



# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

*TRABAJO FIN DE MÁSTER*

RIESGO OPERACIONAL EN EL SECTOR  
ENERGETICO, APLICACION EN  
PROYECTOS DE ALUMBRADO PUBLICO E  
INFRAESTRUCTURA ENERGETICA

Autor: Carlo De Paolis Robles  
Director: Juan Luis Martín Ferrera

Madrid  
Julio de 2019



## AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

### **1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.**

El autor D. CARLO DE PAOLIS ROBLES DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: RIESGO OPERACIONAL EN EL SECTOR ENERGETICO, APLICACION EN PROYECTOS DE ALUMBRADO PUBLICO E INFRAESTRUCTURA ENERGETICA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### **2º. Objeto y fines de la cesión.**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### **3º. Condiciones de la cesión y acceso**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### **4º. Derechos del autor.**

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### **5º. Deberes del autor.**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

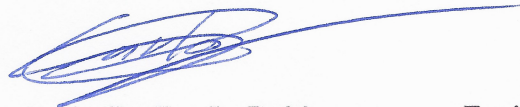
Madrid, a 12 de Julio de 2019

**ACEPTA**

Fdo.  .....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
RIESGO OPERACIONAL EN EL SECTOR ENERGETICO,  
APLICACION EN PROYECTOS DE ALUMBRADO PUBLICO E  
INFRAESTRUCTURA ENERGETICA en la ETS de Ingeniería - ICAI de la  
Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

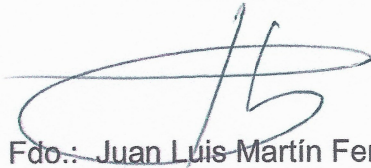


Fdo.: Carlo De Paolis Robles

Fecha: 12/07/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Juan Luis Martín Ferrera

Fecha: 12/07/2019



## **Agradecimientos**

Debido a que en mi TFG no añadí esta sección, aprovecho para añadir los siguientes agradecimientos ahora.

Quiero dar las gracias a Juan Luis Martín Ferrera y a Javier Rosell por guiarme y ayudarme a llevar a cabo el Trabajo de Fin de Máster. También quiero agradecer a Management Solutions por dejarme utilizar la herramienta necesaria para la realización del trabajo y por ayudarme a elegir el tema.

Quiero dar las gracias a mi familia, especialmente a mi padre por ser el primero en apostar y creer en mí, por darme la posibilidad de llevar a cabo esta carrera y el Erasmus en Budapest. También, a mi otra familia, “los xhavales”, que sin vosotros esto no habría sido posible.

Quiero dar las gracias a mi queridísima abuela Elisa, y a mi queridísimo abuelo Carlos, que seguramente me está mirando orgulloso desde ahí arriba.

Finalmente, gracias a ICAI por la formación recibida durante los últimos siete años, que volando han pasado, y a todas las personas que me han acompañado durante este largo viaje.





**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

*TRABAJO FIN DE MÁSTER*

RIESGO OPERACIONAL EN EL SECTOR  
ENERGETICO, APLICACION EN  
PROYECTOS DE ALUMBRADO PUBLICO E  
INFRAESTRUCTURA ENERGETICA

Autor: Carlo De Paolis Robles

Director: Juan Luis Martín Ferrera

Madrid

Julio de 2019





RIESGO OPERACIONAL EN EL SECTOR ENERGETICO, APLICACION EN  
PROYECTOS DE ALUMBRADO PUBLICO E INFRAESTRUCTURA  
ENERGETICA

**Autor: De Paolis Robles, Carlo**

Director: Juan Luis Martín Ferrera

Entidad colaboradora: Management Solutions

**RESUMEN DEL PROYECTO**

**Palabras clave:** riesgo operacional, Infraestructura Energética (I.E.), Alumbrado Público (A.P.), método de distribuciones de pérdidas o *Loss Distribution Approach (LDA)*, construcción/instalación y Operación & Mantenimiento (O&M).

**1. Introducción**

Las empresas cada vez son más conscientes de la importancia y de la necesidad de tener integrado en las empresas una cultura de gestión de los riesgos, buscando un mayor control y monitorización de los mismos.

En el sector energético destacan los riesgos operacionales, que engloban los fallos y errores que se producen dentro de los procesos y sistemas de los proyectos y empresas pertenecientes al sector. Hay varios ejemplos notables en el cual se han materializado riesgos de este tipo, como el desastre nuclear de Fukushima ([1]) y el derrame de petróleo de Valdez ([2]).

Dentro del sector energético y de las líneas de negocio que hay actualmente, el estudio de los riesgos operacionales se enfoca en proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público, que son dos tipos de sectores más asentados donde tiene más sentido hacer un análisis de monitorización de riesgos debido a la experiencia de las empresas en el sector.

Debido a que una de las mayores limitaciones de este proyecto era la falta de información almacenada en una base de datos relacionada con la cuantificación de los sobrecostos y desvíos en plazo en las distintas fases, así como los eventos que los ocasionaban, se ha tenido que llevar a cabo el estudio primero viendo cual era



la información disponible y posteriormente se ha utilizado el criterio de los expertos para la cuantificación de los riesgos, aplicando finalmente la *LDA (Loss Distribution Approach)* en un caso práctico.

## **2. Metodología**

Los objetivos del proyecto eran los siguientes: llevar a cabo un análisis de la situación actual (estado del arte) sobre los riesgos en corporaciones, poniendo foco en el riesgo operacional. Después, comprender y contextualizar los sectores de los proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público, poniendo atención en la construcción y mantenimiento. A continuación, definir la metodología de cuantificación de riesgos, que finalmente se aplica en un caso práctico, partiendo de información existente junto con el criterio experto.

Primero se he hecho un estudio del estado del arte en cuanto a la gestión de los riesgos en corporaciones y de las distintas clasificaciones, se ha explicado la función de riesgo, desde sus objetivos y de las líneas de defensa en organizaciones, de su situación en el sector energético. También, se ha tratado más profundamente la gestión del riesgo operacional y las diferentes metodologías de evaluación del mismo ([3]).

Segundo, se ha dado un contexto general de las líneas de negocio actuales relacionadas con el sector energético, poniendo como ejemplo a las que se llevan a cabo por las empresas pertenecientes a la asociación de *ael̄c*. Además se explican los tipos de proyectos y las fases que suelen tener en el sector de construcción y mantenimiento de Infraestructuras Energéticas y Alumbrado Público.

Tercero, se define la metodología de gestión de riesgos, las herramientas estadísticas sobre la que se fundamentan y el método por el cual se obtiene la información hasta llegar a parametrizar los riesgos. El método utilizado para medir los riesgos operacionales es la metodología de distribuciones de pérdidas o *Loss Distribution Approach*, explicada en el estado del arte.

Cuarto, se elabora el caso práctico, en el cual se definen los proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público a analizar, mostrando la



taxonomía de riesgos que suelen materializarse en proyectos de este tipo. Posteriormente se obtienen mediante simulaciones de Montecarlo los diferentes impactos económicos y en plazo de los diferentes riesgos parametrizados, destacando los más significantes.

### 3. Resultados

Los tipos de proyectos en Infraestructura Energética suelen ser de tipo Turn-Key (llave en mano) en los cuales la empresa recibe la facturación al final del proyecto o a través de la consecución de hitos hasta la construcción del activo. En cambio, para Alumbrado Público se lleva a cabo la construcción/instalación y después mediante contratos de Gestión Integrada se ocupan de la Operación y Mantenimiento, entre periodos de 10-15 años. Las cadenas de procesos de ambos proyectos se muestran en la Figura 1 para I.E. y en Figura 2 para A.P.



Figura 1. Cadena de procesos de proyectos de Infraestructura Energética

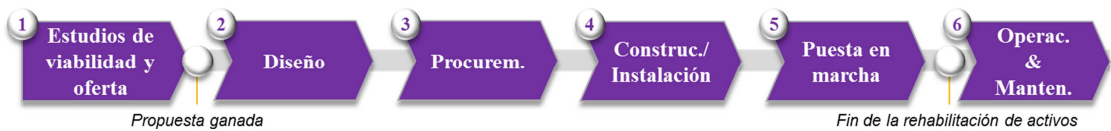


Figura 2. Cadena de procesos de proyectos de Alumbrado Público



Figura 3. Taxonomía de riesgos aplicada



Posteriormente, el método de obtención de información aplicado ha sido el que se muestra en la Figura 4 en cada uno de los riesgos de la taxonomía de la Figura 3. A través del mismo se obtiene la frecuencia, el impacto esperado y máximo tanto económico como de desviación en plazo.

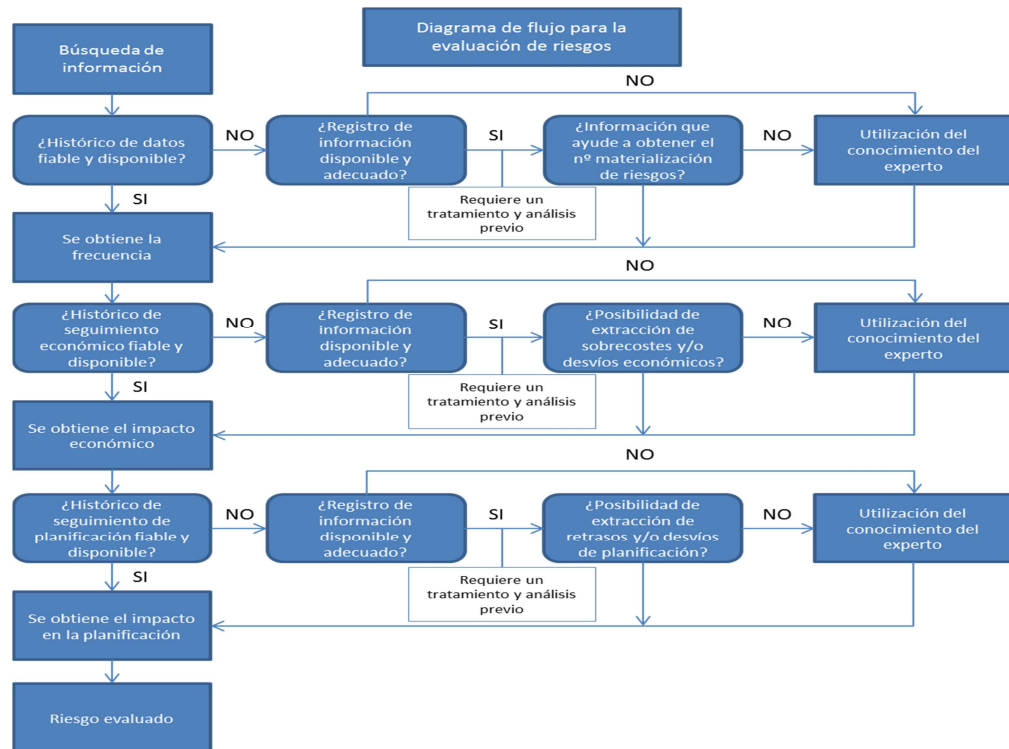


Figura 3. Flujo de cuantificación de riesgos operacionales

Finalmente, tras haber evaluado todos los riesgos, se ha aplicado la LDA en la cual se ha simulado 100.000 escenarios de Montecarlo en el cual se han obtenido impactos medios e impactos máximos de cada riesgo, en impacto económico y en plazo.

Tanto en Infraestructura Energética como en Alumbrado Público, en las fases correspondientes en la construcción, los riesgos significativos económicamente son aquellos que catalogados como Planificación y Ejecución y desarrollo. En cuanto a desviaciones en plazo, los riesgos relacionados con licencias y aprovisionamiento, junto con los de ejecución y desarrollo son los que más impacto tienen.



En la fase de Operación y Mantenimiento en el proyecto de Alumbrado Público, los riesgos que tienen mayor impacto son aquellos relacionados con la ejecución, daños en activos físicos, de fraudes externos y contractuales.

#### **4. Conclusiones**

Las conclusiones principales que se pueden sacar de este proyecto son:

- Sabiendo cuales son los riesgos con mayor impacto en los proyectos, habiendo establecido un apetito al riesgo, es decir, el impacto que se está dispuesto a aceptar, se puede tener un mejor criterio en la decisión de invertir en los proyectos con el mismo perfil de riesgo.
- Se puede establecer un pricing más competitivo en las ofertas, ajustando mayormente el precio inicial con respecto a los de los competidores, sabiendo cuales son los riesgos más probables y los impactos que puedan tener.
- Se puede tener una gestión del riesgo proactiva sabiendo el impacto de los riesgos a través de una gestión automática de las bases de datos, pudiendo aplicar en tiempo real medidas de prevención y/o mitigación.

La mayor limitación de este proyecto ha sido no tener una base de datos o una información bien documentada sobre la que partir, habiendo tenido que utilizar el criterio experto para la evaluación de los riesgos a nivel proyecto.

