ISO los encargados de la preparación de las normas internacionales; de hecho, cualquier organismo miembro de la organización que esté interesado en una materia y haya comité para ella puede participar en él.

Puede ser usada por cualquier tipo de organización y para cualquier tipo de proyecto. La norma proporciona una descripción de alto nivel de conceptos y procesos que son considerados como buenas prácticas en la dirección y gestión de proyectos.

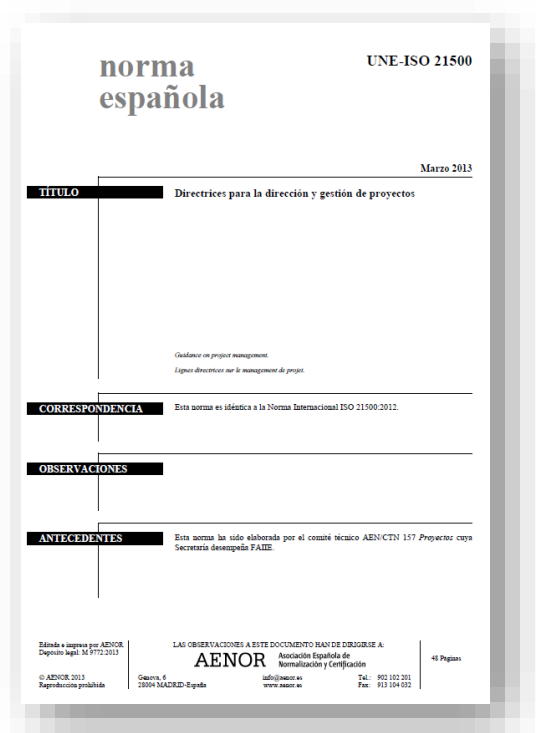


Figura 13.- Norma ISO 21500.
(Fuente: Norma ISO 21500).

Esta dirigida a:

- Altos directivos y patrocinadores de proyecto.
- Directores, equipos de dirección y miembros de equipos de proyecto.
- Redactores de normas nacionales o de organizaciones.

La norma explica en uno de sus apartados los “**Conceptos de la Dirección y Gestión de proyectos**”, que no son más que los conceptos clave aplicables a la mayoría de los proyectos. También hace referencia a los contextos en los cuales se llevan a cabo los proyectos (AENOR, 2013).

En la siguiente figura se explica como se relacionan entre sí los conceptos clave.

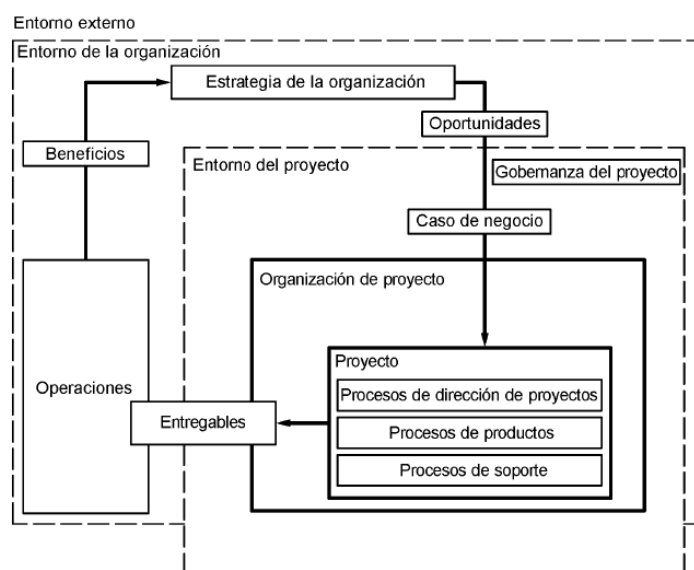


Figura 14.- Visión general de los conceptos de la dirección y gestión de proyectos y sus interrelaciones.

(Fuente: Norma ISO 21500)

Dentro de este apartado la norma explica y detalla los siguientes subapartados, todos referentes a la dirección y gestión de proyectos, que son:

- El proyecto.
- Dirección y gestión de proyectos.
- Estrategia de la organización y proyectos.
- Entorno del proyecto.
- Gobernanza del proyecto.
- Proyectos y operaciones.
- Las partes interesadas y la organización del proyecto.
- Competencias del personal del proyecto.
- Ciclo de vida del proyecto.
- Restricciones del proyecto.
- Relación entre conceptos de dirección y gestión de proyectos y procesos.

El otro apartado principal de la norma hace referencia a los “**Procesos de Dirección y Gestión de proyectos**”. Se subdivide en los siguientes subapartados:

- *Aplicación de los procesos de la dirección y gestión de proyectos*: en la norma se explican los procesos que son recomendables aplicar en el conjunto de un proyecto completo, para ello es importante que cada proceso este alineado y conectado de forma apropiada con otros procesos. No es necesario que los procesos sean aplicados de una manera uniforme en todos los proyectos o fases del mismo. Estos se definen en función de los fines que persiguen, relaciones e interacciones entre ellos y las entradas y salidas de los mismos.
- *Grupos de procesos y grupos de materias* (2 perspectivas diferentes para enfocar los procesos): Dentro de los grupos de procesos (aplicables a cualquier fase del proyecto, interdependientes e independientes del área de aplicación o enfoque industrial) tenemos grupos de procesos de inicio, planificación, implementación, control y cierre. En la siguiente figura puede verse su interrelación.

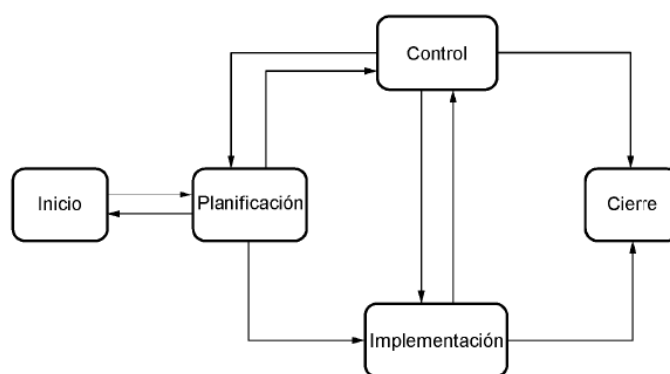


Figura 15.- Interacciones entre los grupos de proceso.

(Fuente: Norma ISO 21500)

Como se puede apreciar en la figura, la dirección y gestión de proyectos comienza con los procesos de inicio y termina con los de cierre. Raramente los procesos se aplican de forma aislada.

Dentro del grupo de materias (aplicables a cualquier fase del proyecto, interdependientes e independientes del área de aplicación o enfoque industrial) tenemos el grupo de Integración, Parte interesada, Alcance, recurso, tiempo, coste, riesgo, calidad, adquisiciones y comunicación.

- *Procesos*: Los procesos definidos en esta Norma Internacional se definen y describen en función de los fines que persiguen, las relaciones entre ellos, las interacciones dentro de los procesos, y las entradas y salidas principales asociadas a cada proceso.

Se va a exponer una tabla a modo resumen de las entradas y salidas principales más comunes de los procesos. Es cierto que en la norma los procesos se presentan como elementos separados entre sí, en la realidad ocurre algo diferente y es que estos procesos, como ya se ha comentado, se superponen e interaccionan de formas diferentes según el proyecto al que se esté aplicando.

	Entradas principales	Salidas principales
Desarrollar el acta de constitución del proyecto	– Enunciado del trabajo del proyecto – Contrato – Caso de negocio o documentos de fases previas	– Acta de constitución del proyecto
Desarrollar los planes de proyecto	– Acta de constitución del proyecto – Planes subsidiarios – Lecciones aprendidas de proyectos previos – Caso de negocio – Cambios aprobados	– Plan de proyecto – Plan de gestión del proyecto
Dirigir el trabajo del proyecto	– Planes de proyecto – Cambios aprobados	– Datos de progreso – Registro de problemas – Lecciones aprendidas
Controlar el trabajo del proyecto	– Planes de proyecto – Datos de progreso – Medidas de control de calidad – Registro de riesgos – Registro de problemas	– Solicitudes de cambio – Informes de progreso – Informes de finalización del proyecto
Controlar los cambios	– Planes de proyecto – Solicitudes de cambio	– Cambios aprobados – Registro de cambios
Cerrar la fase del proyecto o el proyecto	– Informes de progreso – Documentación del contrato – Informes de terminación del proyecto	– Adquisiciones completadas – Informe de cierre de fase o de proyecto – Recursos liberados
Recopilar las lecciones aprendidas	– Planes de proyecto – Informes de progreso – Cambios aprobados – Lecciones aprendidas – Registro de problemas – Registro de riesgos	– Documento de lecciones aprendidas
Identificar las partes interesadas	– Acta de constitución del proyecto – Organigrama del proyecto	– Registro de partes interesadas
Gestionar las partes interesadas	– Registro de partes interesadas – Planes del proyecto	– Solicitudes de cambio
Definir el alcance	– Acta de constitución del proyecto – Cambios aprobados	– Enunciado del alcance del proyecto – Requisitos
Crear la estructura de desglose de trabajo	– Planes de proyecto – Requisitos – Cambios aprobados	– Estructura de desglose de trabajo – Diccionario de la estructura de desglose de trabajo
Definir las actividades	– Estructura de desglose de trabajo – Diccionario de la estructura de desglose de trabajo – Planes del proyecto – Cambios aprobados	– Lista de actividades
Controlar el alcance	– Datos de progreso – Definición del alcance – Estructura de desglose de trabajo – Lista de actividades	– Solicitudes de cambio
Establecer el equipo de proyecto	– Requisitos de los recursos – Organigrama del proyecto – Disponibilidad de los recursos – Planes del proyecto – Descripciones de los roles	– Asignaciones del personal – Contratos del personal
Estimar los recursos	– Lista de actividades – Planes de proyecto – Cambios aprobados	– Recursos requeridos – Planificación de los recursos
Definir la organización del proyecto	– Planes de proyecto – Estructura de desglose de trabajo – Requisitos de los recursos – Registro de las partes interesadas – Cambios aprobados	– Descripción de los roles – Organigrama del proyecto

Desarrollar el equipo de proyecto	– Asignaciones de los miembros del equipo – Disponibilidad de recursos – Plan de recursos – Descripciones de los roles	– Desempeño del equipo – Evaluaciones del equipo
Controlar los recursos	– Planes del proyecto – Asignaciones de los miembros del equipo – Disponibilidad de los recursos – Datos de progreso – Requisitos de los recursos	– Solicitudes de cambio – Acciones correctivas
Gestionar el equipo de proyecto	– Planes de proyecto – Organigrama de proyecto – Descripciones de las funciones de cada miembro – Datos de progreso	– Rendimiento del personal – Evaluaciones del personal – Solicitudes de cambio – Acciones correctivas
Secuenciar las actividades	– Lista de actividades – Cambios aprobados	– Secuencia de actividades
Estimar la duración de las actividades	– Lista de actividades – Requisitos de los recursos – Datos históricos – Normas de la industria – Cambios aprobados	– Estimación de la duración de las actividades
Desarrollar el cronograma	– Secuencia de actividades – Estimación de la duración de las actividades – Restricciones de cronograma – Registro de riesgos – Cambios aprobados	– Cronograma
Controlar el cronograma	– Cronograma – Datos de progreso – Planes del proyecto	– Solicitudes de cambio – Acciones correctivas
Estimar los costos	– Estructura de desglose de trabajo – Lista de actividades – Planes del proyecto – Cambios aprobados	– Estimación de costos
Desarrollar el presupuesto	– Estructura de desglose de trabajo – Estimación de costos – Cronograma – Planes del proyecto – Cambios aprobados	– Presupuesto
Controlar los costos	– Datos de progreso – Planes del proyecto – Presupuesto	– Costos reales – Costos estimados – Solicitudes de cambio – Acciones correctivas
Identificar los riesgos	– Planes del proyecto	– Registro de riesgos
Evaluar los riesgos	– Registro de riesgos – Planes del proyecto	– Riesgos priorizados
Tratar los riesgos	– Registro de riesgos – Planes de proyecto	– Respuestas a los riesgos – Solicitudes de cambio
Controlar los riesgos	– Registro de riesgos – Datos de progreso – Planes de proyecto – Respuesta a los riesgos	– Solicitudes de cambio – Acciones correctivas
Planificar la calidad	– Planes de proyecto – Requisitos de calidad – Política de calidad – Cambios aprobados	– Plan de calidad
Realizar el aseguramiento de la calidad	– Plan de calidad	– Solicitudes de cambio
Realizar el control de la calidad	– Datos de progreso – Entregables – Plan de calidad	– Medidas de control de la calidad – Entregables verificados – Informes de inspección – Solicitudes de cambio

		– Acciones correctivas
Planificar las adquisiciones	– Planes del proyecto – Capacidad y aptitud internas – Contratos existentes – Requisitos de recursos – Registro de riesgos	– Plan de adquisiciones – Lista de proveedores preferidos – Lista de decisiones de hacer o comprar
Seleccionar los proveedores	– Plan de adquisiciones – Lista de proveedores preferidos – Ofertas de los proveedores – Lista de decisiones de hacer o comprar	– Solicitud de información, propuesta, oferta, suministro o presupuesto – Contratos u órdenes de compra – Lista de proveedores seleccionados
Administrar los contratos	– Contratos y órdenes de compra – Planes de proyecto – Cambios aprobados – Informes de inspección	– Solicitudes de cambios – Acciones correctivas
Planificar las comunicaciones	– Planes del proyecto – Registro de las partes interesadas – Descripciones de las funciones – Cambios aprobados	– Plan de comunicaciones
Distribuir la información	– Plan de comunicaciones – Informes de progreso – Solicitudes inesperadas	– Información distribuida
Gestionar las comunicaciones	– Plan de comunicaciones – Información distribuida	– Información exacta y oportuna – Acciones correctivas

Tabla 1. Entradas y salidas más comunes en los procesos según la ISO 21500.

(Fuente: elaboración propia)

4. GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos (***Risk management***) abarca una serie de actividades entre las que están la identificación, el análisis y la evaluación de un riesgo para posteriormente poder establecer las estrategias más adecuadas para tratar el riesgo (Wikipedia, 2018).

4.1 Definición de Riesgo

En el ámbito de la dirección y gestión de proyectos el riesgo se puede definir como “un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto”. Esta definición ha sido extraída de la guía de Dirección de Proyectos del PMI (PMI, 2013).

La norma UNE-EN 62198 “Gestión de riesgos del proyecto. Directrices de aplicación” también recoge una definición para el concepto de riesgo, la cual sería: “**efecto de la incertidumbre sobre el cumplimiento de los objetivos del proyecto**”. (UNE-EN 62198, 2015)

El riesgo no implica algo negativo siempre; puede ser positivo o negativo y el impacto del mismo se debe sentir en alguno de los objetivos del proyecto para el cual ha acometido dicho riesgo. El riesgo puede tener una o varias causas e impactos, es decir, un mismo riesgo no tiene por qué tener una sola causa o impacto.



Figura 16.- Riesgo

Podemos separar entre el concepto de **Riesgos Conocidos** y **Riesgos Desconocidos**. “Riesgos conocidos son aquellos que fueron identificados, analizados, y que es posible encontrar una minimización de su probabilidad de ocurrencia o de su impacto”. Los riesgos desconocidos no pueden ser administrados, lo máximo que se puede hacer es basarse en experiencias similares anteriores para mejorar la situación en el momento en que ocurren y así poder prever o estar preparados para su llegada de alguna manera”. (Sterkin, 2007)

Un factor importante a considerar es la fuerte relación que existe entre la percepción del riesgo y la subjetividad, la cual a la vez está condicionada por las condiciones de contorno. Una misma actividad puede ser considerada de mayor o menor riesgo dependiente del entorno en el que se encuentre (Terrados & Hermoso, 2017).

4.2 Evaluación del Riesgo

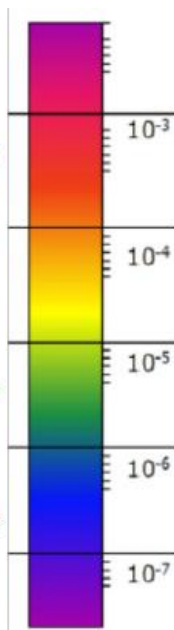
La evaluación de riesgo es con mucha probabilidad la etapa más importante en un proceso de gestión de riesgos y también el paso más difícil y con mayor posibilidad de cometer errores. En esta etapa se deben identificar los diferentes riesgos existentes, clasificarlos y determinar la probabilidad de la ocurrencia y las consecuencias que podrían generar. (MENDEZ, 2013)

Son dos los factores más determinantes para cuantificar el riesgo, la **probabilidad** de que ocurra el evento de riesgo y las **consecuencias** del evento. Es obvio que para

aquellos riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia deben ser tenidos en mayor consideración y cuidado que aquellos cuyas probabilidades de ocurrencia sean bajas.

Probabilidades y Tolerancias

- Riesgo intolerable. Se necesitan mejoras fundamentales. Solo se considera si no hay alternativas y la gente está bien informada
- Poco tolerable. Se necesitan esfuerzos de mejora significativos. Límite superior del riesgo involuntario.
- Tolerable solo si aporta beneficios significativos y no se puede alcanzar mayores reducciones de riesgo. Aceptación pública del riesgo voluntario.
- Tolerable. Se debe mantener las precauciones y estudiar el coste de alternativas eficaces. Aceptación pública de desastres naturales
- Insignificante. Aceptación pública de desastres humanos.



En la imagen adjunta se puede apreciar de una manera más gráfica y esquematizada lo explicado anteriormente.

Figura 17.- Probabilidades y Tolerancias.

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de proyectos.)

Para poder evaluar correctamente el riesgo se hace uso del indicador “**impacto de riesgo**”, el cual nos indica que el riesgo es la combinación de la probabilidad de un impacto y su ocurrencia.



Figura 18.- Impacto de riesgo

(Fuente: <https://es.slideshare.net/modernizacioncl/evaluacin-de-riesgo>)

$$IR = Probabilidad\ ocurrencia\ del\ riesgo \times Impacto\ asociado\ estimado$$

El impacto de los riesgos se puede valorar con lo que se conoce como “**matriz de riesgos**”. Una matriz de riesgos distribuye los riesgos en una escala del 1 al 5 en función de la probabilidad de que ocurran los mismos (vertical) y en otra escala del 1 al 5 el impacto que puedan causar (horizontal).

Para obtener la matriz de riesgos se tienen en cuenta los diferentes escenarios a los que se enfrenta el proyecto y su impacto (Serrano Cinca, 2018). La forma de obtenerla sería la siguiente:

- 1) El analista determina los posibles riesgos, a partir de un listado que se puede ampliar.
- 2) Asigna una probabilidad de ocurrencia (1, 2, 3, 4, y 5), correspondiendo 1 a un suceso excepcional y 5 a la máxima probabilidad.
- 3) Asigna el impacto (1, 2, 3, 4 y 5), siendo 1 un impacto insignificante y 5 una catástrofe.

El modelo calcula el riesgo (bajo, medio, alto y muy alto) de acuerdo con la matriz de riesgos. Un ejemplo de matriz de riesgos puede ser el que se muestra en la figura adjunta.

PROBABILIDAD	IMPACTO				
	1-Insignificante	2-Pequeño	3-Moderado	4-Grande	5-Catastrofe
5- Casi seguro que sucede	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muy alto (20)	Muy alto (25)
4- Muy probable	Medio (4)	Medio (6)	Alto (12)	Alto (16)	Muy alto (20)
3- Es posible	Bajo (3)	Medio (5)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
2- Es raro que suceda	Bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
1- Sería excepcional	Bajo (1)	Bajo (2)	Bajo (3)	Bajo (4)	Medio (5)

Figura 19.- Matriz de riesgos.

(Fuente: <https://ciberconta.unizar.es/ifinanzas/08-P-matrizriesgo.htm>)

4.3 Los riesgos en los proyectos

Se va a hacer hincapié en los riesgos procedentes de los proyectos industriales, ya que son los que ocupan el ámbito de estudio de este trabajo. En los proyectos industriales hay una gran cantidad de riesgos, ya que se suelen diseñar y ejecutar soluciones a problemas complejos a nivel industrial y logístico, y la mayoría de las veces la información proporcionada para resolver el mismo es escasa. Además, mucha de las veces se trabaja con situaciones de gran incertidumbre, aumentando la probabilidad de riesgo.

Los tipos de riesgos más comunes son los riesgos por accidentes, errores de diseño, retrasos, huelgas de trabajadores, factores climatológicos, cambios políticos o legales que afecten a la empresa, enfermedades o bajas, fallo de proveedores, fallos en la alta dirección o en la gestión, etc. Tal y como ya se ha comentado los riesgos en los proyectos industriales son bastantes y de índole muy diversa.

Si bien es cierto que el nivel de riesgo no es el mismo en las diferentes etapas que componen la ejecución de un proyecto. “La probabilidad de ocurrencia del riesgo irá disminuyendo al ser cada vez menor la incertidumbre asociada al proyecto. Sin embargo, las consecuencias del evento de riesgo serán cada vez más costosas de recuperar. Por ello siempre habrá una parte en el ciclo de vida del proyecto, normalmente a la fase de ejecución, donde el impacto de riesgo (probabilidad x consecuencia) será máximo” (Terrados & Hermoso, 2017).

En la figura adjunta se observa como en la fase de ejecución se cumple lo anteriormente explicado.

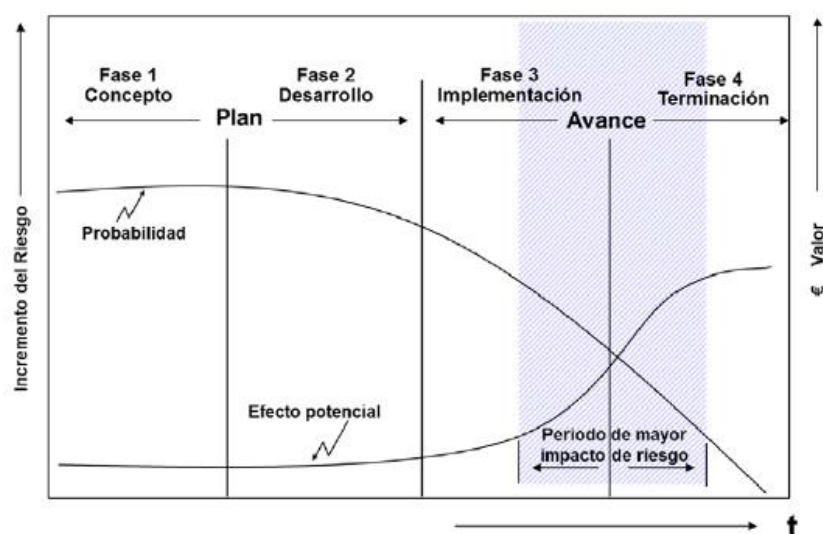


Figura 20.- Riesgo en el ciclo de vida de un proyecto

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de proyectos)

4.4 Fuentes y tipos de riesgos

Existen varias formas de clasificar los distintos tipos de riesgos. La más importante o notoria es la siguiente (Terrados & Hermoso, 2017):

- **De origen externo**

- o Externos e impredecibles (fuerza mayor): Surgen de agentes sobre los que no se tiene control (accidentes, catástrofes climáticas ...)

- o Externos (Económico-financieros): Se conoce que van a ocurrir, pero no se sabe su impacto (inflación, comportamiento del mercado, crisis...)

- o Externos (Políticos y medioambientales): Contingencias de carácter legal que tienen consecuencias (cambios de legislación, trámites administrativos, seguridad y medioambiente, retrasos en la concesión de permisos ...)

- **De origen interno**

- o Internos técnicos (proyecto): Contingencias relativas a la tecnología del proyecto en cualquiera las fases iniciales (diseños defectuosos, fallo de alcance, especificaciones, deficiencias de coordinación, control ...)

- o Internos técnicos (ejecución): Contingencias relativas a la tecnología del proyecto en la fase de ejecución (fallo en pruebas, equipamiento, fallos constructivos, ...)

- o Internos no técnicos: Debidos a la mala gestión del proyecto (retrasos, errores de presupuesto, ...)

4.5 Metodología aplicable en la Gestión de riesgos

El objetivo principal de la gestión de riesgos es “aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos, y principalmente en **disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos en el proyecto**”.

Dicha gestión será necesaria para lograr que los efectos de los riesgos sobre el proyecto sean los mínimos posibles, por lo que se pretende influir sobre los factores que puedan provocar la aparición de los mismos.

Se pueden destacar tres metodologías principalmente usadas para la gestión de riesgos, las cuales mantienen una estructura bastante similar.

- “Directrices para la dirección y gestión de proyectos”. **Norma UNE-ISO 21500.**
- “Gestión de riesgos del proyecto. Directrices de aplicación”. **Norma UNE-EN 62198.**
- “Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos”. **Guía del PMBOK.**

“Los documentos de las normas UNE (*Una Norma Española*) forman un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)” (Wikipedia, 2018).

AENOR (*Asociación Española de Normalización y Certificación*) es una entidad privada formada en 1986 sin ánimo de lucro, reconocida legalmente en España como organismo nacional de normalización conforme a lo establecido en el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial (Real Decreto 2200/1995) y en el Reglamento (UE) 1025/2012 sobre Normalización Europea.

4.5.1 Norma UNE-ISO 21500

La norma “**ISO 21500. Directrices para la dirección y gestión de proyectos**” es una norma internacional, que proporciona orientación sobre los conceptos y los procesos relacionados con la dirección y gestión de proyectos, pero sin entrar en los requisitos y exigencias sobre herramientas y técnicas a emplear para realizar cada proceso. Ha sido elaborada por la Organización Internacional para la Estandarización.

Puede ser usada por cualquier tipo de organización y para cualquier tipo de proyecto. La norma proporciona una descripción de alto nivel de conceptos y procesos que son considerados como buenas prácticas en la dirección y gestión de proyectos.

Como ya se ha comentado en el punto 3.3 de este trabajo, el cual hace referencia a la “Dirección y Gestión de proyectos según la norma ISO

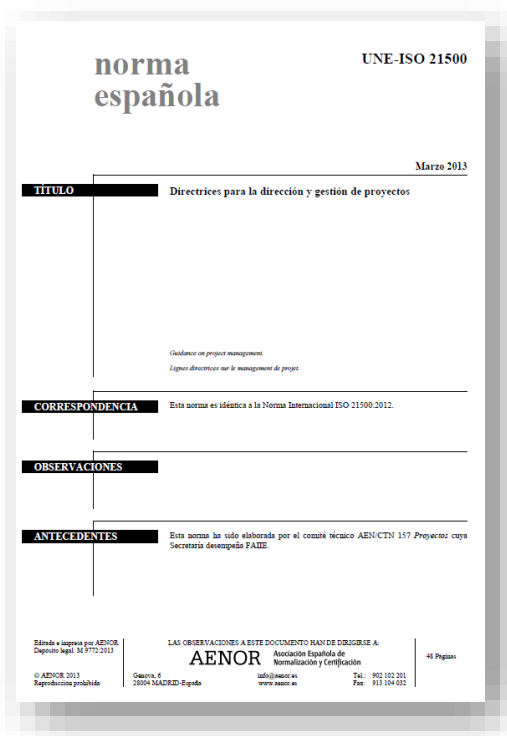


Figura 21.- Norma ISO 21500.

(Fuente: Norma ISO 21500).

21500”, uno de los apartados principales de esta norma es el que hace referencia a los “Procesos de Dirección y Gestión de proyectos”, dentro de los cuales se encuentran integrados los que nos interesan en este capítulo, los procesos dedicados a la gestión de riesgos, y a los cuales se dedicará los siguientes párrafos.

Los procesos integrados en la gestión de riesgos, localizados a lo largo del ciclo de vida del proyecto, de acuerdo a la Norma ISO 21.500, son:

- **Identificación de riesgos:** su función es la de encontrar eventos y/o situaciones de riesgo potenciales que puedan tener un impacto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto. Es un proceso iterativo a lo largo del ciclo de vida. Las entradas y salidas principales son las siguientes:

Entradas	Salidas
Planes del proyecto	Registro de riesgos

Tabla 2. Entradas y salidas en la identificación de riesgos según ISO 21500.

(Fuente: elaboración propia)

- **Evaluación de riesgos:** para medir, clasificar y priorizar los riesgos identificados en la etapa anterior. En él se calcula la probabilidad de ocurrencia e impacto de los riesgos identificados.

Entradas	Salidas
Registro de riesgos	Riesgos priorizados
Planes del proyecto	

Tabla 3. Entradas y salidas en la evaluación de riesgos según ISO 21500.

(Fuente: elaboración propia)

- **Tratamiento de riesgos:** en esta etapa se desarrollan opciones y determinan las acciones a realizar para mejorar las oportunidades (riesgo positivo) y reducir las amenazas (riesgo negativo) sobre los objetivos del proyecto. Se incorporan recursos y actividades en el presupuesto y cronograma. El tratamiento debe ser adecuado, oportuno, realista, eficaz en coste y tiempo, sabido por todas las partes interesadas y la asignación debe ser a una persona adecuada.

Entradas	Salidas
Registro de riesgos	Respuestas a los riesgos
Planes del proyecto	Solicitudes de cambio

Tabla 4. Entradas y salidas en el tratamiento de riesgos según ISO 21500.

(Fuente: elaboración propia)

- **Control de riesgos:** para minimizar las consecuencias derivadas al proyecto, determinando si las respuestas a los riesgos han sido ejecutadas y si éstas han logrado el efecto deseado. Para ello se debe realizar un seguimiento a los riesgos ya identificados, identificando y analizando nuevos riesgos que puedan presentarse.

Entradas	Salidas
Registro de riesgos	Solicitudes de cambio
Datos de progreso	Acciones correctivas
Planes del proyecto	
Respuesta a los riesgos	

Tabla 5. Entradas y salidas en el control de riesgos según ISO 21500.

(Fuente: elaboración propia)

En la siguiente figura, se ve de una forma esquemática los diferentes procesos relacionados con la Gestión de riesgos.

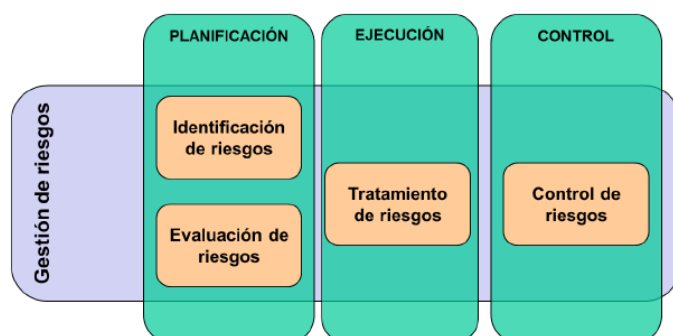


Figura 22.- Procesos de gestión de riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos.)

4.5.2 Norma UNE-EN 62198

Es la versión oficial en español de la Norma Europea EN 62198:2014, que a su vez adopta la Norma Internacional IEC 62198:2013. En ella se establece que la gestión del riesgo incluye todas aquellas actividades de dirección y control que permiten que una organización se enfrente al riesgo.

La Norma presenta un marco de trabajo para la gestión del riesgo en un proyecto, basado en la Norma ISO 31000. La norma ISO 31000, “Gestión del riesgo. Principios y directrices”, describe los principios relativos a la gestión eficaz del riesgo, el marco de trabajo que establece los fundamentos y disposiciones organizativas para el diseño, la implementación, el seguimiento, la revisión y la mejora continua de la gestión del riesgo en toda la organización y un proceso de gestión del riesgo que pueda aplicarse para cualquier tipo de riesgo y organización.

Es aplicable a todas las personas y organizaciones que puedan verse implicadas en cualquiera de las fases del ciclo de vida de un proyecto, así como a cualquier tipo de proyecto, ya sea grande o pequeño. La norma debe adaptarse a cada proyecto de forma específica. Para intentar lograr el máximo beneficio, la gestión del riesgo debe comenzarse en la fase más temprana de un proyecto, continuando a lo largo de las sucesivas fases.

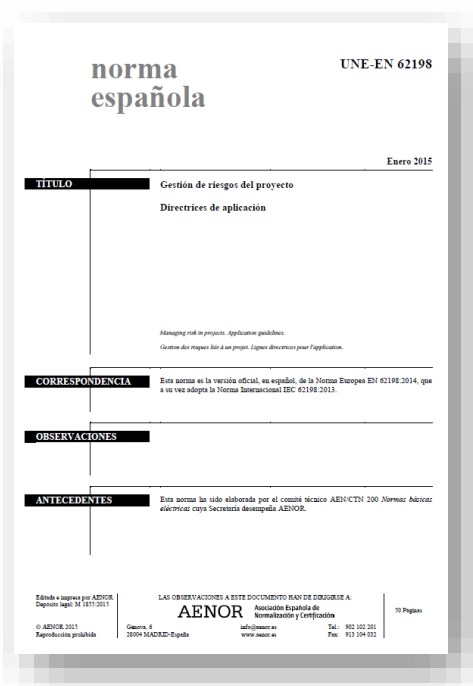


Figura 23.- Norma UNE-EN 62198

(Fuente: Norma UNE-EN 62198)

4.5.2.1 Marco de trabajo para la gestión del riesgo

La norma explica que para que la gestión del riesgo dé los resultados que se esperan, deben integrarse los procesos de gestión del riesgo con los propios procesos de gestión del proyecto en sí; de esta manera los procesos de gestión del proyecto ayudaran en los fundamentos y disposiciones que integrarán la gestión del riesgo a través de todas sus fases, partes interesadas, etc. La buena integración entre esos dos procesos determinará el éxito o fracaso de la gestión del riesgo.

En la siguiente figura se muestra el marco de trabajo adoptado en la Norma ISO 31000 y que es aplicable para poder gestionar de una forma correcta los riesgos en los distintos proyectos que se puedan presentar.

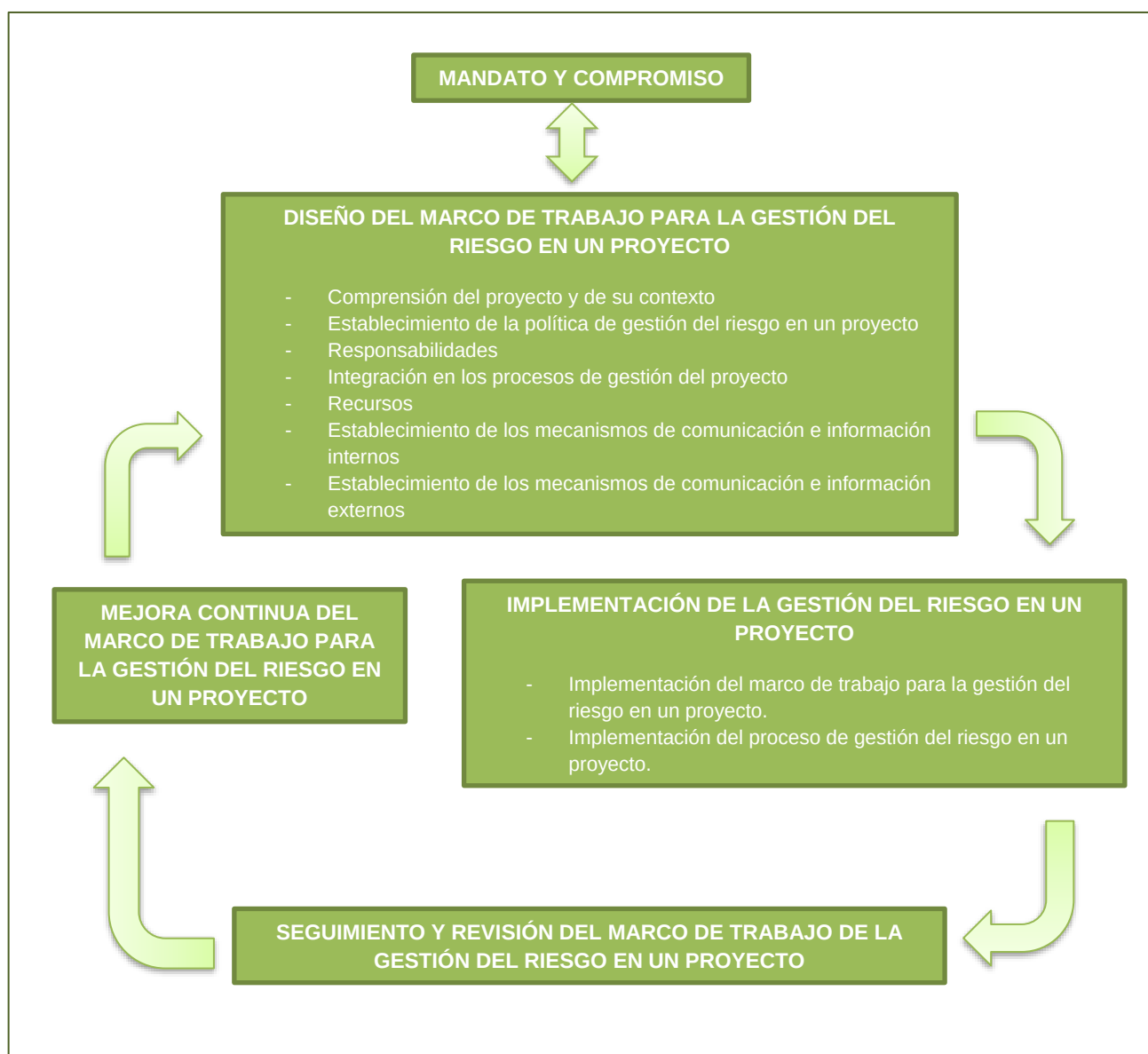


Figura 24.- Relaciones entre los componentes del marco de trabajo para la gestión del riesgo adaptadas de la Norma ISO 31000.

(Fuente: Elaboración propia)

4.5.2.2 Principios de la gestión del riesgo

Como **principios** básicos para que la gestión del riesgo sea eficaz, la norma establece una serie de directrices que toda organización debería cumplir a todos los niveles (UNE-EN 62198, 2015):

- La gestión del riesgo es una fuente de valor y lo preserva.
- La gestión del riesgo es una parte integral de todos los procesos organizativos asociados con un proyecto.
- La gestión del riesgo es una parte de la toma de decisiones en el proyecto.
- La gestión del riesgo trata explícitamente la incertidumbre.
- La gestión del riesgo es sistemática, estructurada y oportuna.
- La gestión del riesgo se basa en la mejor información disponible.
- La gestión del riesgo es flexible.
- La gestión del riesgo tiene en cuenta los factores humanos y culturales.
- La gestión del riesgo es transparente y participativa.
- La gestión del riesgo es dinámica, iterativa y sensible a los cambios.
- La gestión del riesgo facilita la mejora continua de la organización.

4.5.2.3 Proceso de gestión del riesgo en un proyecto

La norma también establece el **Proceso de gestión del riesgo en un proyecto** en el que se deben cumplir las siguientes generalidades, tal y como se muestra en la siguiente figura:

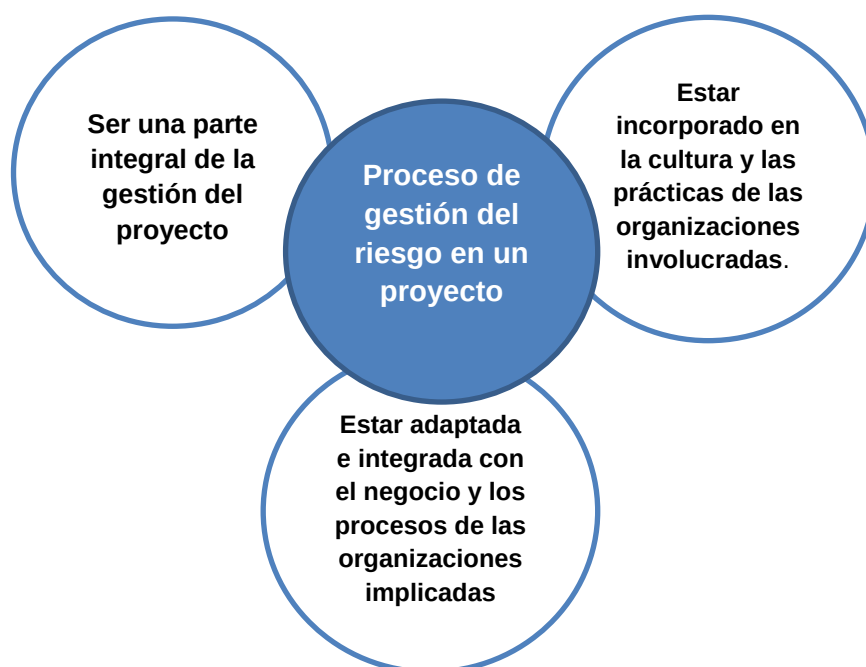


Figura 25.- Generalidades del proceso de gestión del riesgo en un proyecto según la norma UNE- EN 62198.