#### **5. Bibliografía**

- [1] [WIKI19], “Accidente nuclear de Fukushima I”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente\\_nuclear\\_de\\_Fukushima\\_I](https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_nuclear_de_Fukushima_I)
- [2] [EXMO18], “The Valdez oil spill”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Tools-and-processes/Risk-management-and-safety/The-Valdez-oil-spill#overview>
- [3] [COCA14] Coca D., García de Blas R., Calvo J., Álvarez J. y del Canto A., “Operational risk management in the energy industry”, White Paper, MS, 2014



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---



OPERATIONAL RISK IN THE ENERGY SECTOR, APPLICATION IN  
PUBLIC LIGHTING AND ENERGY INFRASTRUCTURE PROJECTS

**Author: De Paolis Robles, Carlo**

Director: Juan Luis Martín Ferrera

Collaborating Institutes: Management Solutions

**ABSTRACT**

**Keywords:** operational risk, Energy Infrastructure (E.I.), Public Lighting (P.L.), *Loss Distribution Approach (LDA)*, construction/installation and Operation & Maintenance (O&M).

**1. Introduction**

Companies are increasingly aware of the importance and the need to have an integrated risk management culture in companies, seeking greater control and monitoring of them.

In the energy sector, operational risks stand out, involving faults and errors that occur within the processes and systems of projects and companies that belong to the sector. There are several significant examples in which such risks have materialized, such as the Fukushima nuclear disaster ([1]) and the Valdez oil spill ([2]).

Within the energy sector and current business lines, the study of operational risks focuses on Energy Infrastructure and Public Lighting projects, which are two types of more established sectors where it makes more sense to make a risk assessment analysis due to the experience of companies in the sector.

Due to the fact that one of the major limitations of this project was the lack of information stored in a database related to the quantification of cost overruns and term deviations in the different phases, as well as the events that caused them, the study had to be carried out first seeing what the available information was and then the expert criteria was used to quantify the risks, finally applying the LDA (Loss Distribution Approach) in a case study.



## **2. Methodology**

The objectives of the project were the following: to carry out an analysis of the current situation (state of the art) on risks in corporations, with a focus on operational risk. Next, understand and contextualize the sectors of the Energy Infrastructure and Public Lighting projects, paying attention to construction and maintenance. Next, define the risk quantification methodology, which is finally applied in a practical case, starting from existing information along with the expert criteria.

First a study of the state of the art in terms of risk assessment in corporations and the different classifications has been made; the risk function has been explained, from its objectives and the lines of defense in organizations, focusing on the energy sector. The assessment of operational risk and the different methodologies for evaluating it have also been dealt with in greater depth ([3]).

Second, a general context has been given to the current lines of business related to the energy sector, using as an example those carried out by the companies belonging to the *aelēc*. It is also explained the types of projects and the phases they usually have in the sector of construction and maintenance of Energy Infrastructures and Public Lighting.

Third, it defines the risk assessment methodology, the statistical tools on which they are based and the method by which the information is obtained until risks are parameterized. The method used to measure operational risks is the *Loss Distribution Approach* methodology, explained in the state of the art.

Fourth, the case study is carried out, in which the Energy Infrastructure and Public Lighting projects to be analyzed are defined, showing the taxonomy of risks that usually materialize in projects of this type. Subsequently, Monte Carlo simulations are used to obtain the different economic and term impacts of the different parameterized risks, highlighting the most significant ones.

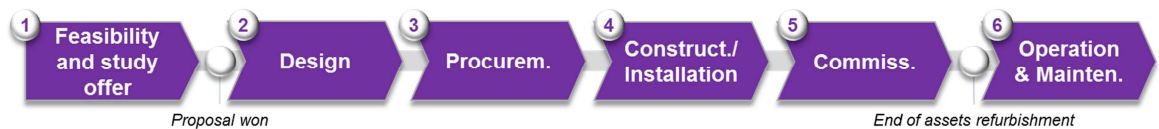


### 3. Results

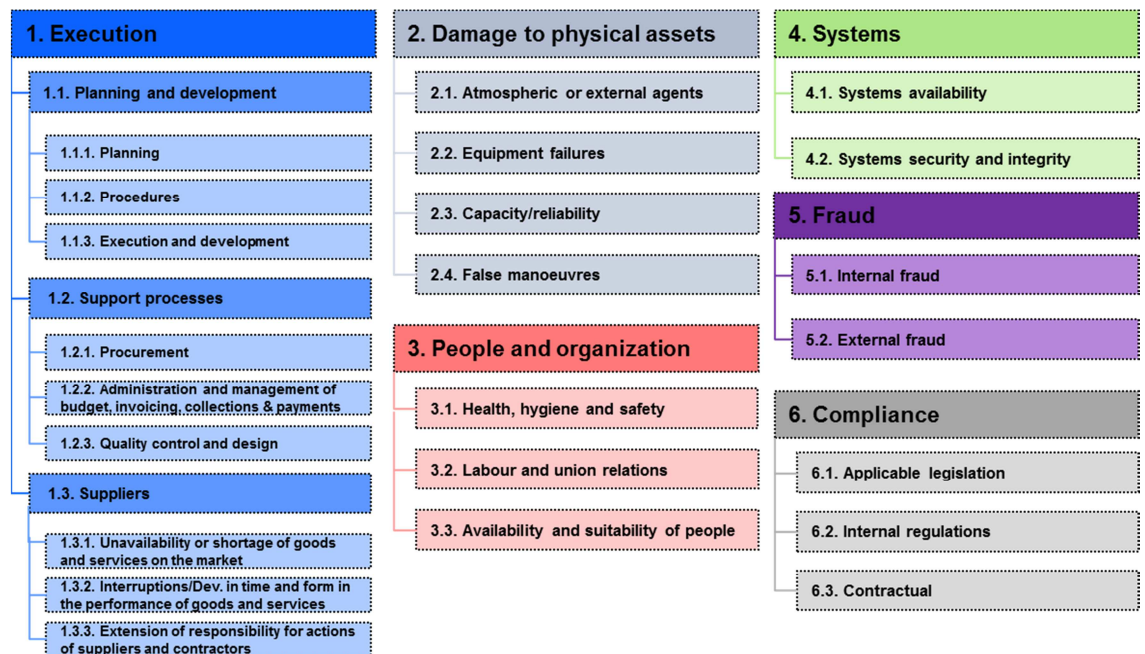
The types of projects in Energy Infrastructure are usually Turn-Key projects in which the company receives the invoicing at the end of the project or through the achievement of milestones until the construction of the asset. On the other hand, for Public Lighting the construction/installation is carried out and then by means of Integrated Management contracts they take care of the Operation and Maintenance, between periods of 10-15 years. The process chains of both projects are shown in Figure 1 for E.I. and Figure 2 for P.L.



*Figure 1. Process chain of Energy Infrastructure projects*



*Figure 2. Process chain for Public Lighting projects*



*Figure 3. Applied risk taxonomy*

Subsequently, the method of obtaining the information applied was that shown in Figure 4 for each of the risks of the taxonomy in Figure 3. Through this method,



the frequency, the expected impact and the maximum economic and term deviation are obtained.

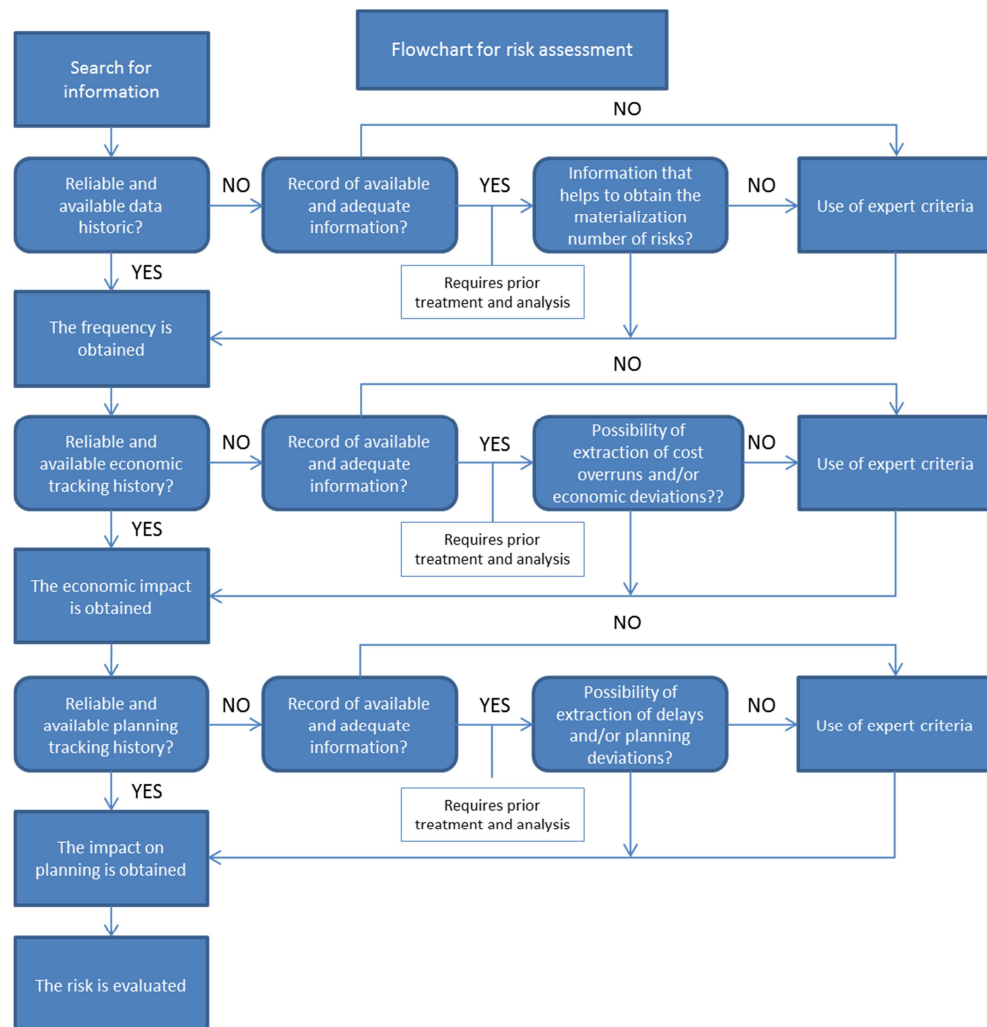


Figura 3. Flowchart for the risk assessment

Finally, after having evaluated all the risks, the LDA was applied in which 100,000 Monte Carlo scenarios were simulated in which average impacts and maximum impacts of each risk were obtained, in terms of economic and term impact.

Both in Energy Infrastructure and Public Lighting, in the corresponding phases of construction, the economically significant risks are those that are catalogued as Planning and Execution and development. In terms of term deviations, the risks



related to licenses and supply, together with those of execution and development, are those that have the greatest impact.

In the Operation and Maintenance phase of the Public Lighting project, the risks that have the greatest impact are those related to execution, damage to physical assets, external fraud and contractual fraud.

#### **4. Conclusions**

The main conclusions that can be taken from this project are:

- Knowing which risks have the greatest impact on projects, having established a risk appetite, that is, the impact you are willing to accept, you can have a better criterion in the decision to invest in projects with the same risk profile.
- It is possible to establish a more competitive pricing in the offers, adjusting the initial price with respect to those of the competitors, knowing which are the most probable risks and the impacts that can have.
- A proactive risk assessment can be implemented knowing the impact of the risks through an automatic database, being able to apply in real time prevention and/or mitigation measures.

The biggest limitation of this project has been not having a well-documented database or information on which to build, having had to use expert judgement for project-level risk assessment

#### **5. Bibliography**

- [1] [WIKI19], “Accidente nuclear de Fukushima I”, last visit: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente\\_nuclear\\_de\\_Fukushima\\_I](https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_nuclear_de_Fukushima_I)
- [2] [EXMO18], “The Valdez oil spill”, last visit: 11/07/2019, link: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Tools-and-processes/Risk-management-and-safety/The-Valdez-oil-spill#overview>
- [3] [COCA14] Coca D., García de Blas R., Calvo J., Álvarez J. y del Canto A., “Operational risk management in the energy industry”, White Paper, MS, 2014



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---



## Índice de la memoria

<b>Parte I</b>	<b>Memoria.....</b>	<b>0</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1	Estudio de los trabajos existentes / tecnologías existentes .....	2
1.1.1	Gestión del riesgo operacional .....	2
1.1.2	Riesgos en la tipología de proyectos de I.E. & A.P. ....	3
1.2	Motivación del proyecto.....	4
1.3	Objetivos.....	4
1.4	Metodología / Solución desarrollada .....	5
1.5	Recursos / herramientas empleadas.....	5
<b>Capítulo 2</b>	<b>Situación actual sobre los riesgos en corporaciones: riesgo operacional en el S.E.....</b>	<b>7</b>
2.1	Introducción.....	7
2.2	Riesgos en el ámbito empresarial.....	7
2.2.1	Concepto de riesgo.....	8
2.2.2	Orígenes de la gestión de riesgos .....	9
2.2.3	Clasificación de riesgos.....	10
2.3	Función de Riesgos .....	13
2.3.1	Introducción .....	13
2.3.2	Misión y principios .....	14
2.3.3	Mapa de riesgos .....	15
2.3.4	Organización y gobierno .....	15
2.3.5	Política y modelos .....	17
2.3.6	Procesos y sistemas IT .....	18
2.4	Situación actual de la función de Riesgos en el sector energético .....	20
2.5	Gestión del riesgo operacional.....	21
2.5.1	Situación actual/Contexto/Introducción .....	21
2.5.2	Concepto de riesgo operacional .....	22
2.5.3	Clasificación e identificación de riesgos operacionales .....	23



---

<b>2.6</b>	<b>Metodologías de evaluación del riesgo operacional.....</b>	<b>25</b>
2.6.1	Metodologías basadas en información experta .....	26
2.6.1.1	Cuestionarios de autoevaluación .....	26
2.6.1.2	Análisis de escenarios .....	28
2.6.2	Metodologías basadas en fuentes de datos cuantitativos.....	29
2.6.2.1	Metodología de distribución de pérdidas.....	30
2.6.2.1.1	Análisis de riesgos y tratamientos de datos .....	31
2.6.2.1.2	Ajuste de distribuciones.....	32
2.6.2.1.3	Integración de datos externos y cualitativos .....	33
2.6.2.1.4	Cálculo de la distribución de pérdidas.....	33
2.6.2.1.5	Validación.....	34
2.6.2.2	Indicadores de Riesgo (KRI).....	35
<b>2.7</b>	<b>Ejemplos de accidentes de en el S.E.....</b>	<b>36</b>
2.7.1	Desastre nuclear de Fukushima.....	36
2.7.2	Derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon.....	37
2.7.3	Desastre de Exxon Valdez .....	37
2.7.4	Accidente del transbordador espacial Columbia .....	37
2.7.5	Caso Enron.....	38
<b>Capítulo 3</b>	<b>Contexto y profundización del sector energético actual .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Sector energético.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>Líneas de negocio en sector energético .....</b>	<b>40</b>
3.3.1	Tendencias actuales consolidadas .....	41
3.3.1.1	Negocio de las renovables y cogeneración.....	41
3.3.1.2	Negocio de las redes.....	42
3.3.1.3	G-D-T-C (Negocio de la generación y comercialización).....	42
3.3.1.4	Negocio de la consultoría energética y eficiencia energética .....	43
3.3.1.5	Negocio de los servicios energéticos en edificios, utilidades industriales.....	43
3.3.1.6	Negocio del gas .....	44
3.3.2	Tendencias innovadoras .....	44
3.3.2.1	Vivienda .....	44
3.3.2.2	Empresa/Industria.....	44
3.3.2.3	Ciudad .....	45
3.3.2.4	Movilidad eléctrica.....	45
3.3.3	Tendencias innovadoras en desarrollo comercial.....	46

---



---

3.3.3.1 Demand & Response .....	46
3.3.3.2 Ciudades inteligentes.....	47
<b>3.4 Proyectos de construcción y O&amp;M: Procesos y tipos .....</b>	<b>48</b>
<i>Capítulo 4 Definición de la metodología: herramientas estadísticas y tratamiento de datos .....</i>	<i>53</i>
<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Herramientas Estadísticas .....</b>	<b>54</b>
4.2.1 Ajuste de distribuciones .....	54
4.2.2 Distribución de Poisson.....	55
4.2.3 Distribución de Weibull .....	56
4.2.4 Simulación de Montecarlo .....	57
4.2.5 Herramienta informática .....	59
<b>4.3 Tratamiento de datos tras aplicar criterio experto para aplicarlos en un caso 59</b>	
4.3.1 Introducción .....	59
4.3.2 Revisión de información disponible y criterio experto .....	60
4.3.2.1 Información disponible registrada .....	60
4.3.2.2 Criterio experto .....	61
4.3.3 Tratamiento de la información registrada .....	62
4.3.4 Metodología para aplicar la información .....	63
<i>Capítulo 5 Caso práctico .....</i>	<i>67</i>
<b>5.1 Introducción.....</b>	<b>67</b>
<b>5.2 Definición y alcance.....</b>	<b>67</b>
5.2.1 Proyecto de Infraestructura Energética .....	68
5.2.2 Proyecto de Alumbrado Público .....	73
5.2.3 Taxonomía de riesgos .....	77
<b>5.3 Modelado.....</b>	<b>84</b>
5.3.1 Modelado en Infraestructura Energética .....	84
5.3.1.1 Análisis y tratamiento de la información disponible .....	85
5.3.1.1.1 Planificación .....	85
5.3.1.1.2 Seguimiento económico.....	91
5.3.1.2 Parametrización de los riesgos .....	92
5.3.2 Modelado en Alumbrado Público .....	99

---



---

5.3.2.1	Análisis y tratamiento de la información disponible .....	99
5.3.2.2	Parametrización de los riesgos .....	99
<b>Capítulo 6</b>	<b>Resultados del caso práctico .....</b>	<b>107</b>
<b>6.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>107</b>
<b>6.2</b>	<b>Resultados Infraestructura Energética .....</b>	<b>107</b>
6.2.1	Impacto económico .....	107
6.2.2	Impacto en plazo .....	114
<b>6.3</b>	<b>Resultados Alumbrado Público.....</b>	<b>121</b>
6.3.1	Impacto económico .....	121
6.3.1.1	Fases de Construcción .....	121
6.3.1.2	Fase de O&M .....	126
6.3.2	Impacto en plazo .....	132
6.3.2.1	Fases de Construcción .....	132
<b>Capítulo 7</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>137</b>
<b>7.1</b>	<b>Análisis de la situación actual de la gestión de riesgos.....</b>	<b>137</b>
<b>7.2</b>	<b>Comprensión y contextualización de las líneas de negocio actuales en el sector energético .....</b>	<b>138</b>
<b>7.3</b>	<b>Definición y aplicación de la metodología de gestión de riesgos.....</b>	<b>138</b>
<b>7.4</b>	<b>Resultados del caso práctico .....</b>	<b>139</b>
<b>7.5</b>	<b>Conclusiones sobre la gestión de riesgos operacionales .....</b>	<b>140</b>
<b>7.6</b>	<b>Limitaciones principales durante el proyecto.....</b>	<b>140</b>
<b>Capítulo 8</b>	<b>Futuros desarrollos .....</b>	<b>143</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>145</b>	
<b>Parte II</b>	<b>Estudio Económico.....</b>	<b>149</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>Estudio económico.....</b>	<b>151</b>

---



## Índice de figuras

Figura 1. Definiciones de riesgo (Fuente: [13]) .....	9
Figura 2. Definición de riesgo (Fuente: [13]).....	9
Figura 3. Dominios de riesgo (Fuente: [13]).....	11
Figura 4. Ciclo de vida de gestión de los riesgos (Fuente: [13]).....	13
Figura 5. Líneas de defensa de la Función de Riesgos (Fuente: [13]) .....	17
Figura 6. Fuentes disponibles de información (Fuente: [13]).....	26
Figura 7. Ejemplo de escalas de evaluación (Fuente: [13]) .....	27
Figura 8. Secuencia del análisis de escenarios (Fuente: [13]).....	28
Figura 9. Metodología LDA – Etapas en el proceso de cálculo de distribuciones de pérdidas (Fuente: [13]) .....	31
Figura 10. Medidas sobre la distribución de pérdidas (Fuente: [13]) .....	34
Figura 11. Ejemplo de indicadores de riesgo o KRI (fuente: [13]).....	36
Figura 12. Metodología de ajuste de distribuciones (LDA) (Fuente: [13]).....	54
Figura 13. Diagrama de flujo para obtener la información .....	64
Figura 14. Procesos dentro de un proyecto de Infraestructura Energética .....	71
Figura 15. Procesos dentro de un proyecto de Alumbrado Público .....	75
Figura 16. Taxonomía de riesgos aplicada.....	84
Figura 17. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.1. Errores de ejecución.....	110
Figura 18. Distribución de pérdidas reducida del riesgo 1.1.3.1. Errores de ejecución.....	110
Figura 19. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción	111
Figura 20. Distribución de pérdidas reducida del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción .....	111
Figura 21. Pérdida media económica de los riesgos de I.E. agregados.....	114



---

Figura 22. Distribución de pérdidas (retrasos) del riesgo 1.1.2.1. Licencias administrativas.....	117
Figura 23. Distribución de pérdidas (retrasos) reducida del riesgo 1.1.2.1. Licencias administrativas .....	118
Figura 24. Distribución de pérdidas (retrasos) del riesgo 1.2.1. Aprovechamiento .....	118
Figura 25. Distribución de pérdidas (retrasos) reducida del riesgo 1.2.1. Aprovechamiento .....	118
Figura 26. Pérdida media (retrasos) de los riesgos de E.I. agregados.....	121
Figura 27. Pérdida media de los riesgos de A.P. agregados durante la Construcción.....	125
Figura 28. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción	128
Figura 29. Distribución de pérdidas del riesgo 2.2. Fallos en equipos.....	128
Figura 30. Distribución de pérdidas del riesgo 5.2. Fraude externo .....	129
Figura 31. Pérdida media de los riesgos de A.P. agregados durante O&M .....	131
Figura 32. Pérdida media (retraso) de los riesgos de A.P. agregados durante la Construcción.....	136



## Índice de tablas

Tabla 1. Fechas de cronograma genéricas.....	87
Tabla 2. Fechas tareas del proyecto.....	88
Tabla 3. Duración de las tareas planificadas y reales.....	89
Tabla 4. Costes generales del proyecto .....	91
Tabla 5. Taxonomía de riesgos de Infraestructura Energética .....	97
Tabla 6. Taxonomía de riesgos de Alumbrado Público de la construcción .....	103
Tabla 7. Taxonomía de riesgos de Alumbrado Público de O&M.....	105
Tabla 8. Impacto económico de los riesgos individuales de I.E. ....	109
Tabla 9. Impacto económico agregado de nivel 3 de I.E. ....	112
Tabla 10. Impacto económico agregado de nivel 2 de I.E. ....	113
Tabla 11. Impacto económico agregado de nivel 1 de I.E. ....	113
Tabla 12. Impacto económico total evaluado de I.E. ....	114
Tabla 13. Impacto en plazo de los riesgos individuales de I.E. ....	116
Tabla 14. Impacto en plazo agregado de nivel 3 de I.E. ....	119
Tabla 15. Impacto en plazo agregado de nivel 2 de I.E. ....	120
Tabla 16. Impacto en plazo agregado de nivel 1 de I.E. ....	120
Tabla 17. Impacto en plazo total evaluado de I.E. ....	121
Tabla 18. Impacto económico de los riesgos individuales de A.P. de Construcción .....	123
Tabla 19. Impacto económico agregado de nivel 3 de A.P. de Construcción.....	124
Tabla 20. Impacto económico agregado de nivel 2 de A.P. de Construcción.....	124
Tabla 21. Impacto económico agregado de nivel 1 de A.P. de Construcción.....	125
Tabla 22. Impacto económico total evaluado de A.P. de Construcción.....	125
Tabla 23. Impacto económico de los riesgos individuales de A.P. de O&M.....	126



Tabla 24. Impacto económico agregado de nivel 3 de A.P. de O&M.....	130
Tabla 25. Impacto económico agregado de nivel 2 de A.P. de O&M.....	130
Tabla 26. Impacto económico agregado de nivel 1 de A.P. de O&M.....	131
Tabla 27. Impacto económico total evaluado de A.P. de O&M .....	131
Tabla 28. Impacto en plazo de los riesgos individuales de A.P. de Construcción .....	133
Tabla 29. Impacto en plazo agregado de nivel 3 de A.P. de Construcción.....	134
Tabla 30. Impacto en plazo agregado de nivel 2 de A.P. de Construcción.....	135
Tabla 31. Impacto en plazo agregado de nivel 1 de A.P. de Construcción.....	135
Tabla 32. Impacto total evaluado de A.P. de Construcción .....	135
Tabla 33. Coste total del proyecto.....	151



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---

# *Parte I MEMORIA*

---



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---

---



## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

El concepto de riesgo, dentro del ámbito corporativo y empresarial, se entiende como el acontecimiento de un evento que puede ocasionar una pérdida económica, que conlleva un impacto económico negativo y/o un retraso en la ejecución de un proyecto. No se suele incluir en este concepto aquellos eventos que ocasionan un beneficio inesperado.

Desde el acuerdo de Basilea I en el año 1988 entidades relacionadas con el ámbito bancario y financiero las primeras medidas para medir y monitorizar los riesgos financieros como medidas preventivas y mitigatorias para evitar pérdidas significativas ([1]). Con el paso del tiempo, poniendo como origen el acuerdo de Basilea II, se daban los primeros indicadores para gestionar el riesgo operacional. Este riesgo en el ámbito de las corporaciones energéticas es el más significativo y que mayores pérdidas e impactos negativos produce por norma general, tanto económicamente como al medio ambiente.

Hoy en día las empresas están tomando mayor conciencia sobre la importancia de los posibles riesgos que a los que están expuestas, buscando un mayor control y monitorización de los mismos. Los tipos de riesgos son distintos, incluyendo: riesgos de crédito, de commodities, de modelo, estratégico, operacionales, etc.