(Fuente: elaboración propia)

Para el proceso de gestión de un riesgo, la norma presenta las siguientes actividades (UNE-EN 62198, 2014):

1. Comunicación y consulta

Es muy importante informar y consultar a las partes interesadas (internas y externas) del proyecto en las diferentes etapas del mismo, esto es favorable ya que de esta manera los responsables y partes interesadas comprenden el propósito y los objetivos del proceso de gestión del riesgo en el proyecto, las bases sobre las que la información sobre el riesgo en el proyecto se incorpora en las decisiones del proyecto y las razones que justifican las acciones concretas.

El proceso de comunicación y consulta debería proporcionar unos intercambios de información veraz, pertinente, comprensible y exacta.

Los principales documentos de esta fase suelen ser contratos, contratos preparatorios, memorándum de entendimiento, así como en las asignaciones acordadas de responsabilidades para riesgos específicos o controles sobre las personas y organizaciones participantes. Es importante desarrollar planes de comunicación y consulta en las fases tempranas del proyecto.

2. Establecimiento del contexto

Cuando se establece el contexto, las empresas u organizaciones que están implicadas definen sus objetivos y los parámetros internos y externos necesarios para llevar a cabo la gestión del riesgo en el proyecto. Su comprensión es muy importante para poder establecer de forma correcta el alcance del proyecto, los criterios de riesgo y la estructura de las siguientes etapas del proceso de la gestión del riesgo. Los factores más importantes en el establecimiento del contexto son:

- a. *Establecimiento del contexto externo:* entorno externo en el que el proyecto se desarrollará. Está basado en el contexto a escala de la organización, pero con detalles específicos relativos a requisitos normativos y legales, las percepciones de las partes interesadas, etc. En él se puede incluir el entorno social, cultural, político, legal, normativo, financiero, tecnológico, económico, natural y competitivo del proyecto, los impulsores claves y tendencias que tengan un impacto en los objetivos del proyecto y las relaciones con las percepciones y los valores de las partes interesadas externas.
- b. *Establecimiento del contexto interno:* entorno interno en el que las organizaciones implicadas en un proyecto persiguen lograr los objetivos de éste. Se trata de todo aquello que es interno a las organizaciones y que puede influir en la manera de gestionar los riesgos en el proyecto. Puede incluir entre otros: el gobierno, las estructuras organizativas, los roles y las responsabilidades, las capacidades y los recursos (personal, tiempo, capital, sistemas, procesos, tecnología, etc.), las relaciones con las percepciones y valores de las partes interesadas, las normas, guías y modelos adoptados por las organizaciones, los sistemas y flujos de información, los procesos de toma de decisiones y la forma y extensión de las relaciones contractuales y de cualquier otro tipo existentes entre las organizaciones involucradas.

- c. *Establecimiento del contexto del proceso de gestión del riesgo en un proyecto*: consiste en establecer los objetivos, el alcance y los productos a entregar del proyecto en los que se va a aplicar el proceso de gestión del riesgo. También deberían definirse los recursos requeridos, responsabilidades y autoridades, así como los registros que se deberían conservar.
- d. *Definición de los criterios de riesgo*: Su objetivo es acordar los criterios que se utilizarán para evaluar la severidad del riesgo; algunos de ellos pueden venir impuestos por requisitos legales, normativa, etc. Es recomendable definirlo al comienzo del proceso y dotarlos de una revisión periódica.
- e. *Elementos clave*: Necesarios para asegurar la exhaustividad en la identificación de los riesgos y que no se olviden riesgos importantes, es usual dividir el proyecto en un conjunto de elementos clave que se utilizan para organizar la actividad de identificación de los riesgos. Permiten en la fase de identificación de riesgos centrarse en cada elemento clave para buscar riesgos en vez de hacerlo de forma global, de esta manera además se podrá identificar si hay áreas o fases del proyecto que necesiten mayor dedicación o experiencia. Los elementos clave se pueden basar en alguno de los siguientes planteamientos: el desglose de tareas del proyecto (WBS, Work Breakdown Structure), zonas del emplazamiento del proyecto, fases restantes del ciclo de vida del proyecto, componentes de la estructura organizativa, etc.

3. Evaluación del riesgo

Se trata del proceso global de identificación, análisis y cuantificación del riesgo; de forma más detallada se explican en los siguientes párrafos:

- a. *Identificación del riesgo*: buscar, organizar y caracterizar los riesgos que pueden afectar a la consecución de los objetivos del proyecto, ya sea positiva o negativamente. Es importante en esta etapa tener en cuenta las fuentes u origen del riesgo, áreas expuestas a su impacto, causas, sus potenciales consecuencias y sucesos. Con ello se obtiene una lista completa de riesgos. Es crítico el realizar una exhaustiva iteración, ya que los riesgos que no se han localizado en esta primera etapa no podrán localizarse hasta realizar otra nueva iteración de identificación de riesgos (proceso sistemático). En esta fase deben incluirse todos los riesgos. Conforme el proyecto va desarrollándose, algunos riesgos se resolverán y otros nuevos aparecerán; convirtiendo, por tanto, la identificación de los riesgos en un proceso continuo. Algunos de los riesgos que se identifican en las fases tempranas del proyecto seguirán vigentes en fases posteriores; es importante que tales riesgos sean retenidos mientras el proyecto avanza.

De todas las herramientas que se utilizan en esta etapa riesgo se deben seleccionar aquellas que mejor se adapten a los objetivos del proyecto, las capacidades organizativas y los tipos de riesgo esperados.

La información debe ser adecuada y actualizada (si es posible se deben incluir datos históricos), para ello se debería involucrar a personal con conocimientos apropiados y utilizar todas las fuentes de información disponibles al alcance.

Dependiendo de la fase o etapa en la que se encuentre el proyecto, el foco de atención en la identificación de riesgos es diferente. Por ejemplo, En las fases tempranas, la identificación del riesgo normalmente se orienta a riesgos de alto nivel, generales y estratégicos y a la identificación de "defectos fatales" que puedan hacer inviable la finalización con éxito del proyecto; sin embargo, en las fases más tardías, la identificación se centra en riesgos mucho más específicos y con mucho mayor detalle.

En esta etapa se obtiene el "registro de riesgos".

- b. *Análisis del riesgo*: implica desarrollar y entender cada riesgo, sus causas y consecuencias y cómo y por qué pueden suceder. Puede ser una vía de entrada para la evaluación del riesgo, para la decisión de si los riesgos requieren tratamiento o no y para la selección de los métodos y las estrategias de tratamiento más apropiados.

La manera de expresar y combinar las consecuencias y probabilidad para obtener el nivel de riesgo deben estar acordes con el tipo de riesgo, la información disponible y el objetivo por el que se realiza la evaluación del mismo. Muy importante también es considerar la relación o la interdependencia entre los diferentes riesgos y sus fuentes y la consideración del nivel de confianza que es utilizada para la determinación del nivel de riesgo y su sensibilidad a las condiciones previas y supuestos, esto debe comunicarse a los responsables de la toma de decisiones y si fuera necesaria a otras partes interesadas también. Algunos factores importantes a destacar son la diferencia de opiniones entre los expertos, disponibilidad, incertidumbre, cantidad, calidad, etc. Los riesgos pueden ser analizados con diferente nivel de detalle y su análisis puede ser cualitativo, cuantitativo, o ambos de manera conjunta. Normalmente en análisis cualitativo se realiza en las primeras fases del proyecto con la finalidad de apoyar las decisiones estratégicas y el análisis cuantitativo se suele dar más tarde como apoyo para el desarrollo detallado del presupuesto de costes y la programación temporal.

- c. *Evaluación del riesgo*: secundar la toma de decisiones, a partir de los resultados del análisis del riesgo, en lo referente a qué riesgos requieren tratamiento y la priorización de dichos tratamientos. Se comparan los resultados obtenidos en el análisis frente a los criterios que se establecieron cuando se consideró el contexto, y en base a esto se decidirá la necesidad o no de tratamiento. A veces, la evaluación puede dar lugar a la necesidad de análisis adicionales.

4. Tratamiento del riesgo

Implica la selección de una o más opciones para modificar los riesgos y la implementación de dichas opciones. No todos los riesgos requieren un tratamiento específico, se pueden aceptar sin más tratamiento que los controles ya existentes. Estos riesgos se deben incluir en el registro de riesgos para así poder efectuar un seguimiento eficaz. Por el contrario, aquellos riesgos clasificados como no aceptables deben ser tratados. El tratamiento es un proceso cíclico en el que, a partir de las acciones de tratamiento iniciales, se reevaluarán los riesgos para comprobar si son aceptables con los nuevos tratamientos y, en caso contrario, se llevará a cabo un tratamiento adicional. Las decisiones o acciones tomadas deben ser acordes con los requisitos legales, normativos y de cualquier otro tipo, así como tener presente el contexto más amplio del riesgo.

Dentro del tratamiento del riesgo se pueden encontrar los siguientes subapartados en la norma:

- a. *Selección de las alternativas de tratamiento*: Entre las alternativas de tratamiento de riesgos negativos se tiene evitar, mitigar, transferir y aceptar el riesgo. Estas acciones no son excluyentes entre sí ni por el contrario tienen que aplicarse todas a un mismo riesgo, puedes aplicar una sola acción a un riesgo o la combinación de varias. Su aplicación puede derivar en nuevos riesgos para el proyecto, los cuales deben ser evaluados, tratados, seguidos y revisados. Es importante tener en cuenta en la elección de dichas acciones tener en cuenta la opinión de las partes interesadas, ya que algunos tratamientos pueden resultar más aceptables para algunas partes interesadas que otras.
- b. *Planes para el tratamiento del riesgo*: Su fin es documentar las opciones de tratamiento seleccionadas y cómo se realizará su implementación. Se debe nombrar a una persona responsable de la ejecución de dicho tratamiento.

5. Seguimiento y revisión

Las actividades de tratamiento del riesgo deben de incluirse en el plan del proyecto y así poder realizar su seguimiento como parte de las actividades regulares de control. En este apartado es importante señalar el grado de avance de las acciones de tratamiento dentro de la gestión global de la gestión de riesgos. Se deben dejar registrados los resultados del seguimiento y revisión y comunicarlos de una forma apropiada.

El seguimiento y control debe ser una parte planificada en el proceso de gestión, definiendo además de forma clara las responsabilidades atribuidas a esta tarea. Es aconsejable, que al final del proyecto se haga una revisión de la eficacia del control seguido y lo aprendido para poder aplicarlo en posteriores proyectos si se diera el caso.

6. Registro e información del proceso de gestión del riesgo en un proyecto

En la norma aparecen las siguientes divisiones referentes a este punto:

- Información:* el estar bien informados sobre los temas principales del riesgo es muy importante para la toma de decisiones por parte de la dirección y da confianza en que los objetivos del proyecto son alcanzables. Los requisitos de información deben especificarse en el plan de gestión del riesgo. Todo lo que se hable, discuta o acuerde sobre los riesgos debe registrarse. Esto se lleva a cabo mediante reuniones formales o informales.
- Plan de gestión del riesgo en un proyecto:* es el proceso estructurado de gestión del riesgo que se va a aplicar, el cual se debe revisar regularmente y actualizarlo cuando sea necesario.
- Documentación:* Se debe documentar el proceso de gestión del riesgo, los riesgos y su tratamiento ya que esto ayuda a la planificación, evaluación del grado de avance y la trazabilidad.
- Registro de los riesgos existentes en un proyecto:* se trata de un formulario documentado donde se registran los cambios en el estado de riesgos. Debe crearse en las primeras fases del proyecto e ir actualizándolo a lo largo del ciclo de vida del mismo. Es la base para la información regular al nivel de dirección del proyecto y para mantener discusiones sobre los riesgos y sus tratamientos en las reuniones que se lleven a cabo. Puede ser un documento en papel, una hoja de cálculo o una base de datos informatizada; el nivel de sofisticación dependerá en gran medida del tamaño y la importancia del proyecto, así como con la naturaleza y el nivel de los riesgos. En un proyecto grande, puede haber múltiples registros de riesgos preparados por diferentes partes interesadas en las distintas fases del proyecto.

En la siguiente figura, extraída de la norma, se puede ver de forma esquematizada el proceso de gestión del riesgo en un proyecto adaptado de la norma ISO 31000. Este esquema comprende los diferentes puntos que se han ido detallando anteriormente.

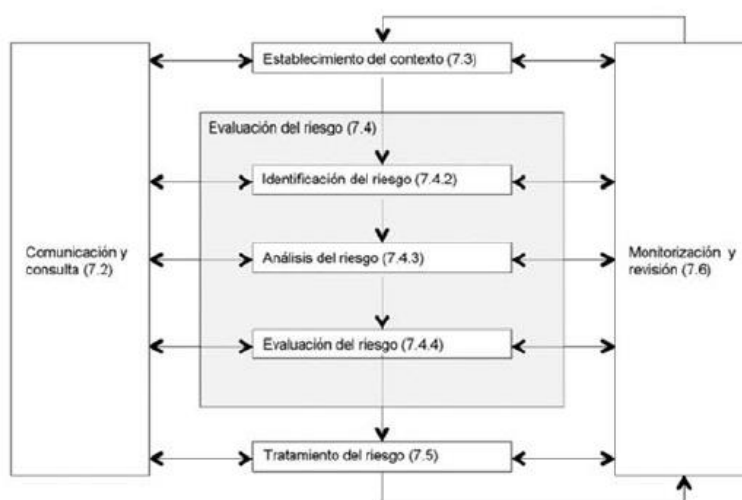


Figura 26.- Marco de trabajo para la gestión del riesgo según UNE-EN 62198

(Fuente: Norma UNE-EN 62198)

4.5.3 Guía del PMBOK

La guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) reúne los siguientes procesos referentes a la Gestión de Riesgos del Proyecto (PMI, 2013):

4.5.3.1 Planificar la Gestión de los Riesgos

Hace referencia al proceso de definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto. En la Guía se explica que una buena y cuidada planificación aumenta la probabilidad de éxito en los procesos siguientes de gestión de riesgo. Es un proceso que se recomienda empezar en las primeras fases del proyecto y acabarse en las fases tempranas de planificación del mismo.

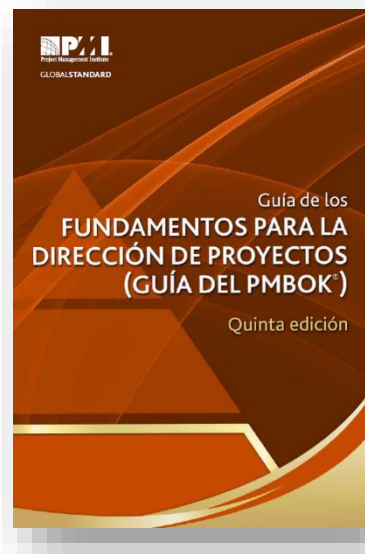


Figura 27.- Guía del PMBOK.

(Fuente: PMBOK)

La planificación de la gestión de riesgos cuenta con las siguientes **entradas**:

1. *Plan para la Dirección del Proyecto*: Plan que proporciona la línea base de las áreas que se encuentran afectadas por algún riesgo; en él se incluyen también el alcance, el cronograma y el coste.
2. *Acta de constitución del proyecto*: En ella se proporcionan detalles como los riesgos, requisitos y descripciones de alto nivel en el proyecto.
3. *Registro de interesados*: En él se organizan todos los detalles relativos a los principales interesados del proyecto.
4. *Factores ambientales de la empresa*: Referido a los factores ambientales de una empresa los cuales describen el nivel del riesgo que dicha empresa puede soportar; destacan entre otros, las actitudes, tolerancias y actitudes que muestra frente al riesgo.
5. *Activos de los procesos de la organización*: Entre otros se pueden encontrar los siguientes activos: Categorías de riesgo, formato de declaración de riesgos, plantillas estándar, definiciones comunes de conceptos y términos, roles y responsabilidades, niveles de autoridad para la toma de decisiones y las lecciones aprendidas.

Las **herramientas y técnicas** más utilizadas, tal y como se comentará en apartados posteriores, son las Técnicas Analíticas (para entender y definir el contexto general de la gestión del riesgo), El Juicio de expertos y las Reuniones.

Las **salidas** referentes a la Planificación de la Gestión de Riesgos son el Plan de Gestión de los Riesgos, el cual es un elemento del plan para la dirección del proyecto y describe el modo en que se estructurarán y se llevarán a cabo las actividades de gestión de riesgos. En él se incluye la metodología a seguir, los roles y responsabilidades de los interesados, el presupuesto, el calendario del plan, la

categorización de los riesgos, las definiciones propias de probabilidad e impacto de los riesgos junto con su matriz de probabilidad e impacto, el formato que tendrán los informes, una revisión de las tolerancias de las partes interesadas y por último una parte de seguimiento de las actividades y de la auditoria de los procesos.

A modo resumen se presenta la siguiente tabla en referencia a las diferentes entradas y salidas en la planificación:

Entradas	Salidas
Plan para la Dirección del Proyecto	Plan de gestión de riesgos
Acta de constitución del proyecto	
Registro de interesados	
Factores ambientales de la empresa	
Activos de los procesos de la organización	

Tabla 6. Entradas y salidas según el PMBOK en la planificación de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

4.5.3.2 Identificar los Riesgos

Se trata de la determinación de aquellos riesgos que pueden afectar al proyecto y documentar sus características. Debe ser un proceso iterativo a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Las declaraciones de riesgos deben estar bien definidas y poder entenderse con claridad y en esta etapa debe estar involucrado todo el equipo del proyecto, además es posible que los interesados externos puedan aportar información adicional.

La Identificación de los riesgos cuenta con las siguientes **entradas**:

1. *Plan de Gestión de los Riesgos*: Dentro del plan los elementos que contribuyen a la identificación de los riesgos son la asignación de roles y responsabilidades, previsión en el presupuesto y cronograma para las actividades y las categorías del riesgo.
2. *Plan de Gestión de los Costos*: Da lugar a procesos y controles que ayudan en la identificación.
3. *Plan de Gestión del Cronograma*: da información relativa a las expectativas creadas respecto al tiempo que pudieran verse afectadas por riesgos.
4. *Plan de Gestión de la Calidad*: línea base de medidas y métricas de calidad aplicables en esta fase.
5. *Plan de Gestión de los Recursos Humanos*: Explica la manera en la que deben ser adquiridos, definidos, gestionados y liberados los recursos humanos del proyecto.
6. *Línea Base del Alcance (EDT)*: Facilita la comprensión de los riesgos a nivel micro y macro, siendo por tanto, una entrada crítica.
7. *Estimación de Costos de las Actividades*: proporcionan una evaluación cuantitativa del coste probable para completar las actividades del cronograma.

8. *Estimación de la Duración de las Actividades*: Nos da una idea de los tiempos asignados para la realización de las actividades o del proyecto completo.
9. *Registro de Interesados*: Es interesante tener este registro ya que asegurara que los interesados que son clave en el proyecto puedan ser entrevistados o participen de alguna manera en la identificación de riesgos.
10. *Documentos del Proyecto*: Ayudan a una mejor identificación y mejoran la comunicación entre el equipo y las partes interesadas. Entre los más importantes se encuentran: Acta de constitución del proyecto, Cronograma, Diagramas de red del cronograma, Registro de incidentes, Lista de verificación de calidad, etc.
11. *Documentos de la Adquisición*: Su complejidad y nivel de detalle deben ser acordes con el valor de la adquisición planificada y riesgos asociados a la misma, siendo una entrada clave para este proceso.
12. *Factores Ambientales de la Empresa*: Los más significativos son la información publicada, las investigaciones académicas, listas de verificación publicadas, los estudios comparativos e industriales, y las actitudes frente al riesgo.
13. *Activos de los Procesos de la Organización*: Se incluyen entre otros, los archivos del proyecto, los formatos o plantillas de declaración de riesgos, controles de los procesos de la organización y del proyecto y las lecciones aprendidas.

Las **herramientas y técnicas** más utilizadas son las Revisiones a la Documentación (revisión estructurada de la documentación del proyecto), las técnicas de recopilación de información, entre las que se encuentran la tormenta de ideas, los análisis de causa raíz, técnica Delphi y entrevistas, el análisis de supuestos, con lista de verificación y FODA, las técnicas de diagramación (causa y efecto, diagrama de flujo de procesos y de influencias) y el juicio de expertos.

La **salida** referente a la Identificación de riesgos es el Registro de riesgos, el cual se prepara con la Lista de riesgos identificados y la lista de respuestas potenciales.

Entradas	Salidas
Plan de Gestión de los riesgos	Registro de riesgos
Plan de Gestión de los costos	
Plan de Gestión del cronograma	
Plan de Gestión de la calidad	
Plan de Gestión de los recursos humanos	
Línea base de alcance	
Estimación de Costos de las Actividades	
Estimación de la Duración de las Actividades	
Registro de Interesados	
Documentos del Proyecto	
Documentos de la Adquisición	
Factores Ambientales de la Empresa	
Activos de los Procesos de la Organización	

Tabla 7. Entradas y salidas según el PMBOK en la identificación de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

4.5.3.3 Análisis cualitativo de riesgos

Basado en la priorización de los riesgos para un análisis o acción posterior, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos. Es un medio rápido y económico que permite la concentración en aquellos riesgos de mayor prioridad y el cual sienta las bases para un posible análisis cuantitativo posterior.

Las **entradas** del análisis cualitativo son:

1. *Plan de Gestión de los Riesgos*: Proporciona guías, metodologías y herramientas para su uso en el análisis cuantitativo.
2. *Plan de Gestión de los Costos*: Para la buena gestión del establecimiento y reservas de los riesgos.
3. *Plan de Gestión del Cronograma*: Para la buena gestión del establecimiento y reservas de los riesgos.
4. *Registro de Riesgos*: Es el punto de referencia para llevar a cabo este análisis.
5. *Factores Ambientales de la Empresa*: Proporcionan conocimiento e idea del contexto en el que se desarrolla la empresa.
6. *Activos de los Procesos de la Organización*: En esta entrada se encuentra información de proyectos similares llevados a cabo anteriormente por la empresa.

Las **herramientas y técnicas** más utilizadas son la Evaluación de probabilidad e impacto de los riesgos, la matriz de probabilidad e impacto, la categorización de

riesgos, la evaluación de la calidad de los datos sobre los riesgos, evaluación de urgencia expertos.

Las **salidas** son las Actualizaciones a los Documentos del Proyecto, que estarían compuestas por las actualizaciones al registro de riesgos y de supuestos.

Entradas	Salidas
Plan de Gestión de los riesgos	Actualizaciones a los documentos del proyecto
Línea base de alcance	
Registro de riesgos	
Factores ambientales de la empresa	
Activos de los procesos de la organización	

Tabla 8. Entradas y salidas según el PMBOK en el análisis cualitativo de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

4.5.3.4 Análisis Cuantitativo de Riesgos

Es el proceso de analizar de una manera cuantitativa el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto; se suele aplicar posterior en el tiempo al análisis cualitativo y fundamentalmente evalúa el efecto acumulativo de los riesgos. Es un análisis que no siempre se puede (por falta de datos para llevar a cabo los modelos que son adecuados) o no es necesario llevar a cabo.

El Análisis cuantitativo de riesgos cuenta con las siguientes **entradas**:

1. *Plan de Gestión de los Riesgos*: Proporciona guías, metodologías y herramientas para su uso en el análisis cuantitativo.
2. *Plan de Gestión de los Costos*: Para la buena gestión del establecimiento y reservas de los riesgos.
3. *Plan de Gestión del Cronograma*: Para la buena gestión del establecimiento y reservas de los riesgos.
4. *Registro de Riesgos*: Es el punto de referencia para llevar a cabo este análisis.
5. *Factores Ambientales de la Empresa*: Proporcionan conocimiento e idea del contexto en el que se desarrolla la empresa.
6. *Activos de los Procesos de la Organización*: En esta entrada se encuentra información de proyectos similares llevados a cabo anteriormente por la empresa.

Las **herramientas y técnicas** más usadas aquí son las Técnicas de Recopilación Representación de Datos, entre las que están las entrevistas y distribuciones de probabilidad, las Técnicas de Análisis Cuantitativo de Riesgos y Modelado, que comprenden el análisis de sensibilidad, el análisis de valor monetario esperado (EMV) y herramientas de modelado y simulación, finalmente también se encuentran como técnicas dentro del análisis cuantitativo el Juicio de expertos.

Las **salidas** de este análisis son las Actualizaciones a los documentos del proyecto, entre las que es común incluir, un análisis probabilístico del proyecto, lista priorizada de riesgos cuantificados, la probabilidad que hay de alcanzar los objetivos del

proyecto referentes a costo y tiempo, tendencia en los resultados del análisis cuantitativo, etc.

Entradas	Salidas
Plan de Gestión de los riesgos	Actualizaciones a los documentos del proyecto
Plan de Gestión de los costos	
Plan de Gestión del cronograma	
Registro de riesgos	
Factores ambientales de la empresa	
Activos de los procesos de la organización	

Tabla 9. Entradas y salidas según el PMBOK en el análisis cuantitativo de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

4.5.3.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos

Se trata del desarrollo de opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto. Es muy importante comprender el mecanismo por el cual se abordará el riesgo y comprobar que el plan de respuesta establecido está teniendo el efecto deseado. En este mecanismo se incluye el asignar una persona responsable de dichas respuestas, las cuales deben ser acordes a la importancia o magnitud que presenta el riesgo, realistas, con el visto bueno de todas las partes interesadas, rentables, etc. Normalmente aparecen varias respuestas a un mismo riesgo, teniendo que decidir entre la más óptima para el conjunto global del proyecto.

Las **entradas** referentes a la Planificación de la respuesta a los riesgos son:

1. *Plan de Gestión de los Riesgos*: En este apartado se incluyen los roles y responsabilidades, periodicidad de revisiones y de la eliminación de riesgos en la revisión, definiciones del análisis de riesgos, así como umbrales establecidos para el riesgo.
2. *Registro de Riesgos*: En el registro de riesgos se incluyen principalmente la lista de riesgos identificados, respuestas potenciales, causas raíz de los riesgos, lista de prioridades, propietarios o responsables de los mismos, respuestas a los riesgos, etc.

En este apartado las **herramientas y técnicas** se clasifican en función de si el riesgo de estudio se considera amenaza u oportunidad.

Si se trata de amenaza las estrategias son: Evitar, transferir, mitigar y aceptar; por el contrario, si el riesgo es positivo las estrategias son: explotar, mejorar, compartir y aceptar. También hay estrategias generales como son las de respuesta a contingencias (usadas únicamente si se producen determinados eventos) y el juicio de Expertos, usado también en otros apartados.

Las **salidas** de este análisis son las Actualizaciones al Plan para la Dirección del proyecto, entre los que podemos encontrar, Plan de Gestión del cronograma, de los costos, de la calidad, de los recursos humanos, de las adquisiciones, etc. así como las líneas base del alcance, coste y supuestos, a la documentación técnica y las solicitudes de cambio.

Entradas	Salidas
Plan de Gestión de los Riesgos	Actualizaciones al Plan para la Dirección del proyecto
Registro de riesgos	Actualizaciones a los Documentos del proyecto

Tabla 10. Entradas y salidas según el PMBOK en la planificación de respuesta a los riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

4.5.3.6 Controlar los Riesgos

Fase de implementar los planes de respuesta a los riesgos, dar seguimiento a los riesgos identificados, monitorear los riesgos residuales, identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a través del proyecto.

Las **entradas** en el control de los riesgos son:

1. *Plan para la dirección del proyecto*: proporciona una guía o pautas para el monitoreo y control de los riesgos.
2. Registro de riesgos
3. *Datos de desempeño del trabajo*: Entre estos datos se incluyen el estado de los entregables, costos incurridos y avance del cronograma.
4. *Informes de desempeño del trabajo*: en dichos informes se recogen datos de las mediciones del desempeño y los analizan para proporcionar información de desempeño del trabajo del proyecto como análisis de variación, datos sobre el valor ganado y los datos para proyecciones.

Las **herramientas y técnicas** utilizadas son la Revaluación de los riesgos, auditorias, mediciones del desempeño técnico, análisis de variación y tendencia, de reservas y reuniones periódicas.

Las **salidas** son la Información del desempeño del trabajo para comunicar y apoyar la toma de decisiones, las solicitudes de cambio procedentes de planes de contingencias o soluciones alternativas, dentro de las cuales puede haber acciones correctivas y preventivas, las Actualizaciones al Plan para la Dirección del proyecto, a los Documentos del proyecto y a los activos de los procesos de la organización.

Entradas	Salidas
Plan para la dirección del proyecto	Información de desempeño del trabajo
Registro de riesgos	Solicitudes de cambio
Datos de desempeño del trabajo	Actualizaciones al Plan para la Dirección del proyecto
Informes de desempeño del trabajo.	Actualizaciones a los Documentos del proyecto
	Actualizaciones a los activos de los procesos de la organización

Tabla 11. Entradas y salidas según el PMBOK en el control de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

En la siguiente figura se exponen de una manera más resumida y gráfica lo expuesto anteriormente para todo el conjunto de procesos.

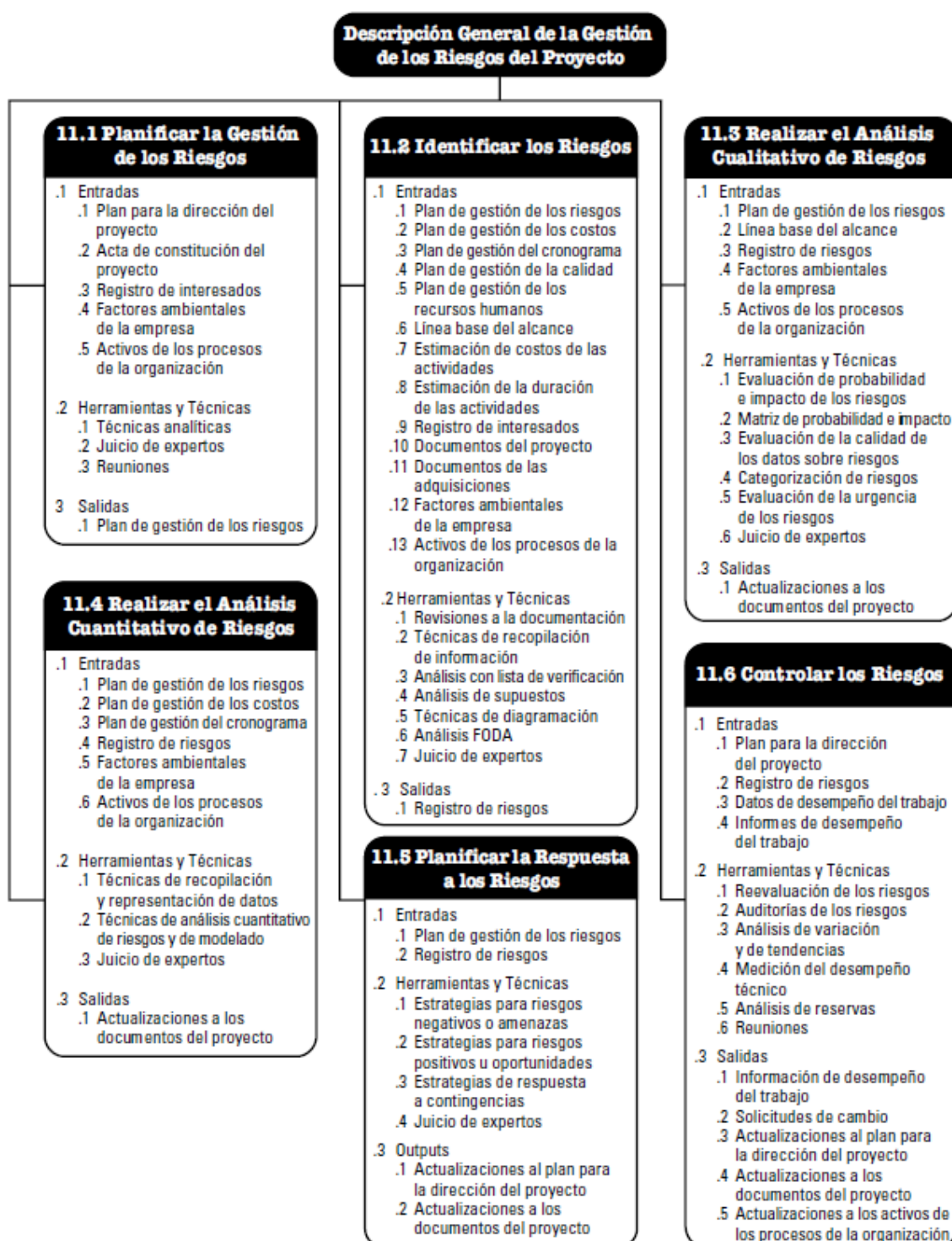


Figura 28.- Descripción general de la Gestión de los riesgos en los proyectos según PMBOK.

(Fuente: PMBOK)

4.5.4 Elementos comunes en las diferentes metodologías

Aunque en los apartados anteriores de las normas se han comentado los elementos principales para la Gestión del Riesgo de las diferentes normas más detalladamente, a modo de resumen, se presenta para las mismas lo expuesto a continuación.

La gestión de riesgos según la Norma **UNE-ISO 21500:2013**, se resumen en:

1. Identificar los Riesgos.
2. Evaluar los Riesgos.
3. Tratar los Riesgos.
4. Controlar los Riesgos.

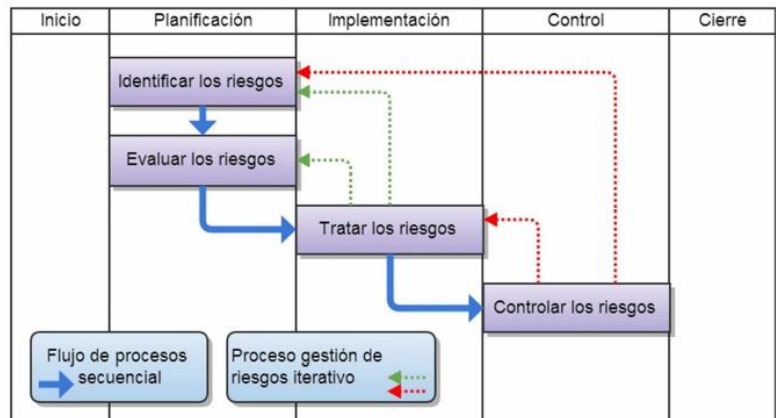


Figura 29.- Proceso de gestión e interacción de riesgos (ISO 21500)

(Fuente: Norma ISO 21500)

En la figura se aprecia como la identificación de riesgos es un proceso iterativo a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Las actividades principales frente al riesgo de la Norma **UNE-EN 62198** son:

1. Comunicación y consulta
2. Establecimiento del contexto
3. Evaluación del riesgo
 - a. Identificación del riesgo
 - b. Análisis del riesgo
 - c. Evaluación del riesgo
4. Tratamiento del riesgo
 - a. Selección de las alternativas de tratamiento
 - b. Planes para el tratamiento del riesgo
5. Seguimiento y revisión
6. Registro e información del proceso de gestión del riesgo en un proyecto
 - a. Información
 - b. Plan de gestión del riesgo en un proyecto
 - c. Documentación

Por último, según el **PMBOK** la gestión de riesgos incluye los procesos de:

1. Planificar la Gestión de los Riesgos
2. Identificar los Riesgos
3. Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos
4. Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos
5. Planificar la Respuesta a los Riesgos.
6. Controlar los Riesgos

Tanto la norma UNE-ISO 21500 como el PMBOK son bastante similares, diferenciándose básicamente en que una tiene más nivel de detalle que otra. Las tres

presentan en común una serie de procesos destinados a la gestión del riesgo, los cuales no se presentan aislados, sino que interactúan entre sí en las diferentes fases o ciclo de vida del proyecto. Las tres normas, en rasgos generales son muy parecidas, de una manera u otra, el fin y el contenido es muy similar.

La norma UNE- EN 62198 es la más específica de las tres en cuanto se refiere a la gestión del riesgo, ya que está destinada exclusivamente para ello; la Guía del PMBOK también entra en un gran nivel de detalle al respecto. Sin embargo, la norma ISO 21500, está más limitada en este ámbito, ya que incluye la gestión del riesgo como un proceso más dentro de los procesos destinados a la Dirección y Gestión de proyectos, el cual, es su ámbito general de aplicación y para la cual está destinada dicha norma.

En los siguientes subapartados se van a describir los procesos más importantes que componen la gestión de riesgos. Se va a seguir el PMBOK ya que cuenta con un gran nivel de detalle en la explicación de las diferentes etapas en la gestión del riesgo.

4.6 Proceso de gestión del riesgo en un proyecto

El proceso de gestión del riesgo es el que nos permite controlar la trayectoria del proyecto, gracias al conocimiento de los riesgos y por tanto a la disminución de la propia incertidumbre; buscando así disminuir principalmente el impacto y probabilidad de los eventos negativos. Este proceso es inherente a la gestión de proyectos, siendo una parte más de la misma.

4.6.1 Planificación de la gestión de riesgos

En esta primera etapa se define como realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto; de forma que “el nivel, el tipo y la visibilidad de la gestión de riesgos sea acorde tanto con los riesgos como con la importancia del proyecto para la organización” (Vilar, 2015).

Dicha planificación ha de comenzarse tan pronto como se conciba el proyecto y debe completarse en las primeras fases del mismo pues es vital para comunicarse y obtener el acuerdo y el apoyo de todos los interesados. Cuanto mejor sea dicha planificación, mayor probabilidad de éxito existirá en el resto de procesos que componen la gestión.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo de datos de planificación de la gestión de riesgos encontrado en el PMBOK.



Figura 30.- Planificación de la gestión de riesgos

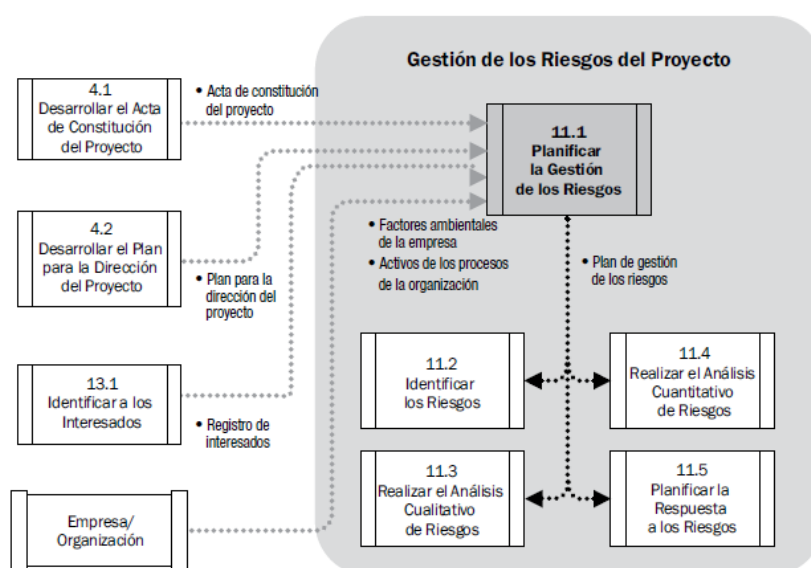


Figura 31.- PMBOK: Diagrama de flujo para planificación de la gestión de riesgos
(Fuente: PMBOK)

Las estrategias para la planificación de riesgos pueden ser (Cartagena, 2015):

- Estrategias de **prevención**: La probabilidad de aparición del riesgo se reduce.
- Estrategias de **minimización**: Se minimiza el impacto del riesgo.
- Estrategias de **contingencia**: Significan estar preparado para lo peor y tener un plan para cada caso.

Las técnicas y herramientas más comunes para el proceso de planificar la gestión de los riesgos son (Cifuentes Alvarez, 2017):

- **Juicio de expertos**: se recopila la opinión y la experiencia de individuos o grupos de profesionales expertos en una industria o disciplina, relacionadas al proyecto que se está ejecutando. Este tipo de información puede ser obtenida dentro o fuera de la organización, en forma gratuita o por medio de una contratación, como puede ser, asociaciones profesionales, cámaras de comercio, instituciones gubernamentales, universidades, interesados del proyecto, dirección general, asociaciones profesionales y técnicas, grupos de industrias y asesores, etc.
- **Reuniones**: Se celebran reuniones de planificación en las que asisten los diferentes interesados en el proyecto para desarrollar el plan de gestión de los riesgos. En ellas se definen los planes de alto nivel para poder llevar a cabo las actividades que componen la gestión de los riesgos y también se pueden asignar responsabilidades
- **Técnicas analíticas**: Su función principal es entender y definir el contexto general de la gestión de riesgos del proyecto. Este contexto es una composición entre las actitudes de los interesados de acuerdo al riesgo y la exposición al riesgo estratégico de un determinado proyecto sobre la base del contexto general del proyecto.

En la siguiente gráfica se muestra a modo de resumen las entradas, técnicas y salidas en la planificación de la gestión de riesgos.