Debido a que el proyecto está situado en el contexto del sector energético, se tratará el ámbito/dominio del riesgo operacional, el cual engloba fallos y errores en los procesos y sistemas de una empresa. Estos pueden estar originados por causas internas o externas a la compañía, pudiendo provocar impactos negativos en la misma.

En este proyecto se desea llevar a cabo un estudio de riesgos, que sirva a empresas a medir y monitorizar el impacto que pueden llegar a tener este tipo de fallos y errores en sus operaciones y procesos. En concreto, se estudiarán operaciones y proyectos de empresas del sector energético, específicamente en proyectos de



Alumbrado Público e Infraestructura Energética, que se dedican a la inversión, construcción, ejecución/operación y mantenimiento de los mismos. Las fases de este tipo de proyectos se comentan más detalladamente en la sección 3.4.

Según la fase a estudiar en el proyecto, los riesgos operacionales que más afectan son distintos, y el posible impacto ya sea desviación en plazo como impacto económico pueden ser variables. La aplicación de una metodología de estimación del impacto de dichos riesgos para mostrarla en un caso práctico es uno de los aspectos principales que se tratan en este proyecto.

## ***1.1 ESTUDIO DE LOS TRABAJOS EXISTENTES / TECNOLOGÍAS EXISTENTES***

---

En esta sección se mencionan los principales conceptos y estudios llevados a cabo con respecto a la gestión del riesgo operacional y de los riesgos en el sector energético, que se tratarán más detalladamente en el Capítulo 2. Además, en la sección 3.3 se tratan las principales ideas de negocio que destacan en el sector energético, diferenciando las que están más consolidadas y que por lo tanto tiene sentido aplicar la metodología de gestión de riesgos, y las que están en una fase de desarrollo comercial y por lo tanto no es tan preciso debido a la falta de información y de experiencia de las empresas en las mismas.

### **1.1.1 GESTIÓN DEL RIESGO OPERACIONAL**

---

Hoy en día las empresas la gestión de los riesgos está tomando un papel importante. La manera actual de categorizar los riesgos operacionales considerados fundamentales se encuentran en el acuerdo de Basilea II, como se comenta más detalladamente en el apartado 2.2.2. Aunque la gestión de riesgos tiene sus orígenes en el sector financiero, se ha expandido al resto de sectores, entre ellos el sector energético. En este sector, el riesgo que más afecta es el operacional, debido a que la materialización de un fallo en activos productivos



puede provocar pérdidas económicas, daños personales y/o medioambientales, con sus potenciales efectos en la reputación de la empresa asociada

Actualmente hay dos enfoques de tratar de evaluar: el cualitativo y el cuantitativo. El enfoque cualitativo utiliza metodologías basadas en información experta, que evalúan los riesgos operacionales a través de estimaciones facilitadas por profesionales expertos en el sector. El enfoque cuantitativo, puede aplicar tanto metodologías basadas en información experta como metodologías basadas en fuentes de datos cuantitativos. Estas se basan en un histórico de datos de siniestros y materializaciones de riesgos, que se utilizan posteriormente para aplicar la LDA (loss distribution approach) que ayuda a modelizar y generar distribuciones de pérdidas para los riesgos identificados.

El método aplicado en este proyecto es de enfoque cuantitativo, usando tanto el criterio experto, cuando no se dispone de información suficiente teniendo que llevar a cabo un tratamiento de la información previo para transformarlas en formato de histórico de eventos en frecuencia, impacto medio e impacto máximo; y la metodología basada en fuentes de bases de datos.

### **1.1.2 RIESGOS EN LA TIPOLOGÍA DE PROYECTOS DE I.E. & A.P.**

---

Los riesgos principales que se tratan en el sector energético en esta tipología de proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público son todos aquellos que suelen aparecer en las distintas fases de un proyecto de construcción u obra civil: estudio de viabilidad económica y técnica, diseño, Procurement<sup>1</sup> y Permitting<sup>2</sup>, Construcción y/o Instalación, Commissioning<sup>3</sup> y Operación y Mantenimiento. En el apartado 5.2.3 se muestra la taxonomía de riesgos con la que se ha categorizado a los riesgos presentes en esas tipologías de proyectos.

---

<sup>1</sup> Aprovechamiento

<sup>2</sup> Obtención de permisos y licencias

<sup>3</sup> Puesta en marcha



## ***1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

---

Recientemente se han desarrollado nuevas funciones y metodologías, innovando en el campo de la gestión y monitorización de riesgos. Antes primaba una **evaluación cualitativa** ([2] & [3]), a través de mapas de calor, asociando la posible materialización de un riesgo a un color (verde, amarillo o rojo), asociando dicha materialización un rango de posible impacto económico o de desviación en plazo. Ahora el sector energético está afrontando el reto de medir y monitorizar de manera más cuantitativa y precisa los riesgos que en antaño, visto su impacto económico y medioambiental en la industria. Basta fijarse en ejemplos como el desastre nuclear de Fukushima ([4]), el derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon ([5]) y el desastre del Exxon Valdez ([6]), entre otros. En la sección 2.7 se tratan más detenidamente estos ejemplos y algunos más.

El proyecto pretende tratar la importancia de la medición y monitorización de la **evaluación cuantitativa** de los riesgos en proyectos de inversión, construcción, mantenimiento y otros en el sector de la energía, con foco en riesgos de tipo operacional.

Para la estimación de riesgos en estos casos el ideal es disponer de históricos de materializaciones, si bien en muchos casos esto no es posible por lo que es necesario basarse en el criterio experto de las unidades.

Con lo cual, se pretende mostrar cómo utilizar la metodología basada en información experta junto con la de datos cuantitativos y de distribución de pérdidas en una situación de gran incertidumbre cuando las empresas todavía no tienen una metodología de recopilación de datos eficiente y de monitorización de los riesgos.

## ***1.3 OBJETIVOS***

---

Los objetivos a llevar a cabo en el proyecto son los siguientes:

---



- Llevar a cabo un análisis de la situación actual (estado del arte) sobre los riesgos en corporaciones, poniendo el foco en el riesgo operacional en el sector de la infraestructura energética.
- Definir la metodología de cuantificación de riesgos, para poder obtener de los mismos aquellos con mayor impacto en coste y plazo de ejecución.
- Comprender y contextualizar los sectores de los proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público, con ejemplos de líneas de negocio, poniendo foco en la construcción y mantenimiento.
- Aplicar la metodología en un caso práctico, partiendo de información existente junto con el criterio experto.

#### ***1.4 METODOLOGÍA / SOLUCIÓN DESARROLLADA***

---

Las tareas a realizar, para la consecución de los objetivos propuestos, serán las siguientes:

1. Estudio teórico de riesgos: contexto, gestión del riesgo operacional, clasificación y metodologías de evaluación.
2. Profundización de la industria del Alumbrado Público e Infraestructura Energética.
3. Definición de la metodología de cuantificación de riesgos.
4. Aplicación de caso práctico de la metodología desarrollada: planteamiento, análisis y conclusiones.

#### ***1.5 RECURSOS / HERRAMIENTAS EMPLEADAS***

---

Para llevar a cabo este proyecto se utilizarán principalmente herramientas ofimáticas, herramientas internas y bases de datos:



- Microsoft Office: Word, Excel y Power Point.
- Recursos y herramientas internas de Management Solutions.
- Bases de datos de proyectos y pérdidas<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Datos confidenciales utilizados a través de MS



## **Capítulo 2 SITUACIÓN ACTUAL SOBRE LOS RIESGOS EN CORPORACIONES: RIESGO OPERACIONAL EN EL S.E.**

### ***2.1 INTRODUCCIÓN***

---

---

En este apartado, primero se pretende dar una visión general de los riesgos en el ámbito empresarial, tratando el concepto, orígenes del tratamiento de los mismos y de la clasificación de los mismos. Después se presenta la Función de Riesgos, tanto en el ámbito empresarial en general como en el sector energético específicamente. Posteriormente, se trata la gestión del riesgo operacional, así como las diferentes técnicas que hay para evaluarlo. Por último, se mencionan algunos accidentes para mostrar cual es el impacto de cuando no se gestiona de manera correcta o suficiente.

### ***2.2 RIESGOS EN EL ÁMBITO EMPRESARIAL***

---

Hoy en día las compañías la gestión de riesgos ha experimentado un auge considerable, debido a una mayor complejidad de la actividad empresarial. Esto ha ido propiciando reflexiones, normativas, recomendaciones y avances en su desarrollo en todo tipo de empresas e instituciones.

Este evento ha venido junto a una creciente utilización de métodos cuantitativos en la gestión empresarial de los negocios. Esta viene motivada por la necesidad de



mejorar la gestión en entornos competitivos como los mercados energéticos junto con una mayor disponibilidad de información, tecnología y conocimiento.

Actualmente, la gestión de riesgos en las empresas se conoce como *Enterprise Risk Management* (ERM), que no es más que una estrategia empresarial basada en un plan que tiene como objetivo identificar, evaluar y prepararse para cualquier amenaza, riesgo y potenciales desastres (tanto físicos como figurativos) que pueden interferir con las operaciones y objetivos de una organización ([7]).

Dentro de esta se localiza la Función de Riesgos, cuyo reto es contribuir a la generación de valor a través de la integración del modelo de riesgos en la gestión del negocio, sirviendo no solo como herramienta de control, sino también como un elemento de apoyo a la hora de tomar decisiones. Normalmente, se podría afirmar que el factor diferencial que identifica la madurez de la función en las compañías, de tipo no financiero, es el nivel de integración efectiva del modelo de riesgos. No obstante, esta madurez no suele ser homogénea dentro de la misma, ya sea por los tipos de riesgo o dominio como las tareas o actividades de la empresa.

### 2.2.1 CONCEPTO DE RIESGO

En el contexto empresarial el concepto de riesgo se asocia a la posibilidad de ocurrencia de una pérdida, y se define de distinta forma en función de su origen. En la Figura 1 se muestran algunas de las acepciones de definiciones de riesgo más extendidas.

<i>Fuente</i>	<i>Definición</i>	<i>Foco</i>
ISO	Las organizaciones se enfrentan a factores internos y externos que hacen incierto si, y cuándo van a alcanzar sus objetivos. El efecto de esta incertidumbre en los objetivos de la compañía es "riesgo".	Efecto de la incertidumbre en el cumplimiento de los objetivos.
FERMA	EL riesgo se puede definir como la combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias.	Visión conjunta de la probabilidad e impacto, incluyendo impacto positivo.



<b>COSO</b>	Los eventos pueden tener un in impacto negativo, positivo o de ambos. Los que tiene un impacto negativo representan riesgos que pueden impedir la creación de valor o erosionar el valor existente.	El riesgo lo representan los eventos con impacto negativo.
<b>Consenso de mercado</b>	Probabilidad de que acontezca un evento que puede ocasionar una pérdida económica en un intervalo temporal determinado.	Probabilidad de que ocurra un evento con un impacto económico negativo.

*Figura 1. Definiciones de riesgo (Fuente: [13])*

La definición que se toma como válida, en el ámbito de mercado y empresarial, es la mencionada en la *Introducción*: un riesgo supone la existencia de una probabilidad de que se materialice un evento que tiene potencial para ocasionar una pérdida económica para una compañía en un intervalo temporal determinado. La pérdida económica puede venir directamente como tal o puede producirse debido a la consecuencia en un retraso en el plazo de ejecución. Es una combinación de tres factores, como se muestra en la Figura 2: la causa del evento, el propio evento y el impacto que tiene para la empresa.



*Figura 2. Definición de riesgo (Fuente: [13])*

La causa es un hecho con una determinada probabilidad de acontecimiento, que, de producirse, desencadenaría el evento de riesgo. El evento es una situación que en caso de materializarse tiene un impacto económico negativo para la compañía. Y, el impacto, es el inventario de las posibles pérdidas que se originarían en caso de materializarse el evento.

## **2.2.2 ORÍGENES DE LA GESTIÓN DE RIESGOS**

Las directrices que se toman como referencia son loa acuerdos de Basilea, que vienen elaboradas por el comité de Basilea en 1974, formado por los



gobernadores de los bancos centrales del G-10. Su objetivo era evitar riesgos sistemáticos en situaciones de pánico bancario, originadas por turbulencias financieras que se registraron en los mercados de divisas ([8]). Estas directrices de la gestión de riesgos, aunque empezó en el dominio financiero, se ha ido expandiendo a todo tipo de sectores y entidades.

Aunque estos acuerdos carecen de forma jurídica, los documentos y acuerdos de Basilea han sido aprobados por los gobernadores y supervisores de las mayores economías del mundo.

Hay tres acuerdos principales ([8]):

*Basilea I:* se estableció en 1988, realizando un acuerdo mínimo de capitales que se ocupaba únicamente de riesgos de mercado, crédito o de tipo de cambio de moneda, para evitarlos en situaciones de pánico bancario o bank run.

*Basilea II:* publicado en Junio de 2004. Se introduce el concepto riesgo operacional, teniéndose en cuenta junto al riesgo de crédito y de mercado en el cálculo de requerimiento de aprovisionamiento mínimo de capital. Además, se introducen los primeros métodos de medición estándar y avanzada del riesgo [9].

*Basilea III:* publicada en el 2010, introduce un conjunto de propuestas de reforma de la regulación bancaria, dejando intactos los principios introducidos sobre riesgo operacional, como respuesta a la crisis financiera de 2007-2009 ([10]) & ([11]) & ([12]).

### **2.2.3 CLASIFICACIÓN DE RIESGOS**

---

Dentro de la definición de riesgo, este se puede clasificar en distintos dominios: financiero, operacional y tecnológico, de modelo, de cumplimiento, reputacional, estratégico, de negocio, etc. ([13]).



Figura 3. Dominios de riesgo (Fuente: [13])

- **Riesgo financiero:** este sector es la piedra angular por la que se empezó a realizar la gestión de riesgos y el que más se ha regulado en el ámbito corporativo, derivando del mismo la gestión a los otros sectores: este dominio incluye a su vez los siguientes riesgos:
  - **Riesgos de mercado:** son riesgos que afectan a la actividad de las organizaciones. Se suele definir como la probabilidad de sufrir pérdidas en posiciones dentro y fuera de balance a raíz de oscilaciones de precios de mercado. A su vez engloba:
    - Riesgo de tipo de cambio.
    - Riesgo de tipo de interés.
    - Riesgo de *commodities*.
  - **Riesgo estructural:** se entiende como aquel derivado de la propia estructura del balance de la compañía
  - **Riesgo de solvencia:** incluye los riesgos de crédito y de contrapartida. El riesgo de crédito se define como la posibilidad de que una de las partes de una operación pueda incumplir sus obligaciones antes de que esta se liquide. En el caso de contrapartida produce un riesgo de pérdida bilateral ya que el valor de mercado de la operación es incierto y puede variar con el tiempo a medida que lo hacen los factores de mercado subyacentes.



- **Riesgo operacional y tecnológico:** el riesgo operacional es aquel que puede producir pérdidas debido a la inadecuación o a fallos de los procesos, el personal y los sistemas internos, o bien a causa de acontecimientos externos. Esta definición incluye el riesgo legal, pero excluye el riesgo estratégico y el de reputación. Igualmente, al ser objeto de estudio de este proyecto, se tratará más a fondo en el apartado Gestión del riesgo operacional.
- **Riesgo de modelo:** hace referencia al conjunto de posibles consecuencias adversas derivadas de decisiones basadas en resultados e informes incorrectos de modelos, o de su uso inapropiado. Los errores en un modelo se pueden deber a simplificaciones, aproximaciones, hipótesis erróneas y/o un proceso de diseño incorrecto. En cambio, su uso inadecuado contempla su aplicación fuera del ámbito para el que fue concebido. Todo ello puede llegar a materializarse en pérdidas financieras, eventos con impactos negativos en la reputación de la empresa o incluso puede conllevar sanciones.
- **Riesgo de cumplimiento normativo y reputacional:** dentro de este dominio se engloban:
  - **Riesgos normativos:** se contemplan los posibles impactos derivados de incumplir las regulaciones y normativas existentes que aplican al sector y a la compañía. Estos se articulan a través de políticas y procedimientos internos, y conllevan un impacto económico (multas y sanciones, exclusiones, etc.).
  - **Riesgo reputacional:** son aquellos que incluyen los potenciales impactos derivados al daño a la imagen de marca y la reputación corporativa.
  - **Riesgo contable:** este es una tipología de riesgo muy específico relativo al correcto y veraz reflejo económico-financiero de la realidad de la compañía y al cumplimiento de todas las normativas asociadas.

- **Riesgo estratégico y de negocio:** este dominio está compuesto de los riesgos relacionados con el entorno (asociados tanto a la coyuntura macro del país en el que opera la compañía como a la específica de la industria o sector del grupo), el mercado y la competencia existente, y con la toma de decisiones internas a medio y largo plazo que puedan tener impacto en la continuidad o la rentabilidad de las operaciones.

En torno a estos dominios de riesgo se ejecutan funciones de diferente naturaleza para su tratamiento, que se concentran principalmente en la identificación y medición de los riesgos, su gestión, el control de los mismos y su reporting.

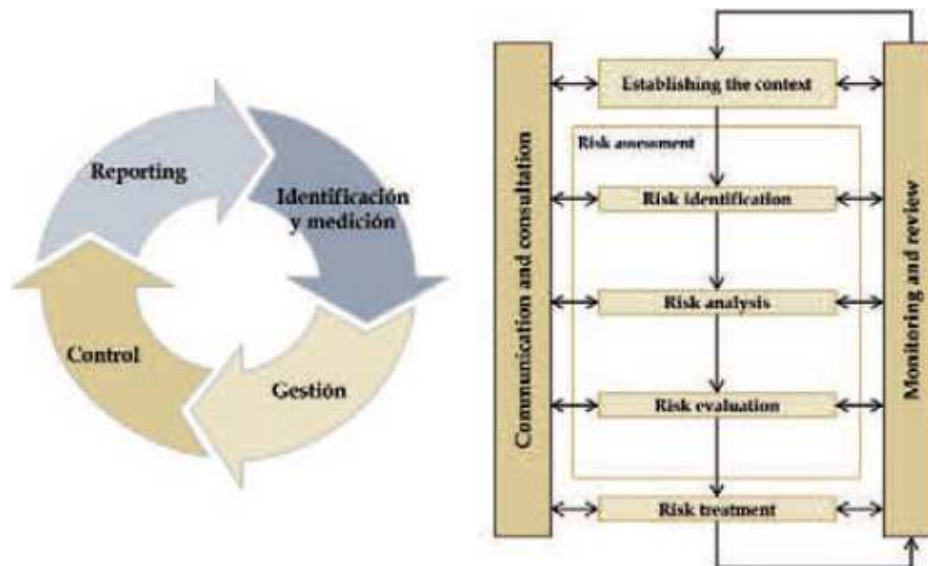


Figura 4. Ciclo de vida de gestión de los riesgos (Fuente: [13])

## 2.3 FUNCIÓN DE RIESGOS

### 2.3.1 INTRODUCCIÓN

Dentro de las organizaciones la Función de Riesgos vela por el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía a través de la definición e implantación de un marco efectivo de actuación en materia de gestión y control de todos los dominios de riesgo ([13]).



En cuanto a tema de organización y gobierno, la Función de Riesgos ha evolucionado desde su constitución en torno al dominio de los riesgos financieros (y en ocasiones operacionales y tecnológicos) hasta el desarrollo de una visión integral, a veces concretizada en la figura de un *Chief Risk Officer* o CRO, con creciente independencia respecto a funciones de gestión o toma de riesgos.

A su vez, en muchas compañías se han desarrollado y mejorado de forma sustancial los mapas de riesgos, las políticas (incorporando el apetito al riesgo), las metodologías y modelos, los procesos y el soporte tecnológico. Aunque la evolución de la Función de Riesgos es obvia en muchas compañías, el nivel de integración efectiva de la información de riesgos en la gestión es muy variable y determina y diferencia a las organizaciones más avanzadas en materia de gestión y control de riesgos.

La Función de manera necesaria ayuda con su objetivo de control y lo complementa con el apoyo de la gestión. Así es como se genera valor, aportando una perspectiva de análisis, siendo en muchos casos decisiva para el soporte a la toma de decisiones de negocio. Por ejemplo, se puede aplicar en casos como la valoración del nivel de riesgo en decisiones de negocio o de inversión, la medición de la rentabilidad ajustada al riesgo, la evaluación de la suficiencia de recursos para afrontar decisiones con garantías de continuidad de la actividad, etc.

Con lo cual, la Función de Riesgos ha evolucionado hacia enfoques *Enterprise Wide Risk Management (EWRM)*, que se caracterizan por aportar una versión holística de los riesgos. El modelo de referencia tiene varios componentes: misión y principios generales de la medición, gestión y control de riesgos, mapa de riesgos, organización, gobierno, políticas y modelos, y procesos y sistemas de soporte IT.

### **2.3.2 MISIÓN Y PRINCIPIOS**

---

La misión principal de la Función de Riesgos es dar soporte a la Alta Dirección al fijar el apetito de riesgo y velar el cumplimiento del mismo, a su vez apoyando al resto de objetivos estratégicos y facilitando la toma de decisiones. Además, debe



definir e implantar un marco de actuación en materia de todos los riesgos relevantes para la compañía.

Para la consecución de la misión aplica los principios elementales de segregación de tareas (gestión vs. Control), vigilancia e implicación permanente de la Alta Dirección, eficiencia, calidad y evolución del entorno de control.

En la Función de Riesgos coexisten tanto tareas de modelización y control (definición del tratamiento de riesgo – marco de referencia, modelización, control agregado y reporting) como funciones relativas a la integración en la gestión (desarrollo y establecimiento de las políticas de riesgo y ejecución de la gestión de forma conjunta con los tomadores de riesgo).

### **2.3.3 MAPA DE RIESGOS**

---

El despliegue de la Función de Riesgos debe permitir tener una visión global y cubrir todas las acepciones de riesgos que pueden afectar a la compañía, utilizando para ello como elemento fundamental el mapa de riesgos. Este delimita los riesgos relevantes e identifica a los responsables de su gestión y control.

El mapa de riesgos permite tanto identificar una taxonomía de riesgos completa como ser el punto de partida para determinar los roles y responsabilidades que los distintos intervinientes en el proceso de gestión y control de riesgos ejercen dentro de la organización en relación con cada uno de los tipos de riesgos identificados. Constituye un elemento básico dentro del modelo de gestión del riesgo *enterprise-wide* y sirve como base para el desarrollo de líneas de actuación que son tendencia generalizada.

### **2.3.4 ORGANIZACIÓN Y GOBIERNO**

---

Las responsabilidades de la Función de Riesgos bajo un modelo EWRM se ejercen a lo largo de toda la compañía por distintas áreas con distintos objetivos, roles y atribuciones, aunque la Dirección de Riesgos sea la responsable última de su control.



La organización de la Función de Riesgos está condicionada entre otros aspectos, por los tipos de riesgo que gestiona, la ubicación de determinadas funciones dentro de la empresa y su dimensión local o global. En todo caso las funciones básicas de riesgos deben ser ejecutadas garantizando la segregación entre la gestión y el control.

Las tareas de gestión y control de riesgos (y sus intervinientes) se pueden agrupar y clasificar en tres líneas de defensa ([13]):

- **Primera línea de defensa (Risk Management):** es responsable de la identificación de los riesgos y su evaluación, su seguimiento y el establecimiento de planes de acción. Normalmente estas funciones son ejercidas por las propias áreas de negocio que toman los riesgos, así como por las áreas especializadas en la gestión de riesgos.
- **Segunda línea de defensa (Risk Control):** dentro de su función de control y supervisión del riesgo, esta línea se ocupa de la revisión del cumplimiento por parte de la primera línea de las políticas y procedimientos para la gestión de riesgos, así como la validación de los modelos y metodologías utilizadas. Estas funciones las suelen ejercer un área centralizada de Control Global del Riesgo, dirigida por un *Chief Risk Officer* (CRO) que aporta una visión integral, transversal e independiente con respecto a la línea de Risk Management.
- **Tercera línea de defensa (Risk Audit):** la última línea desempeña funciones de revisión independiente de los procesos para asegurar que existe una función efectiva de gestión y control del riesgo implantada en la entidad., siendo ejercida por el área de Auditoría Interna.



Aceptaciones de riesgo	"Dominios"	Líneas de defensa		
		1ª línea	2ª línea	3ª línea
Mercado (Commodity, T, Interés, FX y Equity)	Financiero	<b>Risk Management</b> (Negocios y Riesgos especialistas)	<b>Risk Control</b> (Riesgos EWRM / Control Interno)	<b>Risk Audit</b> (Auditoría Interna)
Solvencia (crédito, contraparte y concentración)				
Estructural (T, Interés, FX, Commodity y Liquidez)				
Operacional	Operacional y Tecnológico			
Tecnológico	Modelo			
Riesgo de modelo	Cumplimiento y Reputacional			
Cumplimiento normativo	Estratégico y de negocio			
Reputacional				
Estratégico				
Negocio				
Riesgo agregado (Capital)				

*Figura 5. Líneas de defensa de la Función de Riesgos (Fuente: [13])*

El gobierno de la Función de Riesgos hace referencia a la estructura de órganos de gobierno y comités de la compañía con responsabilidades sobre la gestión y control de riesgos, así como de la estructura de delegación de facultades para la toma de decisiones en el ámbito de riesgos.

Por ello, las organizaciones con mayor madurez en gestión de riesgos contemplan la existencia, por un parte, de un Comité Central de Riesgos (*Board Risk Committee, BRC*) con dependencia directa del Consejo y participación de los principales intervinientes en el agestión de riesgos (CEO<sup>5</sup>, CRO, CFO<sup>6</sup>, presidente del Comité de Auditoría, etc.) y por otra parte de una serie de comités adicionales con una participación de riesgos más tangencial<sup>7</sup>.