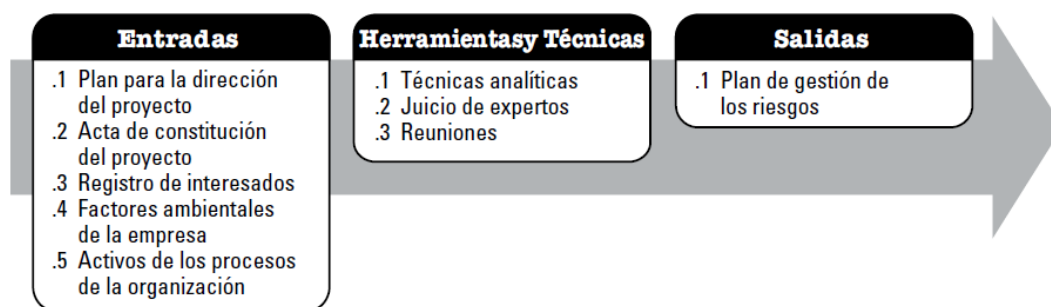


Figura 32.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en la planificación de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

4.6.2 Identificación de riesgos

Etapa de la gestión de riesgos que consiste en **determinar los riesgos que pueden afectar al proyecto y documentar sus características**. Estos riesgos pueden tener un impacto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto. Es un proceso que no se hace solo una vez, sino que es iterativo a lo largo del proyecto ya que pueden surgir nuevos riesgos o desaparecer algunos ya existentes.

La identificación puede implicar a muchos de los participantes: el cliente, el patrocinador del proyecto, el director de proyecto, el equipo de proyecto, altos directivos, usuarios, expertos en gestión de riesgos, otros miembros del comité de dirección de proyecto y expertos según la materia. El equipo del proyecto debe implicarse de una manera fuerte y con responsabilidad.

Los riesgos con un impacto potencial negativo se denominan “amenazas”, mientras que los riesgos que tienen un impacto potencial positivo sobre el proyecto se denominan “oportunidades”.

La declaración de los riesgos debe ser consistente y tener la certeza de que cada riesgo se comprenda claramente sin ambigüedades a fin de analizarlo y desarrollar soluciones eficaces.

Las técnicas más importantes para la gestión de riesgos son (PMI, 2013):

- **Técnicas de Recopilación de Información**

- a) *Tormenta de ideas*: Consiste en una herramienta de trabajo grupal donde surgen ideas sobre un tema o problema en particular. El objetivo es obtener una lista completa de los riesgos del proyecto. Se puede realizar por el equipo del proyecto o contar con un grupo de expertos externos.
- b) *Técnica Delphi*: La técnica Delphi es una manera de lograr un consenso de expertos (participan de forma anónima) donde se da un proceso de comunicación grupal para tratar un problema complejo. Un facilitador utiliza un cuestionario para solicitar ideas acerca de los riesgos importantes del proyecto. Las respuestas son resumidas y enviadas nuevamente al grupo.

- c) *Entrevistas y cuestionarios*: Se realizan entrevistas a los participantes experimentados del proyecto, a los interesados y a los expertos en la materia.
- d) *Análisis de causa raíz*: Es una técnica que identifica un problema, determina sus causas y desarrolla las acciones preventivas.

- **Análisis con Lista de Verificación**

Es una herramienta que se utiliza en diversos ámbitos, entre ellos la gestión de riesgos, para extraer una serie de conclusiones de aquello que es sometido a estudio. Las listas de verificación se desarrollan sobre la base de la información histórica y del conocimiento acumulado a partir de proyectos anteriores similares y de otras fuentes de información. Es muy difícil dar lugar a una lista completa y exhaustiva, por lo que el equipo de trabajo debe tener en cuenta e investigar elementos que no aparezcan en la lista. Es muy recomendable realizar una depuración de la misma de vez en cuando.

- **Análisis de supuestos**

En él se explora la validez de los diferentes supuestos según se van aplicando al proyecto. Es una técnica que mediante el carácter inexacto, inestable, inconsistente o incompleto de los supuestos se van relacionando los riesgos relacionados con estos.

- **Análisis DAFO**

Esta técnica examina el proyecto desde cada uno de los aspectos DAFO (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) para aumentar el espectro de riesgos identificados, incluidos los riesgos generados internamente. Esta herramienta permite conocer la situación real en la que se encuentra una organización, empresa...y poder desarrollar ante ello una buena estrategia de futuro. Además, también estudia el grado en el que las fortalezas de la organización contrarrestan las amenazas, e identifica las oportunidades que pueden servir para superar las debilidades.



Figura 33.- Análisis DAFO

(Fuente:

<http://www.stsspymes.es>)

- **Juicio de expertos**

Se trata de un conjunto de opiniones que suelen brindar profesionales expertos (de dentro o fuera de la organización) en una disciplina o materia, la cual está relacionada con el proyecto que está sometido a dicho juicio. Estos expertos pueden identificar los riesgos directamente. El director del proyecto debe identificar a dichos expertos e invitarlos a considerar todos los aspectos del proyecto, y a sugerir los posibles riesgos basándose en sus experiencias previas y en sus áreas de especialización.

- **Técnicas de Diagramación**

- a) *Diagramas de causa y efecto*: también conocido como diagramas de Ishikawa o de espina de pescado y son útiles para identificar las causas de los riesgos.

- b) *Diagramas de flujo de procesos o de sistemas*: en ellos se muestran cómo se relacionan entre sí los diferentes elementos de un sistema, y el mecanismo de causalidad.
- c) *Diagramas de influencias*: se tratan de representaciones gráficas de situaciones que muestran las influencias causales, la cronología de eventos y otras relaciones entre las variables y los resultados.

▪ **Otras técnicas**

- a) *Datos históricos* (Análisis histórico): Una de las formas de poder identificar los riesgos es realizando un análisis histórico de accidentes o problemas ocurridos con anterioridad en el sector donde quieren identificarse los riesgos (si fuera posible) o recopilando información sobre accidentes, fallos, etc. en plantas o sectores de similares características. Todos estos datos recogidos en base a la misma organización o procedentes de organizaciones que realizan actividades muy similares, se pueden ir guardando en una base de datos; así se irán acumulando datos específicos sobre casos concretos, equipos u operaciones peligrosas, etc. Es importante contar con un gran número de casos registrados en la base de datos, para así poder dar una conclusión fiable y poder realizar un correcto análisis de los mismos.

b) *Técnicas formales*:

- *Análisis modal de fallos y efectos* (AMFE) :Es un procedimiento de análisis cualitativo, el cual tiene como objetivo reconocer y evaluar los posibles fallos en un proceso, proyecto, diseño de un nuevo producto o servicio y los efectos que producen en el mismo. El método también se puede conocer como AMFEC (Análisis Modal de Fallos, Efectos y su Criticidad), ya que introduce de forma precisa la gravedad de las consecuencias en los fallos.



Figura 34.- Análisis modal de fallos y efectos.

“Cada causa potencial de riesgo debe ser considerada por su efecto en el producto y proceso, y según este riesgo, implementar una serie de acciones, y una vez completadas se revisan los riesgos”. (Wikipedia, 2018).

Es una de las herramientas más comunes para el control de la calidad en ingeniería y es utilizado en varios sistemas de calidad oficiales como QS-9000 o ISO/TS 16949.

Su funcionamiento se basa en darle un orden de prioridad a los fallos encontrados dependiendo de las consecuencias, frecuencias, dificultad de localización, etc. de los mismos. Su función también está en documentar el conocimiento que ya hay de los mismos. Básicamente, su finalidad principal es eliminar o reducir los fallos (empezando por aquellos que se han establecido con prioridad mayor) y evaluar las prioridades en la gestión del riesgo. Ayuda a seleccionar soluciones que reducen los impactos acumulativos de las consecuencias del ciclo de vida (riesgos) del fallo de un sistema (fallo).

Fue usado por primera vez por las fuerzas armadas de los EEUU (años 40), llegando a recibir una especificación dentro de la normativa militar americana la MIL-STD-16291 “Procedimientos para la realización de análisis de modo fallo, efectos y criticidad”. En los años 60, la industria aeroespacial comenzó a utilizarlo para evitar fallos en sus prototipos y experimentos. Uno de los casos más llamativos donde fue utilizado fue en el programa Apolo. Fue en los años 70 cuando la empresa Ford introdujo esta metodología en la industria del automóvil para mejorar la seguridad, producción y diseño, tras el escándalo del Ford Pinto. (Wikipedia, 2018) En la actualidad esta metodología es usada en una gran variedad de industrias, tales como industrial del automóvil, alimentaria, medicina, software, etc. Se encuentran en todos los ámbitos de la organización, desde el diseño inicial hasta el montaje, fabricación, comercialización, etc. Toyota ha llegado a un paso más allá, incorporando un enfoque diferente “*Design Review Based on Failure Mode*” (DRBFM), un método el cual está aceptado por la Sociedad Americana para la Calidad y el cual ofrece unas guías bastante detalladas para su posterior aplicación. También existe la técnica DFMEA, desarrollada como un método sistemático de identificación e investigación de las debilidades potenciales de un diseño. (Borja, 2018). Un ejemplo de integración del mismo también se da en la planificación avanzada de la calidad de los productos (APQP), se utiliza como un instrumento para disminuir el riesgo y el tiempo de las estrategias preventivas, tanto en el diseño como en el desarrollo de procesos. Un ejemplo de ello es en la industria automovilística.

Sus objetivos principales son (Borja, 2018):

- IDENTIFICAR Y PREVENIR todos los MODOS DE FALLO POTENCIALES de un producto a lo largo de su ciclo de vida.
- Establecer prioridad en la prevención basada en el riesgo asociado a cada modo de fallo.
- Elaborar y poner en práctica un plan de acciones de mejora que minimice o elimine los riesgos.
- Elaborar un plan de control de prototipo basado en los riesgos potenciales resultantes.



Figura 35.- Objetivos principales análisis AMFE

(Fuente: <http://arrizabalagauriarte.com/quality-core-tools-fmea-nuevo-manual-de-fmea-alineacion-aiag-vda/>)

Un ejemplo de hoja AMFE puede ser el siguiente (Bernal, 2013):

[illegible]

Figura 36.- Ejemplo hoja AMFE

(Fuente: <https://www.pdcahome.com/3891/amfe-guia-de-uso-del-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>.)

- *Análisis funcional de Operatividad*, AFO (HAZOP- Hazard and operability): Es una metodología de identificación de riesgos inductiva la cual se basa en la detección e identificación de posibles desviaciones en los procesos u operaciones de una planta industrial, es decir, se basa en la premisa de que “los riesgos, los accidentes o los problemas de operatividad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada”. (GUIAR, s.f.)

Su función es analizar y evaluar aspectos de control, operación y mantenimiento de la planta industrial, implantando consecuentemente las medidas correctoras necesarias para evitar dichas desviaciones. La evaluación de las consecuencias de las posibles desviaciones en las unidades de proceso (tanto si es continuo como discontinuo), debe darse en todas las líneas y sistemas. Se utilizan unas “palabras guía” para poder analizar de forma sistemática las causas y consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso.

Fue creado originalmente por la Imperial Chemical Industries (ICL) en 1963 para su aplicación en el diseño de plantas para la fabricación de pesticidas. Más adelante, se generalizó y formalizó, y actualmente es una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de riesgos en una instalación industrial. (GUIAR, s.f.)

Este análisis se utiliza principalmente durante la etapa de la ingeniería de detalle en instalaciones con un proceso relativamente complejo o áreas con equipos de regulación. Es por ello que, en plantas en fase de diseño o relativamente nuevas, es una gran herramienta para resolver problemas que no han sido detectados inicialmente. En fase de operación también puede ser utilizada. Es importante contar con un grupo de trabajo especializado y con experiencia.

- c) *WHAT IF* (¿y si sucede...?): Es una herramienta que se utiliza en la primera fase de gestión del riesgo (identificación de riesgos) y es muy sencilla y fácil de entender e implementar. Normalmente, este método se suele complementar con técnicas adicionales de gestión de riesgos más complejas y completas.

Para aplicar esta técnica, suelen realizarse reuniones con los integrantes del equipo de trabajo que conocen bien el proceso de estudio. La primera reunión tener como finalidad una lluvia de ideas, donde se formulan preguntas que ayuden a visibilizar posibles problemas que pudieran surgir durante el proceso. Es ya en las reuniones posteriores donde el grupo de expertos empezará a proponer respuestas y soluciones adecuadas a dichas preguntas, intentando hallar causas, consecuencias y recomendaciones. (Calle, 2018)

“Las respuestas no necesariamente deben identificar las causas, pero si hacen posible que los involucrados implementen medidas de prevención al detectar un riesgo inminente”. (Escuela Europea de Excelencia, 2017)

Una de sus ventajas es que permite realizar una revisión exhaustiva de una gran variedad de riesgos.

- d) *Experiencia previa de los participantes y de otros proyectos*;
- e) *Ensayos y modelización*;

Según el PMBOK, el proceso de identificación de riesgos parte de una serie planes y documentos, a fin de analizar y disponer de la información. Tal y como se puede apreciar en el gráfico, los planes y documentos aparecen en la columna de entrada. A partir de estos se analizará la información mediante una serie de herramientas y técnicas. Y finalmente, solo queda que el equipo de proyecto realice el registro de riesgos.

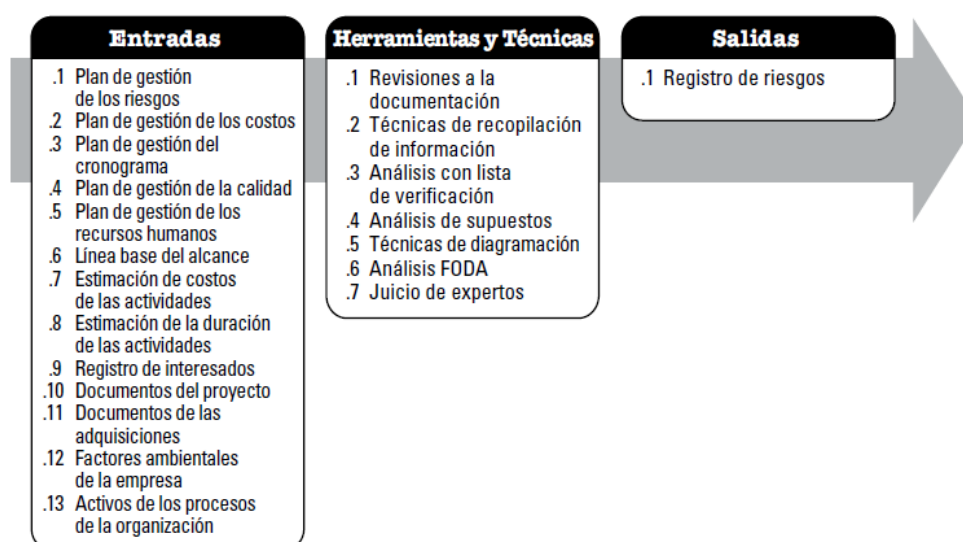


Figura 37.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en la identificación de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

El principal resultado de este proceso será el **Registro de riesgos**, en el cual se registran los resultados del análisis de riesgos y de la planificación de la respuesta a estos. El contenido de dicho registro puede ser:

1. Lista de riesgos identificados
2. Lista de respuestas potenciales

4.6.3 Evaluación de riesgos

“Su finalidad es medir y priorizar los riesgos identificados para una acción posterior. La evaluación de riesgos incluye estimar la **probabilidad de la ocurrencia** de cada riesgo identificado y la correspondiente **consecuencia en los objetivos** del proyecto, si el riesgo ocurre” (Terrados & Hermoso, 2017).

En una fase posterior, se priorizan los riesgos de acuerdo con esta evaluación, considerando otros factores, como los plazos y la tolerancia al riesgo de las principales partes interesadas.

Cuando los enfoques frente al riesgo dan lugar a la introducción de posibles desviaciones en la evaluación de los riesgos identificados, debe ponerse especial atención en la identificación de dichos sesgos y en su corrección mediante la definición de niveles de probabilidad y de impacto, para así reducir la influencia de estos. Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta, es la criticidad temporal de las acciones relacionadas con los riesgos (puede magnificar la importancia de un riesgo) y la evaluación de la calidad de la información sobre los riesgos. (Vilar, 2015)

Se puede utilizar un análisis cualitativo o un análisis cuantitativo, y el resultado de este proceso serán los riesgos priorizados. Por regla general, primero se hace un análisis cualitativo y después si se puede y es necesario, se haría un análisis cuantitativo, ya que muchas veces no se puede hacer por falta de datos para desarrollar los modelos.

4.6.3.1 Análisis cualitativo de riesgos

Consiste en priorizar los riesgos para realizar otros análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos. Su objetivo es disminuir el nivel de incertidumbre y enfocarse en los riesgos de mayor prioridad.

El proceso de análisis cualitativo de riesgos se realiza durante todo el ciclo de vida del proyecto, definiéndose en el plan de gestión de los riesgos del mismo. Mediante este análisis se puede llegar a dos vías que serían planificar directamente las respuestas a los riesgos expuestos o sentar las bases para un posterior análisis cuantitativo de los riesgos.

Se evalúa la prioridad de los riesgos identificados usando la probabilidad relativa de ocurrencia, el impacto correspondiente sobre los objetivos del proyecto, así como otros factores, tales como el plazo de respuesta y la tolerancia al riesgo por parte de la organización, relacionados con restricciones del proyecto en términos de coste, cronograma, alcance y calidad.

Las técnicas habituales para dicho análisis son:

- **Matriz de Riesgos (matriz de probabilidad e impacto):** Suele ser la herramienta más utilizada. En ella se combinan la probabilidad del riesgo y el impacto previsto para obtener una clasificación priorizada de los riesgos, obteniendo así la importancia de cada riesgo y por ende su prioridad, clasificando a los riesgos con una prioridad baja, media o alta. Es un medio rápido y económico de establecer prioridades para la planificación de la respuesta a los riesgos y sienta las bases para realizar el análisis cuantitativo de riesgos, si se requiere. También pueden ser utilizados términos descriptivos o valores numéricos.

Impacto	Alto	Considerar	Planificar Respuesta	Planificar Respuesta
	Medio	Desatender pero monitorizar	Considerar	Planificar Respuesta
	Bajo	Desatender pero monitorizar	Desatender pero monitorizar	Considerar
		Baja	Media	Alta
		Probabilidad		

Para elaborar la Matriz de Riesgos se utilizan habitualmente escalas de evaluación. Estas escalas de evaluación pueden ser específicas para cada proyecto, pero muchas organizaciones utilizan un conjunto de escalas "estándar" para todos los proyectos (Terrados & Hermoso, 2017).

Figura 38.- Matriz de riesgos

(Fuente: Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de proyectos)

- **Evaluación de Probabilidad e Impacto de los riesgos:** En primer lugar, se centra en la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo concreto mientras que la evaluación del impacto de los riesgos se centra en el efecto potencial de los mismos tanto positivos como negativos, a través de entrevistas o reuniones con expertos. Los riesgos con una baja calificación en cuanto a ambos factores de estudio serán archivados para futuro control o monitorización (Cifuentes Alvarez, 2017).

Riesgo \ Impacto	Muy Bajo 0,05	Bajo 0,10	Moderado 0,20	Alto 0,40	Muy Alto 0,80
Exceso de costos (\$)	< 1%	1%-5%	5% - 10%	10% - 20%	> 20%
Exceso de plazos (días de exceso)	< 2	3 - 5	6 - 15	16 - 30	> 30
Mala calidad (fallas cada 10.000)	< 5	6-10	11-20	21-40	> 40

Figura 39.- Evaluación de probabilidad e impacto.

(Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91124/fichero/Rosal%C3%AD+Cifuentes+Alvarez+TFG.pdf>)

- **Evaluación de la calidad de los datos sobre riesgos:** Técnica que evalúa la calidad, fiabilidad, exactitud y entendimiento de los datos proporcionados sobre los riesgos para poder llevar una correcta gestión de los mismos en una etapa posterior.

- **Categorización de riesgos:** Extrae que áreas están más expuestas a la incertidumbre del riesgo y la manera de desarrollar las mismas de manera eficaz frente al riesgo.
- **Evaluación de urgencia de los riesgos:** Prioriza aquellos riesgos que necesitan una atención más urgente e inmediata. Para conseguirlo se combina la evaluación de urgencia con la calificación obtenida mediante la matriz de probabilidad e impacto para obtener una calificación final severa del riesgo.
- **Juicio de expertos:** Evalúan la probabilidad y el impacto de cada riesgo, determinando así su posición dentro de la matriz de riesgos.

A modo resumen, las entradas, salidas y herramientas de este proceso son:

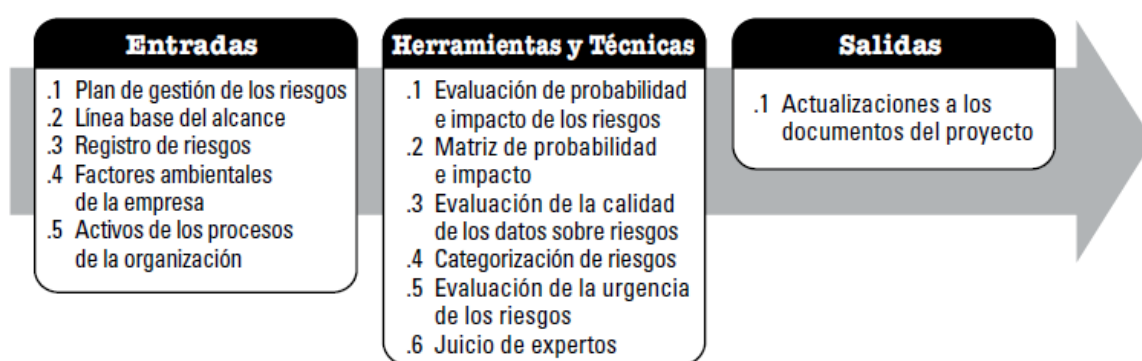


Figura 40.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el análisis cualitativo de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

4.6.3.2 Análisis cuantitativo de riesgos

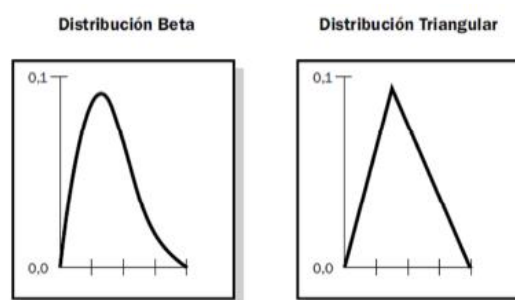
Consiste en analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto. Se suele aplicar a los riesgos priorizados mediante el proceso de Análisis Cualitativo. Se emplea para evaluar el efecto acumulativo de todos los riesgos.

Como ya se ha comentado en el epígrafe anterior, en algunos casos este paso no será necesario de llevar a cabo, siendo suficiente únicamente realizar el análisis cualitativo.

Las técnicas más habituales son (PMI, 2013):

- **Técnicas de recopilación y representación de datos:**
 - a) *Entrevistas:* El elemento principal en ellas es la experiencia y los datos históricos para poder cuantificar el impacto y probabilidad de los riesgos objeto de estudio. La información que se vaya a recoger depende del tipo de distribución de probabilidad que posteriormente se vaya a utilizar.
 - b) *Distribuciones de probabilidad:* Se utilizan para ello distribuciones matemáticas de probabilidad en el modelado y la simulación, para representar la incertidumbre de diferentes valores. Las distribuciones discretas pueden

representar eventos inciertos o dudosos, las distribuciones uniformes se pueden emplear en aquellos casos que no hay un valor obvio (por ejemplo, en las etapas iniciales de diseño) más probable dentro de los límites especificados y las distribuciones continuas son las más utilizadas



Las distribuciones beta y triangular se utilizan frecuentemente en el análisis cuantitativo de riesgos. Los datos mostrados en la parte izquierda del gráfico (Distribución Beta) son un ejemplo de una familia de dichas distribuciones, determinada por dos "parámetros de forma". Otros tipos de distribuciones comúnmente utilizadas son la distribución uniforme, la normal y la lognormal. En estos diagramas, los ejes horizontales (X) representan los valores posibles de tiempo o costo, y los ejes verticales (Y) representan la probabilidad relativa.

Figura 41.- PMBOK: Ejemplos de distribuciones de probabilidad.

(Fuente: PMBOK)

▪ **Técnicas de Análisis cuantitativo de riesgos y de modelado**

- a) *Análisis de sensibilidad*: Determina los riesgos que tienen el mayor impacto potencial en el proyecto. Se utiliza para entender la correlación entre las variaciones en los objetivos del proyecto y las variaciones en las diferentes incertidumbres del mismo. Una de sus características principales se basa en que evalúa el grado en que la incertidumbre de cada elemento del proyecto afecta al objetivo que se está estudiando cuando todos los demás elementos inciertos son mantenidos en sus valores de línea base. Una representación típica del análisis de sensibilidad es el **diagrama con forma de tornado**.
- b) *Análisis del valor monetario esperado (EMV)*: Se basa en un concepto estadístico que calcula el resultado promedio cuando en el escenario aparecen elementos bajo incertidumbre. El EMV de las amenazas se suele presentar con valores negativos y el de las oportunidades con valores positivos. Requiere un supuesto de neutralidad del riesgo y se calcula multiplicando el valor de cada posible resultado por su probabilidad de ocurrencia y sumando luego los resultados
- c) *Modelado y simulación*: Mediante la técnica **Monte Carlo** emplea un modelo que traduce las incertidumbres detalladas especificadas para el proyecto en su impacto potencial sobre los objetivos del mismo. El modelo se calcula muchas veces, a través de diferentes iteraciones, donde son utilizados los valores de entrada que son seleccionados al azar para cada iteración a partir de las distribuciones de probabilidad para estas variables.
- d) *Árbol de decisiones*: Dado un conjunto de datos se fabrican diagramas de construcciones lógicas, muy similares a los sistemas de predicción basados en reglas, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva, para la resolución de un problema.

▪ Juicio de expertos

En el análisis cuantitativo su función suele ser la de identificar los impactos potenciales sobre el coste y el cronograma, para evaluar la probabilidad y definir las entradas tales como las distribuciones de probabilidad a las herramientas. El juicio de expertos también actúa para la interpretación de los datos.

El resultado del análisis cuantitativo permitirá **actualizar el registro de riesgos** incluyendo la información sobre el impacto del riesgo (IR).

A modo resumen, las entradas, salidas y herramientas de este proceso son:

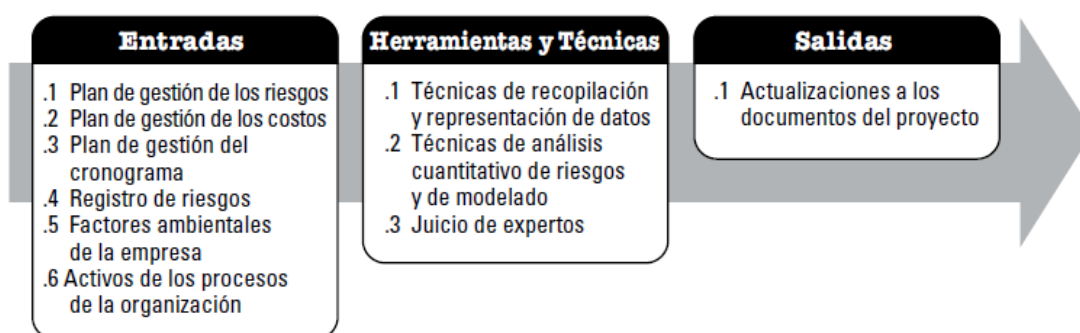


Figura 42.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el análisis cuantitativo de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

4.6.4 Tratamiento de riesgos. Planificación de la respuesta

“Esta etapa consiste en **desarrollar opciones y determinar las acciones a realizar para dar respuesta a los riesgos**, mejorando las oportunidades y reduciendo las amenazas hacia los objetivos del proyecto”.

Este proceso trata los riesgos mediante la incorporación de recursos y actividades en el presupuesto y en el cronograma. El tratamiento debería ser adecuado al riesgo, eficaz en costo, oportuno, realista dentro del contexto del proyecto, comprendido por todas las partes interesadas y asignado a una persona adecuada para llevarlo a cabo.

Para planificar la respuesta a los riesgos, partimos de los documentos obtenidos en el análisis de riesgos, que han sido comentados anteriormente y son los siguientes:

- ❖ Plan de gestión de riesgos.
- ❖ Registro de riesgos.

En la siguiente imagen se muestra el proceso de tratamiento de riesgos según indica el PMBOK:

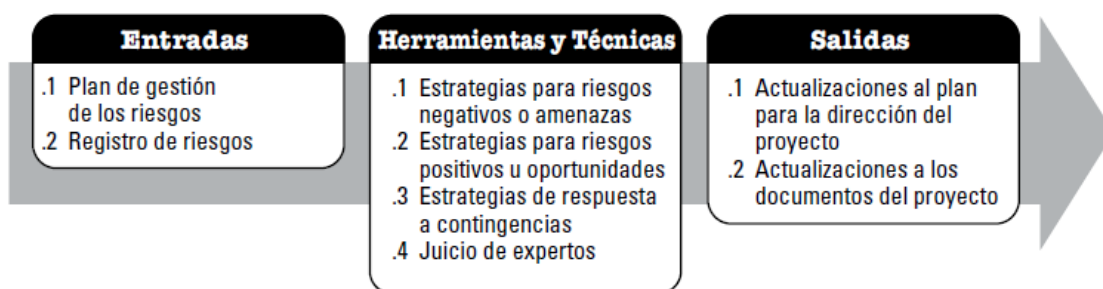


Figura 43.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el tratamiento de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

Las estrategias utilizadas para el tratamiento de riesgos son (Terrados & Hermoso, 2017):

- **Evitar / Eliminar:** En esta situación la actuación va encaminada a eliminar la amenaza o para proteger (evitar) al proyecto del impacto del riesgo. Normalmente, implica cambiar el plan para la dirección del proyecto, a fin de eliminar por completo la amenaza. También se puede aislar los objetivos del proyecto del impacto del riesgo o cambiar el objetivo que se encuentra amenazado. Es una estrategia eficaz para riesgos críticos de alto impacto.

Algunos ejemplos de eliminación pueden ser: Limitar las bajas excesivas en los concursos, evitar soluciones técnicas no probadas o validadas, definir pre-contratos, mejorar los estudios técnicos y económicos del proyecto, etc.

- **Reducir / Mitigar:** Sirve para reducir la probabilidad de ocurrencia o impacto de un riesgo; de forma general, implica reducir a un umbral aceptable la probabilidad y/o el impacto del riesgo negativo. Por regla general, siempre suele ser más eficaz adoptar acciones tempranas para reducir la probabilidad y/o impacto que reparar el daño en sí. Es una estrategia eficaz para riesgos de bajo impacto global.

Ejemplos de mitigación pueden ser: Adoptar procesos menos complejos, realizar más pruebas, seleccionar un proveedor más fiable, vigilancia continua, formación y educación a los departamentos involucrados, etc.

- **Transferir:** Se traslada el impacto de una amenaza a un tercero (se traslada la responsabilidad de la gestión), junto con la responsabilidad de la respuesta, pero no se elimina el riesgo. Casi siempre implica el pago de una prima de riesgo a la parte que asume el riesgo y se suele realizar mediante un contrato formal. Esta acción es más eficaz cuando se trata de la exposición a riesgos financieros y para riesgos críticos de alto impacto.

Las herramientas de transferencia pueden ser: seguros, garantías de cumplimiento, fianzas, certificados de garantía, etc. Se pueden utilizar contratos o acuerdos.

Como ejemplos tenemos, entre otros: Subcontratación de procesos de riesgo, establecimiento de seguros para determinadas actividades, uso de garantías, transferencia del riesgo mediante avisos / contratos, etc.

- **Aceptar / Retener:** Se reconoce el riesgo y se decide no tomar ninguna medida hasta que el riesgo se materialice. Esta estrategia se adopta cuando no es posible ni rentable tomar medidas ante el riesgo, es decir, abordar un riesgo específico de otra manera.

Esta estrategia puede ser pasiva o activa. La aceptación pasiva no requiere ninguna acción, pero es una actitud negligente y consiste en documentar la estrategia para abordarla cuando se presente y revisar periódicamente la amenaza.

La estrategia de aceptación activa consiste en preparar un plan de contingencia y una reserva para contingencias que incluya la cantidad de recursos necesarios para manejar dichos riesgos.

Ejemplos: Planes de contingencia, fondos de contingencia, personal de reserva, etc.

Todas estas estrategias entran dentro del marco de estrategias para riesgos negativos (amenazas), que realmente son en los que se va a centrar este trabajo fin de máster.

Aunque es interesante, exponer brevemente que para el caso de los riesgos positivos (**oportunidades**) existen también 4 estrategias para tratar los impactos que estos producen sobre los objetivos del proyecto. Las estrategias serían las siguientes (Vilar, 2015):

- **Explotar:** Su función es asegurar que la oportunidad se haga realidad; para ello se elimina la incertidumbre de manera que la oportunidad se concrete.
- **Mejorar:** Permite aumentar la probabilidad de ocurrencia y/o los impactos positivos.
- **Compartir:** Implica asignar parte o toda la propiedad de la oportunidad a un tercero más capacitado para obtener la oportunidad en beneficio del proyecto.
- **Aceptar:** Consiste en aprovechar la oportunidad si se presenta, pero sin buscarla.

4.6.5 Control de riesgos

La finalidad es minimizar los trastornos al proyecto, determinando si las respuestas a los riesgos han sido ejecutadas y si éstas han logrado el efecto deseado.

Para tener un buen control de los riesgos hay que realizar un seguimiento de los riesgos identificados, identificando y analizando nuevos riesgos, siguiendo las condiciones provocadas por los planes de contingencia y revisando el progreso de las respuestas a los riesgos, mientras se evalúa su efectividad.

El objetivo principal es optimizar de una manera continua la respuesta a los riesgos a través de una mejora de la eficiencia del enfoque de la gestión de riesgos durante todo

el ciclo de vida del proyecto. Los riesgos del proyecto de estudio se deben estar evaluando durante todo el ciclo de vida del mismo, cuando se alcanza un hito o cuando surge un nuevo riesgo. Este proceso puede implicar la realización de un plan de contingencia o de reserva, la ejecución de acciones correctivas, la elección de estrategias alternativas y la transformación del plan para la dirección del proyecto.

Las técnicas y herramientas más utilizadas son:

- **Revaluación de los Riesgos:** Es una tarea periódica que puede ocasionar la aparición de nuevos riesgos, revaluación de los riesgos actuales y el cierre de riesgos obsoletos (Cifuentes Alvarez, 2017).
- **Auditorías de riesgos:** Estudian cual ha sido la eficacia de respuesta a los riesgos identificados en particular y la eficacia del proceso de gestión en general (Vilar, 2015).
- **Análisis de Reservas:** Se contrasta la cantidad de reservas para contingencias con la cantidad de riesgo en un momento dado del proyecto para saber si la reserva restante es suficiente.
- **Análisis de variación y tendencias:** Compara los resultados obtenidos con los planificados y suele servir para realizar un pronóstico de posibles desviaciones del proyecto en objetivos y costos.
- **Medición del desempeño técnico:** Compara los logros técnicos durante la ejecución del proyecto con el cronograma de logros técnicos y así poder identificar posibles desviaciones.
- **Reuniones:** En las reuniones periódicas sobre el estado del proyecto la gestión de los riesgos del proyecto debe ser un punto del orden del día. El tiempo necesario que se empleará para tratar este asunto dependerá de los riesgos que se hayan identificado, de su prioridad y de la dificultad de respuesta.

Los resultados de este proceso serán las **solicitudes de cambio** y las **acciones correctivas**.

A modo de resumen, las entradas, salidas y herramientas utilizadas en el control de riesgos son:



Figura 44.- Entradas, herramientas, técnicas y salidas en el control de riesgos.

(Fuente: PMBOK)

5. ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES ACTUALES DE LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS INDUSTRIALES

Debido a que, en los últimos años, parte de la industria se ha visto gravemente afectada por importantes accidentes, crisis y desastres naturales, son muchas y cada vez más, las aplicaciones industriales que incorporan un plan de gestión de riesgos en su desarrollo, ya que estos incidentes negativos tienen un gran impacto en la economía.

Por ejemplo, el 17 de marzo del 2000, la compañía Ericsson perdió un total de 400 millones de euros después de que se produjera un incendio en una de sus plantas de fabricación de semiconductores en Albuquerque. Aunque el incendio sólo duró 10 minutos, la contaminación que produjo en la “sala limpia” (donde se fabrican los semiconductores) motivó el cierre de la planta durante bastantes semanas. En aquella época, tanto Nokia como Ericsson utilizaban microchips producidos en esa planta. Sin embargo, mientras Nokia fue capaz de trasladar su suministro a otras plantas de Phillips, así como a otros suministradores americanos y japoneses, Ericsson quedó atrapada por su dependencia exclusiva de la planta de Albuquerque. Las pérdidas que sufrieron en ventas y la caída en su cuota de mercado en los meses siguientes motivaron que Ericsson se retirara del mercado de los teléfonos móviles en 2001. (Esparcia, 2011)

En el siguiente párrafo se van a exponer una serie de ejemplos. En 1999, Apple sufrió pérdidas debido a un terremoto ocasionado en Taiwán. Otro de los mayores desastres industriales, fue en Texas en el año 2005, cuando el petróleo británico perdió más de 1,5 mil millones de dólares después de la explosión de su refinería. En 2011 en Japón, el impacto del terremoto y tsunami causó en la producción industrial un impacto bastante alto. La rotura de las cadenas de producción es uno de los principales medios de transmisión para la caída en la economía japonesa. En 2010 se produjo el hundimiento de la plataforma petrolera “Deepwater Horizon” de BP provocando el más importante vertido de petróleo de la historia (779.000 toneladas aproximadamente). En 2012 también tuvo lugar la explosión de gas de Reynosa de PEMEX con un saldo de alrededor de 30 fatalidades.

Es por ejemplos como estos, que la evaluación de los riesgos es un tema de investigación importante, ya que los riesgos siempre han estado presentes en la industria.

Tal y como se ha comentado ya en el capítulo anterior, se encuentran varios métodos en la gestión de riesgos, los cuales pueden dividirse en dos enfoques, el enfoque determinista (análisis cualitativo, cuantitativo y técnicas híbridas) y el enfoque estocástico (enfoque estadístico clásico y el modelo de pronóstico de accidentes). Las herramientas más utilizadas en el ámbito industrial para la gestión de riesgos son entre otras, las Listas de verificación, Y si...?, Análisis funcional de operabilidad (HAZOP), Cuantificar la evaluación de Riesgos (QRA), Análisis de riesgo crítico y error (CREA), análisis de árbol de fallas (FTA), análisis de árbol de eventos (ETA), análisis modal de fallos y efectos (FMEA), Distribución de probabilidad de falla y confiabilidad (PDEA), redes de Petri, redes bayesianas, etc. (Ennouri,W., 2013).

Otra clasificación interesante, puede ser aquella que clasifica las herramientas más usadas dependiendo de la fase de ingeniería en la que se encuentre el proyecto de estudio en el proceso industrial. En la siguiente tabla se muestra una tabla con las distintas fases y sus metodologías más utilizadas (Inerco, 2018).

Fase del proyecto	Metodología análisis de riesgos	Resultados esperados
Ingeniería conceptual	HAZID CHECKLIST WHAT IF	-Orientación para la selección del proceso. -Detectar peligros inaceptables del proceso. -Ayuda para el diseño del proceso. -Identificar modificaciones fundamentales en el proceso que reduzcan el nivel de riesgo.
Ingeniería básica	HAZID CHECKLIST WHAT IF FMEA HAZOP	-Identificar con mayor detalle peligros en el proceso seleccionado y en el diseño propuesto; riesgos asociados a la localización geográfica; riesgos sobre equipos especiales o críticos en el proceso.
Ingeniería de detalle	CHECKLIST WHAT IF FMEA HAZOP SIL/VERIFICACIÓN Y SRS QRA FHA o EAC RAMS EERA SVA	-Identificar todas las situaciones de peligro en el proceso, valorando los riesgos asociados. -Detectar aspectos de la operación no contemplados inicialmente. -Ayudar a establecer los procedimientos de operación, comisionado y puesta en marcha.
Plantas de operación	CHECKLIST HAZOP SIL/VERIFICACIÓN Y SRS QRA FHA o EAC RAMS EERA SVA	-Garantizar la operación y que la información sobre calidad, requisitos legales, seguridad de proceso y procedimientos operativos es completa y está actualizada. -Incorporar las lecciones aprendidas en accidentes o incidentes recientes y valorar la incorporación de nuevos equipos, sistemas y tecnologías que mejoren los niveles de seguridad.

Tabla 12. Herramientas más utilizadas en función de la fase de ingeniería.

(Fuente: Elaboración propia)

Por ejemplo, para estudiar el impacto de los riesgos de interrupción en el proceso de gestión de inventario para un “modelo del vendedor de periódicos” (modelo matemático utilizado para determinar los niveles óptimos para el control de los inventarios), Xanthopoulos et al. desarrollaron un modelo estocástico. (Xanthopoulos A., Vlachos D., & Lakovou E., 2012), el cual fue el primero en unir el análisis de inventario con la gestión de riesgos.

En el año 2013, se utilizó el método QRA para analizar la probabilidad de accidentes y su impacto en una red de tuberías urbanas en China. (Ma L, 2013). En el mismo año también

fue usado este método para cuantificar el riesgo de fugas de productos químicos peligrosos y poder tomar precauciones ante sus causas y para evaluar de manera cuantitativa el almacenamiento en un tanque de almacenamiento en una empresa China (*Changshow chemical Industry*). Estos ejemplos justifican el uso del método QRA en cadenas de suministros de la industria farmacéutica y en redes de transporte por tuberías (agua, petróleo, gas) (Ennouri,W., 2013).

Lavastre et al. (Lavastre O, 2012) afirmó que el proceso de gestión de riesgos en la cadena de suministro (SCRM), que no es más que la implementación de estrategias para gestionar tanto los riesgos cotidianos como los excepcionales a lo largo de la cadena de suministro basados en la evaluación continua de riesgos, debe estar estrechamente relacionado con las realidades estratégicas y operativas de la empresa. Para ello utilizaron una metodología híbrida basada en entrevistar cara a cara, cuestionarios y análisis estadísticos. Realizaron un análisis empírico a 142 gerentes generales, de logística y de suministro en 50 empresas francesas diferentes.

Otra herramienta que ha sido utilizada por una empresa turca es el FAHP, usada para determinar los riesgos más importantes en la cadena de suministro y las estrategias necesarias para la gestión de los mismos en la industria del hierro y el acero. Los resultados de la investigación concluyeron que los riesgos de suministro y operativos son más importantes comparados con los ambientales (Ennouri,W., 2013).

La red de Petri también ha sido utilizada en aplicaciones logísticas debido a su simplicidad respecto a otros métodos. Por ejemplo, se ha utilizado para incorporar factores de riesgo en proyectos de planificación de recursos empresariales (ERP) y así tratar el problema de la interdependencia en la evaluación de los riesgos. También se ha utilizado esta herramienta para entender la diseminación de las interrupciones y rastrear el desempeño operacional de una cadena de suministro (Ennouri,W., 2013).

En 2012, la red bayesiana se utilizó en China para darle prioridad a aquellos factores que influyen en el transporte de materiales peligrosos, para ello se analizaron 94 casos de accidentes en transporte peligroso y encontraron que los 3 factores de mayor influencia fueron el factor humano, el vehículo e instalaciones de transporte y el embalaje y la carga de material peligroso.

Dentro de los riesgos del factor humano, se volvió a utilizar la red bayesiana para identificar las causas más probables del error humano (Ennouri,W., 2013).

La red bayesiana también se ha utilizado en las centrales nucleares españolas, proporcionando una metodología para identificar posibles estrategias para mejorar la seguridad.

Otra de las aplicaciones actuales de la gestión de riesgos ha sido en la predicción de la ocurrencia de accidentes de tráfico, Deublein et al. (Deublein, 2013) utilizó una metodología novedosa basada en la combinación de tres métodos estadísticos (actualización gamma de la incidencia de accidentes con lesiones y usuarios de la carretera lesionados, análisis de regresión de Poisson-Lognormal multivariante jerárquico y algoritmos de inferencia bayesianos). Uno de los estudios se realizó con la red de autopistas rurales de Austria.

Otro sector de la industria donde también se ha hecho uso de la gestión de riesgos, ha sido el sector de la minería. En Colombia se combinaron las metodologías MADS/MOSAR (Modelo de Análisis de Disfunciones del Sistema / Método Organizado y Análisis de

Riesgo Sistémico) además del árbol de fallas. El resultado del análisis obtenido fue útil para mejorar las barreras legislativas y normativas de riesgo (Ennouri,W., 2013).

En el sector de la logística el método más utilizado es el FMEA, ya que sirve para definir, identificar y eliminar fallos o problemas potenciales en productos, diseño, proceso y servicios.

Dentro del campo de la producción de petróleo y gas, empresas como Repsol han implementado la tecnología “Bow Tie” para analizar MAH (Major Accident Hazard), la cual es una técnica cualitativa de análisis y evaluación de riesgos, utilizada como soporte para la demostración ALARP (As Low As Reasonable Practice) de los MAH. El criterio de riesgos ALARP se adopta para marcar el punto en que la reducción de riesgos ha sido suficiente. La técnica Bow Tie es aplicada a los activos durante todo el ciclo de vida (prospecciones sísmicas, perforación, desarrollo, producción y abandono) y los diferentes proyectos relacionados con el negocio (Manga, 2018).

En la industria automovilística los riesgos en la cadena de suministros pueden llevar a pérdidas que llegan al 5% de los ingresos anuales. Las herramientas de la industria automotriz son un conjunto de procesos desarrollados conjuntamente por las compañías más representativas del sector, como son por Ford Company, General Motors Company, Chrysler, etc.

Las técnicas más utilizadas son: “Planeación Avanzada de la calidad del producto” (APQP) la cual se trata de un proceso definido para un sistema de desarrollo de productos. Según AIAG (Automotive Industry Action Group), el propósito del APQP es producir un plan de calidad del producto que apoye el desarrollo de un producto; “Análisis modal fallos y efectos (AMFE)”, “Planes de control”, “Proceso de aprobación de Partes de producción (PPAP)” que se utiliza en la cadena de suministro para establecer la confianza de los componentes y procesos de producción de los proveedores principalmente, “indicadores de desempeño”, etc. (Franco Hernández, 2016)

Otro sector importante de la industrial en el ámbito de la gestión de riesgos, es el sector químico. Uno de los métodos más comunes utilizados es el “COSHH Essentials”, el cual es un método cualitativo de *Control Banding* enfocado a la gestión y control de riesgos, que permite determinar cuál es la medida de control más adecuada a cada operación y de este modo reducir el riesgo de exposición por inhalación a un nivel aceptable; fue publicado en 1999 por el *Health and Safety Executive* (HSE) para dar asesoramiento práctico y fiable, principalmente a pequeñas y medianas empresas (INSHT, 2017).

Otro de los métodos que se utilizan es el “Método INRS” (Metodología de evaluación simplificada del riesgo químico) y fue desarrollado en Francia para ayudar a las empresas a la gestión del riesgo químico dada la gran cantidad y variedad de productos utilizados y la dificultad que presenta evaluar todas y cada una de ellas. Una metodología de evaluación simplificada de riesgo químico es la adaptación del INSHT al método del INRS. Otras metodologías más específicas pueden ser “Stoffenmanager” desarrollado para la evaluación cualitativa del riesgo de exposición por inhalación durante la manipulación de líquidos (ya sean volátiles o no) y de polvo, ILO-International Chemical Control Toolkit, EMKG-Easy to Use BAuA (Alemania), NIOSH Occupational Exposure Banding(Estados Unidos), Regetox (Bélgica), SQRA Semiquantitative Risk Assessment (Singapur), etc (INSHT, 2017).

Respecto a la industria energética, una de las herramientas habituales para la gestión de riesgos operacionales es la transferencia del riesgo por medio de seguros, existiendo diferentes modelos de seguros, siendo el más habitual el basado en una aseguradora cautiva. Este modelo se basa en la concentración del riesgo de una compañía, normalmente de carácter multinacional, en una sociedad del grupo que proporcione aseguramiento a sus actividades, determinando el nivel de riesgo que se debe retener en la cautiva (Management Solution, 2014).

Un caso de interés fue el aplicado a la corporación griega de energía eléctrica pública. Se implementó un proceso estocástico y determinista (método STODET) y fue considerado como una mejora en las técnicas de evaluación de riesgos debido a la presentación de una nueva técnica completa de evaluación de riesgos combinada con datos reales de eventos no deseados y accidentes.

Por último, por hacer referencia a la temática de este trabajo. En el año 2016 la Universidad politécnica de Cartagena desarrollo un artículo sobre la identificación de riesgos en Instalaciones fotovoltaicas mediante la toma de decisión Multicriterio. Se obtuvo como conclusión que aplicando métodos de toma de decisión multicriterio en la gestión de proyectos se pueden identificar los riesgos con probabilidad de ocurrencia que afectan a la inversión en cualquier instalación de energía renovable. Para la identificación de los riesgos utilizaron la técnica Delphi y Listas de verificación. A continuación, realizaron un diagrama de pescado y por último un análisis DAFO. Finalmente, para identificar los riesgos directamente y obtener un coeficiente de importancia se realizó la evaluación de juicios con el método Proceso Analítico Jerárquico (AHP) por su sencillez y robustez a la hora de resolver un problema planteado (Guerrero-Liquet, 2016).

A través del proceso AHP se pudieron identificar los dos riesgos principales que más pueden afectar a la rentabilidad del proyecto. Concretamente se trata de un criterio perteneciente a la categoría de riesgos técnicos (falta de mantenimiento) y otro de tipo financiero (cambios en el marco legislativo) (Guerrero-Liquet, 2016).

Como ya se ha visto, es cada vez más habitual el uso de diferentes técnicas o herramientas para la Gestión de Riesgos en el Proyecto, obteniendo por tanto importantes beneficios en todo el proceso.

Respecto al uso o seguimiento de Normas, en particular para la Norma ISO 21500 y la norma UNE-EN 62198, no se ha encontrado uan gran variedad de información bibliográfica, y más usada como aplicación para proyectos de tipo industrial, es decir, exposición de casos prácticos en las que se usen dichas normas y estén documentados. Es por ello, una de las razones por las que este trabajo se basa en el uso de dichas normas.

En referencia a la Norma ISO 21500, se ha encontrado proyectos en los que la utilizan como guía para la elaboración de los mismos. Por ejemplo, se ha encontrado un proyecto final de carrera realizado en la Universidad Politécnica de Barcelona en el que se estudia y analiza detalladamente la norma ISO 21500, la compara con el PMBOK y por último incluye un caso práctico en el que se implementan todos los procesos que contiene la Norma, facilitando así su comprensión y aplicación (Fernández González, 2014).

6. APLICACIÓN A LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En este apartado se va a exponer resumidamente los puntos clave respecto a la energía solar fotovoltaica, como son la definición de este tipo de energía, las principales ventajas e inconvenientes que presenta y el papel que desempeña este tipo de energía renovable en España.

Una vez hecha esta pequeña introducción, la siguiente fase consistirá en explicar de forma generalizada, para una instalación solar tipo sobre suelo y con captadores fijos, los procesos de ejecución que hay que seguir para llevarla a cabo, desde la fase inicial de diseño, pasando por los trámites administrativos necesarios, la ejecución de la planta y puesta en marcha y terminando por la fase de explotación de la misma. Por último, se realizarán los pasos establecidos para una correcta gestión de riesgos. Se comenzará por la identificación de riesgos en las distintas fases para posteriormente evaluarlos de una manera cualitativa. Una vez se haya obtenido dicha evaluación o priorización de los riesgos más importantes, se pasará a realizar una respuesta a los riesgos. El último paso consistirá en elaborar un Plan de gestión y control de riesgos de acuerdo a la Norma ISO 21500.

6.1 Energía solar fotovoltaica

6.1.1 ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

“La **energía solar fotovoltaica** es una fuente de energía renovable que produce electricidad, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina”. (Wikipedia, 2018)

Normalmente, el material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio (muy abundante en la naturaleza). Cuando la luz del Sol (fotones) incide en la célula solar, esta genera una corriente eléctrica, la cual se puede aprovechar como fuente de energía.

Es importante conocer que la mayor parte de la energía de la luz solar incidente no se aprovecha por los paneles solares, que podrían dar eficiencias muy superiores si se ilumina con luz monocromática. Dependiendo de la construcción, los módulos fotovoltaicos pueden producir electricidad a partir de una gama concreta de frecuencias de la luz, pero en general no puede cubrir toda la gama solar (en concreto, la luz ultravioleta, infrarroja o difusa). Es por ello que se está utilizando la idea de dividir la luz en diferentes longitudes de onda y dirigir los haces en diferentes células sintonizadas en estos rangos. Esto ha sido proyectado para ser capaz de elevar la eficiencia en un 50% (células multiunión).

Actualmente, la tasa mejor de conversión de la luz solar en energía fotovoltaica en los nuevos productos comerciales consigue una eficiencia del módulo solar de alrededor de 21,5% (solar-energía, 2018).



Figura 45.- Energía solar fotovoltaica.

(Fuente:

<https://www.dropshippingwebs.com>)

La producción de energía puede ser a gran escala para el consumo en general o a pequeña escala para consumo en pequeñas viviendas, sitios aislados, etc. Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- **Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red:** la energía que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución.
- **Instalaciones fotovoltaicas aisladas de red:** se utilizan para autoconsumo.

Este tipo de producción de energía ha aumentado su uso considerablemente gracias a diversos programas de incentivos económicos por parte del gobierno y posteriormente por sistemas de autoconsumo fotovoltaico y balance neto sin subsidios; convirtiéndose a día de hoy en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de las energías hidroeléctrica y eólica. A principios de 2017, se estima que hay instalados en todo el mundo cerca de 300 GW de potencia fotovoltaica. (Wikipedia, 2018)

6.1.2 Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas e inconvenientes de este tipo de energía renovable son:

○ Ventajas

- Energía renovable.
- Gratuita, una vez realizada la instalación no se originan gastos posteriores exceptuando obviamente los necesarios para su mantenimiento.
- No necesita mucho mantenimiento y sus celdas duran décadas. Vida larga de los paneles.
- Resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad, etc.
- No emite ningún tipo de polución durante su funcionamiento, contribuyendo a evitar la emisión de gases invernadero. No consume combustibles fósiles.
- No existe una dependencia de los países productores de combustibles
- El impacto ambiental es nulo: no produce desechos, residuos, ruidos...
- Puede instalarse en zonas rurales, en lugares de bajo consumo y en viviendas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general.
- Posibilidad de vender excedente a la red eléctrica.
- Fácil aumento de la potencia mediante la incorporación de mayor número de paneles.
- Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente.



Figura 46.- Ventajas

○ Inconvenientes

- La técnica de construcción y fabricación de los módulos fotovoltaicos es compleja y cara por lo que necesita una importante inversión inicial.
- Dificultad a la hora de almacenar dicha energía.
- Producción variable según climatología del lugar y época del año. Su instalación debe darse en zonas donde la radiación solar sea mayoritaria, diaria y anualmente.
- Tiene menos rendimiento que otros sistemas de producción de energía.
- Necesidad de gran cantidad de terreno para la colocación de los paneles.
- Su mecánica es más compleja que otros sistemas de aprovechamiento de energías.
- Tiene peligro por las altas temperaturas que alcanza.
- Impacto visual.



Figura 47.- Inconvenientes

6.1.3 Energía solar fotovoltaica en España

España es un país que posee un recurso abundante respecto a la radiación solar, ya que presenta en su territorio zonas con alta irradiación, siendo su situación respecto a otros países de Europa bastante más favorable. España es uno de los países de Europa con mayor irradiación anual dando como resultado que la energía solar sea más rentable que en otros países. “Regiones como el norte de España, que generalmente se consideran poco adecuadas para la energía fotovoltaica, reciben más irradiación anual que la media en Alemania, país que mantiene desde hace años el liderazgo en la promoción de la energía solar fotovoltaica” (Wikipedia, 2018).

El IDAE nos ofrece un mapa de la península en el que nos muestra la misma distribuida por zonas de distintos colores. Cada tipo de zona pertenece a un grado de irradiación media diaria, siendo el gráfico el mostrado a continuación:

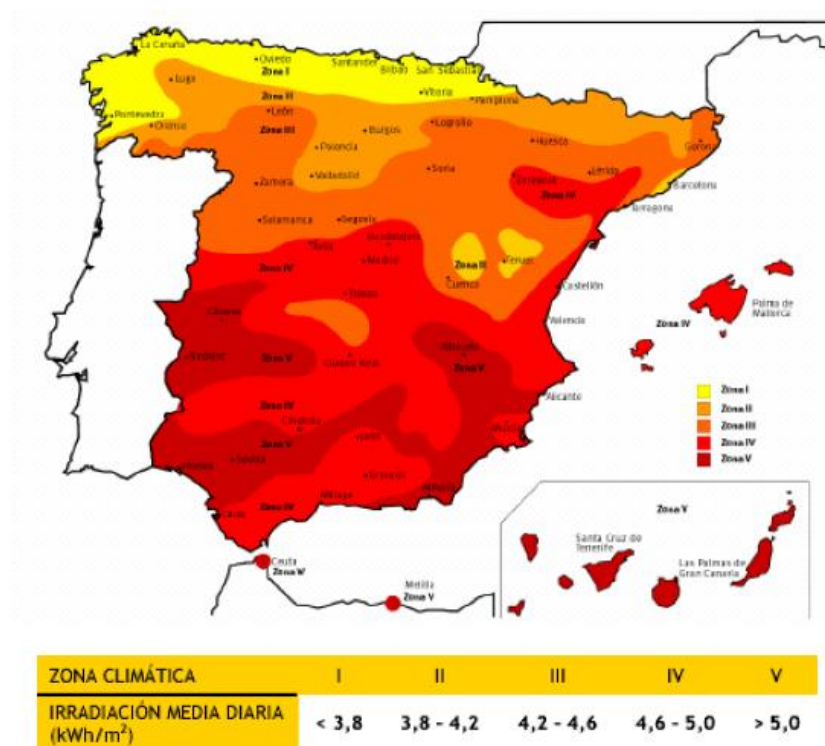


Figura 48.- Irradiación media diaria en la península. IDAE.

(Fuente: IDAE)

Con motivo de alcanzar los objetivos dictados por el Protocolo de Kioto y reforzar la política de energías limpias en España, se elaboró el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010, el cual exponía que aproximadamente el 12,1% de la energía primaria consumida en 2010 sería proporcionada por las energías renovables. Esto supuso una frontera ambiciosa y tuvo que revisarse dicho plan en 2004 y se creó el actual Plan de Fomento de las Energías Renovables 2005-2010. En 2004, el gobierno español eliminó las barreras económicas para la conexión de las energías renovables a la red eléctrica. El Real Decreto 436/2004 igualó las condiciones para su producción a gran escala, y garantizó su venta mediante primas a la generación.

Gracias a esta regulación, y el posterior RD 661/2007, en 2008 España fue uno de los países con más potencia fotovoltaica instalada del mundo (2708 MW instalados en un sólo año). Sin embargo, en los tres años siguientes se disminuyó la construcción de nuevas instalaciones debido a cambios en la legislación. Aun así, en términos de producción energética, la energía solar subió en esos años siendo su producción en 2010 aproximadamente del 2 % de la generación de electricidad, mientras que en 2011 y 2012 representó el 2,9 %, y en 2013 el 3,1 % (Wikipedia, 2018).

En el primer semestre de 2012, el Gobierno español aprobó un Real Decreto Ley por el que se paralizó la instalación de nuevas centrales fotovoltaicas y demás energías renovables.

España se encontraba en la lista de los diez países con mayor capacidad fotovoltaica instalada, pero en 2017 salió de esa lista, siendo ya superada por Corea del Sur y Australia (Wikipedia, 2018).

Ante esta situación, poco después, el Gobierno organizó una subasta que adjudicó más de 3500 MW de nuevas plantas de energía fotovoltaica, que permitirán a España alcanzar los objetivos de generación de energía renovable establecidos por la Unión Europea para 2020. Todos los MW se adjudicaron al máximo descuento, es decir, sin coste para el sistema (no había primas adicionales). La gran bajada de costes de la energía fotovoltaica ha permitido que grandes empresas hayan licitado a precio de mercado (Monforte, 2017).

6.2 Estudio de los procesos de ejecución de la instalación

6.2.1 Elementos principales planta solar fotovoltaica

En primer lugar, se va a hacer mención a los elementos más importantes de los que está compuesta una planta solar fotovoltaica. En nuestro caso de estudio se trata de una planta con módulos solares de captación fija.

Los elementos más destacados en la instalación de la planta solar son:

- Generador fotovoltaico.
- Estructura de soporte de las placas
- Inversores.
- Elementos para la monitorización.
- Equipo de medida.
- Caja general de protección.
- Puesta a tierra.
- Cableado e interconexión.
- Acometida eléctrica.
- Instalación de enlace.

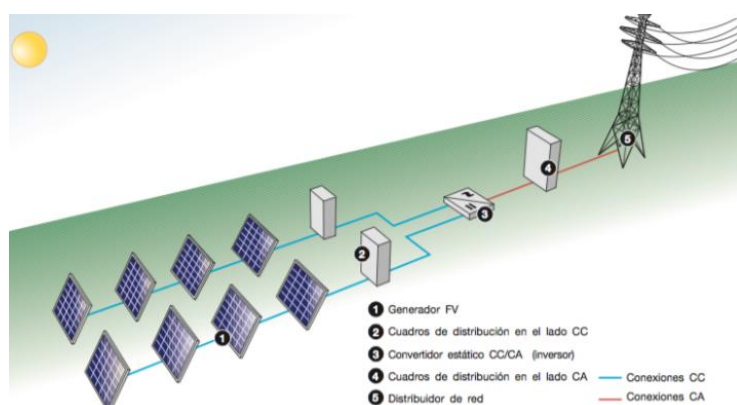


Figura 49.- Elementos principales planta solar fotovoltaica conectada a red.

(Fuente: <https://globalelectricity.wordpress.com>)

6.2.2 Proceso de ejecución planta solar fotovoltaica

Este apartado se va a dedicar a explicar de forma concisa los pasos a seguir para la implantación o ejecución de una planta solar fotovoltaica compuesta por captadores solares fijos, desde la fase de diseño hasta la fase de explotación de la misma.

No se va a entrar en detalles técnicos, ya que la finalidad de este trabajo no es realizar el proyecto de la instalación, sino centrarnos en los riesgos que implica el diseño, ejecución y explotación de este tipo de instalaciones en general. Es por ello que para obtener los riesgos a los que se puede ver expuesto el proceso, hay que explicar de una forma general las fases habituales de las que está compuesto el mismo y los pasos más importantes a seguir en dichas fases.

La etapa de la fase previa e inicial no se han tenido en cuenta en la valoración de los riesgos en este trabajo, el estudio de los riesgos se ha realizado desde la etapa de diseño y planificación hasta la fase final de explotación y mantenimiento de la planta.

Es por ello que, aunque estas fases se han incorporado en la tabla final resumen, no van a exponer de forma más detallada en los siguientes apartados.

Otro aspecto a tener en cuenta es que se han puesto todos los trámites administrativos juntos y ordenados, pero hay que tener en cuenta que no todos los trámites administrativos se realizan a la vez ni en la misma fase del proyecto, cada uno tiene su fase y tiempo; se ha hecho así para tener una idea general y conjunta de los trámites más importantes. En la tabla resumen final se pueden ver en qué fase va cada uno.

A continuación, se exponen las fases principales que se han tenido en cuenta para el desarrollo, ejecución y explotación de la instalación.

6.2.2.1 Fase de Diseño y Planificación de la planta fotovoltaica

Antes de pasar a esta fase, se tiene una fase previa donde se suele dar una reunión inicial con el cliente (definición de parámetros básicos) y se realizan diferentes estudios, entre ellos, un estudio técnico (anteproyecto), estudio de mercado, estudio de viabilidad económica, evaluación financiera, etc. para posteriormente tomar la decisión de seguir adelante con el proyecto o no. Si se decide continuar con el proyecto, se pasa a una fase inicial donde se redacta el Documento Técnico Básico y se tramitan varias gestiones como la solicitud de punto de conexión, el aval para el acceso a red y la solicitud de uso del suelo.

En la fase de diseño la actividad principal es la “**Redacción del Proyecto técnico definitivo**”. Este lo elaborará el técnico encargado de esta función y será visado por el Colegio Oficial correspondiente, el cual contemplará toda la información suministrada por la empresa distribuidora y todos los aspectos de la instalación (Fernández González, 2014).

El proyecto técnico tipo de la instalación fotovoltaica estará compuesto por la siguiente estructura documental basada en la Norma **UNE-EN 157001**. “*Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico*”. Esta norma tiene como objetivos establecer aquellos requisitos formales de carácter general en base a los que debe redactarse los proyectos de productos, obras, edificios, instalaciones y servicios. Por tanto, la estructura del proyecto técnico será:

Índice

Memoria

➤ Memoria descriptiva

- Descripción
- Situación de la ubicación
- Datos del cliente
- Datos del autor del proyecto
- Fecha
- Firma (firma del autor y sello de visado colegial)

➤ Memoria técnica instalación fotovoltaica

- Consideraciones generales

- Antecedentes y marco general del proyecto
- Descripción de la instalación (Generador fotovoltaico, Estructuras soportes, Inversor, Línea eléctrica, Protecciones y Puesta a tierra).
- Planificación y cálculos (Consideraciones iniciales, dimensionado eléctrico, estimación producción anual, análisis económico rentabilidad, etc.).

➤ **Memoria técnica sistemas complementarios**

- Consideraciones generales
- Antecedentes y marco general del proyecto
- Dimensionado de la instalación
- Descripción de la instalación
- Planificación de la instalación (capacidad del sistema, número de equipos, etc.)

➤ **Estudio de Seguridad y Salud**

- Objetivo del estudio
- Evaluación de los riesgos
- Planificación prevención

 Anexos

 Planos

Plano de información geográfica, esquema general, esquema unifilar continua, esquema unifilar conexión a red, plano estructura soporte y distancia entre filas y entre pilares de sistemas de seguimiento, esquema de diseño de red y topología de sistemas complementarios, canalizaciones, etc.

 Pliego de condiciones

- Condiciones particulares (Generalidades, equipos, conexión a red, línea eléctrica, protecciones, infraestructuras y sistemas complementarios).
- Condiciones generales (Legislación aplicable, normativa técnica y normativa vigente en prevención de riesgos laborales).

 Mediciones

 Presupuesto

➤ **Presupuesto ejecución**

- Descripción equipos
- Obra civil

Esta fase es sumamente importante pues repercutirá en el resto de fases sucesivas, debe realizarse un diseño cuidadoso teniendo en cuenta todas las posibilidades, buscando siempre obtener la máxima rentabilidad a partir de los recursos estimados y teniendo en cuenta las posibles pérdidas del sistema.

En la fase de diseño es muy importante tener en cuenta que se cumpla con las distintas normativas referentes a instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. En esta fase se definen los elementos más importantes de los que estará compuesto la planta, así como las condiciones técnicas y parámetros que deben de cumplirse para su correcto funcionamiento.

Para establecer las condiciones técnicas mínimas que se deben tener en cuenta en la instalación de la planta solar fotovoltaica conectada a red se va a hacer uso del “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red” (PTC-C-REV-Julio 2011) del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

En todo caso, serán también de aplicación todas las normativas que afecten a instalaciones solares fotovoltaicas, en particular las siguientes:

- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.*
- Norma UNE-EN 62466: Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema.*
- Resolución de 31 de mayo de 2001 por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.*
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.*
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.*
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (B.O.E. de 18-9-2002).*
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.*
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.*
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.*
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.*

Para el diseño de cada uno de los elementos principales que componen la instalación, se va a seguir las recomendaciones del Pliego de condiciones técnicas del IDAE.

▪ Generador fotovoltaico

El generador fotovoltaico está formado por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las mismas.

El tipo de generador utilizado en la planta de estudio será un generador de captación solar fija sobre estructura metálica. Se ha elegido este tipo de instalación frente a la instalación con seguidores solares (un eje o dos), debido principalmente a la importante bajada de precios del panel solar.



Figura 50.- Generador fotovoltaico tipo.

(Fuente:
https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

Si bien es cierto que la tecnología con seguidor solar aprovecha de forma más optimizada la radiación solar incidente, y por tanto la rentabilidad es mayor con el mismo número de paneles que una instalación con captadores fijos. Disponiendo del mismo terreno, obviamente una instalación con seguidores solares obtendrá una mayor productividad. Aunque en desventaja presenta un mayor coste de adquisición y mantenimiento.

Debido principalmente a la razón de que, como ya se ha comentado anteriormente, el precio de los paneles solares ha bajado bastante en los últimos años y que se dispone de terreno suficiente en nuestra instalación, se utilizará paneles de captación fija con una inclinación y orientación adecuada.



Figura 51.- Evolución histórica del precio de las células solares de Si.

(Fuente: <http://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2016/11/11/energia-solar-fotovoltaica-la-solucion-al-problema-energetico/grafico-evolucion-precio-paneles-solares/>)

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de los precios a lo largo de estos últimos años de los módulos solares.

Tal y como se aprecia en la imagen, la evolución del precio ha sido decreciente, principalmente en los últimos 10 años, que es cuando más nos puede interesar.

En el año 2015, el precio de la célula solar estaba en 0,26 €/Wp aproximadamente.

A la hora de realizar el diseño del generador, se han tenido en cuenta las siguientes premisas para el correcto desarrollo de los mismos (IDAE, 2011):

- Todos los módulos que se instalen en la instalación deben de ser del mismo modelo para garantizar así su compatibilidad. Si hubiera módulos de diferentes modelos el diseño debe también garantizar la compatibilidad entre ellos, ya que

de no ser así se podrían ver reflejados algunos efectos negativos en la instalación.

- En el montaje de la instalación se utilizarán módulos cualificados y de no ser así se deberá aportar la documentación sobre las pruebas y ensayos a los que han sido sometidos. En todos los casos habrán de cumplirse las normas vigentes de obligado cumplimiento.

- Respecto a la orientación e inclinación del generador fotovoltaico se ajustarán a los límites establecidos en la tabla correspondiente y las pérdidas deben ser inferiores a unos límites. En el diseño de los mismos, se tendrán en cuenta 3 tipos de pérdidas: por orientación e inclinación, por sombras y totales inferiores a los límites establecidos como óptimos.

- En cuanto a las zonas de sombra, identificadas en los planos, no se podrán emplazar módulos.

- En todos los casos deberán evaluarse las pérdidas por orientación e inclinación del generador y sombras, e incorporarse al Balance Energético, para lo cual se basará a lo prescrito en los Anexos II y III del Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE 2011.

- El cálculo de la distancia mínima entre filas de módulos se realizará de acuerdo al anexo III (Cálculo de las Pérdidas de Radiación solar por sombras) del Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE 2011.

▪ Sistema de monitorización

El sistema de monitorización es el encargado de hacer un seguimiento del estado del sistema completo con la finalidad de asegurar la fiabilidad y estabilidad de los servicios que provee el conjunto, y así poder actuar de forma rápida y eficaz en las tareas de reparación y mantenimiento.

El sistema de monitorización proporcionará medidas, como mínimo, de las siguientes variables (IDAE, 2011):

- Voltaje y corriente CC a la entrada del inversor.
- Voltaje de fase/s en la red y potencia total de salida del inversor.
- Radiación solar en el plano de los módulos, medida con un módulo o una célula de tecnología equivalente.
- Temperatura ambiente en la sombra.
- Potencia reactiva de salida del inversor para instalaciones mayores de 5 kWp.



Figura 52.- Sistema monitorización instalación fotovoltaica.

(Fuente: <https://monsol.net/>)

- Temperatura de los módulos en integración arquitectónica y, siempre que sea posible, en potencias mayores de 5 kW.

Los datos se presentarán en forma de medias horarias. Los tiempos de adquisición, la precisión de las medidas y el formato de presentación se hará conforme al documento del JRC-Ispra "Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants - Document A", Report EUR16338 EN.

Es muy importante que el sistema de monitorización sea fácilmente accesible para el usuario.

▪ Estructura soporte

La estructura soporte es la encargada de soportar el peso del generador fotovoltaico situado encima de las misma. Como ya se ha comentado, la estructura utilizada en el trabajo va a ser de estructura fija con fijación al suelo mediante una cimentación superficial.

La estructura soporte ha de cumplir con los siguientes requisitos (IDAE, 2011):

- En todos los casos se dará cumplimiento a lo obligado en el Código Técnico de la Edificación respecto a seguridad. Además, han de resistir, aparte del peso propio de los módulos, las posibles sobrecargas del viento y nieve reguladas mediante el CTE y demás normativas de aplicación.
- Hay que tener en cuenta las dilataciones térmicas (pueden transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos) en el diseño y construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos. Siempre es recomendable seguir las indicaciones del fabricante.
- El número de puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico deben ser los suficientes, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.
- En el diseño de la estructura hay que tener presente la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta que se pueda dar la posibilidad de sustituciones de elementos, así como también la facilidad de montaje y desmontaje.
- La estructura debe ir protegida superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. Por ejemplo, la realización de taladros en la estructura se llevará a cabo antes de proceder, en su caso, al galvanizado o protección de la estructura, y así evitar problemas de corrosión.

La mejor elección para la tornillería será aquella de acero inoxidable y en el caso de que la estructura sea galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que serán de acero inoxidable.

- En el diseño de la estructura, ha de tenerse en cuenta que los topes de sujeción de módulos y la propia estructura no arrojen sombra sobre los módulos.
- Si está construida con perfiles de acero laminado conformado en frío, cumplirán las normas UNE-EN 10219-1 y UNE-EN 10219-2 para garantizar todas sus características mecánicas y de composición química.
- Si es del tipo galvanizada en caliente, cumplirá las normas UNE-EN ISO 14713 (partes 1, 2 y 3) y UNE-EN ISO 10684 y los espesores cumplirán con los mínimos exigibles en la norma UNE-EN ISO 1461.

■ Inversor

El inversor es el dispositivo encargado de transformar la corriente continua proveniente de la generación solar en corriente alterna con la amplitud y frecuencias deseadas.

El inversor o inversores instalados han de cumplir con los siguientes requisitos (IDAE, 2011):

- El inversor/es elegidos deben de ser del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica, con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico puede proporcionar durante el día.
- Las características básicas de los inversores serán las siguientes:
 - Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
 - Son autoconmutados.
 - Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
 - No funcionarán en isla o modo aislado.
- Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:
 - Cortocircuitos en alterna.
 - Tensión de red fuera de rango.
 - Frecuencia de red fuera de rango.
 - Sobretensiones, mediante varistores o similares.
 - Perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.



Figura 53.- Posición del inversor dentro de la planta solar fotovoltaica.

(Fuente: http://www.renovgal.es/solar_fotovoltaica)



Figura 54.- Inversor en planta fotovoltaica.

(Fuente: <https://solar-energia.net/definiciones/inversor.html>)

Adicionalmente, han de cumplir con la Directiva 2004/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.

- Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación, e incorporará los controles automáticos imprescindibles que aseguren su adecuada supervisión y manejo.
- Cada inversor incorporará, al menos, los controles manuales siguientes:
 - o Encendido y apagado general del inversor.
 - o Conexión y desconexión del inversor a la interfaz CA.

Las características eléctricas de los inversores vienen detalladas de forma más específica en el Pliego de condiciones técnicas.

▪ Cableado

El cableado eléctrico es uno de los puntos clave en una instalación fotovoltaica, es por ello que la correcta selección del cable, dimensiones, etc. optimizará el rendimiento de la planta a corto, medio y largo plazo. Por ejemplo, el cable de conexión que enlaza los paneles y la red de Baja tensión en corriente continua debe poder soportar las condiciones más exigentes (mayor vida útil, intensidad admisible superior, etc). Este cable sería el que se muestra en la figura de la derecha.



Figura 55.- Cableado generador fotovoltaico.

(Fuente: <https://www.topcable.com>)

Para el correcto funcionamiento de la planta y una buena seguridad respecto al cableado, se deben tener en cuenta a la hora de realizar un buen diseño del mismo las siguientes consideraciones (IDAE, 2011):

- Los terminales positivos y negativos de cada grupo de módulos se deben conducir separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente.
- El material de los conductores será de cobre. La sección debe ser la adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %, para cualquier condición de trabajo. Respecto a la longitud del cable, debe ser la suficiente para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de enganche por el tránsito normal de personas.
- De acuerdo con la norma UNE 21123, todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado.



Figura 56.- Cable para instalación fotovoltaica.

(Fuente: <https://www.topcable.com>)

■ Protecciones

El objetivo de la instalación de las protecciones eléctricas es dotar de seguridad a la instalación para así salvaguardar la integridad de personas, entornos, bienes y componentes eléctricos. Es necesario, por tanto, instalar las protecciones térmicas, diferenciales y contra sobretensiones necesarias para cumplir con tal fin.

Los elementos principales a tener en cuenta en la etapa de diseño son:

- **Interruptor de corte CC:** Este interruptor, situado en la caja general, permite aislar el inversor de los generadores en el lado de continua.
- **Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51-49 Hz) y de máxima y mínima tensión (1,1 y 0,85 Um):** ubicado en el inversor y cuya tarea es la conexión-desconexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o de la frecuencia de red.
- **Interruptor automático-diferencial:** Su fin es el de proteger a las personas en caso de derivación de algún elemento de la instalación. Se ubicará en la planta, en el cuadro de salida en alterna. La capacidad de maniobra debe garantizar que se produce una desconexión perfecta en caso de cortocircuito y simultánea derivación a tierra.
- **Interruptor general manual:** es el interruptor frontera de la instalación, está situado donde se ubica el conjunto interruptor-equipos de medida-caja general de protección de la planta. Será accesible por la empresa distribuidora en el punto de conexión y en todo momento con el objeto de poder realizar la desconexión manual.
- **Equipo de medida:** Para determinar la energía suministrada por la instalación y la consumida por el generador fotovoltaico.



Figura 57.- Caja de conexión de string con protecciones.

(Fuente:

<https://www.efimarket.com/blog/string-una-instalacion-fotovoltaica/>)

Los requisitos que se deben tener en cuenta son los siguientes (IDAE, 2011):

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 11) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- En conexiones a la red trifásicas las protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 Hz y 49 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 Um y 0,85 Um respectivamente) serán para cada fase.

▪ Puesta a tierra

La puesta a tierra es una medida de seguridad de la instalación eléctrica. Su función es la de que en caso de un fallo donde un conductor energizado haga contacto con una superficie conductora expuesta (conductor activo con marco del módulo solar, por ejemplo) o un conductor ajeno al sistema hace contacto con él, la conexión a tierra reduce el peligro para personas o animales que toquen las superficies conductoras de los aparatos. Normalmente el fallo provoca que se desconecte el suministro por medio de un interruptor termomagnético, diferencial o un dispositivo monitor de aislamiento. (Wikipedia, 2018).

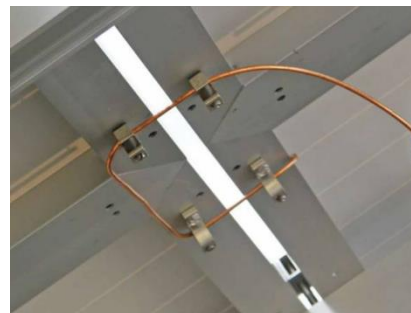


Figura 58.- Toma de tierra de sistemas fotovoltaicos.

(Fuente: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/puesta-a-tierra-de-instalaciones-con-placas-solares/>)

La puesta a tierra comprende tanto de los equipos (tierra de protección) como la puesta a tierra de un conductor activo (tierra del sistema).

Las condiciones básicas para una buena puesta a tierra son (IDAE, 2011):

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 12) sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la sección continua como de la alterna, estarán conectadas a una única tierra. Esta tierra será independiente de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con el Reglamento de Baja Tensión.

6.2.2.2 Trámites administrativos para instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

A la hora de realizar una contratación con una empresa suministradora, “los solicitantes acreditarán condiciones técnicas y de seguridad de las instalaciones, el cumplimiento de las leyes de protección de medio ambiente, así como las capacidades legales, técnicas y económicas del tipo de producción a desarrollar”. (Huidobro, 2014)



Figura 59.- Verificación trámites administrativos.

Los principales pasos a seguir son (Censolar, 2010):

○ Localización y obtención del terreno

En 1º lugar es necesario disponer de un terreno lo suficientemente extenso para la instalación de una instalación fotovoltaica sobre el suelo. Dicho terreno deberá cumplir con una serie de condiciones técnicas y económicas (estudio técnico/económico) para que pueda ser viable la instalación.

○ Concesión de punto de conexión a la red (punto de acceso)

Antes de empezar a preparar el terreno para la implantación de los paneles solares, se debe tener aceptada la concesión por parte de la empresa suministradora un punto de conexión para volcar la energía generada por los mismos a la red eléctrica.

Las compañías distribuidoras de energía eléctrica tienen la obligación legal de colaborar con este proceso admitiendo la entrada en la red de esta energía en un punto accesible, verificando la corrección técnica del suministro y de los mecanismos de lectura y, finalmente, contratando con el titular de la instalación la "compra" de la energía. (Suelo solar, 2008).

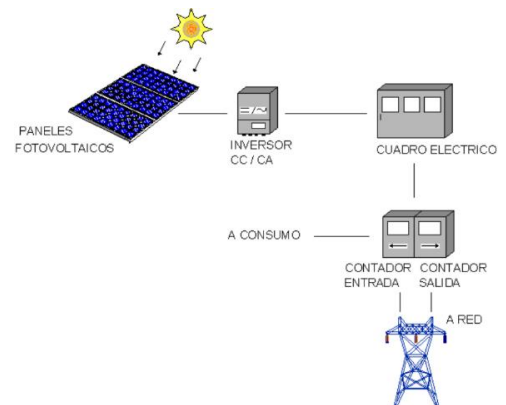


Figura 60.- Punto de conexión a la red.

(Fuente: <https://tecnosolab.com/servicios/conexion-a-red/>)

Es necesario tener también una instalación de evacuación en media tensión, la cual se compone de un apoyo metálico, una línea subterránea y un centro de transformación preforma.