### 2.3.5 POLÍTICA Y MODELOS

Para que la Función de Riesgos se pueda desplegar adecuadamente es necesario definir una jerarquía de políticas que parte de un *risk framework* o marco de

<sup>5</sup> Chief Executive Officer

<sup>6</sup> Chief Financial Officer

<sup>7</sup> Por ejemplo el Comité de Auditoría, el Comité de Remuneraciones, el Comité de Nombramientos y RRHH o el Comité de Cumplimiento y Ética



riesgos con visión integral (debiendo ser aprobado por el Consejo de Administración), que se desarrolle posteriormente para cada nueva aceptación de apetito al riesgo en normativas de menor rango (modelos de gestión, políticas y procedimientos, etc.).

El apetito al riesgo es una de las políticas más relevantes, constituyendo un ámbito de actuación en el que las compañías están invirtiendo importantes esfuerzos. Se define como el nivel de riesgo que una compañía quiere aceptar en busca de rentabilidad y valor. Este se puede expresar a través de un conjunto de *statements* cuantitativos y cualitativos que definen el perfil de un riesgo deseado. Debe ser aprobado, como se ha comentado anteriormente, por el Consejo de Administración para ser desarrollado posteriormente en una estructura de límites de menor rango consistente con el apetito aprobado.

Por otra parte, la Función de Riesgos se apoya en modelos y metodologías de distintos tipos para la medición y toma de decisiones. Es el marco de riesgos que desarrolla las directrices sobre los tipos de modelos a utilizar para la medición, gestión y control del riesgo, así como para su integración en la gestión. Estas metodologías deben estar documentadas en detalle a través de manuales y procedimientos, documentos metodológicos, etc., que deberán ser consistentes con la jerarquía de políticas definida y con los modelos de gestión existentes en la organización, y que deben considerar posibles particularidades en función de las geografías o negocios en los que opere la compañía.

### **2.3.6 PROCESOS Y SISTEMAS IT**

---

La Función de Riesgos se apoya en un conjunto de procesos y de sistemas IT (herramientas de gestión, motores de cálculo y sistemas de información) de soporte. Los procesos desarrollan en profundidad los principios y objetivos definidos, así como la jerarquía de políticas de alto nivel de la compañía para ordenar y facilitar el despliegue de las funciones de gestión, control y seguimiento de los riesgos.



Por otra parte, la gestión de riesgos se sirve de un modelo de información soportado por sistemas capaces de capturar todas las fuentes materiales de riesgo necesarias para evaluar el efecto que los cambios en los factores de riesgo puedan tener sobre el valor o el resultado desde un punto de vista económico y contable. Esta información debe ser completa y reciente para permitir la comprensión del nivel y la naturaleza de los riesgos a los que está expuesta la compañía.

Conforme a estas hipótesis, la arquitectura básica del soporte de la Función de Riesgos requiere:

- **Herramientas de gestión** que den soporte a los principales procesos de riesgos (por ejemplo: admisión, seguimiento, etc.).
- **Motores de cálculo** que faciliten la medición (y posterior control) de acuerdo con metodologías definidas.
- **Repositorios y herramientas de explotación de información** que soporten los procesos de generación de información para la toma de decisiones y la medición, seguimiento y control de los riesgos. Estos deben contemplar tanto datos transaccionales u operativos como de clientes o de mercado.

Sin embargo, actualmente no hay una manera única de elaboración del mapa de sistemas o modelo de arquitectura de soporte global a la Función de Riesgos. En el mercado existen tanto herramientas de gestión de riesgos especializadas como soluciones holísticas con un enfoque *enterprise-wide*. A veces los modelos de arquitectura de la Función de Riesgos combinan soluciones de mercado con otros desarrollos *in-house* o con adaptaciones sobre los ERPs<sup>8</sup> corporativos. Toda esta heterogeneidad en la arquitectura presenta inconvenientes, especialmente a la hora de integrar los riesgos en la gestión.

---

<sup>8</sup> Enterprise Resource Planning



## 2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA FUNCIÓN DE RIESGOS EN EL SECTOR ENERGÉTICO

---

---

La configuración de la Función de Riesgos en la industria energética ha experimentado importantes cambios en distintos ámbitos en los últimos años. Las organizaciones son conscientes de la relevancia y los beneficios que una función de Riesgos consolidada puede aportar a la consecución de sus objetivos, además de asegurar el cumplimiento de los cada vez más intensos requerimientos regulatorios y fortalecer la imagen de la compañía ante distintos grupos de interés internos y externos ([13]).

- **Misión y principios:** últimamente se está consolidando la práctica de definir y hacer explícita la misión de la Función de Riesgos como parte de la cultura corporativa, tanto de manera interna como de cara a los *stakeholders*, potenciándose el principio fundamental de independencia de las funciones de control con respecto a las de gestión o toma de riesgos.
- **Mapa de riesgos:** las compañías han llevado a cabo avances significativos en su elaboración a través de la definición de una taxonomía que permita obtener una visión global de los riesgos que afectan a sus actividades, completándola con la identificación de los roles y responsabilidades que desempeñan distintas áreas en la gestión de dichos riesgos.
- **Organización y gobierno:** en aquellos sectores, salvo en los financieros, la Función de Riesgos no siempre ha existido de forma explícita y, en caso de hacerlo, se solía encontrar ubicada en un segundo nivel organizativo, normalmente bajo la dependencia de Direcciones Generales Económico-Financieras<sup>9</sup>. En este caso, ha sido una práctica generalizada constituir una unidad específica de Riesgos en torno al dominio de riesgos financieros y, en ocasiones, en torno a los riesgos operacionales y tecnológicos. Incluso,

---

<sup>9</sup> En la industria financiera la Función de Riesgos en general se sitúa en el primer nivel de organización (Dirección General)



se está avanzando hacia la figura del CRO y el desarrollo de una visión global e integral de la gestión de todos los riesgos relevantes para la compañía.

- **Políticas y modelos:** en este ámbito las compañías han trabajado principalmente en la consolidación de las políticas de riesgos, y en el refinamiento de las metodologías de medición y los procedimientos de seguimiento y control. Recientemente, derivado al incremento de la presión regulatoria, también se está tratando la definición del apetito al riesgo, junto con su implementación en la organización.
- **Procesos y soporte tecnológico:** la industria energética lleva años realizando un esfuerzo relevante en la sistematización de la medición y el control de los riesgos financieros y operacionales, dando soporte a las funciones de la primera línea de defensa.

Evolución de la Función de Riesgos en las organizaciones en gran medida viene estimulada, y en algunos aspectos regulada, tanto por organismos supranacionales como por reguladores locales, así como por acuerdos de grupos y asociaciones de compañías, el mundo académico e instituciones independientes. La posición de todos estos organismos es convergente y apunta hacia un mayor desarrollo de la Función de Riesgos.

## **2.5 GESTIÓN DEL RIESGO OPERACIONAL**

---

### **2.5.1 SITUACIÓN ACTUAL/CONTEXTO/INTRODUCCIÓN**

---

En los últimos años, en el sector energético ha habido una creciente siniestralidad, tanto en número como en magnitud de los eventos. Por ejemplo, como ya se ha mencionado en otros apartados, destacan: la catástrofe nuclear de Japón en 2011 ([4]) o el vertido de petróleo en el Golfo de México por el hundimiento de la plataforma Deepwater Horizon de BP ([5]). Estos ponen de manifiesto el impacto



económico y medioambiental en el que solo un evento de riesgo operacional puede llegar a suponer en la industria energética.

Con lo cual, el sector asegurador ha tenido que asumir importantes pérdidas, las cuales han contribuido al incremento de los costes de aseguramiento y a la presión al alza de los niveles de retención del riesgo exigidos a las compañías aseguradas. Por lo tanto, las compañías de seguro como reaseguro, ya sea los reguladores, accionistas y *stakeholders* demandan a las organizaciones la dedicación de los recursos necesaria para la mejora de sus sistemas de gestión de riesgo operacional. Teniendo en cuenta estas tendencias recientes, se pueden identificar dos vías de evolución de la gestión del riesgo operacional en la industria energética:

- Mejoras en prevención y mitigación, enfocadas a evitar los accidentes y a minimizar el daño en caso de ocurrencia. Un ejemplo sería la realización de inspecciones más rigurosas y frecuentes de los activos críticos.
- Mejoras en medición, que se encaminan a caracterizar y estimar los riesgos que asume la compañía por el desempeño de su actividad.

## **2.5.2 CONCEPTO DE RIESGO OPERACIONAL**

---

Las definiciones de riesgo operacional varían desde visiones amplias, que incluye todo aquello que no puede ser considerado como riesgo de negocio, hasta visiones más restrictivas, que incluyen el riesgo de pérdidas resultado de procesos internos que son inadecuados o erróneos, personas, sistemas o sucesos externos.

En el sector financiero, sector de referencia en la gestión de los riesgos en el ámbito empresarial, una de las definiciones comúnmente reconocidas es la recogida en el acuerdo de Basilea II (ya mencionado en el apartado 2.2.2): “el riesgo de sufrir pérdidas debido a la inadecuación o a los fallos de los procesos, personas o sistemas internos, o bien a causa de acontecimientos externos”. Esta definición de riesgo operacional es la que se suele utilizar como referencia.

Se entiende como pérdida por riesgo operacional todos los costes extras procedentes de eventos, que de no haberse producido, en los que no se habría



incurrido. En general se incluye en el cálculo de pérdidas: quebrantos, contingencias legales y restituciones y, en el caso de la industria no financiera, se suelen incluir los costes de oportunidad y el lucro cesante.

### **2.5.3 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES**

---

Para la clasificación de los tipos de riesgo operacional en la industria, tiene especial importancia el acuerdo de capital de Basilea II, en el que la clasificación de siete tipos de riesgo operacional se utiliza con frecuencia como punto de partida en aquellos sectores donde la gestión del mismo no está tan intensamente regulada ([13]):

- **Fraude interno:** pérdidas derivadas de actuaciones encaminadas a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o a soslayar regulaciones, leyes o políticas empresariales en las que se encuentra implicada, al menos, una parte interna de la empresa en beneficio propio.
- **Fraude externo:** pérdidas derivadas de actuaciones por parte de un tercero, encaminadas a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o a soslayar la legislación.
- **Relaciones laborales y seguridad del trabajo:** pérdidas ocasionadas por actuaciones incompatibles con la legislación o acuerdos laborales, de higiene o seguridad en el empleo, del pago de reclamaciones por daños a las personas, o de eventos de diversidad o discriminación.
- **Prácticas con clientes, productos y negocios:** multas, indemnizaciones y gastos ocasionados por infracciones de la normativa vigente cometidas por la entidad, y por reclamaciones de clientes que hayan sufrido un quebranto económico o se consideren perjudicados por la acción de la entidad.
- **Daños en activos físicos:** daños a activos materiales como consecuencia de desastres naturales u otros acontecimientos.



- **Incidencias en el negocio y fallos en los sistemas:** pérdidas directas derivadas de fallos en los sistemas que soportan la actividad de la entidad.
- **Ejecución, entrega y gestión de procesos:** pérdidas, derivadas de errores en el procesamiento de operaciones o en la gestión de procesos, así como de relaciones con contrapartes comerciales y proveedores.

En el caso del sector energético, las clasificaciones de riesgo operacional suelen ser similares a la anterior clasificación, visto que se suelen basar en el origen del riesgo. Es decir, se distinguen categorías por riesgos relativos a las personas (ej.: seguridad y salud), los procesos (ej.: gestión de activos productivos), los sistemas (ej.: seguridad de la información) y los eventos externos (ej.: medioambiente). Además, es habitual que las organizaciones incluyan el riesgo de cumplimiento, como el de ética y conducta, dentro del dominio de los riesgos operacionales.

Una vez que se ha establecido la clasificación o taxonomía de riesgos operacionales, hay dos enfoques principales a través de los cuales tratan de identificar los riesgos concretos a los que están expuestas por el desempeño de su actividad:

- **Enfoque extensivo o bottom-up:** está orientado a la identificación de la totalidad de riesgos de la compañía. Se lleva a cabo mediante una revisión detallada de los procesos, lo que suele arrojar como resultado varios miles de riesgos. Con este enfoque, la identificación de riesgos suele venir acompañada de la identificación de los controles existentes en cada proceso para la mitigación de los riesgos. La ventaja de este enfoque es que alcanza un grado de completitud y exhaustividad elevado, y tiene el inconveniente de que requiere la dedicación de muchos recursos de la organización.
- **Enfoque intensivo o top-down:** orientado a la identificación de los riesgos más relevantes para la compañía. Se lleva a cabo a través de la identificación de los riesgos más habituales de cada categoría y su cruce con las líneas de negocio para determinar su aplicabilidad, y suele arrojar como resultado varios cientos de riesgos. Tiene como ventaja que permite



concentrar los esfuerzos hacia la gestión de los grandes riesgos y el inconveniente de que puede pasar por alto algunos ellos.

A continuación las metodologías que se describen son válidas independientemente de la clasificación y el enfoque de identificación de riesgos que se haya utilizado.