El entronque de la línea se llevará a cabo con la línea aérea de media tensión más próxima en un apoyo determinado, a partir del cual, por medio de una bajante, la línea irá por una canalización subterránea hasta llegar al centro de transformación preforma.

○ Aval

Es obligatorio que la instalación de las instalaciones solares cuente con aval. Se realiza en la Caja General de Depósitos (CGD) de la Consejería de Hacienda y Administración Pública de la Comunidad Autónoma correspondiente.

○ Alta en régimen especial

El procedimiento de inscripción en el registro administrativo constará de una **fase de inscripción previa** y de una **fase de inscripción definitiva**. En ambos casos debe dirigirse al órgano correspondiente de la Comunidad Autónoma competente, o en su caso, a la Dirección General de Política Energética y Minas.

○ Solicitud de información a medio ambiente

Es necesario evaluar las diferentes afecciones medioambientales, tanto en el ámbito de los Ayuntamientos, como de las Comunidades Autónomas.

○ Realización del Proyecto o la Memoria.

Es necesaria su realización para la implantación de la instalación fotovoltaica. Para instalaciones menores o iguales a 10 kW no necesitan un proyecto visado, siendo válido una memoria técnica.

○ Listado de posible afectados.

En el caso de aplicarse, hay que realizar la relación de afectados, y ver qué acciones son necesarias acometer.

- Solicitud de autorización administrativa.

Solo es necesaria cuando se tiene una instalación mayor igual a 100 kW conectados a media tensión.

- Permisos Medioambientales, urbanísticos, del patrimonio cultural, etc.

En las instalaciones solares fotovoltaicas sobre terreno cuya potencia de producción sea superior una cantidad determinada de KW son precisas la Declaración de Interés Comunitario y la Evaluación de Impacto Ambiental, de competencia de la Consejería de Medio Ambiente, Urbanismo y Vivienda. Algunas comunidades autónomas exigen la aprobación de un estudio de integración paisajística.

- Alta en el IAE.

De acuerdo con la Orden Ministerial EHA/1274/2007, de 26 de abril, antes de iniciarse cualquier tipo de actividad económica, el empresario (i.e., persona física que va a iniciar la actividad de producción de energía solar) debe proceder a darse de alta en el Censo de Empresarios, Profesionales y Retenedores, a través de la presentación de la Declaración Censal (modelo 036) ante la Administración Tributaria correspondiente. (Huidobro, 2014).

- Licencia de obras.

La Licencia municipal de actividad y obra habrá de ser otorgada por el Ayuntamiento del Municipio donde se ejecute el Sistema Fotovoltaico Conectado a Red. Si la instalación se realiza sobre suelo no urbanizable, se deberá pedir la autorización al gobierno autonómico.

- Licencia municipal de actividad

El ayuntamiento solicita al productor fotovoltaico el Proyecto de aprovechamiento de la energía solar (independiente o apartado específico en el proyecto general) suscrito por técnico competente y visado por el colegio oficial correspondiente.

- Solicitud de inclusión en el régimen especial

Antes de llevar a cabo la ejecución de la instalación, el inversor ha de presentar ante el Servicio Territorial de energía de la provincia la correspondiente solicitud de inclusión en el Régimen especial.

- Contrato con la compañía distribuidora

Las compañías distribuidoras, a las cuales se deben conectar las instalaciones fotovoltaicas, tienen la obligación legal de colaborar con el proceso y verificando la corrección técnica del suministro y de los mecanismos de lectura.

- Registro de preasignación de Retribución (RPR) de energía fotovoltaica

En este registro tienen que estar inscritas las nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica fotovoltaica que deseen acogerse al régimen económico establecido en el Real Decreto.

- Solicitud C.A.E. (Código de Actividad y establecimiento).

Tras inscribir la planta solar fotovoltaica como fábrica de electricidad en régimen especial, hemos de solicitar el C.A.E. y llevar un libro de registro sellado por el

Departamento de la Agencia Tributaria encargada de los Impuestos Especiales, hacer las correspondientes liquidaciones trimestrales, con independencia de los kilovatios nominales que ésta tenga.

- Ejecución de las obras

Construcción de la instalación fotovoltaica.

- Acta de puesta en servicio provisional para pruebas de instalación

Los solicitantes deberán acreditar las condiciones técnicas y de seguridad de las instalaciones, el adecuado cumplimiento de las condiciones de protección del medio ambiente y la capacidad legal, técnica y económica adecuada al tipo de producción que van a desarrollar. Así mismo, deberán disponer de la resolución de reconocimiento de la instalación como productora de energía en régimen especial.

- Certificado puntos medida

El Certificado de Lectura y Verificación de los Equipos de Medida es emitido por el encargado de la lectura de la Empresa Distribuidora.

- Conexión a la red eléctrica

Construida la instalación fotovoltaica, y realizadas las pruebas correspondientes por los órganos de la Administración Autonómica y por la empresa eléctrica propietaria del punto de conexión, esta última autorizará a conectar la instalación para la realización de las demás pruebas, o la conexión definitiva a la red.

- Acta de puesta en servicio de la instalación

Una vez ejecutado el Proyecto, deberá presentarse la correspondiente solicitud de Acta de Puesta en Servicio, acompañada del Certificado de Final de Obra suscrito por un técnico facultativo competente, en el que conste que la instalación se ha realizado de acuerdo con las especificaciones contenidas en el proyecto de ejecución aprobado, así como con las prescripciones de la reglamentación técnica aplicable a la materia

6.2.2.3 Fase de ejecución de la instalación solar fotovoltaica

Dentro de esta fase se encuentran las actividades necesarias para la ejecución de la planta fotovoltaica. En primer lugar, se realizará un acondicionamiento de la parcela y su vallado, para posteriormente iniciar el replanteo, cimentación, montaje de la estructura, colocación de módulos e instalación eléctrica.

Esta fase debe satisfacer los requisitos establecidos en la etapa de diseño lo más fielmente posible, y cumplir con las normas y reglamentos en vigor, y así poder obtener de la planta la máxima producción posible de energía y reducir al máximo las posibles pérdidas en la inyección de la misma a la red.

Las principales fases en la ejecución y construcción de una planta solar son:

ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

▪ **Labores de acondicionamiento del terreno**

Una vez se han llevado a cabo todos los trámites administrativos necesarios para la puesta en marcha de la ejecución de la instalación, el primer paso consiste en las labores de preparación del terreno, las cuales se dividen básicamente en dos etapas, que se describen a continuación.

a) Desbroce y limpieza de terrenos

Primero se realiza el desbroce del terreno, que no es más que la reducción o eliminación total de cualquier vegetación que exista en el terreno, dejándolo a ras del terreno natural y así obtener un total aprovechamiento del espacio a ocupar. Después se procede a una limpieza del mismo.



Figura 61.- Desbroce y limpieza de terrenos.

(Fuente:

b) Excavación, desmonte y nivelado

El primer paso es realizar el replanteo del terreno, es decir, marcar el terreno de manera que quede expuesta en él la información que vienen en los planos (se marca sobre el terreno los puntos básicos del proyecto). Una vez se tiene el replanteo y el terreno limpio, el siguiente paso es realizar una nivelación del mismo, es decir, dejar todos los puntos del terreno al mismo nivel. Habrá zonas en las que será necesario el uso de excavación y en otras el desmonte.

<http://www.ferreconstructora.com/limpieza-y-desbroce-de-terrenos>)

APROVISIONAMIENTO, TRANSPORTE, RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES

En esta etapa se realiza el transporte, recepción y almacenamiento de los diferentes materiales y maquinaria que van a ser necesarios para el desarrollo de la obra civil.

EXCAVACIÓN DE POZOS Y ZANJAS. HORMIGONADO

▪ **Excavación de pozos de cimentación y foso de CT.**

Una vez se ha obtenido todo el terreno a la cota definitiva se debe marcar la posición exacta de las cimentaciones. Este paso es muy importante, ya que cada estructura debe ser instalada en las coordenadas ya calculadas previamente para evitar problemas de sombras de unas con otras.

Se realiza la excavación de los pozos de cimentación. Cuando se llega al fondo de la excavación, hay que nivelarla y comprobar si el terreno cumple con las condiciones para realizar la cementación.

▪ **Ejecución de zapatas y placas de anclaje.**

Esta etapa no siempre es necesaria, depende de la estabilidad y calidad del terreno sobre el que descansará la instalación. Otra opción es la de realizar una cimentación superficial a ras del suelo.

- a) **Hormigón de limpieza:** es necesario nivelar y hacer una limpieza del fondo de la excavación antes de verter dicho hormigón. La cota del hormigón de limpieza debe coincidir con la cota inferior de la zapata y debe quedar nivelado, preparando así la colocación de la armadura.
- b) **Colocación de la armadura y vertido de hormigón:** Refuerzo de metal que se coloca en el interior del hormigón armado. Una vez se tiene la ferralla colocada y está todo limpio, se hormigona con vertido directo y una vez vertido se compacta mediante vibradores.
- c) **Curado del hormigón:** Se realiza mediante un regado con agua o líquidos especiales de curado durante 7 días seguidos. Se realiza para evitar fisuras de retracción plástica con la pérdida de humedad.

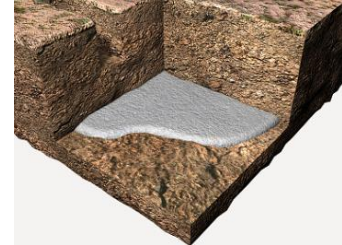


Figura 62.- Hormigón de limpieza.

/Fuente:

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cimentaciones/Regularizacion/Hormigon_de_limpieza.html

CANALIZACIONES.

▪ **Línea subterránea de MT y DC. Canalización.**

La canalización subterránea de la línea de media tensión se realizará bajo tubo de diámetro 200 mm o similar. Dependiendo del tramo en el que nos encontremos de la planta, habrá 2 o 3 tubos juntos.

Para llevarla a cabo hay que realizar lo siguiente:

- a) **Excavación de zanjas de canalizaciones:** Se realizarán zanjas verticales hasta la profundidad necesaria por medio de elementos mecánicos.
- b) **Suministro y colocación de protecciones y arquetas:** En la base de la zanja se verterá una capa de arena sobre la que descansarán los tubos que portan los conductores. Una vez montados los tubos se verterá una capa de hormigón de unos 30 cm de altura aproximadamente, este hormigón debe ser el mismo que el utilizado para la cimentación de los apoyos. Las arquetas para media tensión son del tipo A2.
- c) **Colocación de la cinta de señalización de cable eléctrico:** Se coloca a lo largo de toda la canalización una



Figura 63.- Canalización subterránea.

(Fuente:

http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Instalaciones/Urbanas/IUB_Lineas_subterranas_de_baja_te.html)



Figura 64.- Arqueta.

(Fuente:

<http://www.materialdeconstruccion.eu>)

cinta adhesiva de color que advierte de la existencia de cables eléctricos por debajo de ella.

- d) Tapado y apisonado de las zanjas:** Una vez se han hecho los pasos anteriores se tapará la zanja con la tierra sobrante de la excavación y apisonada para que el terreno se quede lo suficiente consolidado.
- e) Carga y transporte de las tierras sobrantes:** Por último, al haber introducido tubos, hormigón y arena en la zanja va a quedar una porción de volumen sobrante de la tierra extraída anteriormente, es por ello que hay que realizar una carga de la misma en un camión y llevarla a otro sitio donde se pueda desechar.

La canalización DC sigue los mismos pasos principales comentados para la canalización de MT, sólo que los parámetros serán diferentes. Normalmente se comienza por la excavación y canalización DC para posteriormente seguir con la de MT.

A continuación, una vez estén delimitadas todas las canalizaciones, se pueden tirar los tubos que contendrán el cableado DC y MT, tal y como se ha explicado anteriormente.

INSTALACIÓN CENTRO DE TRANSFORMACIÓN E INVERSOR.

- **Centro de transformación e inversor**

A continuación, se instalará el transformador e inversor dentro de sus casetas correspondientes, así como los elementos necesarios para el funcionamiento de los mismos.

- a) Transformador:** El centro de transformación se ubicará en una caseta independiente para el solo y tendrá una envolvente en la que se encuentra toda la aparamenta eléctrica y demás equipos eléctricos. El transformador instalado será un transformador trifásico reductor de tensión, con neutro accesible en el secundario.
- b) Cuadro de Baja tensión:** Es un conjunto de aparamenta eléctrica cuya función es recibir el circuito principal de BT procedente del transformador BT/MT y distribuirlo en un número determinado de circuitos individuales.
- c) Instalación de material complementario de AT y BT:** Entre ellos se encuentran las interconexiones de AT y BT, protección metálica de los transformadores (rejilla metálica), equipos de iluminación... etc.
- d) Puesta a tierra:** En este apartado se lleva a cabo la puesta a tierra de la tierra de protección, donde todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales se unen a la tierra de protección; y por otro lado la tierra de servicio donde debido a faltas en la red de AT el neutro del sistema de BT se conecta a una toma de

tierra diferente del sistema de AT, para que no exista influencia en la red general de tierra.

- e) **Caseta de Inversor:** En la instalación fotovoltaica habrá un edificio prefabricado de hormigón en el que se situará el inversor de la misma.

El inversor tiene como función convertir la corriente continua generada (DC) en los paneles solares en corriente alterna sincronizada con la de la red con el fin de poder suministrar energía eléctrica a 50 Hz y 400 V. El funcionamiento del inversor instalado es automático, una vez los módulos generan una potencia suficiente, los controladores del inversor comprueban la tensión, frecuencia de la red y producción de energía y una vez que es suficiente, se comienza a inyectar a la red. El inversor funciona tomando la máxima potencia disponible, si la radiación solar del momento no lo permite deja de funcionar.

ESTRUCTURA SOPORTE Y ELEMENTOS DE CAPTACIÓN SOLAR

- **Montaje de estructuras, parrillas y módulos fotovoltaicos.**

El montaje del generador fotovoltaico se puede clasificar en las siguientes etapas:

- a) **Montaje de la estructura del generador:** Esta actividad puede comenzar en cuanto termine la ejecución de zapatas y placas de anclaje, siempre esperando un día aproximadamente para esperar que al hormigón le dé tiempo a endurecer. También existe la posibilidad de no realizar pozo de cimentación ni zapatas si el terreno es lo suficientemente estable, pudiendo ir la estructura hincada en el propio terreno.

Cuando la naturaleza del terreno no lo permita, se suele instalar sobre micro-pilotes de hormigón, zapatas superficiales de hormigón o sobre tornillos de cimentación. Si así fuera, en primer lugar, se conforma la base sobre la que va a ir montada la estructura. Esta base suele ser una zapata de hormigón armado con mallazo de varilla corrugada. Queda fijada a la zapata mediante tuercas y contratueras sobre pernos de anclaje de acero. La cimentación, de sección circular, no precisa de excavación y requiere únicamente la limpieza del terreno base.

La estructura está formada por perfiles tipo C de acero galvanizado cortados a medida para facilitar su ensamblaje, el cual se realiza mediante tornillería adecuada (acero inoxidable). Es una estructura fija, robusta y flexible. En principio no es necesario la utilización de taladros, por lo que evita el posible riesgo de corrosión. El rango de inclinación de la estructura va desde los 0° hasta los 45°. (Meca Solar, 2017)



Figura 65.- Estructura del generador.

(Fuente: <https://mecasolar.com>)

La estructura debe estar diseñada para soportar las cargas de viento y nieve establecidas por la normativa aplicable referente a la zona de ubicación.

La estructura se trata de una estructura biposte, capaz de soportar hasta 3 módulos en vertical ó 6 en horizontal.

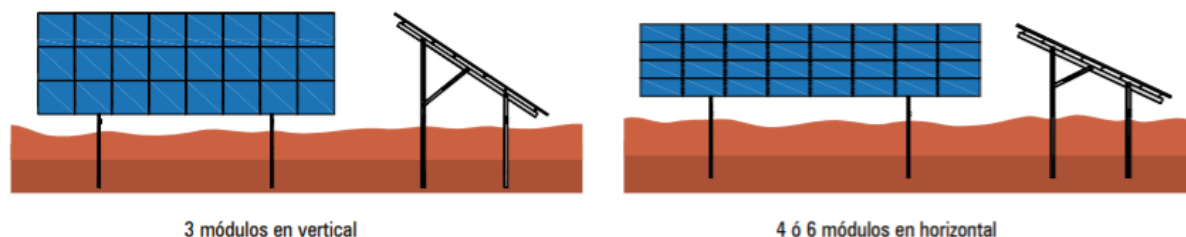


Figura 66.- Estructuras biposte.

(Fuente: <https://mecasolar.com>)

- b) Parrillas y montaje de módulos PV :** En primer lugar, se deben formar las parrillas en una base que sea estable y lisa. Una vez montada la parrilla, el siguiente paso es la instalación en ella de los paneles fotovoltaicos.

La sujeción de los módulos a la estructura se realiza mediante pinzas de aluminio. El no ser necesario la realización de taladros permite la instalación de cualquier tipo de módulo solar.



Figura 67.- Montaje de módulos fotovoltaicos.

(Fuente: <https://mecasolar.com/es/project/fixed-structures/>)

- c) Instalación elementos de monitorización:** En armario estanco apto para su uso en intemperie se dispone de los diferentes elementos de monitorización.

Por otro lado un sistema de monitorización en los inversores nos avisa de cualquier error o incidencia en los mismos.



Figura 68.- Instalación elementos de monitorización.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

▪ **Conexionado, caja general de protección y puesta a tierra**

Una vez se tiene todo montado, la siguiente etapa es realizar la conexión correspondiente de todos los elementos de la instalación que así lo precisen. También se instala la caja general de protección y los elementos de protecciones eléctricas necesarias.

- a) **Cableado:** Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente. Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. (sección suficiente para caída de tensión $< 1,5 \%$).

Todo el cableado de AC y DC tendrá toda la longitud. El cableado de DC será de doble aislamiento y adecuados para su uso en intemperie o enterrado.

- b) **Protecciones** (caja general de protección): Se incorpora un cuadro de acometida y conexionado en el que se ubican las protecciones necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación fotovoltaica, minimizando posibles riesgos eléctricos ante derivaciones a tierra, sobretensiones de origen atmosférico y sobreintensidades. Incorpora interruptores magnetotérmicos, interruptor diferencial y protección contra sobretensiones mediante varistores.

Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de BT.

Entre los elementos más significativos a instalar tenemos: Interruptor corte CC, Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y de máxima y mínima tensión, Interruptor automático-diferencial, Interruptor general manual, Equipo de medida y Caja general de protección.

▪ **Sistema de seguridad.**

Debido a la posibilidad de robo o vandalismo, se instala un sistema de seguridad del perímetro en el cual está instalada la planta. Este sistema de seguridad consistirá, por un lado, en la instalación de un sistema de vallado a lo largo de todo el perímetro de la planta, impidiendo el fácil acceso a la misma. Por otro lado, se instalará un sistema de videovigilancia funcionando las 24h del día.

▪ **Pruebas y puesta en marcha**

Una vez finalizado todo el montaje de la planta, el último paso es la puesta en marcha de la misma. Para ello es necesario presentar ante la Delegación Provincial de la Consejería de Innovación y Ciencia la documentación que nos exigen para ello.

1.2.2.4. Fase de Explotación de la instalación solar fotovoltaica

Esta última etapa es el fin por el cual se realizan las anteriores. Consiste en el funcionamiento en régimen normal de la planta instalada, así como el correspondiente mantenimiento de la misma, por tanto, las dos actividades que deben llevarse a cabo en esta fase son, la venta de energía eléctrica producida a la red y el mantenimiento de la instalación y equipos.

- **Venta de energía eléctrica producida a la red**

Facturación a la compañía eléctrica de la energía inyectada a la red por parte de la planta solar, con el régimen retributivo correspondiente desde el momento en el que sea efectiva la inscripción definitiva. El cobro de dicha energía eléctrica inyectada será según la modalidad que se haya elegido previamente, en un plazo de 30 días posterior a la fecha de entrega de la factura.

- **Mantenimiento de la instalación y equipos**

Es necesario definirse un programa de mantenimiento para poder definir así las condiciones mínimas que han de adoptarse para el correcto funcionamiento de estas instalaciones. El mantenimiento se divide en dos formas de actuación:

- e) **Mantenimiento preventivo:** busca evitar o mitigar las consecuencias de fallos o problemas de los equipos y del sistema y así aumentar su disponibilidad, limitar los costos y aumentar la vida útil de un sistema FV. Los costos no deben sobrepasar a sus beneficios. (Almarza, Hernandez Venegas, Soto Olea, & Santana Oyarzún, 2016)

Las operaciones más comunes son: inspección visual, verificación de actuaciones y demás actividades para mantener todos los elementos de la instalación dentro de unos límites aceptables de funcionamiento.

- f) **Mantenimiento correctivo:** corresponde a todas las operaciones de reparación y/o sustitución de partes necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. (Almarza, Hernandez Venegas, Soto Olea, & Santana Oyarzún, 2016)

A continuación, se va a mostrar a modo de resumen en la siguiente tabla las diferentes fases principales en el desarrollo, ejecución y explotación de una planta solar fotovoltaica, las cuales han sido comentadas detalladamente anteriormente.

Código	ACTIVIDAD
1	Fase previa
	Reunión inicial con el cliente (definición parámetros básicos)
1.1	Estudio Técnico (Anteproyecto)
1.2	Estudio de Mercado
1.3	Estudio de Viabilidad Económica
1.4	Evaluación Financiera del Proyecto
	Toma de decisión
2	Fase inicial
2.1	Redacción Documento Técnico Básico
2.2	Solicitud de Autorización de uso del suelo al Ayuntamiento
2.3	Aval para tramitar la solicitud de acceso a la red de transporte
2.4	Solicitud del Punto de Conexión a la compañía eléctrica
3	Fase de planificación y diseño
3.1	Redacción Proyecto Técnico Definitivo
3.1.1	Memoria descriptiva
3.1.2	Memoria técnica instalación fotovoltaica
3.1.3	Memoria técnica sistemas complementarios
3.1.4	Planos
3.1.5	Pliego de condiciones técnicas
3.1.6	Estudio de seguridad y salud
3.1.7	Presupuesto ejecución
3.1.8	Anexos
3.2	Autorización Administrativa por parte de la Comunidad Autónoma
3.3	Licencia de Obra municipal
4	Fase de construcción y control
4.1	Construcción
4.1.1	Acondicionamiento del terreno
4.1.1.1	Vallado
4.1.1.2	Excavación de tierras
4.1.1.3	Cimentación
4.1.2	Aprovisionamiento, transporte, recepción y almacenamiento de materiales
4.1.3	Obra civil
4.1.3.1	Apertura de pozos y zanjas, y colocación de conducciones:
4.1.3.1.1	Replanteo, marcado, emplazado y trazado de líneas en suelos, techos y paredes.
4.1.3.1.2	Excavación de pozos y zanjas
4.1.3.1.3	Recepción y recuento de material
4.1.3.1.4	Montaje de las condiciones de alimentación hasta la caseta de los equipos principales
4.1.3.2	Armado, hormigonado y cubrimiento de conducciones
4.1.3.2.1	Armado de los pozos de las bases de los seguidores
4.1.3.2.2	Hormigonado de los pozos
4.1.3.2.3	Instalación de la caseta de los equipos principales
4.1.3.2.4	Colocar soportes y/o armarios
4.1.3.2.5	Colocar los equipos en los soportes
4.1.3.2.6	Cubrir zanjas
4.1.4	Estructura de soporte de equipos de seguimiento solar
4.1.4.1	Ejecución de montaje de elementos estructurales
4.1.4.1.1	Instalación mástiles de seguidores
4.1.4.1.2	Instalación estructura principal de seguidores solares
4.1.4.1.3	Instalación estructura secundaria de aluminio
4.1.4.1.4	Instalación de paneles solares sobre estructura
4.1.4.2	Ejecución de montaje de elementos de captación solar
4.1.4.2.1	Instalación de paneles solares sobre estructura
4.1.4.2.2	Montaje de las cajas de conexión
4.1.4.2.3	Montaje de equipos de control

4.1.5	Instalación Eléctrica
4.1.5.1	Replanteo, marcado, emplazado y trazado de líneas en suelo, techos y paredes.
4.1.5.2	Montaje en techos, paredes, patios y galerías de servicios
4.1.5.3	Montaje de los aparatos eléctricos y electrónicos
4.1.5.4	Montaje de las conducciones de alimentación hasta el aparato principal
4.1.5.5	Instalación del aparato principal del sistema
4.1.5.6	Colocar soportes y/o armarios
4.1.5.7	Colocar los equipos en los soportes
4.1.5.8	Manipulación de elementos de acumulación de energía, baterías, alternadores, etc.
4.1.5.9	Conexión red eléctrica
4.1.5.10	Pruebas de equipos y de su instalación
4.1.5.11	Pruebas de producción
4.1.5.12	Retirada de obra de todo el material sobrante y equipos
4.2	Emisión de Boletín de características de la instalación y superación de las pruebas por parte de la compañía instaladora
4.3	Autorización puesta en servicio por parte de la comunidad Autónoma
4.4	Solicitud de firma del contrato con la compañía eléctrica
4.5	Firma del contrato con la empresa distribuidora
4.6	Inscripción previa en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción de Régimen Especial
4.7	Verificación de la acometida y de los equipos de medida por parte de la compañía eléctrica
4.8	Emisión de certificado de cumplimiento
4.9	Inscripción definitiva en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción en Régimen Especial
4.10	Conexión a la red eléctrica de la compañía distribuidora
5	Fase de explotación
5.1	Venta de energía eléctrica producida a la red
5.2	Mantenimiento de la instalación y equipos

Tabla 13. Fases para la instalación y explotación de una planta solar fotovoltaica.

(Fuente: elaboración propia)

6.3 Identificación de riesgos. Registro de riesgos

Una vez se han descrito los procesos más importantes referentes al diseño, ejecución y explotación de la instalación solar, el siguiente paso consiste en identificar los riesgos del mismo, en esta etapa se determinan los riesgos que pueden afectar al proyecto documentando las características de los mismos.

La declaración de los riesgos debe ser consistente y tener la certeza de que cada riesgo se comprenda claramente sin ambigüedades a fin de analizarlo y desarrollar soluciones eficaces. El resultado final será el **registro de riesgos**.

Las técnicas que se han utilizado para la identificación de riesgos han sido, entre otras, tormenta de ideas, juicios de expertos, experiencia previa en otros proyectos, datos históricos, etc.

En 1º lugar se obtuvo una lista inicial de riesgos referentes a las diferentes fases de las que está compuesto el proyecto. Para realizar el análisis cualitativo posterior de los riesgos se ha realizado una **Evaluación de la calidad de los datos sobre los riesgos**, en la cual se presentó el listado de riesgos identificados ante varios expertos en el tema, pidiendo opinión acerca de la calidad, fiabilidad, exactitud y entendimiento de los riesgos que se había recopilado en la fase de identificación de riesgos. Esta lista fue mandada a diferentes profesores de la Universidad de Jaén procedentes de los departamentos de energía eléctrica y electrónica, los cuales cuentan con un gran recorrido de especialización en el campo y estudio de la energía solar fotovoltaica. Se les pidió que valoraran los riesgos presentes en la lista inicial, respecto a su idoneidad dentro del proceso de desarrollo y ejecución de una instalación solar y así poder realizar una criba a aquellos que no se dieran o no correspondieran del todo al campo de aplicación buscado. Como resultado de dicha valoración por parte de los profesores, algunos de los riesgos iniciales fueron eliminados por no ser lo suficientemente significativos, se realizaron correcciones en la descripción de los riesgos que ofrecían la posibilidad de crear confusiones, se unieron algunos riesgos cuya base era muy similar, etc.

De esta forma, se obtuvo la lista definitiva de riesgos, quedando un total de **52 riesgos**, clasificados en función de la fase a la que corresponden o en función de otros parámetros determinantes. El trabajo se ha centrado en la identificación de riesgos negativos (amenazas).

Las fases en las que se ha dividido el proyecto han sido 7, con un total de riesgos por fase de:

	Fase	Nº de riesgos
1	Trámites administrativos	2
2	Diseño y planificación de la instalación	8
3	Ejecución de la instalación	18
4	Pruebas y puesta en marcha de la instalación	3
5	Explotación de la instalación	12
6	Riesgos económicos y financieros	4
7	Riesgos de personal y suministros	5

Tabla 14. Fases de estudio y cantidad de riesgos identificados en las mismas.

(Fuente: Elaboración propia)

Es cierto que las fases de Trámites Administrativos, Riesgos económicos y financieros y Riesgos de personal y suministros no son una fase en sí. Los riesgos referentes a ellas son riesgos que realmente están repartidos en las otras fases citadas de diseño, ejecución, puesta en marcha y explotación de la instalación. Se ha decidido organizarlos en fases separadas a estas para un mayor orden y claridad de los diferentes riesgos.

En la siguiente gráfica de sectores se muestra el porcentaje de riesgos que hay en cada una de las fases consideradas respecto al total de los mismos.

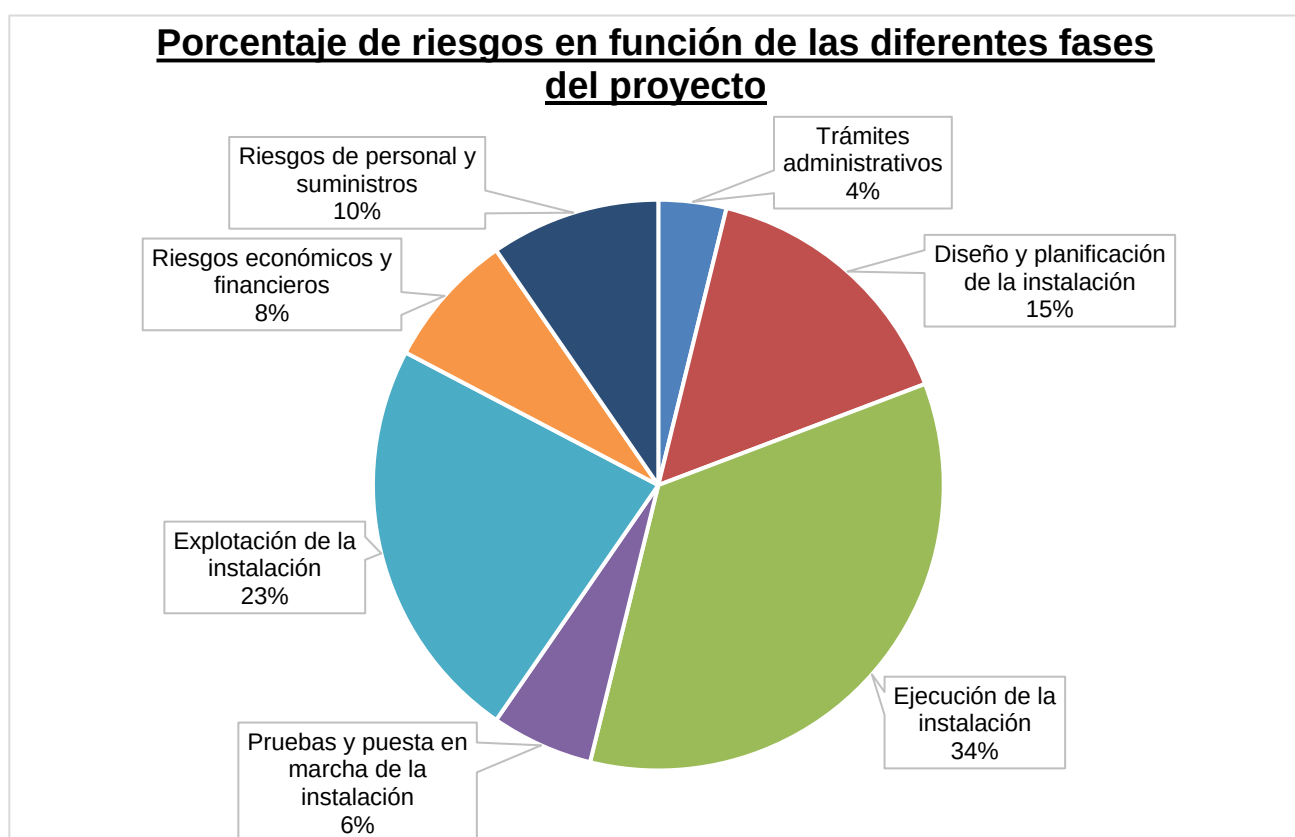


Figura 69.- Porcentaje de riesgos en las diferentes fases del proyecto.

(Fuente: Elaboración propia)

La fase en la cual se ha identificado mayor número de riesgos es la fase de ejecución de la instalación con un 34% del total, seguida de la fase de explotación con un 23% del total; esto tiene sentido ya que son en estas fases en las que, tanto por mayor duración de las mismas en el tiempo como por las actividades que se desempeñan en ellas, tienen mayor probabilidad de riesgos.

Una vez obtenido el total de los riesgos identificados, el siguiente paso es la creación del registro inicial de riesgos, que se trata de un documento en el cual se registran los resultados obtenidos del análisis de riesgos y de la planificación de la respuesta a los mismos. Los riesgos identificados deben describirse con un nivel suficiente de detalle. La lista inicial de todos los riesgos se encuentra en el **Anexo I** de este documento. En el registro de riesgos se ha incluido los siguientes ítems:

- **Nº de referencia:** Numeración del riesgo según formato acordado, permite hacer referencia al riesgo por su número.
- **Descripción del problema:** Descripción detallada del problema asociado al riesgo al que hace referencia.
- **Riesgos:** Exposición del riesgo.
- **Causas Raíz:** Principales causas asociadas al riesgo al que hacen referencia.
- **Fase del Riesgo:** Etapa a la cual está asociado el riesgo.
- **Categoría del riesgo:** Categorías en las que se clasifica el riesgo, según el catálogo de riesgos definido por la organización.

El registro de riesgos que se ha obtenido ha sido el siguiente.

REGISTRO INICIAL DE RIESGOS					
Número de Ref.	Descripción del problema	Riesgo	Causas Raíz	Fase del riesgo	Categoría o tipo de Riesgo
R01	Se presenta un cambio en la legislación vigente durante el proceso de ejecución o explotación de la instalación. Esto puede dar lugar a paradas de la ejecución (retrasos), no alcanzar los objetivos o alcance del proyecto, incremento de costes, cambio en alguna de las partes o elementos de la instalación, cierre de la instalación, etc.	Cambios en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental...)	-Cambios políticos. -Cambios en los intereses de grandes potencias empresariales relacionadas de alguna manera con el sector.	Trámites administrativos	Externos (Políticos y medioambientales)
R02	Se puede dar un retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones por parte de los organismos emisores. Esto puede desencadenar problemas en el alcance ya definido del proyecto, en el presupuesto inicial, un adelanto (ventaja) de la competencia si la hubiera, etc. Otro problema puede darse con las empresas que han sido contratadas para empezar a trabajar en una fecha determinada y por cualquier tipo de retraso no puede ser posible dicho comienzo, teniendo que retrasarlo.	Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con la consiguiente demora en el comienzo de la ejecución.	-Funcionamiento lento de las administraciones públicas encargadas de emitir los permisos o concesiones. - Discordancias entre distintas partes, tanto de las administraciones entre sí, como de la parte interesada y las administraciones. -Estimación errónea del tiempo por parte de la parte interesada.	Trámites administrativos	Externos (Políticos y medioambientales)
R03	Se produce un déficit en la producción de energía por parte de la instalación fotovoltaica, respecto a la prevista en la etapa de diseño; afectando directamente a la rentabilidad de la instalación.	Estimación incorrecta de la producción de energía.	-Fallo en la elección de los generadores (en capacidad de producción, en número de ellos, etc.) en la etapa de diseño. - Cálculos erróneos del equipo de ingeniería en la producción suministrada por los equipos.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)

R04	Pérdidas en la producción de energía por una mala disposición de los generadores fotovoltaicos en la etapa de diseño, pudiendo crear sombras, etc. Se encuentran en una posición no optimizada para dar el máximo rendimiento, ocasionando pérdidas gananciales.	Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño y/o ingeniería sobre la colocación óptima de los generadores.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)
R05	Mal funcionamiento o rotura del inversor por una mala elección del mismo en la etapa de diseño respecto a las condiciones de temperatura y humedad que puede soportar.	Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño de las características necesarias del inversor y/o de las condiciones del emplazamiento donde va a ser instalado.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)
R06	Mal funcionamiento o rotura del inversor por una mala elección (dimensionado) del mismo en la etapa de diseño respecto al tamaño adecuado que debe tener, rango de potencia, tipo, etc. Aparte de los problemas técnicos y de rendimiento que puede ocasionar, posiblemente sea necesario realizar la inversión en un nuevo inversor que si cumpla con las especificaciones que se demandan en la planta.	Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño en referencia a la elección de un inversor correctamente dimensionado.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)

R07	Mal funcionamiento o rotura (total o parcial) de la estructura por un mal dimensionamiento en la etapa de diseño de la misma.	Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño en referencia al cálculo de la estructura de la instalación fotovoltaica, normativa aplicable, etc.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)
R08	La estructura se expone a estar sometida a problemas de corrosión debido a una mala actuación en la etapa de diseño, proporcionando así una incorrecta protección frente a la misma por diversos factores como pueden ser: taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión... Puede ocasionar problemas como disminuir la vida útil de las estructuras con el consiguiente aumento en los costes a corto o largo plazo.	Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño en referencia al problema de corrosión que puede atacar a la estructura si no se sigue unas pautas y metodologías apropiadas para prevenirlo o combatirlo.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)

R09	Problemas en el funcionamiento o rotura en el cableado de la instalación por una selección incorrecta o mal dimensionado del mismo en la etapa de diseño. Pueden darse problemas tales como que el cableado no soporte las condiciones meteorológicas del lugar (rotura, desgaste...), sección insuficiente (calentamiento en la línea, incendios...), longitud no adecuada, etc. Esto puede provocar fallos importantes en la línea y un incremento de costo para arreglar o sustituir los elementos defectuosos.	Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño en referencia a la elección de un cableado adecuado para la planta. -Mala elección del cableado por intentar ahorrar costes en material.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)
R10	Problemas en el funcionamiento de la instalación eléctrica por un mal diseño y planificación de las protecciones eléctricas necesarias. Los problemas pueden ser una insuficiente protección, confundir las protecciones de alterna en las instalaciones de continua, etc.	Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del equipo de diseño respecto a las protecciones necesarias en la instalación fotovoltaica.	Diseño y planificación de la instalación	Internos técnicos (proyecto)
R11	Se requiere una parada de la ejecución de la instalación por agentes externos, como pueden ser un terremoto, inundación, tornado, tormenta, incendio, etc. Es necesario paralizar la ejecución de la misma ya que dichas condiciones externas impiden seguir con el trabajo que se está realizando de una forma segura.	Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc).	Condiciones climatológicas adversas (causa externa).	Ejecución de la instalación	Externos e impredecibles

R12	La maquinaria que se utiliza durante la fase de obra civil, que engloba principalmente, las fases de labores de preparación del terreno, pozos de cimentación, zapatas, placas de anclaje, canalizaciones, casetas y montaje de estructuras y módulos no son las adecuadas para el trabajo que se requiere. Esto puede acarrear posibles retrasos en la planificación de la obra, necesidad de más trabajadores, labores de peor calidad que las realizadas con la maquinaria correcta, etc.	Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.	Falta de experiencia/conocimiento por parte del encargado de obra respecto a la maquinaria más adecuada para cada trabajo contemplado dentro de la fase de obra civil. - Ahorro de costes utilizando una maquinaria más barata. - Los proveedores o subcontratas no poseen la maquinaria adecuada para este tipo de obra.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R13	Discrepancias entre las condiciones del terreno reales y las especificadas en la etapa de diseño. Por ejemplo, puede haber diferencias en las dimensiones del terreno, que exista mayor zona ocupada por vegetación, rocas... de la esperada, gran cantidad de desniveles, distinta calidad del suelo de la esperada (permeabilidad, drenaje, consistencia...). Todos estos problemas pueden ocasionar un incremento de los costes y un tiempo invertido mayor en la fase de estudio y preparación del terreno, así como problemas serios en el alcance del mismo.	Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.	- Falta de especificaciones en el documento referente al terreno. - Falta de comunicación entre la parte interesada y la que proporciona el terreno. - No visitar previamente la ubicación en la que se encuentra la planta.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)

R14	Aparición de fallos constructivos durante la fase de ejecución de la obra civil debido a diversos factores como pueden ser una mala dirección de obra, falta de experiencia de los trabajadores, materiales y maquinaria inadecuados para la obra, materia prima de mala calidad, etc.	Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	Falta de experiencia/conocimiento por parte del responsable de obra o de los trabajadores.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R15	La calidad de los materiales o materias primas recibidos por parte de los distintos proveedores en la fase de ejecución de la obra civil es peor a la contratada. Esto puede dar lugar a ejecuciones de peor calidad, retrasos en la obra, disputas entre proveedor y cliente, etc.	Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil.	Proveedores no fiables o de confianza.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R16	El material necesario (o parte de él) para la ejecución de la obra sufre un retraso por parte de los proveedores respecto al plan de entrega establecido inicialmente, ocasionado paradas del proceso de ejecución con el consiguiente aumento de tiempo de la misma, disputas entre proveedores y cliente, aumento de costes del proceso de ejecución, etc.	Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	Proveedores no fiables o de confianza.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)

R17	Durante la ejecución de la obra civil se producen accidentes utilizando la maquinaria necesaria para esta fase. Algunos de estos accidentes pueden ser caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, reacciones alérgicas, etc. Puede ocasionar baja de trabajadores, aumento de coste y tiempo, discrepancias ante los seguros de accidentes contratados, etc.	Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)	Incumplimiento parcial o total de las medidas de prevención y seguridad necesarias en el ámbito de la obra civil. Falta de supervisión por parte del encargado de obra.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R18	Durante la fase de la instalación eléctrica de la instalación se pueden dar problemas de estanqueidad en las arquetas, cajas de conexión, etc. Esto puede dar lugar a fallos importantes, tanto a corto como a largo plazo en la instalación eléctrica.	Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.	Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador eléctrico.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R19	Durante la fase de la instalación eléctrica de la instalación se pueden dar cortocircuitos, incendios, calentamientos, etc. debido a un montaje incorrecto de los elementos eléctricos.	Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.	Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador eléctrico.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R20	Durante la fase de la instalación eléctrica de la instalación se pueden dar fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas, cambios de polaridad, etc. Esto puede dar lugar a fallos importantes, tanto a corto como a largo plazo en la instalación eléctrica.	Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador eléctrico.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)

R21	Durante la ejecución de la instalación eléctrica se producen accidentes relacionados con su instalación como pueden ser contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, electrocuciones, chispas, cortes, etc. Puede ocasionar baja de trabajadores, aumento de coste y tiempo, deterioro de elementos importantes en la instalación eléctrica, etc.	Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...)	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador eléctrico. -Incumplimiento parcial o total de las medidas de prevención y seguridad necesarias en el ámbito de las instalaciones eléctricas.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R22	Se realiza una instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra durante la fase de la instalación eléctrica de la planta. Esto puede dar lugar a fallos importantes en la seguridad eléctrica de la instalación respecto a cualquier persona y/o animal.	Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...)	Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador eléctrico.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R23	Durante la ejecución de la instalación de los generadores fotovoltaicos se producen accidentes relacionados con su instalación como pueden ser sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, etc. Puede ocasionar baja de trabajadores, aumento de coste y tiempo, deterioro o rotura de elementos en la instalación, etc.	Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...)	Falta de experiencia/conocimiento por parte del instalador. -Incumplimiento parcial o total de las medidas de prevención y seguridad necesarias durante la instalación de los generadores.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)

R24	Existe la posibilidad de producir algún tipo de daño a una persona ajena a la obra. En caso de suceder así, puede ocasionar problemas graves respecto a la cobertura de daños de los seguros, problemas legales, costes, etc.	Daños a terceras personas ajenas a la instalación	Falta o ausencia de medidas de seguridad que impidan el paso de terceras personas ajenas a la obra (señales de prohibido el paso y/o advertencia, vallado del perímetro de la instalación, personal de seguridad y vigilancia, etc.)	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R25	Durante la fase de montaje de los generadores fotovoltaicos de la instalación se pueden dar errores como mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, etc. Puede ocasionar una disminución del rendimiento durante su funcionamiento incurriendo en pérdidas de dinero no previstas.	Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)	Falta de experiencia/conocimiento por parte del encargado de obra o instalador. -Especificaciones técnicas de mala calidad o insuficientes sobre el montaje del generador por parte de la empresa suministradora.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R26	Se da la situación de que no se está cumpliendo total o parcialmente la normativa y reglamentación sobre prevención de accidentes. Esto puede provocar mayor número de accidentes laborales, multas por inspección, proyección de una mala imagen de la empresa en este ámbito, etc.	Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del encargado de obra en el área de prevención de accidentes. -La normativa y regulaciones sobre prevención de accidentes no se encuentran correctamente definidas en el documento dedicado en el proyecto para tal fin.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R27	La falta de etiquetación o un etiquetaje inadecuado en equipos o componentes de la planta puede desembocar en problemas a la hora de identificar equipos o	Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado de equipos o componentes	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del encargado de obra.	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)

	componentes, para llevar un correcto registro de incidencias,etc.		-Ausencia de etiquetas por parte de la empresa suministradora.		
R28	Los fallos en el montaje mecánico pueden derivar en problemas tanto a corto como largo plazo de desarme de equipos o componentes, rotura de los mismos, reparaciones, etc.	Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).	Falta de experiencia/conocimiento por parte del encargado de obra y /o instalador. -Falta de tiempo (prisas durante el montaje).	Ejecución de la instalación	Internos técnicos (ejecución)
R29	Posibilidad de que durante las pruebas finales de comprobación y puesta en marcha se den fallos en algún equipo o componente, provocando el retraso en la puesta en funcionamiento de la planta y teniendo que invertir más tiempo y recursos hasta dejarlo todo funcionando correctamente.	Fallos o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	-Ausencia o falta de revisión de todos los equipos y componentes instalados durante la fase de ejecución. -Los equipos o sistemas provienen defectuosos desde fábrica.	Pruebas y puesta en marcha	Internos técnicos (ejecución)
R30	Se realizan un número insuficiente de pruebas en los equipos de la planta, pudiendo crear cierto estado de inseguridad respecto al buen funcionamiento de los equipos y bajo todas las posibles circunstancias. Cuanto mayor sea el número de pruebas y comprobaciones en diferentes circunstancias de funcionamiento, mayor será la seguridad del correcto funcionamiento de todo.	Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...)	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del personal encargado de realizar las pruebas finales. -Falta de tiempo (el proyecto no está cumpliendo los hitos establecidos en tiempo y necesita ir más rápido).	Pruebas y puesta en marcha	Internos técnicos (ejecución)
R31	En la fase de pruebas y puesta en marcha se puede dar el caso de obtener un funcionamiento peor al esperado en una fase previa. Esto puede ocasionar pérdidas de rendimiento (costes) o incluso verse en la necesidad de cambiar o reajustar algún equipo cuyo comportamiento no es el esperado.	Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc.)	-Falta de experiencia/conocimiento por parte del personal encargado de configurar los distintos equipos. -Defectos por parte de fábrica de los equipos.	Pruebas y puesta en marcha	Internos técnicos (ejecución)

R32	Es necesario realizar una parada de la planta por causas externas e impredecibles como pueden ser inundaciones, terremotos, incendios, etc. Estos contratiempos pueden provocar daños en la planta siendo necesario invertir tiempo y dinero para repararlas o sustituirlas.	Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc.)	Causa climatológica externa.	Explotación de la instalación	Externos e impredecibles
R33	Aparición de roturas y/o desgaste de los módulos fotovoltaicos debido a diversos factores como pueden ser impactos mecánicos, fatiga, estrés mecánico o térmico por viento, nieve, granizo... Pueden provocar una disminución del rendimiento de la celda y su gravedad dependerá de la cantidad, longitud y el curso que tomen.	Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	-Errores en la fabricación, transporte o instalación. -Condiciones ambientales adversas. -Proyección de objetos o partículas.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R34	Robo de componentes, principalmente cableado (cobre) y módulos, de la instalación. También pueden darse roturas de equipos o componentes, pintadas, etc. por actos vandálicos. Ambos supuestos pueden ocasionar (dependiendo del grado del robo ó roturas) grandes pérdidas y la necesidad de una fuerte inversión para reponer o reparar todo aquello que haya sido sustraído o roto.	Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	Ausencia de sistema de seguridad (videovigilancia, personal de seguridad, vallado, etc.)	Explotación de la instalación	Externos e impredecibles
R35	Problemas en el laminado (degradado y/o delaminación) de los módulos provocando la aparición de humedad y contaminación. Esto provoca una disminución de la intensidad de la energía que entra en las células(bajada del rendimiento) y puede causar también problemas de corrosión y fallos internos.	Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.	-Incompatibilidad de materiales, laminado viejo, impureza del vidrio o similar. -Exposición en intemperie.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)

R36	Problemas por interconexiones defectuosas. Entre las celdas la corriente fluye por las conexiones que están soldadas. Si estas no tienen un buen contacto generan un estrés mecánico y térmico. Una soldadura mala es sinónimo de resistencia alta (temperatura alta) pudiendo hasta quemar el laminado y el folio de la parte posterior. Otro problema que puede aparecer es una conexión defectuosa, las cuales suelen darse cerca de las cajas de conexión.	Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	-Interconexión defectuosa: mala soldadura. -Conexión defectuosa: diodos bypass destruidos por sobretensión.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R37	Existen puntos calientes no detectados en el módulo. Los puntos calientes son sobrecalentamientos localizados en una celda, se suelen dar cuando parte de ella está cubierta y actúa como consumidor (disipador de calor) alcanzando altas temperaturas y solo una parte del módulo apoya con la generación de corriente. Aunque las pérdidas suelen ser bajas, la parte de la celda queda dañada irreversiblemente.	Presencia de puntos calientes no detectados	-Condiciones de sombra junto con el fallo de un diodo bypass. -Rotura de la celda o fallo en el contacto del colector. -Falta o ausencia de inspecciones termográficas periódicas.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R38	Se produce un descenso del rendimiento debido a la acumulación de polvo y suciedad (hojas, papeles, excrementos de animales, ramas de árboles, etc.) en los módulos FV. Esta pérdida de rendimiento va directamente ligado a la pérdida de dinero.	Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos	-Ausencia o falta de limpieza periódica de los módulos fotovoltaicos. -El coste de la limpieza supera el de las pérdidas generadas por la ausencia de ella.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R39	Bajada del rendimiento por existencia de sombras en los módulos. No se tiene cuidado de que los elementos del entorno no produzcan sombras. Otro problema es el cambio de orientación e inclinación de la estructura del módulo provocada por factores externos (golpes, viento...). Este cambio puede provocar una disminución en	Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...)	-Ausencia o falta de inspección visual de objetos que produzcan sombra y de la correcta orientación e inclinación de los módulos. -Falta o carencia de cuidado de los árboles, hierba...que	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)

	el rendimiento, no encontrándose en el punto óptimo de funcionamiento que previamente se estableció y ocasionando pérdidas gananciales.		haya alrededor de los generadores y puedan producir sombras.		
R40	El inversor puede sufrir una degradación debido a las condiciones adversas del ambiente y a la exposición prolongada de la radiación solar (puede alcanzar altas temperaturas). Estos, son equipos electrónicos, diseñados normalmente para operar cubiertos por una carcasa.	Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa.	Inversor colocado a la intemperie y expuesto a la radiación solar.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R41	La ventilación que necesita el inversor se vuelve insuficiente por problemas diversos provocando que el sistema de refrigeración no funcione adecuadamente, creando a su vez una limitación de potencia temporal (pérdida de rendimiento).	Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	Ausencia o falta de verificación de la correcta ventilación del inversor. Hojas, insectos, suciedad...	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R42	Problema en el aislamiento del cableado por diversos factores externos. Esto puede dar lugar a fallos en el aislamiento, arcos eléctricos, incendios, conectores quemados, etc. pudiendo provocar serios problemas en la instalación.	Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...)	-Falta o ausencia de revisión periódica del cableado. -Exposición a la intemperie, presencia de roedores, etc.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R43	Existencia de calentamientos en diversas zonas de componentes o equipos por falta de disipación. Esto puede provocar mal funcionamiento o parada del equipo, rotura, etc.	Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...)	-Mal diseño del componente o equipo respecto a la refrigeración necesaria del mismo.	Explotación de la instalación	Internos técnicos (explotación)
R44		Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora	Mal ajuste de cobros y pagos. Período de cobros superior al periodo de pago (el pago se realiza antes que el cobro).	Riesgos económicos y financieros	Externos (económicos-financieros)

			Excesivo endeudamiento de la empresa. Mala planificación en las inversiones.		
R45	Alguna de las partes involucradas puede no estar en posesión de fondos disponibles para realizar el pago correspondiente en la fecha establecida.	Falta de pago por alguna de las partes involucradas	Ausencia de disponibilidad de fondos, quiebra de la empresa, etc.	Riesgos económicos y financieros	Externos (económicos-financieros)
R46	En algún determinado punto del proceso se puede producir una quiebra de la empresa responsable del proyecto o de alguna de las subcontratas que tiene contratadas. El mayor riesgo proviene de la quiebra de alguna de las subcontratas, ya que se pierde capital invertido aparte de incluso tener que dejar paralizada alguna de las fases del proyecto por un tiempo definido, hasta buscar una nueva solución, si es posible.	Quiebra de la empresa o de la subcontrata	Mala gestión del proyecto (falta de planificación, ubicación no favorable, insuficiencia de capital, falta de financiación, malas condiciones del mercado, etc.)	Riesgos económicos y financieros	Externos (económicos-financieros)
R47	Debido a trabajos que se han tenido que realizar fuera del presupuesto inicial, pagos de tasas, reparaciones, etc. se ven incrementados los costes del proyecto respecto a los que en un momento inicial se habían previsto.	Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	Realización de trabajos adicionales durante las fases del proyecto (reparaciones, sustituciones, etc) no contemplados en la planificación adicional. -Fallos ó errores en alguna de las fases del proyecto por falta de experiencia/ conocimiento del personal involucrado en ese momento.	Riesgos económicos y financieros	Externos (económicos-financieros)
R48	Principalmente durante el proceso de ejecución, pueden darse situaciones de huelgas de trabajadores con el consiguiente paro parcial o total del proceso de ejecución. Esto puede desencadenar en un aumento de costes, tiempo, etc y puede dar lugar a disputas	Huelgas ó paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación	Insatisfacción del personal por malas condiciones laborales (precariedad, subida de sueldos, inestabilidad en el empleo, riesgo de cierre de la empresa., etc.)	Riesgos de personal y suministros	Externos (Políticos y medioambientales)

	entre jefes y personal contratado o entre ellos mismos.				
R49	Problema que radica principalmente en una insatisfacción del persona generalizada lo que puede llevar desencadenantes negativos para el desarrollo del proyecto y la empresa, como pueden ser: disputas entre los trabajadores, bajada de la productividad, absentismo laboral, etc.	Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores	Malas condiciones laborales.	Riesgos de personal y suministros	Externos (Políticos y medioambientales)
R50	Se pueden producir ausencias del personal contratado por enfermedad. Por ejemplo, la afectación al personal que trabaja en la ejecución por un virus de fácil contagio. Una situación varias bajas por enfermedad a la vez puede causar retrasos en el proyecto y un aumento de costes.	Ausencias por enfermedad del personal contratado	Malas condiciones de higiene y salud en el trabajo. Trabajo que requiere de un esfuerzo alto que pueda inducir a la aparición de lesiones. Contagio de un virus por parte de los trabajadores y difusión del mismo.	Riesgos de personal y suministros	Externos (Políticos y medioambientales)
R51	Puede ocurrir que los proveedores que se han encontrado no transmitan una seguridad y confianza total. Pueden ser proveedores que no sean muy conocidos, con bajo nivel de ventas, con poca experiencia en el sector, malas opiniones de otros clientes, etc. Esto puede ocasionar problemas como retrasos en la entrega de productos o servicios, calidades distintas a las esperadas, escasas garantías del producto, dificultades en los pagos, etc.	Falta de proveedores fiables	Poca cantidad de proveedores entre los que elegir. Escasa búsqueda de proveedores e información por parte de la empresa interesada. Zona con tejido empresarial e industrial pobre. Baja cualificación técnica de los proveedores de acuerdo a las exigencias del proyecto.	Riesgos de personal y suministros	Externos (Políticos y medioambientales)
R52	Se puede presentar el problema de haber contratado un personal con una baja cualificación técnica o de formación en el campo de la energía solar fotovoltaica. Esto puede desencadenar en trabajos no realizados de forma correcta, paradas por	Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).	Búsqueda de personal en zonas con poco tejido industrial y de conocimiento, especialmente en el área de la fotovoltaica. Ahorro en costes	Riesgos de personal y suministros	Externos (Políticos y medioambientales)

	no saber cómo afrontar cualquier problema, pérdida de dinero, etc.		Mala elección del personal por parte del departamento de recursos humanos.		
--	--	--	--	--	--

Tabla 15. Registro inicial de riesgos
(Fuente: Elaboración propia)

6.4 Evaluación de riesgos. Análisis cualitativo

Una vez obtenido y analizado el Registro inicial de riesgos, la siguiente etapa consiste en la **Evaluación de Probabilidad e Impacto de los riesgos**. La finalidad de la evaluación es poder medir y ser capaz de priorizar los riesgos ya identificados para aplicarles una acción posterior. Para poder priorizar los riesgos, es necesario determinar la probabilidad de ocurrencia de ellos y el nivel de impacto que cada uno de ellos ocasionaría en los objetivos del proyecto.

Este trabajo va a estar centrado únicamente en el análisis cualitativo de los riesgos, considerando que no es necesario un análisis cuantitativo posterior.

Para la evaluación de los riesgos se ha hecho uso de la “**Técnica Delphi**”, una técnica normalmente clasificada dentro de los métodos cualitativos o subjetivos dentro de las diferentes técnicas de pronóstico. La aplicación de la misma no es más que la selección de un grupo de expertos en una materia a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones que hacen referencia a acontecimientos del futuro. Para ello se realizan sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes.

Normalmente la técnica Delphi se aplica por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos con el fin de poner de manifiesto convergencia de opiniones. Para ello se ha elaborado un cuestionario, en el cual vienen expuestos todos los riesgos identificados en el registro de riesgos. El cuestionario se ha facilitado a varias empresas expertas en el campo de la energía solar fotovoltaica, que en este caso sería el grupo elegido de expertos.

La formulación teórica del método Delphi comprende varias etapas sucesivas de envíos de cuestionarios, vaciado y explotación; sin embargo, en gran parte de los casos puede limitarse a dos etapas, no afectando a los resultados tal y como puede desprenderse de la experiencia obtenida de estudios similares (Astigarraga). El objetivo que se halla detrás del uso de sucesivas rondas es “disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana”, es decir, cuando se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto en cuanto a las respuestas obtenidas.

Es por ello que el objetivo del primer cuestionario es calcular el espacio intercuartil, mientras que, en la 2º ronda, se le suministra a cada experto las respuestas dadas en la 1º ronda del resto de expertos que participan en el proceso; de esta manera se puede abrir un debate interdisciplinario, pudiendo obtener un consenso mayor en los resultados y un mayor conocimiento sobre el tema de estudio. Para ello es necesario que cada experto involucrado argumente los pros y los contras de sus opiniones y la del resto de sus compañeros.

Básicamente los objetivos esperados de esta 2º vuelta son:

- a) Poder remitir y hacer partícipes de la información obtenida a todos aquellos participantes que han colaborado con el estudio, aportando conocimientos y opiniones.
- b) Consolidar y manifestar públicamente los resultados obtenidos en la consulta inicial.

En este caso de estudio solo se han hecho dos consultas, pero si fuera necesario se podrían haber hecho un mayor número de consultas para obtener resultados más consensuados. Normalmente, en base a la experiencia, las variaciones respecto a los resultados iniciales son mínimos en este tipo de estudios.

De una forma resumida se exponen los pasos llevados a cabo para garantizar la calidad de los resultados en la metodología Delphi:

Fase 1: Formulación del problema

En esta etapa es muy importante definir con precisión el campo de investigación o actuación. La elaboración del cuestionario debe presentar preguntas claras, precisas e independientes.

Fase 2: Elección de expertos

Es esencial la elección de expertos que conozcan el tema en profundidad. Es muy importante que los expertos sean aislados entre si recogiendo sus respuestas de forma anónima; asegurándonos de obtener así la opinión real de cada experto y no una opinión falseada o influida por el grupo.

Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios.

En esta fase es muy importante que los cuestionarios estén realizados de manera que faciliten las respuestas a los participantes. Las preguntas son formuladas en el ámbito de probabilidad e importancia (impacto).

Fase 4: Desarrollo práctico y explotación de resultados.

El cuestionario es enviado a un cierto número de expertos, el cual suele ir acompañado de una nota de presentación o introducción donde se explican los objetivos que se pretenden conseguir con el cuestionario, condiciones prácticas, etc.

Como ya se ha comentado, el objetivo de los cuestionarios sucesivos no es otro que intentar disminuir la dispersión de las opiniones obtenidas en una 1º ronda de cuestionarios. En la 2º ronda los expertos serán informados de los resultados obtenidos en la 1º ronda debiendo dar una nueva respuesta siendo necesaria su justificación de este si resultara ser fuertemente divergente con respecto a la del grupo.

El cuestionario realizado ha sido el que se muestra a continuación:



The image shows a digital questionnaire titled "Registro inicial de riesgos" (Initial Risk Register). The background of the page features a close-up of solar panels. The text explains the purpose of the form: to assess risks related to the design, execution, and operation of a solar photovoltaic installation. It states that the questionnaire will evaluate individual risks based on their probability of occurrence and potential impact. A note mentions that once all risks are evaluated, a study can be conducted to identify those with the highest probability and impact. The form includes a section for participant data, with fields for "Dirección de correo electrónico" (Email address) and "Nombre y apellidos" (Name and surnames), both marked as mandatory (*). Below these are fields for "Nombre de la empresa" (Company name) and "Tu respuesta" (Your answer). At the bottom, there is a "SIGUIENTE" (Next) button, a progress bar indicating "Página 1 de 3" (Page 1 of 3), and a disclaimer: "Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google." (Never send passwords through Google Forms).

Registro inicial de riesgos

En este formulario se exponen una serie de riesgos relacionados con el diseño, ejecución y explotación de una instalación solar fotovoltaica conectada a red con captadores solares fijos. La finalidad del cuestionario es dar una valoración individual a cada uno de ellos en dos aspectos, que son, la probabilidad de que el suceso o riesgo ocurra y por otro lado el impacto que podría ocasionar en caso de que suceda.

Una vez se tiene la valoración de todos los riesgos, se puede hacer un estudio de cuales serían aquellos que presentan una mayor probabilidad e impacto de que ocurran y cuales por el contrario pueden no tenerse en consideración en la misma medida, todo esto en función de los resultados obtenidos en el cuestionario.

A continuación se presentan una serie de datos que es necesario rellenar por parte del participante en el cuestionario.

***Obligatorio**

Dirección de correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico

Datos del participante

Nombre y apellidos *

Tu respuesta

Nombre de la empresa *

Tu respuesta

SIGUIENTE

Página 1 de 3

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Figura 70.- Pagina inicial cuestionario del registro inicial de riesgos.

(Fuente: Elaboración propia)

En una primera página se explica de manera resumida en que consiste el formulario y lo que se pretende con la realización del mismo. También se piden datos de contacto a cada participante para tener un control de aquellos que han hecho el cuestionario y sus respuestas asociadas. En la imagen de arriba puede identificarse esta primera página del mismo.

El cuestionario se ha llevado a cabo de una manera anónima para así evitar los efectos de “líderes” y poder crear subjetividad en las respuestas de los unos en los otros. Las preguntas del mismo en su mayoría están referidas a las probabilidades de realización de hipótesis o acontecimientos con relación al tema de estudio, en este caso, la ejecución de una planta solar fotovoltaica.

Es obvio que los resultados serán mejores o más fiables, cuanto más cuidado se ponga en la elaboración por parte de cada uno de los participantes, en la elección de los expertos consultados y la cantidad de los mismos.

En la siguiente página del formulario, se explican las tablas que se han seleccionado como referencia para evaluar el nivel de impacto y probabilidad de los riesgos presentes en el cuestionario. Las tablas que se han usado son las que se muestran a continuación.

Tablas de referencia: probabilidad e impacto de los riesgos

A continuación se exponen dos tablas con distintas escalas, correspondientes a la probabilidad de ocurrencia de los riesgos y al nivel de impacto de los mismos si estos ocurriesen. En ambas tablas se muestra la escala para ambos casos. Sirven de referencia para clasificar la probabilidad e impacto de cada riesgo. Serán la base sobre la que nos tenemos que fijar para valorar cada riesgo que se expondrá a continuación.

Escala de probabilidad de riesgos

Escala	Nivel de probabilidad	Descripción
5	Casi certeza	Riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es muy alta , es decir, se tiene plena seguridad que esté presente, tiende al 100%
4	Probable	Riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es alta , es decir, se tiene entre 75% a 95% de seguridad que éste se presente
3	Moderado	Riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es media , es decir, se tiene entre 51% a 74% de seguridad que éste se presente
2	Improbable	Riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es baja , es decir, se tiene entre 26% a 50% de seguridad que éste se presente
1	Muy improbable	Riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es muy baja , es decir, se tiene entre 11% a 25% de seguridad que éste se presente

Escala de impacto de los riesgos

Escala	Nivel de impacto	Descripción
5	Muy alto	Si el riesgo ocurre el impacto puede ser catastrófico. El proyecto puede ser cancelado
4	Alto	Si el riesgo ocurre el impacto en los objetivos del proyecto son significativos y crean insatisfacción en los clientes o patrocinadores. El proyecto puede ser cuestionado
3	Moderado	Si el riesgo ocurre el impacto en los objetivos del proyecto son significativos y crean insatisfacción en los clientes o patrocinadores.
2	Bajo	Si el riesgo ocurre el impacto en los objetivos del proyecto son menores o no se notan. Pero son percibidos por los clientes o patrocinadores
1	Muy bajo	Si el riesgo ocurre el impacto en los objetivos del proyecto son menores o no se notan.

Figura 71.- Escalas de probabilidad e impacto usadas en el cuestionario.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez el participante conoce el objetivo del cuestionario y las tablas sobre las que tiene que basar sus puntuaciones, el último paso es la realización del cuestionario. El formato del cuestionario es el que se adjunta en la siguiente figura.

Trámites administrativos

1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...). *

	1	2	3	4	5
Probabilidad	☐	☐	☐	☐	☐
Impacto	☐	☐	☐	☐	☐

1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución. *

	1	2	3	4	5
Probabilidad	☐	☐	☐	☐	☐
Impacto	☐	☐	☐	☐	☐

Diseño de la instalación

2.1 Estimación incorrecta de la producción de energía. *

	1	2	3	4	5
Probabilidad	☐	☐	☐	☐	☐
Impacto	☐	☐	☐	☐	☐

2.2 Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...). *

	1	2	3	4	5
Probabilidad	☐	☐	☐	☐	☐
Impacto	☐	☐	☐	☐	☐

Figura 72.- Cuestionario riesgos.

(Fuente: Elaboración propia)

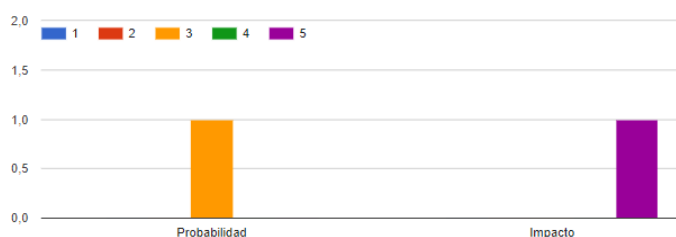
En esta figura solo se ha extraído una parte del cuestionario para poder tener una idea del formato y organización que se ha seguido en el mismo. En él se encuentran todos los riesgos extraídos del Registro de riesgos, ordenados según las fases que han sido consideradas para este proyecto.

Cuando el participante ha finalizado el cuestionario, las respuestas se guardan en formato Excel y en el propio cuestionario de forma gráfica tal y como se muestra en la siguiente figura. De esta forma quedan guardadas todas las respuestas de los diferentes participantes, con su fecha y hora de realización correspondientes.

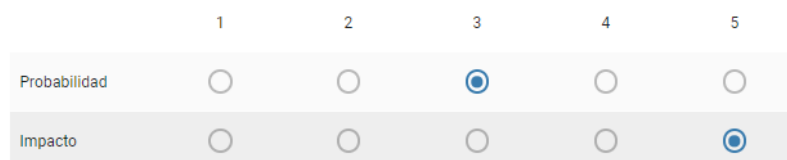
CUESTIONARIO REGISTRO DE RIESGOS

Trámites administrativos

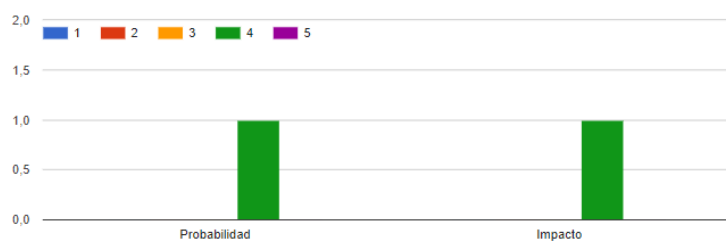
1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).



1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...). *



1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.



1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución. *

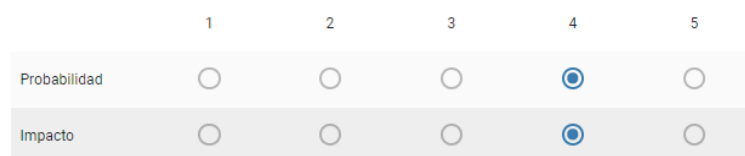


Figura 73.- Ejemplo de respuestas en el cuestionario.

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez se obtiene la valoración de las diferentes empresas del sector a las que se les ha proporcionado el cuestionario, el siguiente paso es realizar una priorización de riesgos mediante la severidad que implica cada riesgo; la severidad es el resultado de multiplicar la probabilidad por el impacto. Una vez obtenida la severidad de cada riesgo, la priorización se realiza usando una matriz de probabilidad e impacto.

Es necesario resumir las valoraciones de las diferentes empresas a cada riesgo en un solo número. Para obtener un valor único de probabilidad e impacto en cada riesgo, se ha decidido utilizar medidas de tendencia central.

Por un lado, se ha utilizado la **media aritmética**, donde para obtener la probabilidad e impacto medios, lo que se ha hecho es sumar los resultados dados por cada empresa a un mismo riesgo y dividirlos entre el número de empresas que han contestado. El mayor problema que presenta este método es que para poblaciones muy distintas en su composición, pueden tener la misma media; por ejemplo, un grupo de valores homogéneos tendrá como media ese valor y un grupo de valores muy heterogéneos también puede tener como media ese valor, caso en el que no representa fielmente a los componentes del grupo. Las operaciones con la media se han redondeado al entero más próximo.

Otra opción que se ha llevado a cabo es utilizar la **moda**, que se trata de obtener el dato más repetido de la encuesta, es decir, el valor de la variable con mayor frecuencia absoluta. Es muy aconsejable para variables cualitativas. Uno de los inconvenientes que presenta es que para grandes variaciones en los datos fuera de la moda, no afectarían en modo alguno en su valor. Se ha tenido en cuenta que, si se presentan dos modas adyacentes, el valor modal es el promedio de los dos valores modales. Y en el caso de presentarse dos modas no adyacentes, se toma el valor modal mayor, pues en nuestro caso no nos interesa tener dos valores modales, tomando por tanto el valor más restrictivo.

Como ya se ha comentado, primero se ha realizado una 1º ronda de evaluación anónima por parte de los expertos. Los resultados obtenidos en referencia a la probabilidad e impacto dados por las diferentes empresas en esta 1º ronda se encuentran en el **anexo II y III** de este trabajo. En ambos anexos se han incluido las probabilidades e impactos medios y modales, así como un tercer dato adicional calculado, que se trata de la desviación típica. La desviación típica queda definida como la raíz cuadrada de la varianza de la variable y sirve principalmente para conocer la desviación que presentan una serie de datos en su distribución respecto a la media aritmética de dicha distribución, es decir, es un índice muy sensible a las puntuaciones extremas. Cuanto menor sea su valor, mayor será la concentración de datos alrededor de la media.

El siguiente paso ha consistido en obtener la severidad de cada riesgo, para ello se ha hecho uso de la probabilidad e impacto respecto de la moda en cada riesgo, multiplicándolos entre sí y obteniendo así su prioridad. Se ha utilizado la moda como medida definitoria porque para este tipo de estudio se ha pensado que es una medida más adecuada.

Para obtener la prioridad de cada riesgo analizado, se ha hecho uso de la matriz de probabilidad e impacto; en la siguiente tabla se muestra la que se ha usado para el caso de estudio. La prioridad se obtiene una vez se ha calculado la severidad correspondiente a cada riesgo. Por ejemplo, si tenemos un riesgo con una probabilidad de nivel 4 (muy probable) y un impacto de nivel 3 (moderado) su severidad será de 12 (4x3) siendo un riesgo con priorización alta.

	Matriz de probabilidad e impacto				
	Impacto				
Probabilidad	1- Insignificante	2- Pequeño	3- Moderado	4- Grande	5- Catástrofe
5- Casi seguro	Medio (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muy alto (20)	Muy alto (25)
4- Muy probable	Bajo (4)	Medio (8)	Alto (12)	Alto (16)	Muy alto (20)
3- Es posible	Bajo (3)	Medio (6)	Medio (9)	Alto (12)	Alto (15)
2- Es raro que suceda	Bajo (2)	Bajo (4)	Medio (6)	Medio (8)	Alto (10)
1- Sería excepcional	Bajo (1)	Bajo (2)	Bajo (3)	Bajo (4)	Medio (5)

Tabla 16. Matriz de probabilidad e impacto.

(Fuente: Elaboración propia)

La escala de probabilidades e impactos van del nivel 1 al 5 en ambos casos, teniendo por tanto un rango de severidad 1-25. La prioridad de los riesgos dependiendo de su severidad se clasifica por tanto de la siguiente manera.

Severidad	Prioridad
1 - 4	Baja
5 - 9	Media
10 - 14	Alta
15 - 19	Alta
20 - 25	Muy alta

Tabla 17. Prioridad respecto a la severidad.

(Fuente: Elaboración propia)

En función del nivel de prioridad otorgado, la acción requerida en el plan de respuesta deberá presentar mayor severidad, tiempo de instauración, etc. En la siguiente tabla se muestra esta relación.

Nivel de riesgo	Acción requerida para el tratamiento
Muy alto	Inaceptable: las acciones deben tomarse inmediatamente.
Alto	Inaceptable: las acciones deben tomarse lo antes posible.
Medio	Las acciones son necesarias y deben tomarse en un plazo razonable
Bajo	Aceptable: no se requieren acciones como resultado de la evaluación de riesgos.
Muy bajo	Aceptable: ninguna acción requerida

Tabla 18. Acción requerida en el tratamiento respecto al nivel de riesgo

(Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en esta 1º Ronda Delphi.

▪ **RESULTADOS OBTENIDOS EN LA 1º RONDA DELPHI**

En la siguiente tabla se muestran las probabilidades e impactos de cada riesgo en función de la moda, su severidad, su prioridad y la tolerabilidad, la cual se basa en la priorización obtenida en cada uno de ellos. Se ha establecido que aquellos riesgos con prioridad mayor o igual a prioridad media son no aceptables y deben ser tratados, siendo tolerables o aceptables aquellos con prioridad baja. Se ha decidido seleccionar la moda como la medida de tendencia central más adecuada para el estudio de este trabajo.

La tabla con los diferentes parámetros comentados, referentes a la 1º ronda de expertos es la siguiente:

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Severidad (Pxl)	Prioridad	Tolerabilidad
1.1	3	4	12	Alta	TRATABLE
1.2	4	4	16	Alta	TRATABLE
2.1	1	3	3	Baja	TOLERABLE
2.2	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.4	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.5	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.6	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.7	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.8	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.1	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.2	1	2	2	Baja	TOLERABLE
3.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.4	2	3	6	Media	TRATABLE
3.5	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.6	3	2	6	Media	TRATABLE
3.7	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.8	1	2	2	Baja	TOLERABLE
3.9	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.10	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.11	2	3	6	Media	TRATABLE
3.12	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.13	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.14	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.15	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.16	2	3	6	Media	TRATABLE
3.17	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.18	2	2	4	Baja	TOLERABLE
4.1	3	2	6	Media	TRATABLE
4.2	3	2	6	Media	TRATABLE
4.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
5.1	1	4	4	Baja	TOLERABLE
5.2	2	4	8	Media	TRATABLE
5.3	1	4	4	Baja	TOLERABLE
5.4	2	2	4	Baja	TOLERABLE
5.5	3	4	12	Media	TRATABLE
5.6	3	3	9	Media	TRATABLE
5.7	3	3	9	Media	TRATABLE
5.8	1	3	3	Baja	TOLERABLE
5.9	2	3	6	Media	TRATABLE
5.10	1	2	2	Baja	TOLERABLE
5.11	1	2	2	Baja	TOLERABLE
5.12	3	2	6	Media	TRATABLE
6.1	3	3	9	Media	TRATABLE
6.2	3	3	9	Media	TRATABLE

6.3	1	4	4	Baja	TOLERABLE
6.4	2	3	6	Media	TRATABLE
7.1	1	2	2	Baja	TOLERABLE
7.2	1	2	2	Baja	TOLERABLE
7.3	1	2	2	Baja	TOLERABLE
7.4	2	3	6	Media	TRATABLE
7.5	1	3	3	Baja	TOLERABLE

Tabla 19. Priorización de los riesgos respecto a la severidad obtenida en 1º ronda.
(Fuente: Elaboración propia)

En el siguiente diagrama de barras se puede apreciar de una forma más gráfica cuales son aquellos riesgos que sobrepasan el límite de severidad media mediante el uso de la moda y debiendo establecerse, por tanto, un plan de respuesta adecuado a ellos para esta 1º ronda.

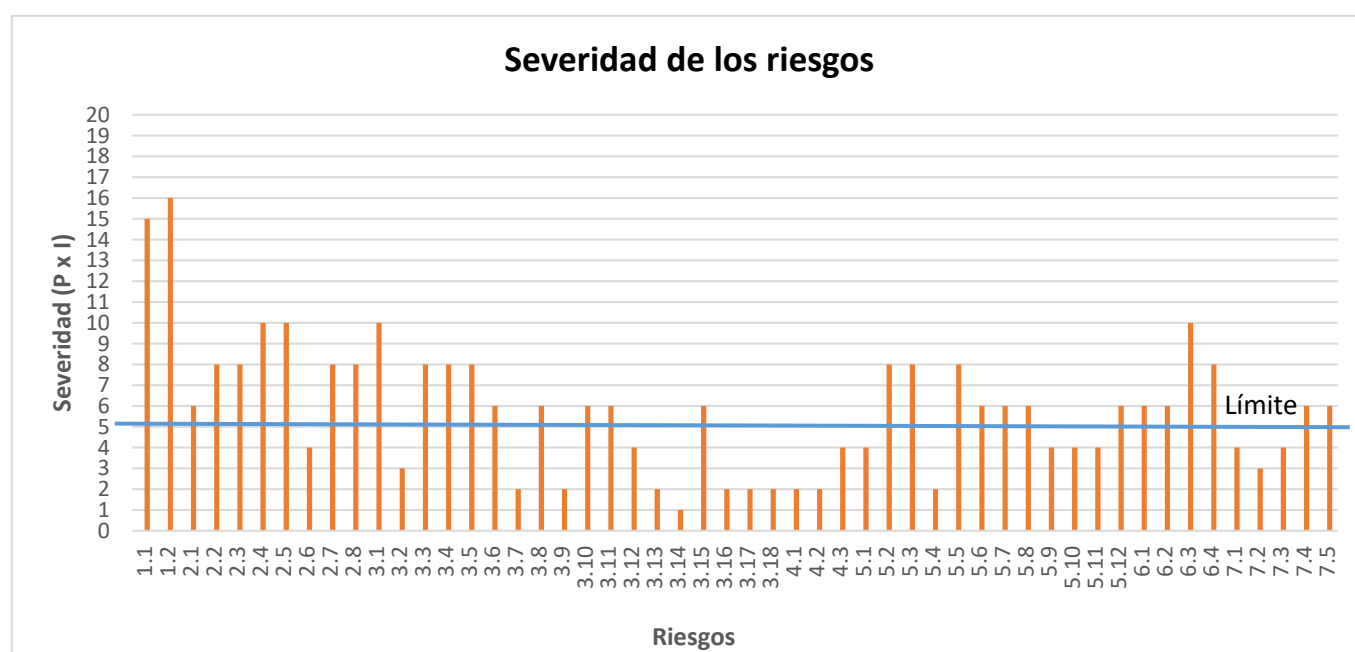


Figura 74. Clasificación de los riesgos en función de su severidad en ronda 1

(Fuente: Elaboración propia)

Especificando aún más, del total de los 52 riesgos, 2 tienen prioridad alta, 16 prioridad media y el resto poseen prioridad baja. Como tal, hay 18 riesgos tratables según la moda, esto representa un 34,62% del total de riesgos.

A partir de la calificación obtenida para cada riesgo, se obtienen aquellos riesgos que son considerados como “no aceptables o tratables” y deben ser tratados. La lista de los riesgos intolerables según la moda es la siguiente. Se encuentran ordenados en orden descendiente de severidad.