## ***2.6 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO OPERACIONAL***

---

---

Una vez que se ha identificado y clasificado los riesgos operacionales, se debe evaluar su importancia. Para ello se pueden utilizar diferentes enfoques de evaluación y sus correspondientes metodologías, que pueden ser clasificadas según las fuentes de almacenamiento de datos en las que se sustentan. Esta clasificación es útil a efectos didácticos, aunque, en la práctica, se utiliza la información de las diferentes fuentes disponibles en cualquiera de las metodologías a que se describen a continuación ([13]).

- ***Evaluación cualitativa:*** en este tipo de enfoque se obtiene una magnitud del impacto del acontecimiento del riesgo de forma cualitativa. Para ello se suelen utilizar **metodologías basadas en información experta**
- ***Evaluación cuantitativa:*** en este tipo de enfoque se obtiene una magnitud del impacto del riesgo del eventual riesgo de forma cuantitativa, ya sea en impacto económico o impacto en plazo de ejecución. En este enfoque se puede aplicar dos metodologías:
  - **Metodologías basadas en información experta.**
  - **Metodologías basadas en fuentes de datos cuantitativos.**
  - **Metodologías de distribuciones de pérdidas**
  - **Metodologías de KRI**



Fuentes de Información	Características	Ventajas	Inconvenientes
Información experta	Métodos de evaluación habituales: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuestionarios: utilizados para recoger información sobre la evaluación de riesgos y controles por parte de los responsables de negocio.</li> <li>- Análisis de escenarios: sesiones de trabajo en las que expertos analizan en profundidad riesgos relevantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite estimar riesgo operacional de actividades para las que no hay historia de eventos (especialmente útil para riesgos de elevado impacto y baja frecuencia<sup>2</sup>).</li> <li>- Aporta visión sobre la posible evolución del riesgo en el futuro (consideración de cambios sufridos por los activos, los procesos, el entorno de control, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es difícil homogeneizar los criterios de evaluación entre los múltiples evaluadores.</li> <li>- Requiere un ejercicio riguroso por parte del evaluador y capacidad de abstracción para situarse en escenarios hipotéticos</li> </ul>
Bases de datos de incidentes y pérdidas internas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Listado de pérdidas propias de la compañía e incidentes en estadíos previos que pueden no-</li> <li>- Información básica:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fecha de ocurrencia.</li> <li>- Causa.</li> <li>- Pérdida bruta.</li> <li>- Pérdida neta.</li> <li>- Riesgo y línea de negocio.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aporta información detallada de los eventos internos acaecidos en la compañía.</li> <li>- Constituye uno de los principales inputs para las aseguradoras para cotizar un programa de seguros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere procedimientos y sistemas internos de captura habitualmente no disponibles en industria no financiera salvo en el caso de siniestros declarados.</li> <li>- Suele haber pocos eventos de baja frecuencia y alto impacto.</li> </ul>
Bases de datos de pérdidas externas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bases de datos públicas que recopilan información suministrada por proveedores.</li> <li>- Bases de datos de consorcios de entidades (locales o internacionales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite incorporar eventos que podrían llegar a ocurrir en la compañía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentan en muchos casos falta de información de los eventos (ej: fecha del evento, causa, etc.).</li> <li>- Requiere aplicación de factores de escalado y criterios de ajuste al tamaño y características de la compañía.</li> </ul>
Indicadores (KRI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Métricas y ratios que aportan información sobre el nivel de riesgo operacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alertan sobre cambios que puedan ser reveladores de evoluciones negativas en la exposición al riesgo.</li> <li>- Permiten establecer límites para desencadenar acciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requieren procedimientos y sistemas internos de captura de la información.</li> </ul>

*Figura 6. Fuentes disponibles de información (Fuente: [13])*

## 2.6.1 METODOLOGÍAS BASADAS EN INFORMACIÓN EXPERTA

Las metodologías basadas en información experta son aquellas empleadas para la evaluación de riesgos operacionales a través de estimaciones facilitadas por los profesionales de la organización (“expertos”) que mejor conocimiento e información tengan sobre los riesgos que se evaluarán, siguiendo unos criterios previamente establecidos ([13]). Hay diferentes técnicas para llevar a cabo la evaluación del riesgo operacional a partir de esta fuente de información. Las más utilizadas son el *análisis de escenarios* o los *cuestionarios de autoevaluación*.

### 2.6.1.1 Cuestionarios de autoevaluación

Los cuestionarios de autoevaluación son técnicas basadas en la recopilación de información del experto a través de cuestionarios, cuyo diseño está enfocado a obtener información sobre el impacto y la frecuencia de los riesgos identificados, la efectividad de los controles existentes y la posibilidad de establecer controles



adicionales, y la monitorización del desarrollo y seguimiento de los planes de mejora continua.

El resultado de los cuestionarios es la valoración subjetiva llevada a cabo por los gestores operacionales. La compañía debe asegurar la correcta definición de criterios para la evaluación y el rigor e imparcialidad durante el proceso de cumplimentación.

También se suelen observar impactos diferentes de los estrictamente económicos, como los reputacionales, de cumplimiento o consecución de objetivos, que se suelen evaluar con escalas cualitativas.

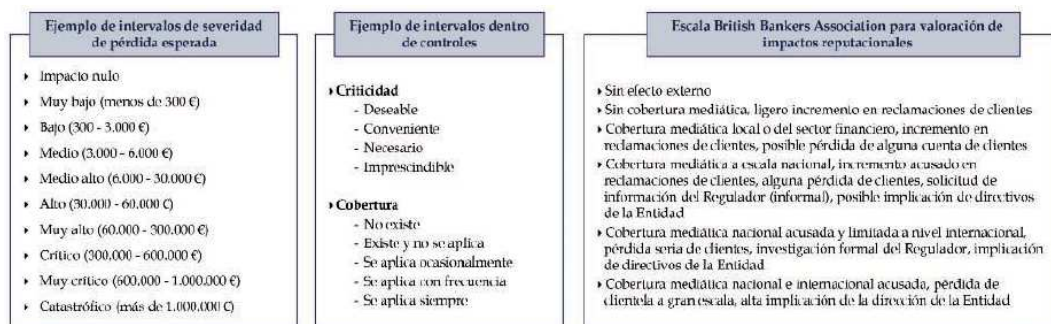


Figura 7. Ejemplo de escalas de evaluación (Fuente: [13])

A partir de estas evaluaciones se pueden llevar a cabo aproximaciones a métricas de riesgos como la pérdida esperada (cualitativa) y la máxima pérdida potencial (VaR cualitativo) con un determinado nivel de confianza<sup>10</sup> y a un horizonte temporal dado<sup>11</sup>.

Por último, se evalúan controles asociados a los diferentes riesgos y se revisa la existencia de riesgo reputacional asociado, así como la determinación de su grado de importancia.

<sup>10</sup> Suele ser del 99,9%

<sup>11</sup> Suele ser de frecuencia de un año

### 2.6.1.2 Análisis de escenarios

El análisis de escenarios es una metodología basada en la definición de situaciones hipotéticas de materialización de riesgos operacionales, analizadas por un grupo de expertos para:

- Identificar y evaluar los riesgos más complejos y relevantes para la compañía.
- Promover la cultura de gestión del riesgo a través de la participación de personas responsables de distintas áreas de organización.
- Establecer acciones de prevención o mitigación que deban desencadenarse con rapidez ante un evento operacional.

Estos análisis se suelen llevar a cabo mediante talleres o *workshops* en los que participan distintos profesionales de la organización, que aportan conocimiento de los procesos de negocio, del ambiente de control relacionado con cada riesgo, de las condiciones internas y externas que puedan tener incidencia en la evaluación del riesgo, etc., coordinados por un experto en riesgo operacional, que aporta método y directrices.

El método se basa principalmente en definir una situación de riesgo que se considere que pueda ocurrir en la compañía y plantear sucesivas hipótesis de tipo *what if* que conduzcan a salidas distintas en términos de probabilidad de impacto.

A partir de esta información, se ajustan distribuciones de probabilidad de frecuencia y severidad, y mediante su convolución se construye la distribución de pérdidas, de la que se obtiene la pérdida esperada e inesperada.

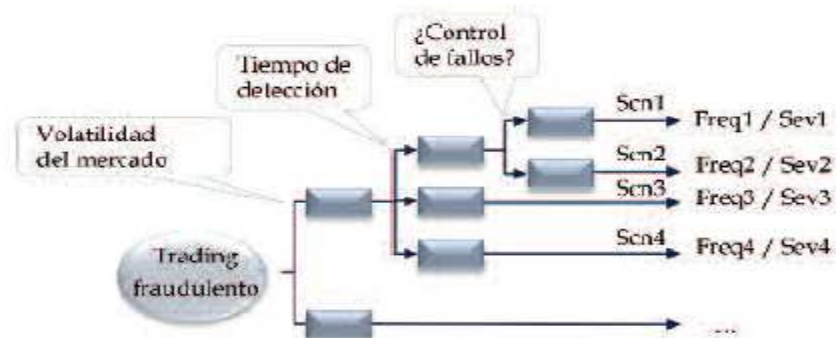


Figura 8. Secuencia del análisis de escenarios (Fuente: [13])



## 2.6.2 METODOLOGÍAS BASADAS EN FUENTES DE DATOS CUANTITATIVOS

---

Estas metodologías se basan en una etapa previa de recopilación y análisis de pérdidas derivadas de eventos de riesgo operacional. En el caso del sector financiero, las entidades suelen disponer de eventos recopilados de forma externa o interna. Sin embargo, en el caso de las compañías del sector de la energía, no es habitual que se disponga de una base de datos interna de eventos (salvo siniestros declarados), y tampoco de fuentes externas. Por ello, el primer paso para plantear estas metodologías es preparar y estructurar la información para poder aprovisionar los procesos de medición del riesgo. Hay dos tipos de bases de datos de pérdidas por evento de riesgo operacional ([13]):

- **Base de datos de pérdidas internas:** es la pieza clave sobre la que se sustentan las metodologías basadas en fuentes de datos cuantitativos. Esta debe ayudar a mejorar el entendimiento del riesgo operacional, a facilitar el establecimiento de medidas correctoras que mejoren su control, a permitir la comparación entre los resultados cualitativos y cuantitativos y a sentar bases para la implantación de metodologías basadas en la propia historia de pérdidas de la compañía.
- **Base de datos de pérdidas externas:** en el acuerdo de Basilea II se considera que las bases de datos de pérdidas internas de las entidades no son suficientemente profundas ni fiables para modelizar el riesgo operacional en la aplicación de modelos avanzados (AMA<sup>12</sup>) y por lo tanto requiere que se complementen con la utilización de datos de pérdidas externas.

Aunque en el sector de la energía no se dispone de información de este tipo, en el sector financiero actualmente hay dos tipos de bases de datos externas:

---

<sup>12</sup> Advanced Measurement Approach



- Bases de datos públicas: contienen información suministrada por proveedores tales como empresas de consultoría o compañías aseguradoras. Normalmente proporcionan información de eventos con un umbral de pérdida muy alto.
- Bases de datos de consorcios y entidades: pueden ser de ámbito local o internacional. Estas asociaciones sirven para el intercambio de información relativa a pérdidas por riesgo operacional de las entidades miembros, preservando la confidencialidad de los datos. El umbral de reporte es muy inferior al de las bases públicas. Algunos ejemplos son ORX (Operational Risk Data Exchange Association), GOLD (Global Operational Loss Database), DIPO (Database Italiano Perdite Operativo) y ABA (American Bankers Association).

Los datos de las bases de datos externas se utilizan principalmente de dos modos: en el análisis de escenarios como información complementaria para evaluar la exposición ante eventos generados de pérdidas muy graves y como aporte de eventos extremos en la cola de la distribución de las pérdidas.

Además, estas sirven como herramienta de *benchmark*<sup>13</sup> con respecto a las entidades del sector, ya que permiten establecer una comparación en términos de consumo de capital con respecto al margen ordinario, de evolución de pérdidas y de distribución por líneas de negocio, así como información sobre eventos serios.

### ***2.6.2.1 Metodología de distribución de pérdidas***

La metodología más extendida para la medición del riesgo operacional a partir de eventos cuantitativos, tanto por las entidades financieras como por las corporaciones de otros sectores, es la *LDA (loss distribution approach)* o *metodología de distribuciones de pérdidas*. Este método permite modelizar el riesgo operacional de una compañía y generar una distribución de pérdidas para cada uno de los riesgos identificados.