RIESGOS A TRATAR		Severidad	Prioridad
1	1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	16	Alta
2	1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	12	Alta
3	5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	12	Alta
4	5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	9	Media
5	5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	9	Media
6	6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	9	Media
7	6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	9	Media
8	5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	8	Media
9	3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	6	Media
10	3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	6	Media
11	3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	6	Media
12	3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	6	Media
13	4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	6	Media
14	4.2 Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).	6	Media
15	5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	6	Media
16	5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	6	Media
17	6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	6	Media
18	7.4 Falta de proveedores fiables.	6	Media

Tabla 20. Riesgos "no aceptables" utilizando la moda como medida de tendencia central en ronda 1
(Fuente: elaboración propia)

Aparte de estos 18 riesgos, se ha considerado añadir a la lista algunos que no se encuentran dentro de la moda, pero poseen un valor alto en la media y se consideran importantes, siendo los siguientes:

RIESGOS A TRATAR		Severidad	Prioridad
19	6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	6	Media
20	2.4 Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	8	Media
21	2.5 Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	6	Media
22	5.3 Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	6	Media
23	3.5 Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil.	6	Media

Tabla 21. Riesgos "no aceptables" utilizando la media como medida de tendencia central en ronda 1

(Fuente: elaboración propia)

Dentro de los riesgos que se han obtenido como que deben ser tratados, se incluye el siguiente gráfico de sectores en el que se muestra el peso o porcentaje que cada fase tiene dentro de los riesgos priorizados.

Porcentaje de participación de cada fase en los riesgos priorizados (1º ronda Delphi)

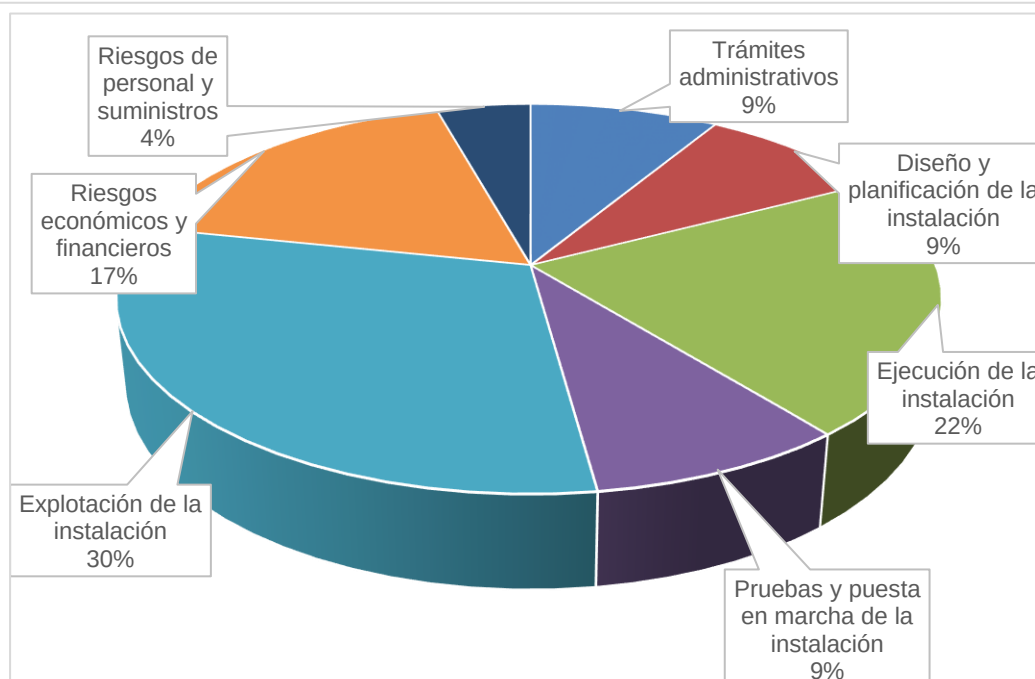


Figura 75.- Porcentaje de participación de cada fase en riesgos priorizados (ronda 1).

(Fuente: elaboración propia)

La mayoría se obtiene para los riesgos ubicados en la fase de explotación, con un 30% del total.

De todas formas, esta lista de riesgos “a tratar” procedentes de esta 1º ronda no van a ser tratados como tal, ya que como se ha establecido anteriormente se va a proceder a una 2º ronda de expertos para un resultado más consensuado y fiable. El objetivo de la exposición de las tablas anteriores es para tener una idea a priori de aquellos riesgos más desfavorables y poder realizar una comparación a posterior con los riesgos definitivos que necesitan ser tratados, obtenidos en la 2º valoración de expertos.

▪ **RESULTADOS OBTENIDOS EN LA 2º RONDA DELPHI**

A continuación, se presentan las respuestas obtenidas referentes a la 2º ronda realizada por parte de los expertos, tal y como se ha detallado anteriormente. En este caso particular de estudio, las respuestas fueron proporcionadas solamente a una de las empresas.

Los resultados obtenidos referentes a la probabilidad e impacto de los diferentes riesgos, una vez que dicha empresa han analizado y valorado las respuestas propias y de los compañeros referentes a la 1º ronda, se encuentran en el **anexo IV y V** de este documento. En ellas se han recogido la probabilidad e impacto medio y modal y la desviación típica de estos nuevos resultados.

Una comparación interesante es la de comparar la desviación en ambas rondas para los diferentes riesgos. En la siguiente tabla se muestra dicha comparación.

Riesgo	Desviación típica, σ					
	Probabilidad			Impacto		
	1ª ronda	2ª ronda	Resultado	1ª ronda	2ª ronda	Resultado
1.1	0,4000	0,4000	IGUAL	0,7483	0,6325	MEJORA
1.2	0,4899	0,4899	IGUAL	0,9798	0,8000	MEJORA
2.1	0,8000	0,4000	MEJORA	0,7483	0,4899	MEJORA
2.2	0,4000	0,4000	IGUAL	0,8000	0,8000	IGUAL
2.3	0,4000	0,0000	MEJORA	0,8000	0,8000	IGUAL
2.4	0,6325	0,4000	MEJORA	1,1662	1,1662	IGUAL
2.5	0,4899	0,4899	IGUAL	1,1662	1,1662	IGUAL
2.6	0,6325	0,6325	IGUAL	0,8000	0,4000	MEJORA
2.7	0,4000	0,4000	IGUAL	0,9798	0,8000	MEJORA
2.8	0,4899	0,4899	IGUAL	0,9798	0,9798	IGUAL
3.1	0,4899	0,4899	IGUAL	1,2649	1,2649	IGUAL
3.2	0,4899	0,4899	IGUAL	1,0198	0,6325	MEJORA
3.3	0,4000	0,4899	EMPEORA	1,0198	1,0198	IGUAL
3.4	0,4899	0,4899	IGUAL	1,0198	1,0198	IGUAL
3.5	0,4899	0,4000	MEJORA	0,8000	0,8000	IGUAL
3.6	0,7483	0,7483	IGUAL	0,4899	0,4899	IGUAL
3.7	0,8000	0,8000	IGUAL	0,9798	0,9798	IGUAL
3.8	1,1662	1,1662	IGUAL	0,4899	0,4899	IGUAL
3.9	0,4899	0,4899	IGUAL	0,7483	0,7483	IGUAL

3.10	0,7483	0,7483	IGUAL	0,4899	0,4899	IGUAL
3.11	0,4000	0,4899	EMPEORA	0,7483	0,7483	IGUAL
3.12	0,4899	0,4899	IGUAL	0,4899	0,4000	MEJORA
3.13	0,7483	0,7483	IGUAL	0,4000	0,4000	IGUAL
3.14	0,8000	0,8000	IGUAL	0,8000	0,8000	IGUAL
3.15	0,7483	0,7483	IGUAL	0,4899	0,4899	IGUAL
3.16	0,7483	0,8944	EMPEORA	0,7483	0,7483	IGUAL
3.17	0,7483	0,4899	MEJORA	0,4899	0,4899	IGUAL
3.18	0,4899	0,4899	IGUAL	0,6325	0,4000	MEJORA
4.1	0,9798	0,9798	IGUAL	0,6325	0,6325	IGUAL
4.2	0,8944	0,8000	MEJORA	0,6325	0,6325	IGUAL
4.3	0,9798	0,4000	MEJORA	0,4899	0,4000	MEJORA
5.1	0,4000	0,4000	IGUAL	1,0198	1,0198	IGUAL
5.2	0,4000	0,4000	IGUAL	0,9798	0,9798	IGUAL
5.3	1,1662	1,1662	IGUAL	0,7483	0,7483	IGUAL
5.4	0,7483	0,7483	IGUAL	0,9798	0,9798	IGUAL
5.5	0,8944	0,8944	IGUAL	0,8944	0,8944	IGUAL
5.6	0,8944	0,8944	IGUAL	0,7483	0,6325	MEJORA
5.7	1,2000	0,9798	MEJORA	0,4899	0,4000	MEJORA
5.8	0,8000	0,8000	IGUAL	0,7483	0,6325	MEJORA
5.9	0,7483	0,7483	IGUAL	0,7483	0,7483	IGUAL
5.10	0,8944	0,8944	IGUAL	0,8000	0,7483	MEJORA
5.11	0,4899	0,4000	MEJORA	0,9798	0,8944	MEJORA
5.12	0,8944	0,8944	MEJORA	0,4899	0,4899	IGUAL
6.1	0,8944	0,8944	MEJORA	0,4899	0,4899	IGUAL
6.2	0,8944	0,8944	MEJORA	0,4000	0,4000	IGUAL
6.3	0,8000	0,8000	IGUAL	0,7483	0,7483	IGUAL
6.4	1,0198	1,0198	IGUAL	0,4899	0,4899	IGUAL
7.1	0,4899	0,4000	MEJORA	0,9798	0,8944	MEJORA
7.2	0,4000	0,0000	MEJORA	0,8000	0,8000	IGUAL
7.3	0,4000	0,4000	IGUAL	1,0198	1,0198	IGUAL
7.4	0,4899	0,4899	IGUAL	0,8000	0,8000	IGUAL
7.5	0,8000	0,8000	IGUAL	0,4000	0,4000	IGUAL

Tabla 22. Desviaciones típicas obtenidas en la 1º y 2º ronda de expertos.

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra el análisis de estos resultados con respecto a los obtenidos en la 1º ronda.

	Probabilidad		Impacto	
	Cantidad de riesgos	Porcentaje de riesgos	Cantidad de riesgos	Porcentaje de riesgos
Mejora	14	27%	15	29%
Igual	35	67%	37	71%
Empeora	3	6%	0	0%

Tabla 23. Datos numéricos y porcentuales referentes a la probabilidad e impacto en la desviación típica.

(Fuente: elaboración propia)

Se observa como por regla general en ambos casos la desviación mejora con respecto a la 1º ronda de resultados; comportamiento que tiene sentido ya que en la 2º ronda la tendencia es obtener resultados más parecidos y consensuados. Cuanto más se acerque a cero el valor de la desviación, más consensuada habrá sido la respuesta de los expertos respecto a un riesgo concreto. Cuando tome el valor cero, indica que todas las respuestas para ese riesgo han sido iguales y todos los expertos están de acuerdo en la respuesta del riesgo. Cuanto menor sea su valor mayor será la concentración de los datos alrededor de la media. Por tanto, se puede concluir que esta 2º valoración por parte de los expertos ha sido beneficiosa, obteniendo unos resultados más consensuados y similares.

A continuación, se muestra la tabla con las probabilidades e impactos modales, su severidad, prioridad y tolerabilidad respecto a los resultados obtenidos en esta 2º ronda de expertos.

Riesgo	Probabilidad (moda)	Impacto (moda)	Severidad (Pxl)	Prioridad	Tolerabilidad
1.1	3	4	12	Alta	TRATABLE
1.2	4	4	16	Alta	TRATABLE
2.1	1	3	3	Baja	TOLERABLE
2.2	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.4	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.5	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.6	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.7	2	2	4	Baja	TOLERABLE
2.8	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.1	1	2	2	Baja	TOLERABLE
3.2	1	2	2	Baja	TOLERABLE
3.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.4	2	3	6	Media	TRATABLE
3.5	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.6	3	2	6	Media	TRATABLE
3.7	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.8	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.9	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.10	2	3	6	Media	TRATABLE
3.11	2	3	6	Media	TRATABLE
3.12	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.13	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.14	1	3	3	Baja	TOLERABLE
3.15	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.16	3	3	9	Media	TRATABLE
3.17	2	2	4	Baja	TOLERABLE
3.18	2	2	4	Baja	TOLERABLE
4.1	3	2	6	Media	TRATABLE
4.2	1	2	2	Baja	TOLERABLE
4.3	2	2	4	Baja	TOLERABLE
5.1	1	4	4	Baja	TOLERABLE
5.2	2	4	8	Media	TRATABLE
5.3	1	4	4	Baja	TOLERABLE
5.4	2	2	4	Baja	TOLERABLE
5.5	3	4	12	Alta	TRATABLE
5.6	3	3	9	Media	TRATABLE
5.7	3	3	9	Media	TRATABLE
5.8	1	3	3	Baja	TOLERABLE
5.9	2	3	6	Media	TRATABLE
5.10	3	3	9	Media	TRATABLE
5.11	1	4	4	Baja	TOLERABLE
5.12	3	2	6	Media	TRATABLE
6.1	3	3	9	Media	TRATABLE
6.2	3	3	9	Media	TRATABLE

6.3	1	4	4	Baja	TOLERABLE
6.4	2	3	6	Media	TRATABLE
7.1	1	4	4	Baja	TOLERABLE
7.2	1	2	2	Baja	TOLERABLE
7.3	1	2	2	Baja	TOLERABLE
7.4	2	3	6	Media	TRATABLE
7.5	1	3	3	Baja	TOLERABLE

Tabla 24. Priorización de los riesgos respecto a la severidad obtenida en ronda 2.

(Fuente: Elaboración propia)

En el siguiente diagrama de barras se puede apreciar de una forma más gráfica cuales son aquellos riesgos que sobrepasan el límite de severidad media mediante el uso de la moda y debiendo establecerse, por tanto, un plan de respuesta adecuado a ellos para esta 2º ronda, y ya definitiva.

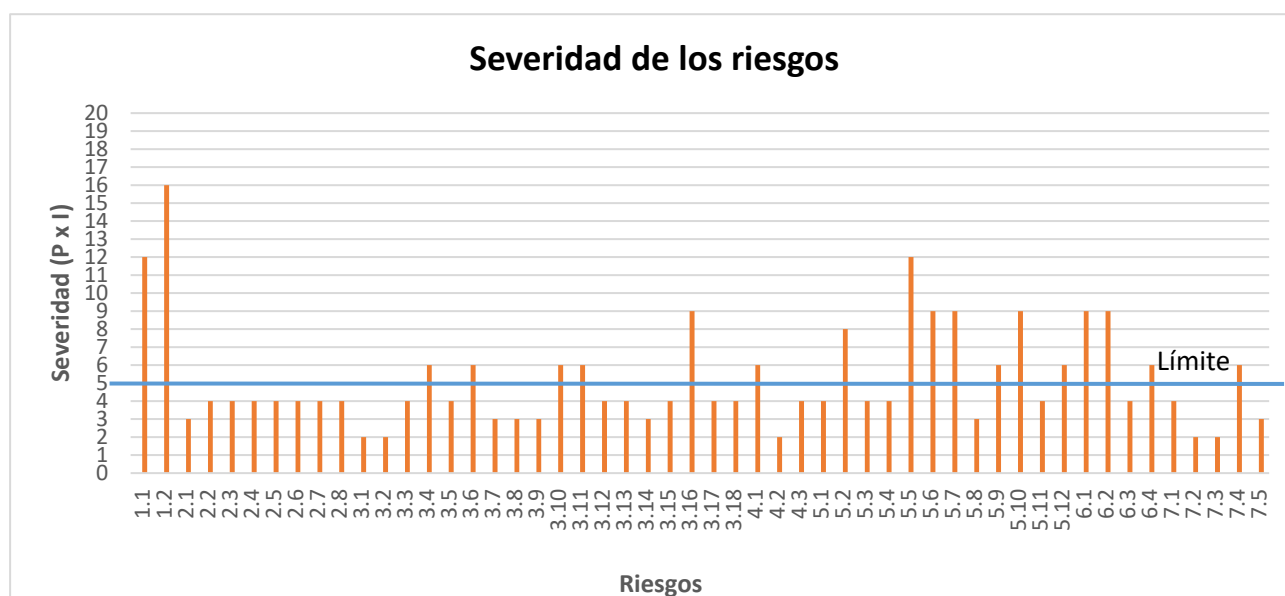


Figura 76.- Clasificación de los riesgos en función de su severidad en ronda 2.

(Fuente: elaboración propia)

En esta 2º ronda definitiva, de los 52 riesgos totales que hay, 3 tienen prioridad alta, 16 prioridad media y el resto prioridad baja.

Se incluyen dos riesgos nuevos con necesidad de ser tratados respecto a la 1º ronda, el 3.10 y el 5.10, y se elimina el riesgo 4.2. que aparecía con severidad media en la 1º ronda.

En base a estos resultados que se toman como definitivos, los riesgos a tratar son los mostrados en la tabla siguiente:

RIESGOS A TRATAR		Severidad	Prioridad
1	1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	16	Alta
2	1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	12	Alta
3	5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	12	Alta
4	3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	9	Media
5	5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	9	Media
6	5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	9	Media
7	5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	9	Media
8	6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	9	Media
9	6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	9	Media
10	5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	8	Media
11	3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	6	Media
12	3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	6	Media
13	3.10 Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	6	Media
14	3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	6	Media
15	4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	6	Media
16	5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	6	Media
17	5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	6	Media
18	6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	6	Media
19	7.4 Falta de proveedores fiables.	6	Media

Tabla 25.- Riesgos "no aceptables" utilizando la moda como medida de tendencia central en ronda 2.

(Fuente: Elaboración propia)

Aparte de estos 19 riesgos, se ha considerado añadir a la lista el riesgo 6.3 que no se encuentra dentro de los obtenidos por medio de la moda, pero posee un valor de severidad alto en la media y se consideran importante, al igual que pasaba en la 1º ronda.

RIESGOS A TRATAR		Severidad	Prioridad
20	6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	8	Media

Tabla 26. Riesgos "no aceptables" utilizando la media como medida de tendencia central en ronda 2.

(Fuente: Elaboración propia)

Obteniendo así para esta 2º ronda definitiva, un total de 20 riesgos que deben ser tratados. Dentro de estos riesgos, se incluye el siguiente gráfico de sectores en el que se muestra el peso o porcentaje que cada fase tiene dentro de los riesgos priorizados.

Porcentaje de participación de cada fase en los riesgos priorizados (2º ronda Delphi)

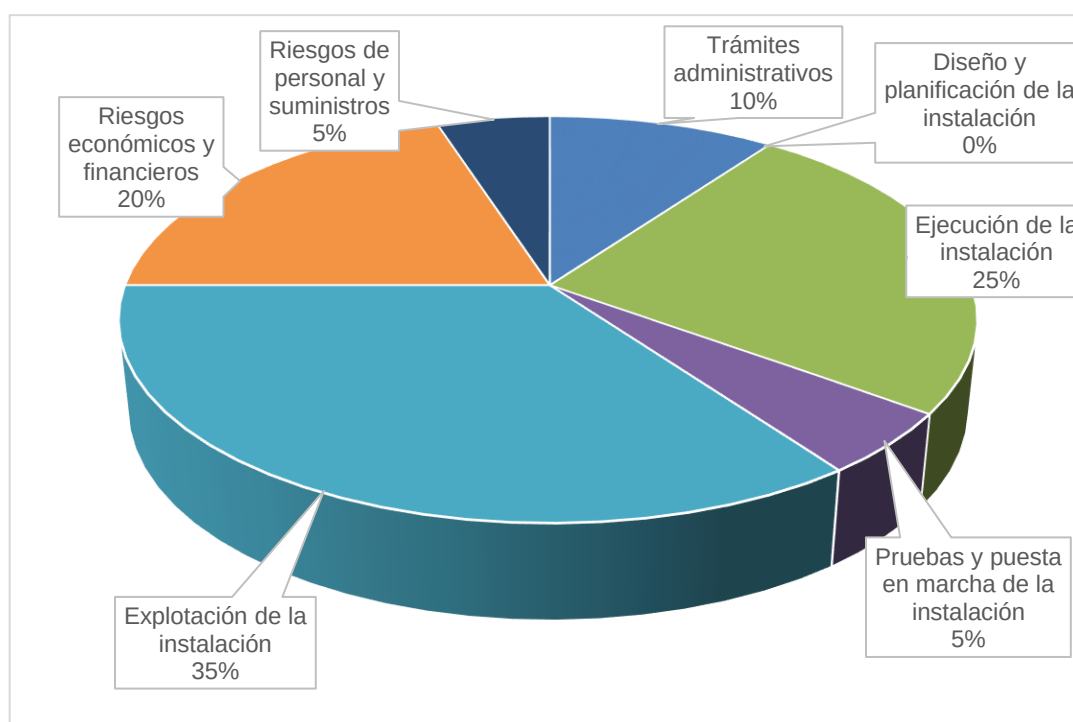


Figura 77.- Porcentaje de participación de cada fase en los riesgos priorizados en ronda 2.

(Fuente: elaboración propia)

Sigue manteniéndose el porcentaje más alto para la fase de explotación de la instalación, con un valor del 35% respecto del total.

6.5 Tratamiento de riesgos. Planificación de respuesta

Una vez concluida la evaluación de los riesgos se deben tratar aquellos riesgos priorizados, desarrollando opciones y determinando las acciones necesarias a realizar para dar tratamiento a los mismos, reduciendo así las amenazas. No hay que olvidar que la evaluación de riesgos debe ser, en general, un proceso continuo. Por lo tanto, la adecuación de las medidas de control debe estar sujeta a una revisión continua y modificarse, si es preciso en un futuro. El principal resultado será las respuestas a los riesgos.

Como ya se detalló en el cuarto capítulo, las medidas para el tratamiento de riesgos son: evitar, reducir, transferir o aceptar.

La siguiente tabla nos puede servir de ayuda para la categorización de las estrategias en función de la prioridad del riesgo a tratar. En ella se muestra la prioridad en función de la severidad del riesgo y la acción que es más usual tomar en cada uno de los casos.

Severidad riesgo	Prioridad	Acción a tomar
1 - 4	Baja	Se reconoce el riesgo y se decide no hacer nada.
5 - 9	Media	Dejar por escrito que se hará cuando ocurra este evento. Preparar un plan y reserva de contingencias.
10 - 14	Media	Acciones para disminuir la probabilidad y/o el impacto de un riesgo adverso hasta un umbral aceptable.
15 - 19	Alta	Trasladar la gestión del riesgo a un tercero; simplemente confiere a una tercera la responsabilidad de su gestión, no la elimina. No se deja de ser el propietario del riesgo.
20 - 25	Muy alta	No avanzar con el proyecto hasta no disminuir o eliminar el riesgo. Suele implicar cambiar el plan para la dirección del proyecto, para eliminar completamente la amenaza.

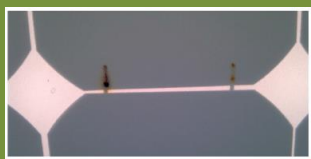
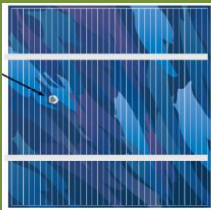
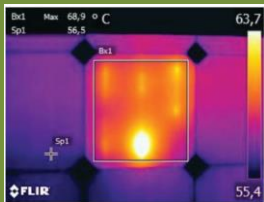
Tabla 27. Categorización de las acciones a tomar en función de la prioridad del riesgo.

(Fuente: elaboración propia)

Tal y como se ha comentado anteriormente, los riesgos que van a ser tratados van a ser aquellos “intolerables”, es decir, aquellos cuya prioridad sea mayor, referentes a los obtenidos en la 2ª ronda de expertos.

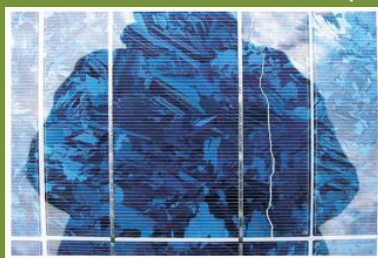
En la siguiente tabla se exponen aquellos riesgos que deben ser tratados con las diferentes opciones de tratamiento, la estrategia utilizada en cada una de ellas, sus ventajas y desventajas y la conclusión final de si conviene seguir una opción (Sí), si se debería descartar o posponer (No) o si se requiere información adicional para tomar una decisión (Quizás) (AENOR, 2013).

En la siguiente tabla se indica el plan de acciones propuestas para cada riesgo.

PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS			
Riesgo R02: Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución (16).			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mayor diligencia en los trámites y en lo posible agilizarlos con acciones o intervenciones personales o de las autoridades competentes.	Transferir/Mitigar	Sí
2	Tener en cuenta en el alcance del proyecto la posibilidad de retrasos en la ejecución de la obra por retrasos debido a disponibilidad de permisos, concesiones, etc. Contar con un margen de maniobra mayor, es decir, definir tiempos de amortiguamiento dentro de la programación inicial del proyecto.	Aceptación activa	Quizás
Riesgo R01: Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental, ...). (12)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Estar correctamente informado de los posibles cambios en la legislación, reglamentación, etc. aplicable durante la ejecución de la instalación para poder anticiparse a ellos y que no pille de improviso.	Mitigar	Sí
2	Aceptación por parte del promotor y director del proyecto.	Aceptación pasiva	Quizás
Riesgo R36: Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...) (12).			
   			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de las conexiones de células en los módulos.	Mitigar	Sí
2	Mantenimiento correctivo. Sustituir o reparar los módulos dañados debido a los diferentes factores expuestos.	Aceptación activa	Quizás
Riesgo R37: Presencia de puntos calientes no detectados. (9)			
 			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica mediante inspección termográfica (cámara térmica) de los módulos respecto a la posible presencia de puntos calientes en ellos. Revisar que no haya zonas con sombra ya que actúan como consumidor y que no haya fallos en el diodo bypass, estos dos son los	Mitigar	Sí

	principales causantes de los puntos calientes. Revisar también que no haya roturas y que el contacto del colector de corriente funciona correctamente.		
2	Mantenimiento correctivo. Sustituir los módulos dañados por puntos calientes, ya que este problema es irreversible no siendo posible su reparación.	Aceptación activa	Quizás
Riesgo R38: Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos. (9)  			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mantenimiento preventivo: Realizar una limpieza periódica de los módulos fotovoltaicos con el fin de evitar la disminución de rendimiento.	Evitar/Mitigar	Quizás
2	Cambiar la ubicación inicial de la planta por ser una zona en la cual los módulos se ensucian mucho por otra donde las condiciones sean mejores.	Evitar	No
3	No hacer nada, ya que la limpieza de los módulos sale más cara que las pérdidas por la bajada del rendimiento.	Aceptación pasiva	Quizás
Riesgo R41: Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...). (9)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mantenimiento correctivo: limpieza y comprobación del inversor (carcasa de protección, elementos, etc) para evitar la acumulación, principalmente de suciedad.	Mitigar	Sí
Riesgo R44: Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora. (9)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Se debe tener un chequeo constante y detallado de los movimientos de efectivo, a través de un buen sistema de contabilidad. De manera que se asegure que sea posible realizar los desembolsos de forma conjunta con los desembolsos del banco.	Mitigar	Sí
2	Préstamo a una entidad financiera.(DUDA)	Transferir	Quizás
Riesgo R45: Falta de pago por alguna de las partes involucradas. (9)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Adecuación de la financiación bancaria a las certificaciones de obra que presente el contratista.	Mitigar	Sí
2	Elección de empresas solventes y líquidas	Evitar	Sí

Riesgo R33: Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...) (8).



	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de los módulos.	Mitigar	Sí
2	Mantenimiento correctivo. Sustituir o reparar los módulos dañados debido a los diferentes factores expuestos.	Aceptación activa	Quizás
3	Mayor cuidado durante la fabricación, transporte e instalación.	Mitigar.	Sí
4	Cambio de la ubicación inicial de la planta a otra con mejores condiciones climatológicas.	Evitar	No

Riesgo R14: Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones... (6)

	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Supervisión por parte de uno o varios encargados de obra, que van verificando que las obras se van realizando de forma correcta, el trabajo se está realizando de forma adecuada y los resultados son los esperados. También se debe asegurar que el material, maquinaria y personal destinado a realizar dichas actividades es el adecuado para ello.	Mitigar	Sí
2	Construir nuevamente los fallos constructivos que se han ido encontrando.	Aceptación activa	Quizás

Riesgo R16: Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores. (6)

	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Organizar y controlar el aprovisionamiento y suministro de materiales a la obra según procedimientos y plazos acordados con los proveedores.	Mitigar	Sí
2	A través de cláusulas establecidas en la licitación, aplicando penalidades de acuerdo a las bases establecidas con los proveedores.	Mitigar/Evitar	Sí
3	Tener en cuenta en el alcance del proyecto la posibilidad de retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	Aceptación pasiva	Quizás
4	Selección de un proveedor más fiable.	Mitigar	Quizás

Riesgo R20: Fijaciones defectuosas del cableado, conexión de terminales sueltas,... (6)

	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Revisión del cableado durante la fase de ejecución de la instalación.	Mitigar	Sí
2	Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de todo el cableado durante la fase de explotación.	Mitigar	Sí
3	Mantenimiento correctivo. Sustituir o reparar el cableado dañado.	Aceptación activa	Sí

Riesgo R21: Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...). (6)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	El material eléctrico estará almacenado en lugares sin humedad y deberá ser utilizado por personal eléctrico cualificado.	Mitigar	Sí
2	Las herramientas utilizadas estarán protegidas con material aislante para evitar descargas eléctricas.	Mitigar	Sí
Riesgo R26: Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...) (6)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Asistencia a cursos, talleres, etc. enfocados a la prevención de riesgos laborales en las distintas actividades principales que se realizan durante la instalación y puesta en marcha de la planta. De esta manera los trabajadores tendrán la formación necesaria y suficiente en este ámbito, sino la tenían ya.	Mitigar	Sí
2	Supervisión por parte de uno o varios encargados del cumplimiento de las normas y regulaciones necesarias para la prevención de accidentes.	Mitigar	Quizás
Riesgo R29: Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales. (6)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Mayor tiempo de supervisión y comprobación durante la fase de montaje e instalación, y así disminuir la probabilidad de que los equipos den errores durante la puesta en marcha.	Mitigar	Sí
2	Solicitar a fábrica la sustitución de un equipo o componente por fallo procedente de fábrica.	Aceptación activa	Sí
Riesgo R40: Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa. (6)			
			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Protección del inversor con una carcasa (protección contra la intemperie, radiación solar y lluvia) o instalación del inversor dentro de un gabinete eléctrico correctamente ventilado.	Evitar	Sí
2	Sustitución del inversor por otro nuevo cuando este se encuentre en mal estado.	Aceptación activa	No
Riesgo R43: Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...). (6)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Verificación de la correcta ventilación de los diferentes equipos, principalmente del inversor (ventiladores, filtros, disipadores, etc.) para que el sistema de refrigeración funcione adecuadamente. Comprobar que no hay acumulación de residuos, objetos, insectos, hojas, excrementos de pájaro, etc.	Mitigar	Sí

Riesgo R47: Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales (6)			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Incluir en el presupuesto inicial una cantidad de fondos previstos para posibles desviaciones respecto a lo planificado inicialmente, así si esto sucediera el impacto que causaría sería menor.	Evitar/Mitigar	Quizás
2	Tener alternativas o propuestas a mano para dar solución en caso de que haya problemas de falta de capital para el proyecto.	Mitigar	Sí
Riesgo R51: Falta de proveedores fiables. (6)			
1	Búsqueda de proveedores fiables fuera del radio o entorno más cercano. Ampliación del radio de búsqueda.	Mitigar	Sí
	Licitación inicial de proveedores.	Mitigar	Sí
Riesgo R46: Quiebra de la empresa o la subcontrata			
	Opción	Estrategia	Conclusiones
1	Elección correcta en el momento de la contratación de empresas solventes y líquidas.	Mitigar/Evitar	Sí
2	Reflejar en el contrato inicial la posibilidad de subrogar todos los derechos y obligaciones a otra empresa.	Transferir	Sí
3	Exigir la contratación inicial de un seguro o aval que cubre dicha contingencia.	Mitigar	Sí

Tabla 28. Plan de respuesta a los riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

6.6 Control y seguimiento de riesgos. Plan de gestión de los riesgos

Una vez se han desarrollado las respuestas a los riesgos, la siguiente etapa es el control de los riesgos, para así minimizar los trastornos que estos puedan ocasionar al proyecto, y determinar si las respuestas a los riesgos han sido ejecutadas y si están logrando el efecto deseado con la implantación de las mismas.

Para ello se debe realizar un seguimiento de los riesgos ya identificados en fases previas, a la vez que se identifican y analizan nuevos riesgos. Los riesgos deben ser revisados durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Es por ello que este proceso servirá al equipo de proyecto para:

- ❖ Actualizar el registro de riesgos conforme avance el proyecto, identificando y analizando nuevos riesgos que puedan surgir a lo largo del proyecto y que no hubiesen sido identificados anteriormente en los planes del proyecto, elaborando nuevas respuestas.
- ❖ Comprobar si se han materializado alguno de los riesgos identificados, y en tal caso, determinar si las respuestas planificadas ante la presencia de algún riesgo para el proyecto se han materializado.
- ❖ Realizar el seguimiento de los planes de respuesta en ejecución.
- ❖ Administrar el fondo de reserva del presupuesto para posibles contingencias.

Para ello se va a desarrollar el Plan de Gestión de riesgos.

Antes de definir el plan de gestión de riesgos, se va a presentar un organigrama de la estructura organizativa dentro del proyecto, ya que dentro del Plan es necesario definir el responsable de llevar a cabo las acciones y así poder tener una visión más general de dicha estructura.

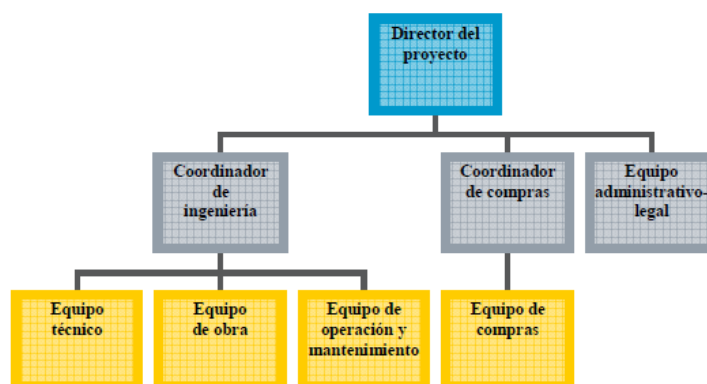


Figura 78.- Estructura organizativa dentro del proyecto.

(Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/41810333.pdf>)

El plan de gestión de riesgos se va a realizar clasificando los riesgos según las distintas fases del proyecto; las acciones de los distintos riesgos incluidos en dicho plan van a estar ordenados en función del momento o etapas del proyecto en el que se van a llevar a cabo. Dentro del Plan de Gestión de Riesgos van a estar incluido solo aquellos riesgos que estén en el plan de respuesta de los mismos, es decir, aquellos que tengan una prioridad mayor. En el plan de respuesta, dependiendo del riesgo, se han incluido una o varias acciones. Dentro del plan se han tenido en cuenta aquellas opciones que, estudiando varios factores, finalmente se ha decidido que eran las más viables para llevarlas a cabo.

En la siguiente tabla se muestra el plan de gestión de riesgos que se ha propuesto para llevar a cabo. La primera columna hace referencia al código identificativo del riesgo, que es el mismo que aparece en el Registro Inicial de Riesgos y en el Anexo I. La segunda columna hace referencia a la prioridad que presenta el riesgo. En la tercera se expone la acción que se va a llevar a cabo, a continuación, aparece la Etapa de ejecución en la que se va a realizar dicha acción. Para este caso de estudio, se ha tomado como fases de actuación las propias fases en las que inicialmente se ha dividido el proyecto, que ordenadas, son las siguientes: Diseño y planificación de la Instalación, Ejecución de la instalación, Fase de pruebas y puesta en marcha y por último la fase de Explotación de la instalación; hay que tener en cuenta que habrá acciones que corresponderán a un riesgo de una determinada fase del proyecto y la acción se llevará a cabo en otra distinta, normalmente en fases previas. Finalmente, en la última columna se ha tenido en cuenta el Responsable de llevar a cabo la acción.

PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS				
Nº referencia	Prioridad	Acción	Momento/Etapa de ejecución	Responsable de llevarla a cabo
R01	Alta	Mitigar: Estar correctamente informado de los posibles cambios en la legislación, reglamentación, etc. aplicable durante la ejecución de la instalación para poder anticiparse a ellos y que no pille de improviso.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites administrativos)	Director del proyecto Coordinador de ingeniería Equipo administrativo-legal
R02	Alta	Mitigar: Mayor diligencia en los trámites y en lo posible agilizarlos con acciones o intervenciones personales o de las autoridades competentes.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites administrativos)	Director del proyecto Equipo administrativo-legal
R16	Media	Mitigar: A través de cláusulas establecidas en la licitación, aplicando penalidades de acuerdo a las bases establecidas con los proveedores.	Diseño y planificación de la instalación	Equipo de compras
R16	Media	Mitigar: Selección de un proveedor más fiable.	Diseño y planificación de la instalación.	Equipo de compras
R44	Media	Mitigar: Se debe tener un chequeo constante y detallado de los movimientos de efectivo, a través de un buen sistema de contabilidad. De manera que se asegure que sea posible realizar los desembolsos de forma conjunta con los desembolsos del banco.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Equipo de compras
R45	Media	Mitigar: Adecuación de la financiación bancaria a las certificaciones de obra que presente el contratista.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Equipo de compras
R45	Media	Evitar: Elección de empresas solventes y líquidas.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Equipo de compras

Nº referencia	Prioridad	Acción	Momento/Etapa de ejecución	Responsable de llevarla a cabo
R46	Media	Mitigar/Evitar: Elección correcta en el momento de la contratación de empresas solventes y líquidas.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Director del proyecto Equipo de compras
R46	Media	Transferir: Reflejar en el contrato inicial la posibilidad de subrogar todos los derechos y obligaciones a otra empresa.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Director del proyecto Equipo de compras
R46	Media	Mitigar: Exigir la contratación inicial de un seguro o aval que cubre dicha contingencia.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Equipo de compras
R47	Media	Evitar/Mitigar: Incluir en el presupuesto inicial una cantidad de fondos previstos para posibles desviaciones respecto a lo planificado inicialmente, así si esto sucediera el impacto que causaría sería menor.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Equipo de compras
R47	Media	Mitigar: Tener alternativas o propuestas a mano para dar solución en caso de que haya problemas de falta de capital para el proyecto.	Diseño y planificación de la instalación (Trámites económicos y financieros).	Director del proyecto Equipo de compras
R51	Media	Mitigar: Búsqueda de proveedores fiables fuera del radio o entorno más cercano. Ampliación del radio de búsqueda.	Diseño y planificación de la instalación. (Personal y suministros)	Equipo de compras
R51	Media	Mitigar: Licitación inicial de proveedores.	Diseño y planificación de la instalación. (Personal y suministros)	Equipo de compras Equipo técnico
R14	Media	Mitigar: Supervisión por parte de uno o varios encargados de obra, que van verificando que las obras se van realizado de forma correcta, el trabajo se está realizando de forma adecuada y los	Ejecución de la instalación	Equipo de obra (Encargado de obra).

		resultados son los esperados. También se debe asegurar que el material, maquinaria y personal destinado a realizar dichas actividades es el adecuado para ello.		
Nº referencia	Prioridad	Acción	Momento/Etapa de ejecución	Responsable de llevarla a cabo
R16	Media	Mitigar: Organizar y controlar el aprovisionamiento y suministro de materiales a la obra según procedimientos y plazos acordados con los proveedores.	Ejecución de la instalación	Equipo de obra Equipo de compras
R21	Media	Mitigar: El material eléctrico estará almacenado en lugares sin humedad y deberá ser utilizado por personal eléctrico cualificado.	Ejecución de la instalación	Equipo de obra
R21	Media	Mitigar: Las herramientas utilizadas estarán protegidas con material aislante para evitar descargas eléctricas.	Ejecución de la instalación	Equipo de compras Equipo de obra
R26	Media	Mitigar: Asistencia a cursos, talleres, etc. enfocados a la prevención de riesgos laborales en las distintas actividades principales que se realizan durante la instalación y puesta en marcha de la planta. De esta manera los trabajadores tendrán la formación necesaria y suficiente en este ámbito, sino la tenían ya.	Ejecución de la instalación	Coordinador de ingeniería
R26	Media	Mitigar: Supervisión por parte de uno o varios encargados del cumplimiento de las normas y regulaciones necesarias para la prevención de accidentes.	Ejecución de la instalación	Equipo técnico Equipo de obras
R29	Media	Mitigar: Mayor tiempo de supervisión y comprobación durante la fase de montaje e instalación, y así disminuir la	Ejecución de la instalación/Fase de	Equipo técnico Equipo de obras

		probabilidad de que los equipos den errores durante la puesta en marcha.	pruebas y puesta en marcha.	
Nº referencia	Prioridad	Acción	Momento/Etapa de ejecución	Responsable de llevarla a cabo
R29	Media	Aceptación activa: Solicitar a fábrica la sustitución de un equipo o componente por fallo proveniente de fábrica	Ejecución de la instalación/ Fase de pruebas y puesta en marcha.	Equipo técnico Equipo de compras
R33	Media	Mitigar: Mayor cuidado durante la fabricación, transporte e instalación de los mismos.	Ejecución de la instalación.	Proveedor Equipo de obra.
R41	Media	Mitigar: Revisión del cableado durante la fase de ejecución de la instalación.	Ejecución de la instalación	Equipo técnico Equipo de obras
R41	Media	Aceptación activa: Mantenimiento correctivo. Sustituir o reparar el cableado dañado.	Fase de pruebas y puesta en marcha./ Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento
R20	Media	Mitigar: Mantenimiento correctivo: limpieza y comprobación del inversor (carcasa de protección, elementos, etc.) para evitar la acumulación, principalmente de suciedad.	Explotación de la instalación	Equipo de operación y mantenimiento
R33	Media	Mitigar: Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de los módulos.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento
R33	Media	Aceptación activa: Mantenimiento correctivo. Sustituir o reparar los módulos dañados debido a los diferentes factores expuestos.	Explotación de la instalación.	Equipo técnico Equipo de operación y mantenimiento
R36	Alta	Mitigar: Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de las conexiones de células en los módulos.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento
R36	Alta	Aceptación activa: Mantenimiento correctivo.	Explotación de la instalación.	Equipo técnico.

		Sustituir o reparar los módulos dañados debido a los diferentes factores expuestos.		Equipo de operación y mantenimiento .
Nº referencia	Prioridad	Acción	Momento/Etapa de ejecución	Responsable de llevarla a cabo
R37	Media	Mitigar: Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica mediante inspección termográfica (cámara térmica) de los módulos respecto a la posible presencia de puntos calientes en ellos. Revisar que no haya zonas con sombra ya que actúan como consumidor y que no haya fallos en el diodo bypass, estos dos son los principales causantes de los puntos calientes. Revisar también que no haya roturas y que el contacto del colector de corriente funciona correctamente.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento .
R37	Media	Aceptación activa: Mantenimiento correctivo. Sustituir los módulos dañados por puntos calientes cuando ya sea necesario, ya que este problema es irreversible no siendo posible su reparación.	Explotación de la instalación.	Equipo técnico. Equipo de operación y mantenimiento .
R39	Media	Evitar: Mantenimiento preventivo: Realizar una limpieza periódica de los módulos fotovoltaicos con el fin de evitar la disminución de rendimiento.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento .
R40	Media	Evitar: Protección del inversor con una carcasa (protección contra la intemperie, radiación solar y lluvia) o instalación del inversor dentro de un gabinete eléctrico correctamente ventilado.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento .

R41	Media	Mitigar: Mantenimiento preventivo. Mantener una revisión periódica de todo el cableado durante la fase de explotación.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento
R43	Media	Mitigar: Verificación de la correcta ventilación de los diferentes equipos, principalmente del inversor (ventiladores, filtros, disipadores, etc.) para que el sistema de refrigeración funcione adecuadamente. Comprobar que no hay acumulación de residuos, objetos, insectos, hojas, excrementos de pájaro, etc.	Explotación de la instalación.	Equipo de operación y mantenimiento

Tabla 29. Plan de gestión de riesgos.

(Fuente: elaboración propia)

Para los 32 riesgos restantes no incluidos dentro del Plan de Gestión de riesgos, se toma en consideración llevar a cabo también un seguimiento más leve. La estrategia por la cual se opta en el tratamiento de los mismos es la Aceptación pasiva, la cual no requiere realizar ninguna acción. Se mantendrá un control de los mismos, pero sin tomar ninguna acción respecto a ellos.

7. CONCLUSIONES

Dentro de este apartado, se van a ir detallando una serie de conclusiones referentes a las distintas fases o etapas que se han ido trabajando en este proyecto.

En referencia al apartado número cinco del trabajo, en el cual se realiza un análisis de las principales aplicaciones actuales de la gestión de riesgos en proyectos industriales, cabe destacar una serie de conclusiones: la primera es que, de forma generalizada, ha sido, a raíz de una serie de catástrofes o pérdidas en proyectos industriales cuando se ha comenzado a ver como una necesidad más que como una alternativa, la implantación de una gestión de riesgos en dichos proyectos. Por otro lado, destacar aquellas herramientas o metodologías más usadas para la gestión de los riesgos en proyectos industriales, entre las que se encuentran, Listas de verificación, Metodología Delphi, HAZOP, QRA, FMEA, etc. Si bien es cierto, que, dependiendo también del tipo de industria o proyecto, son más usadas unas metodologías que otras. Por último, comentar que respecto a las normas en las cuales está enfocado este trabajo, la norma ISO 21500 y en particular la Norma UNE-EN 62198, no se ha encontrado variedad de bibliografía de casos prácticos basados en las mismas. Es por ello por lo que resulta un enfoque bastante interesante el que presenta este trabajo, ya que aparte del análisis realizado de las normas, se aplican, a un caso concreto de proyecto industrial, pudiendo ser referente para posteriores trabajos o estudios.

Otro de los apartados significativos, ha sido el estudio de los procesos de ejecución de la instalación. En este apartado es de especial importancia tener muy bien definidas las fases previas a la puesta en marcha y explotación de la instalación, ya que de su correcto diseño (dimensionado, etc.) e instalación en estas fases, dependerá en gran medida el buen funcionamiento en condiciones normales de la planta.

La Gestión de Riesgos de este caso práctico, se ha basado en la utilización de la Norma ISO 21500 junto con la Norma UNE EN 62198. Esta norma establece diferentes fases para ello.

En la fase de Identificación de Riesgos se ha obtenido el Registro Inicial de Riesgos. Del total de los 52 riesgos identificados, destacar que las fases con mayor porcentaje de riesgos han sido las de ejecución y explotación de la instalación, con un porcentaje cada una de 34% y 23% respectivamente. La suma de ambos da como resultado el 57% del total de riesgos. Siendo por tanto en estas estas fases en las que se debe dedicar la mayor parte del tiempo.

En la fase de evaluación de riesgos se obtiene como conclusiones las siguientes:

- a) Se han realizado solamente dos rondas Delphi, principalmente por falta de tiempo y disponibilidad de las empresas. Si se hubieran hecho sucesivas rondas, con mayor número de empresas iniciales y en las sucesivas rondas hubieran contestado todas las empresas, los resultados seguramente hubieran sido más consensuados aún que los obtenidos; aun así, el grado de similitud o coherencia entre las respuestas obtenidas ha sido bastante bueno.
- b) De las diferentes medidas de tendencia central utilizadas, se ha optado por la elección definitiva de la moda como medida definitoria en este caso de estudio, ya que es la que mejor se adapta a las necesidades requeridas en el trabajo.

- c) En la 1º ronda de expertos se ha obtenido un total de 23 riesgos tratables, de los cuales 3 poseían prioridad alta y 20 prioridad media, es decir, los riesgos que necesitarían ser tratados suponen un 35% del total de riesgos. Dentro de estos 23 riesgos, la fase con mayor número de riesgos es la fase de explotación, con un valor del 30% sobre el total.
- d) En la 2º ronda de expertos, y ya la definitiva, se ha obtenido un total de 20 riesgos para ser tratados, de los cuales 3 poseían prioridad alta y 17 prioridad media. En esta 2º ronda, la fase con mayor porcentaje de riesgos vuelve a ser la fase de explotación de la instalación, con un valor del 35% sobre el total, seguida por la fase de ejecución de la instalación con un 25%.
- e) En esta 2º ronda se ha hecho una comparación de los resultados obtenidos respecto a la desviación típica obtenida en ambas rondas. El resultado, como era de esperar, es que para la gran mayoría de los riesgos la desviación típica en la 2º ronda muestra una tendencia favorable, es decir, la desviación típica disminuye. Cuanto más se acerque a cero el valor de la desviación, será claro indicador de que más parecidas habrán sido las respuestas de los diferentes expertos respecto a un riesgo. De hecho en la 2º ronda, respecto a los valores de probabilidad, el 94% (27% mejora y 67% igual) de los valores mejoraron o igualaron la desviación anterior; respecto al impacto fueron el 100% (29% mejora y 71% igual) de los riesgos los que mostraron este comportamiento. Claro indicador de que en esta segunda ronda se han obtenido resultados más consensuados y similares, siendo un indicador favorable.

En la siguiente fase de tratamiento de riesgos se ha obtenido el “Plan de respuesta a los riesgos” para aquellos riesgos que en la fase de evaluación se han considerado que necesitan ser tratados. Me he basado en la norma UNE- EN 62198 para realizar dicho tratamiento. Es importante comentar que para algunos riesgos se han aportado diversas opciones de tratamiento, pero no todas esas opciones iniciales tienen que llevarse a cabo; el que lo hagan o no depende de muchos factores como pueden ser el tiempo o inversión económica que necesitarían. Es necesario realizar un balance para ver cuál es más beneficiosa en el mayor número de enfoques posible.

Por último, se ha obtenido el “Plan de gestión de riesgos”, en el cual se han organizado los diferentes riesgos con sus respectivas acciones (obtenidos en la etapa anterior) en función del orden de ejecución de dichas acciones en el cronograma del proyecto. Comentar que para los 30 riesgos restante que no están incluidos en dicho plan, se llevará un seguimiento, pero más leve, en forma de aceptación pasiva.

Como conclusiones más generales referentes al proceso de gestión de riesgos llevado a cabo en este trabajo podemos citar las siguientes. Como ya se ha comentado la metodología que se ha seguido en la parte práctica del trabajo ha sido principalmente basada en la Norma ISO 21500, si bien es cierto que el resto de normas citadas en este ámbito son muy similares.

A través de la aplicación de estas normas se obtuvieron los riesgos con mayor severidad. En la siguiente tabla se exponen los 10 riesgos que presentan una severidad mayor, ordenados en orden decreciente.

	RIESGOS	Severidad	Prioridad
1	1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	16	Alta
2	1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	12	Alta
3	5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	12	Alta
4	3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	9	Media
5	5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	9	Media
6	5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	9	Media
7	5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	9	Media
8	6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	9	Media
9	6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	9	Media
10	5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	8	Media

Tabla 30. Tabla con los 10 primeros riesgos en orden de severidad obtenidos.

(Fuente: elaboración propia)

Los 3 riesgos con severidad más alta para una instalación de este tipo, son los riesgos 1.2, 1.1 y 5.5. Los 2 riesgos con mayor severidad pertenecen al ámbito de los “Trámites Administrativos” y el tercero pertenece a la fase de “Explotación de la instalación”. Aunque los riesgos referentes a los Trámites Administrativos son los que presentan la mayor severidad; del total de todos los riesgos que necesitan tratamiento, la mayoría pertenecen a la fase de explotación de la instalación seguida de la fase de ejecución de la misma. Es por ello que sería necesario la implantación de un sistema integral de riesgos, consiguiendo de esta forma una mejoría en la economía y una mayor eficiencia y optimización de recursos, principalmente materiales y humanos. También resultaría interesante implementar estructuras de control de los diferentes procesos que componen el sistema de Gestión de Riesgos a implementar, creando revisiones periódicas de los mismos e implicando al equipo de proyecto y las principales partes interesadas.

Además, se obtiene como conclusión que, al aplicar esta serie de normas y metodologías dedicadas a la Gestión de riesgos a un caso real, es posible controlar y mitigar posibles ocurrencias; los resultados que se han obtenido validan su utilidad a la hora de identificar riesgos y jerarquizarlos en función de su severidad. Todo esto ha dado lugar a la posibilidad de poder aplicar una siguiente etapa en la que se ha establecido la prioridad con la cual deben ser atendidos los diferentes riesgos, aportando así garantías a la inversión; uno de los objetivos principales en cualquier proyecto industrial.

Es muy importante monitorear, controlar y hacer revisiones de los riesgos, así como realizar una identificación constante de los mismos. Es importante tener en cuenta que el plan de gestión está para ser utilizado antes de que los riesgos ocurran, evitando así las ocurrencias negativas. Para aquellos riesgos imprevistos, que no se encuentren en dicho plan, puede resultar interesante dedicar una parte del presupuesto a ello.

Este trabajo se ha centrado únicamente en los riesgos negativos, pero el tener un enfoque de los riesgos positivos también puede ser muy beneficioso para la empresa u organización.

También podría ser interesante como propuesta a un trabajo posterior, un análisis en mayor profundidad con datos reales referentes a un posible estudio económico-financiero en lo que respecta a la incorporación de la gestión de riesgos en el proyecto y lo que ello supondría para la empresa, tanto en pérdidas como ganancias.

Este trabajo puede servir de base también para posteriores estudios en diferentes ámbitos de la industria, en los cuales como ya se ha comentado, es cada día más importante la aplicación de una correcta Gestión de los Riesgos en ellas.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO I. Lista de los riesgos identificados correspondientes al Registro inicial de riesgos.

- R01. Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental, ...).
- R02. Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.
- R03. Estimación incorrecta de la producción de energía.
- R04. Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...).
- R05. Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación).
- R06. Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)
- R07. Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).
- R08. Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...)
- R09. Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).
- R10. Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).
- R11. Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc.)
- R12. Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.
- R13. Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.
- R14. Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...
- R15. Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil
- R16. Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.
- R17. Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)
- R18. Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.
- R19. Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.
- R20. Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...

- R21. Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).
- R22. Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...).
- R23. Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...).
- R24. Daños a terceras personas ajenas a la instalación.
- R25. Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)
- R26. Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)
- R27. Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado en equipos o componentes.
- R28. Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).
- R29. Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.
- R30. Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).
- R31. Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc.).
- R32. Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc).
- R33. Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).
- R34. Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.
- R35. Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.
- R36. Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)
- R37. Presencia de puntos calientes no detectados.
- R38. Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.
- R39. Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...).
- R40. Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa
- R41. Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).

- R42. Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...).
- R43. Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).
- R44. Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.
- R45. Falta de pago por alguna de las partes involucradas.
- R46. Quiebra de la empresa o de la subcontrata.
- R47. Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales
- R48. Huelgas o paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación.
- R49. Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores.
- R50. Ausencias por enfermedad del personal contratado.
- R51. Falta de proveedores fiables.
- R52. Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).

8.2 ANEXO II. Tabla de probabilidad de los diferentes riesgos. 1º ronda de expertos.

Riesgo	TABLA DE PROBABILIDADES DE LOS DIFERENTES RIESGOS					Probabilidad (media)	Probabilidad (moda)	Desviación típica, σ
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5			
1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	3	4	3	3	3	3	3	0,4000
1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	4	4	4	3	3	4	4	0,4899
2.1 Estimación incorrecta de la producción de energía.	1	1	3	1	2	2	1	0,8000
2.2 Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...). *	2	1	2	2	2	2	2	0,4000
2.3 Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación). *	2	2	3	2	2	2	2	0,4000
2.4 Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	2	2	3	1	2	2	2	0,6325
2.5 Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	2	2	3	3	2	2	2	0,4899
2.6 Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...)	1	2	2	3	2	2	2	0,6325

Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica

2.7 Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).	1	2	2	2	2	2	2	0,4000
2.8 Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).	1	2	2	1	2	2	2	0,4899
3.1 Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc)	1	1	2	2	2	2	2	0,4899
3.2 Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.	1	2	1	1	2	1	1	0,4899
3.3 Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.	2	2	2	3	2	2	2	0,4000
3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
3.5 Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil	2	2	3	3	2	2	2	0,4899
3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	2	3	3	4	2	3	3	0,7483
3.7 Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)	1	3	2	1	1	2	1	0,8000
3.8 Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.	1	2	3	4	1	2	1	1,1662
3.9 Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.	1	2	2	1	1	1	1	0,4899
3.10 Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	1	2	2	3	1	2	2	0,7483

3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	2	2	2	2	1	2	2	0,4000
3.12 Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...).	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
3.13 Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...).	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
3.14 Daños a terceras personas ajenas a la instalación.	1	3	1	1	1	1	1	0,8000
3.15 Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)	1	3	2	2	1	2	2	0,7483
3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
3.17 Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado en equipos o componentes.	1	2	3	2	1	2	2	0,7483
3.18 Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	1	3	3	3	1	2	3	0,9798
4.2 Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).	1	3	3	2	1	2	3	0,8944
4.3 Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc.).	2	2	4	2	1	2	2	0,9798
5.1 Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc.).	1	1	1	1	2	1	1	0,4000

5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	2	2	2	2	1	2	2	0,4000
5.3 Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	1	3	2	4	1	2	1	1,1662
5.4 Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	1	3	3	2	1	2	3	0,8944
5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	1	3	4	3	1	2	3	1,2000
5.8 Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...).	1	3	2	1	1	2	1	0,8000
5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	1	3	2	2	1	2	2	0,7483
5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	1	3	2	3	1	2	1	0,8944
5.11 Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...).	1	2	2	1	1	1	1	0,4899
5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	1	2	3	3	1	2	3	0,8944

6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	1	3	1	2	1	2	1	0,8000
6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	2	3	2	4	1	2	2	1,0198
7.1 Huelgas o paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación.	1	2	2	1	1	1	1	0,4899
7.2 Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores.	1	1	2	1	1	1	1	0,4000
7.3 Ausencias por enfermedad del personal contratado.	1	2	1	1	1	1	1	0,4000
7.4 Falta de proveedores fiables.	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
7.5 Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).	1	2	1	3	1	2	1	0,8000

8.3 ANEXO III. Tabla de impacto de los diferentes riesgos. 1º ronda de expertos.

Riesgo	TABLA DE IMPACTO DE LOS DIFERENTES RIESGOS					Impacto (media)	Impacto (moda)	Desviación típica, σ
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5			
1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	5	4	3	4	3	4	4	0,7483
1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	4	4	2	2	4	3	4	0,9798
2.1 Estimación incorrecta de la producción de energía.	3	2	4	3	2	3	3	0,7483
2.2 Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...). *	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
2.3 Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación). *	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
2.4 Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	5	2	2	3	2	3	2	1,1662
2.5 Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	5	2	4	3	2	3	2	1,1662
2.6 Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...)	2	2	4	2	2	2	2	0,8000
2.7 Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).	4	2	4	2	2	3	2	0,9798

2.8 Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).	4	2	4	2	2	3	2	0,9798
3.1 Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc)	5	2	4	2	2	3	2	1,2649
3.2 Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.	3	2	4	1	2	2	2	1,0198
3.3 Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.	4	2	3	1	2	2	2	1,0198
3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	4	2	3	1	3	3	3	1,0198
3.5 Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	2	3	3	2	2	2	2	0,4899
3.7 Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)	1	4	3	3	3	3	3	0,9798
3.8 Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.	3	2	2	2	3	2	2	0,4899
3.9 Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.	2	3	4	2	3	3	3	0,7483
3.10 Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	3	3	2	2	2	2	2	0,4899
3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	3	3	2	4	2	3	3	0,7483
3.12 Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...).	2	2	3	2	3	2	2	0,4899
3.13 Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...).	1	2	2	2	2	2	2	0,4000

3.14 Daños a terceras personas ajenas a la instalación.	1	3	3	3	3	3	3	0,8000
3.15 Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)	3	3	2	2	2	2	2	0,4899
3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	1	2	3	3	2	2	3	0,7483
3.17 Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado en equipos o componentes.	1	2	2	1	2	2	2	0,4899
3.18 Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).	1	2	3	2	2	2	2	0,6325
4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	1	3	2	2	2	2	2	0,6325
4.2 Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).	1	3	2	2	2	2	2	0,6325
4.3 Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc).	2	2	3	3	2	2	2	0,4899
5.1 Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc).	4	2	4	5	3	4	4	1,0198
5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	4	2	4	4	2	3	4	0,9798
5.3 Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	4	3	4	3	2	3	4	0,7483
5.4 Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.	1	2	2	4	2	2	2	0,9798

5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	4	3	2	4	2	3	4	0,8944
5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	3	3	2	4	2	3	3	0,7483
5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	3	3	2	3	2	3	3	0,4899
5.8 Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...).	3	3	2	4	2	3	3	0,7483
5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	2	3	3	4	2	3	3	0,7483
5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	2	3	2	4	2	3	2	0,8000
5.11 Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...).	4	2	2	4	2	3	2	0,9798
5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	3	2	2	3	2	2	2	0,4899
6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	3	3	4	4	3	3	3	0,4899
6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	3	3	3	4	3	3	3	0,4000
6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	5	3	4	4	3	4	4	0,7483
6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	4	3	3	4	3	3	3	0,4899
7.1 Huelgas o paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación.	4	2	2	4	2	3	2	0,9798

7.2 Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores.	3	2	2	4	2	3	2	0,8000
7.3 Ausencias por enfermedad del personal contratado.	4	2	2	3	1	2	2	1,0198
7.4 Falta de proveedores fiables.	3	2	3	3	1	2	3	0,8000
7.5 Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).	3	2	3	3	3	3	3	0,4000

8.4 ANEXO IV. Tabla de probabilidad de los diferentes riesgos. 2º ronda de expertos.

Riesgo	TABLA DE PROBABILIDADES DE LOS DIFERENTES RIESGOS					Probabilidad (media)	Probabilidad (moda)	Desviación típica, σ
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5			
1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	3	4	3	3	3	3	3	0,4000
1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	4	4	4	3	3	4	4	0,4899
2.1 Estimación incorrecta de la producción de energía.	1	1	1	1	2	1	1	0,4000
2.2 Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...). *	2	1	2	2	2	2	2	0,4000
2.3 Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación). *	2	2	2	2	2	2	2	0,0000
2.4 Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	2	2	2	1	2	2	2	0,4000
2.5 Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	2	2	3	3	2	2	2	0,4899
2.6 Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...)	1	2	2	3	2	2	2	0,6325
2.7 Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).	1	2	2	2	2	2	2	0,4000

Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica

2.8 Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).	1	2	2	1	2	2	2	0,4899
3.1 Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc.)	1	1	1	2	2	1	1	0,4899
3.2 Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.	1	2	1	1	2	1	1	0,4899
3.3 Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.	2	2	3	3	2	2	2	0,4899
3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
3.5 Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil	2	2	2	3	2	2	2	0,4000
3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	2	3	3	4	2	3	3	0,7483
3.7 Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)	1	3	2	1	1	2	1	0,8000
3.8 Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.	1	2	3	4	1	2	1	1,1662
3.9 Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.	1	2	2	1	1	1	1	0,4899
3.10 Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	2	2	1	2	1	2	2	0,4899
3.12 Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...).	1	2	2	2	1	2	2	0,4899

3.13 Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...).	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
3.14 Daños a terceras personas ajenas a la instalación.	1	3	1	1	1	1	1	0,8000
3.15 Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)	1	3	2	2	1	2	2	0,7483
3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	1	2	3	3	1	2	3	0,8944
3.17 Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado en equipos o componentes.	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
3.18 Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	1	3	3	3	1	2	3	0,9798
4.2 Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).	1	3	1	2	1	2	1	0,8000
4.3 Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc.).	2	2	2	2	1	2	2	0,4000
5.1 Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc.).	1	1	1	1	2	1	1	0,4000
5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	2	2	2	2	1	2	2	0,4000
5.3 Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	1	3	2	4	1	2	1	1,1662

Gestión de riesgos en proyectos industriales. Aplicación en el sector de la energía solar fotovoltaica

5.4 Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.	1	2	2	3	1	2	2	0,7483
5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	1	3	3	2	1	2	3	0,8944
5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	1	3	3	3	1	2	3	0,9798
5.8 Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...).	1	3	2	1	1	2	1	0,8000
5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	1	3	2	2	1	2	2	0,7483
5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
5.11 Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...).	1	2	1	1	1	1	1	0,4000
5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	1	2	3	3	1	2	3	0,8944
6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	1	3	2	3	1	2	3	0,8944
6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	1	3	1	2	1	2	1	0,8000
6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	2	3	2	4	1	2	2	1,0198

7.1 Huelgas o paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación.	1	2	1	1	1	1	1	0,4000
7.2 Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores.	1	1	1	1	1	1	1	0,0000
7.3 Ausencias por enfermedad del personal contratado.	1	2	1	1	1	1	1	0,4000
7.4 Falta de proveedores fiables.	1	2	2	2	1	2	2	0,4899
7.5 Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).	1	2	1	3	1	2	1	0,8000

8.5 ANEXO V. Tabla de impactos de los diferentes riesgos. 2º ronda de expertos.

Riesgo	TABLA DE IMPACTO DE LOS DIFERENTES RIESGOS					Impacto (media)	Impacto (moda)	Desviación típica, σ
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5			
1.1 Cambio en la legislación o reglamentación vigentes durante la ejecución de la instalación (normativa ambiental,...).	5	4	4	4	3	4	4	0,6325
1.2 Retraso en la disponibilidad de permisos o concesiones con el consecuente retraso en el comienzo de la ejecución.	4	4	4	2	4	4	4	0,8000
2.1 Estimación incorrecta de la producción de energía.	3	2	3	3	2	3	3	0,4899
2.2 Disposición incorrecta de los generadores fotovoltaicos (sombras, ...). *	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
2.3 Incorrecta selección del inversor (no adaptado en el rango de temperaturas y humedad existente en la zona de implantación). *	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
2.4 Mal dimensionamiento del inversor (selección apropiada del inversor, tamaño, cables, optimizadores de potencia y conmutadores)	5	2	2	3	2	3	2	1,1662
2.5 Mal diseño o dimensionamiento de la estructura (no resiste sobrecargas de viento y nieve de acuerdo a lo indicado en el CTE, no se tienen en cuenta las posibles dilataciones térmicas, falta de puntos de sujeción de los módulos, ángulo de inclinación y orientación de la estructura, sombra, ...).	5	2	4	3	2	3	2	1,1662
2.6 Incorrecta protección de la estructura contra agentes medioambientales. (Taladros después del galvanizado o protección de la misma, tornillería de material inadecuado frente a la corrosión...)	2	2	3	2	2	2	2	0,4000
2.7 Selección incorrecta o mal dimensionado del cableado (no soporta las condiciones de intemperie, sección y/o longitud inadecuada, ...).	4	2	2	2	2	2	2	0,8000

2.8 Diseño de las protecciones incorrectas o insuficientes (uso de protecciones de alterna para instalación de continua, fusibles de alterna en continua, ...).	4	2	4	2	2	3	2	0,9798
3.1 Necesidad de parada de la ejecución del proyecto por condiciones climatológicas adversas (desastre natural, inundación, incendio, tormenta, etc.)	5	2	4	2	2	3	2	1,2649
3.2 Maquinaria utilizada inadecuada para el trabajo en obra civil.	3	2	2	1	2	2	2	0,6325
3.3 Condiciones del terreno distintas a las especificadas en el diseño.	4	2	3	1	2	2	2	1,0198
3.4 Fallos constructivos durante la ejecución de las cimentaciones, zapatas, canalizaciones...	4	2	3	1	3	3	3	1,0198
3.5 Calidad distinta a la esperada en los materiales de la obra civil	4	2	2	2	2	2	2	0,8000
3.6 Retrasos en la entrega de material o productos por parte de proveedores.	2	3	3	2	2	2	2	0,4899
3.7 Accidentes en el manejo de la maquinaria de obra civil (caídas de objetos y/o fragmentos, atropellos, colisiones, vuelcos, aplastamientos, ...)	1	4	3	3	3	3	3	0,9798
3.8 Fallos en la estanqueidad de arquetas, cajas de conexión, etc.	3	2	3	2	3	3	3	0,4899
3.9 Cortocircuitos, incendios, etc. por mal montaje de los elementos eléctricos.	2	3	4	2	3	3	3	0,7483
3.10 Fijaciones defectuosas del cableado, conexiones de terminales sueltas...	3	3	3	2	2	3	3	0,4899
3.11 Accidentes en la fase de instalación eléctrica (contactos eléctricos directos y/o indirectos, intoxicaciones, chispas, cortes, ...).	3	3	2	4	2	3	3	0,7483
3.12 Instalación incorrecta de protecciones y/o puesta a tierra (protección insuficiente, contacto con chasis de módulos...).	2	2	2	2	3	2	2	0,4000
3.13 Accidentes en la fase de montaje de generadores (sobreesfuerzos por posturas inadecuadas, lesiones del personal, caídas de material, ...).	1	2	2	2	2	2	2	0,4000

3.14 Daños a terceras personas ajenas a la instalación.	1	3	2	3	3	2	3	0,8000
3.15 Fallos de montaje del generador (mala colocación de los sensores, fallos de calibración y/o orientación de módulos, ...)	3	3	2	2	2	2	2	0,4899
3.16 Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes (no usos de equipos de protección, ...)	1	2	3	3	2	2	3	0,7483
3.17 Falta de etiquetación o etiquetaje inadecuado en equipos o componentes.	1	2	2	1	2	2	2	0,4899
3.18 Fallos de montaje mecánico y/o fijaciones (no re-asegurar o apretar componentes o cierres).	1	2	2	2	2	2	2	0,4000
4.1 Fallo o errores en sistemas o componentes durante las pruebas finales.	1	3	2	2	2	2	2	0,6325
4.2 Insuficiente número de pruebas (comprobación de todos los equipos, arranque y parada en diferentes instantes de funcionamiento, elementos de protección, seguridad y alarmas, ...).	1	3	2	2	2	2	2	0,6325
4.3 Funcionamiento real distinto al esperado (inversor no trabaja en PMP, módulos fuera de tolerancia, etc.).	2	2	2	3	2	2	2	0,4000
5.1 Parada por desastre natural durante la explotación de la planta (inundación, incendio, tormentas, terremoto, canalizaciones al descubierto por fuertes lluvias, etc.).	4	2	4	5	3	4	4	1,0198
5.2 Rotura o desgaste de módulos por impacto mecánico, fatiga o micro-roturas por estrés mecánico o térmico (viento, nieve, granizo, ...).	4	2	4	4	2	3	4	0,9798
5.3 Robo de componentes (cableado, módulos) o roturas por vandalismo.	4	3	4	3	2	3	4	0,7483
5.4 Delaminación de módulos por factores externos o reducción del rendimiento por decoloración del laminado.	1	2	2	4	2	2	2	0,9798

5.5 Mal funcionamiento por interconexión defectuosa en las células (malas soldaduras) o conexiones defectuosas en cajas de conexión (diodos bypass destruidos por sobretensión...)	4	3	2	4	2	3	4	0,8944
5.6 Presencia de puntos calientes no detectados.	3	3	3	4	2	3	3	0,6325
5.7 Disminución del rendimiento por falta de limpieza y/o mantenimiento de módulos.	3	3	3	3	2	3	3	0,4000
5.8 Disminución del rendimiento por existencia de zonas no previstas de sombreado (árboles, hierba alta...) o por cambios en la inclinación correcta de los módulos (viento, golpes...).	3	3	3	4	2	3	3	0,6325
5.9 Degradación del inversor por estar desprotegido del ambiente y de la radiación solar directa	2	3	3	4	2	3	3	0,7483
5.10 Mal funcionamiento de la ventilación del inversor (hojas, insectos, suciedad...).	2	3	3	4	2	3	3	0,7483
5.11 Fallo en el aislamiento, arco eléctrico o incendio por rotura en el aislamiento del cableado (exposición a la intemperie, roedores...).	4	2	3	4	2	3	4	0,8944
5.12 Calentamientos por falta de disipación en componentes o equipos (diodos de paso, inversor, módulos...).	3	2	2	3	2	2	2	0,4899
6.1 Falta de liquidez y/o disponibilidad de fondos de la empresa instaladora.	3	3	4	4	3	3	3	0,4899
6.2 Falta de pago por alguna de las partes involucradas.	3	3	3	4	3	3	3	0,4000
6.3 Quiebra de la empresa o de la subcontrata.	5	3	4	4	3	4	4	0,7483
6.4 Aumento de costes por requisitos técnicos adicionales	4	3	3	4	3	3	3	0,4899
7.1 Huelgas o paros imprevistos por parte del personal contratado en la instalación.	4	2	3	4	2	3	4	0,8944

7.2 Insatisfacción del personal o disputas entre trabajadores.	3	2	2	4	2	3	2	0,8000
7.3 Ausencias por enfermedad del personal contratado.	4	2	2	3	1	2	2	1,0198
7.4 Falta de proveedores fiables.	3	2	3	3	1	2	3	0,8000
7.5 Baja cualificación técnica del personal (en el área de fotovoltaica).	3	2	3	3	3	3	3	0,4000

Bibliografía

- AENOR. (2013). *Norma UNE-EN-ISO 21500. Directrices para la dirección y Gestión de proyectos*.
- Almarza, D., Hernandez Venegas, J., Soto Olea, G., & Santana Oyarzún, C. (2016). *Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SEC2005/ELECTRICIDAD_SEC/ERN/GENERACION_DISTRIBUIDA/LINKS_Y_NOTICIAS/TAB6243717/GUIA_OPERACION_MANTENIMIENTO.PDF
- Alvarez, R. C. (2017). *Gestión y análisis de riesgos del proyecto de una instalación eléctrica*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91124/fichero/Rosal%C3%AD+Cifuentes+Alvarez+TFG.pdf>
- Astigarraga, E. (s.f.). *El método Delphi*. San Sebastian.
- Berenguer, J. M. (2015). *¿QUÉ PUNTOS CRÍTICOS ESCONDE EL MÉTODO FINE DE VALORACIÓN DE RIESGOS?* Obtenido de <http://prevenblog.com/puntos-criticos-esconde-metodo-fine-valoracion-riesgos/>
- Bernal, J. J. (12 de Febrero de 2013). *AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos – Guía y ejemplos de uso*. Obtenido de <https://www.pdcahome.com/3891/amfe-guia-de-uso-del-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>
- Blog Ingeniería*. (2018). Obtenido de <https://blogingenieria.com/general/diseño-industrial/>
- Borja. (29 de Mayo de 2018). *Nuevo Manual de FMEA- Alineación AIAG/VDA*. Obtenido de <http://arizabalagaurarte.com/quality-core-tools-fmea-nuevo-manual-de-fmea-alineacion-aiag-vda/>
- Calle, J. P. (16 de Febrero de 2018). *5 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS*. Obtenido de <https://www.riesgoscero.com/blog/5-metodos-de-analisis-de-riesgos>
- Cartagena, L. (2015). *Planificación y modelado*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/4109930/>
- Censolar. (2010). *Trámites administrativos requeridos para instalaciones fotovoltaicas conectadas a red*. Obtenido de <http://www.fotovoltaica.com/tramitfv.pdf>
- Cifuentes Alvarez, R. (2017). *Gestión y análisis de riesgos del proyecto de una instalación eléctrica en un establecimiento hotelero*. Universidad de Sevilla.
- Deublein, M. (2013). Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approachh, Accident Analysis and Prevention. 274-291.
- Ennouri,W. (2013). Risk management: new literature Review. *Polish Journal of management Studies*, Vol.8, 288-297.

- Escuela Europea de Excelencia. (23 de Noviembre de 2017). *5 herramientas para la gestión de riesgos en ISO 9001:2015*. Obtenido de <https://www.escuelaeuropeaexcelencia.com/2017/11/5-herramientas-para-la-gestion-de-riesgos-en-iso-9001-2015/>
- Esparcia, A. (Marzo de 2011). *Tsunami en la cadena logística*. Obtenido de <https://www.securityartwork.es/2011/03/17/tsunami-en-la-cadena-logistica/>
- Fernández González, J. (Septiembre de 2014). ISO 21500. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Franco Hernández, E. (2016). Control de Calidad en la Industria Automotriz, Estudio de Caso Solenoide del Sistema de Transmisión. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.FACULTAD DE INGENIERÍA.
- Gonzalez García, M. (Febrero de 2015). *Evaluación de riesgos mediante el método Fine de un centro de producción minero*. (Universidad de Oviedo) Obtenido de http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/29955/6/TFM_%20Marta%20Gonz%C3%A1lez.pdf
- Guerrero-Liquet. (2016). Identificación de Riesgos en Instalaciones Fotovoltaicas mediante Toma de Decisión Multicriterio: Caso de Estudio Región de Murcia. 9. Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos. Universidad Politécnica de Cartagena.
- GUIAR. (s.f.). *Análisis funcional de operatividad (AFO): Hazard and operability (HAZOP)*. Obtenido de http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm
- Huidobro, C. S. (Diciembre de 2014). Instalación solar fotovoltaica (110 kWp) conectada a la red en la cubierta de un polideportivo. Universidad de Cantabria.
- IDAE. (Julio de 2011). Instalaciones de Energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red.
- Inerco. (Febrero de 2018). *Herramientas avanzadas para el diseño, operación y gestión segura de instalaciones industriales*. Obtenido de <http://inercomunicacion.com/herramientas-avanzadas-diseno-operacion-gestion-segura-instalaciones-industriales-analisis-riesgos-process-safety-management-psm-asset-integrity-ai/>
- INSHT, I. N. (2017). *Herramientas para la gestión del riesgo químico. Métodos de evaluación cualitativa y modelos de estimación*. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FICHAS%20DE%20PUBLICACIONES/EN%20CATALOGO/Higiene/Herramientas%20para%20la%20gestion%20del%20riesgo%20quimico.pdf>
- Institute, P. M. (2009). *Guía de los fundamentos de gestión de proyectos. (Guía del PMBOK)*.
- Lavastre O. (2012). Supply chain risk management in French companies. Decision Support Systems.

Ma L. (2013). A novel method of quantitative risk assessment based on grid difference of pipeline sections. *Safety Science*.

Management Solution. (2014). *Gestión del riesgo operacional en el sector energético*.
Obtenido de
<https://www.managementsolutions.com/sites/default/files/publicaciones/esp/Riesgo-Operacional-Energia.pdf>

Manga, R. (2018). La Gestión del Riesgo Industrial, una herramienta para evitar accidentes catastróficos. Colombia.

Meca Solar. (2017). *Estructuras fijas*. Obtenido de <https://mecasolar.com/wp-content/uploads/2018/02/Mecasolar-Fixed-Structure-SPA.pdf>

Meca solar. (2017). *Seguidor solar MS Tracker 10*. Obtenido de
http://www.proinso.net/pub/doc/File/descripcion_solar_ms_tracker10.pdf

MENDEZ, F. I. (15 de Abril de 2013). *Gestión de riesgos en proyectos*. Obtenido de
<http://www.eoi.es/blogs/madeon/2013/04/15/gestion-de-riesgo-de-proyectos/>

Monforte, J. (2017). La subasta renovable adjudica más de 3.900 MW a la fotovoltaica. *Energética*.

Pereña Brand, J. (1996). *Dirección y gestión de proyectos*. Díaz de Santos.

PMI. (2013). *Guía de los Fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (5º ed.).

Project Management Institute. (2009). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)* (4º edición ed.).

RAE. (2014). RAE. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=UV6hPaS>

Serrano Cinca, C. (2018). *Lecciones de finanzas*. Obtenido de
<https://ciberconta.unizar.es/finanzas/08-P-matrizriesgo.htm>

solar-energia. (Mayo de 2018). *Energía solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

Standarization, I. O. (1997). *ISO 10006:1997. Quality management-Guidelines to quality in project management*. Gêneve, Switzerland.

Sterkin, J. (29 de Abril de 2007). *¿Qué es el riesgo en un proyecto?* Obtenido de
<https://iaap.wordpress.com/2007/04/29/%C2%BFque-es-el-riesgo-en-un-proyecto/>

Suelo solar. (2008). Obtenido de
https://suelosolar.com/guiasolares/tramitacion/punto_acceso.asp

Terrados, P., & Hermoso, P. (2017). *Gestión de riesgos. Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos del Máster en Ingeniería Industrial*. Universidad de Jaén.

- Terrados, P., & Hermoso, P. (2017). *Introducción al proyecto. Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos del Máster en Ingeniería Industrial*. Universidad de Jaén.
- Terrados, P., & Hermoso, P. (2017). *Procesos de la dirección y gestión de proyectos. Apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos del Máster en Ingeniería Industrial*. Universidad de Jaén.
- Thun J.H. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*.
- UNE-EN 62198. (2014). *Gestión de riesgos del proyecto. Directrices de aplicación*.
- UNE-EN 62198. (2015). *Gestión de riesgos del proyecto. Directrices de aplicación*.
- Vilar, M. M. (Enero de 2015). *Gestión y análisis de riesgos aplicados al proyecto*. Obtenido de http://oa.upm.es/34118/1/TFG_MARTA_RODRIGUEZ_VILAR.pdf
- Wikipedia. (2017). *HAZOP*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/HAZOP>
- Wikipedia. (2018). *Análisis modal de fallos y efectos*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_modal_de_fallos_y_efectos
- Wikipedia. (Septiembre de 2018). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica
- Wikipedia. (Septiembre de 2018). *Gestión de riesgos*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_riesgos
- Wikipedia. (Septiembre de 2018). *Norma UNE*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Norma_UNE
- Wikipedia. (Agosto de 2018). *Project Management Institute*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Project_Management_Institute
- Wikipedia. (Septiembre de 2018). *Proyecto*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecto#cite_note-Parodi_1-1
- Wikipedia. (septiembre de 2018). *Puesta a tierra*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Puesta_a_tierra
- Xanthopoulos A., Vlachos D., & Lakovou E. (2012). *Optimal newsvendor policies for dualsourcing supply chains: A disruption risk management framework*, *Computers and Operations Research*.