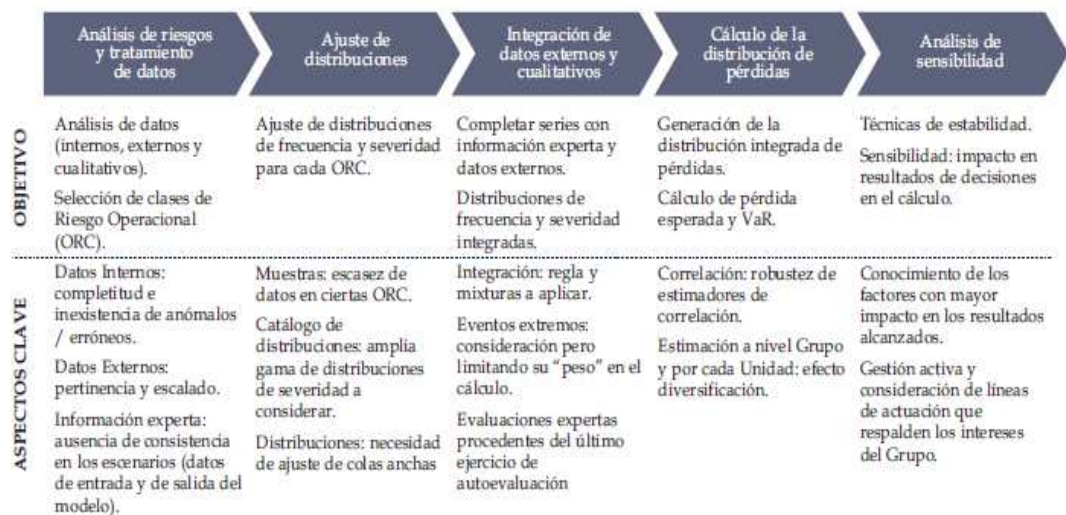
---

13



Este método requiere de la existencia de datos de eventos operacionales que se clasifican según su naturaleza para su modelización conjunta y el ajuste de distribuciones. Comúnmente se suelen combinar varias fuentes de información, normalmente bases de datos de pérdidas internas y externas, o bases de datos de pérdidas internas e información obtenida a través de la evaluación subjetivo de escenarios de pérdidas.

Hay dos fases fundamentales en esta metodología, que son el análisis y tratamiento de datos y la modelización de pérdidas brutas, que se pueden descomponer en un total de cinco etapas.



*Figura 9. Metodología LDA – Etapas en el proceso de cálculo de distribuciones de pérdidas*  
 (Fuente: [13])

### 2.6.2.1.1 Análisis de riesgos y tratamientos de datos

Primero es necesario verificar la calidad de los datos disponibles para el proceso de cálculo y detectar mediante una serie de validaciones aquellos registros que no se utilizarán, por ejemplo datos atípicos o *outliers*.

Adicionalmente, se debe llevar a cabo la identificación y clasificación de los riesgos que se desea evaluar, con la finalidad de agrupar aquellos eventos que presentan un comportamiento similar ante el riesgo operacional. El resultado de esta clasificación es la composición de clases o categorías homogéneas (ORC –



*Operational Risk Class*), desde un punto de vista estadístico como de aseguramiento.

Normalmente, según los acuerdos de Basilea, se suelen establecer clases homogéneas según dos directrices: líneas de negocio y categorías de riesgo. Después se definen categorías de segundo nivel para cada una de estas directrices, dejando después libertad a las entidades para añadir niveles suplementarios en caso necesario.

Como último paso, hay que verificar el cumplimiento de las hipótesis que exige la metodología LDA: independencia entre frecuencia y severidad<sup>14</sup> e inexistencia de auto correlación serial en frecuencia y severidad<sup>15</sup> para cada una de las ORC.

El resultado del proceso de análisis de riesgos y tratamiento de datos son las agrupaciones (ORC) listas para ser utilizadas en la modelización.

#### **2.6.2.1.2 Ajuste de distribuciones**

Ya habiendo agrupado los eventos de acuerdo con su naturaleza, se determina la distribución de pérdidas asociadas a cada ORC a través del ajuste de una distribución de frecuencia y otra de severidad. Para ello, se llevan a cabo una batería de test estadísticos sobre un abanico de distribuciones habitualmente empleadas, utilizando la que mejor se ajuste. La integración de las distribuciones de pérdidas obtenidas para cada agrupación permite obtener una distribución de pérdidas agregada, que se debe construir considerando el efecto de diversificación que existe entre las distintas agrupaciones a través de la matriz de correlaciones.

Las distribuciones de severidad utilizadas para la estimación de pérdidas deben reflejar una realidad en la que conviven eventos de alta frecuencia y bajo impacto con evento de baja frecuencia y muy alto impacto. Esta circunstancia requiere que tales distribuciones dispongan de colas suficientemente anchas como para recoger eventos de alta severidad.

---

<sup>14</sup> La frecuencia de una ORC no debe condicionar el importe de su severidad.

<sup>15</sup> Comprobación de que tanto severidad y frecuencia en un determinado momento son independientes de la severidad y frecuencia en el momento anterior.



No obstante, en algunos casos, el cuerpo de la muestra puede ajustarse con una distribución y la cola con otra distinta. En estas ocasiones se utiliza la Teoría del Valor Extremo<sup>16</sup>, que se centra en mejorar el ajuste para las pérdidas elevadas, llevando a cabo una combinación de distribuciones en la que el cuerpo siga una distribución y la cola otra: una generalizada de Pareto (GDP) o una exponencial.

### **2.6.2.1.3 Integración de datos externos y cualitativos**

Hay diferentes métodos para integrar los datos procedentes de la evaluación experta o de las bases de datos externas en el cálculo de la distribución de pérdidas.

Los métodos más comunes son la Teoría de la Credibilidad para la integración de frecuencias y el método de Dutta y Babbel para la integración de severidades, que se basa principalmente en añadir datos a la muestra histórica en aquellos tramos en los que esta se encuentra infrarrepresentada.

### **2.6.2.1.4 Cálculo de la distribución de pérdidas**

Una vez que se han ajustado las distribuciones de frecuencia y severidad, hay que obtener las distribuciones de pérdidas para cada una de las ORC de la muestra de datos para el conjunto de todas ellas. Por tanto, se lleva a cabo un proceso de convolución de las distribuciones de frecuencia y severidad a través de simulaciones de Montecarlo.

A partir de las distribuciones de pérdidas, se pueden obtener varias magnitudes representativas:

- Pérdida esperada (*expected loss, EL*): es la media aritmética de las pérdidas simuladas.
- Valor en riesgo (*value at risk, VaR*): es la máxima pérdida potencial esperada para un determinado intervalo de confianza y horizonte temporal.

---

<sup>16</sup> Si la distribución de las pérdidas que superan un umbral converge a una distribución límite cuando el umbral aumenta, entonces esta distribución es o bien una distribución exponencial o una distribución generalizada de Pareto.

- Pérdida inesperada (*unexpected loss, UL*): es la diferencia entre la pérdida esperada y el valor en riesgo (VaR).
- Valor en riesgo condicional (*conditional VaR, CVaR o expected shortfall*): es la media de las pérdidas que superan el VaR en el horizonte temporal indicado.

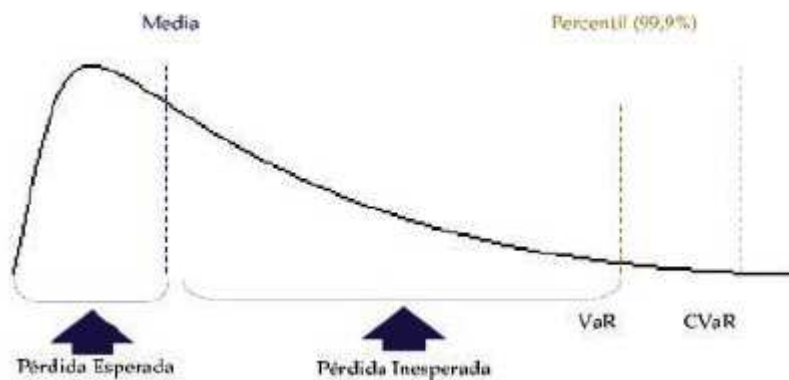


Figura 10. Medidas sobre la distribución de pérdidas (Fuente: [13])

Sobre la distribución de pérdidas obtenidas, se pueden aplicar los distintos programas de pólizas de seguro existentes, que permitirán mitigar el resultado y adecuarlo a la verdadera realidad subyacente.

Como última etapa del proceso, se pueden calcular las medidas anteriormente indicadas teniendo en cuenta el efecto de diversificación. Para ello, se deben de llevar a cabo una simulación de Montecarlo con un proceso de generación de números aleatorios preservando el esquema de correlaciones iniciales (modelo de simulación de Lurie-Goldberg).

#### 2.6.2.1.5 Validación

El modelo cuantitativo obtenido deberá contrastarse de forma recurrente con diferentes técnicas y estudios para asegurar la validez del mismo. Algunos de los aspectos a considerar son la sensibilidad de los resultados ante variaciones del modelo, la estabilidad de los cálculos ante variaciones debidas a causas tanto intrínsecas (distribuciones de pérdidas operacionales dependiente de la aleatoriedad del proceso de simulación) como extrínsecas (reducido tamaño de las



muestras de datos de pérdidas y la variabilidad de los mismos, como colas anchas), y el *backtesting* del modelo (comparación de las pérdidas operacionales estimadas con las pérdidas reales obtenidas en el periodo de cálculo).

### **2.6.2.2 Indicadores de Riesgo (KRI)**

Por último, para el seguimiento del modelo de gestión del riesgo operacional es necesario contar con una serie de indicadores de seguimiento. Los indicadores de riesgo (*key risk indicators* o KRI) son estadísticos o parámetros que permiten anticipar la evolución de los riesgos asumidos por la compañía. Estos indicadores suelen ser revisados periódicamente para alertar sobre cambios que puedan ser reveladores de evoluciones negativas en la exposición al riesgo ([13]).

Los principales objetivos de la metodología de KRI son los siguientes:

- Aportar información sobre el nivel de riesgo operacional de la compañía e identificar las principales causas de su evolución.
- Establecer niveles de alerta y límites para la toma de decisiones por parte de los distintos responsables.
- Identificar y medir la eficacia de los controles y mejoras efectuadas en ellos.
- Identificar correlaciones de los KRI con las pérdidas operativas.
- El nivel de detalle de la información de KRI en los diferentes ámbitos de gestión es diferente, y debe adecuarse al nivel de los interlocutores intervinientes en cada uno de los comités orientados a la gestión de riesgo operacional.



KRIs Loss-oriented	KRIs Risk-oriented	KRIs Control-oriented
Mermas de producto en el transporte de mercancía	Proyectos de inversión con disponible negativo	Periodicidad media de actualización de <i>firewalls</i> en la protección de accesos
Siniestros sufridos en activos e importes relacionados	Pedidos de compra emitidos sin autorización	Número de accesos a las salas de <i>trading</i>
Número de expedientes sancionadores iniciados con empleados	Número de personas con permisos de acceso a la devolución de facturas y al maestro de cuentas.	Número de días con incidencias en el <i>backup</i> de datos (o días sin <i>backup</i> )

Figura 11. Ejemplo de indicadores de riesgo o KRI (fuente: [13])

## 2.7 EJEMPLOS DE ACCIDENTES DE EN EL S.E.

Para comentar la importancia de una buena gestión de la monitorización y medición de los riesgos operacionales, en este apartado se muestra el impacto de diferentes accidentes de riesgos operacionales y el impacto que pueden llegar a tener si no se gestionan adecuadamente.

### 2.7.1 DESASTRE NUCLEAR DE FUKUSHIMA

El desastre nuclear de Fukushima es una serie de incidentes que ocurrió en la central nuclear de Fukushima I el 11 de marzo de 2011 después de un terremoto de magnitud 9.0 en la Escala sismológica de magnitud de momento, en la costa noreste de Japón. La planta nuclear pertenecía a la empresa Tokyo Electric Power Company (TEPCO), que contenía seis reactores de agua en ebullición, construidos entre 1971 y 1979 ([14]).

La secuencia fue la siguiente: a partir del terremoto se formó un tsunami que inundó los seis reactores (afortunadamente tres estaban ya parados mientras realizaban labores de mantenimiento), produciendo daños en la red eléctrica y de los operadores de emergencia, impidiendo el funcionamiento de los sistemas de refrigeración, produciéndose la fusión del núcleo de los reactores ([15]).



Solo considerando el impacto económico (aparte del social y medioambiental) de los daños producidos se estimaron aproximadamente un 75.500 millones de euros. EL Banco Mundial incluso valoró los daños entre 87.000 y 166.000 millones de euros [14].

### **2.7.2 DERRAME DE PETRÓLEO DE LA PLATAFORMA DEEPWATER HORIZON**

---

La plataforma Deepwater Horizon fue una plataforma petrolífera semi-sumergible de posicionamiento rápido de aguas ultra-profundas construida en el año 2001 y situada en el golfo de México, compartido por Estados Unidos, Cuba y México [16] & [17]. Esta se hundió el 22 de abril de 2010 como resultado de una explosión que se produjo dos días antes, provocando el vertido de petróleo más significativo de la historia, estimado en un valor de 779.000 toneladas de petróleo crudo.

### **2.7.3 DESASTRE DE EXXON VALDEZ**

---

El Exxon Valdez es otro accidente de derrame de petróleo que se produjo en el año 1989, en el cual se produjo una pérdida de 250.000 barriles que afectaron la zona del Prince William Sound en Alaska. Se gastaron más de 4.3 billones de \$ como resultado del accidente entre pagos por compensación, pagos de limpieza, liquidaciones y multas ([18]).

### **2.7.4 ACCIDENTE DEL TRANSBORDADOR ESPACIAL COLUMBIA**

---

El accidente del transbordador espacial Columbia tuvo lugar el 1 de febrero de 2003, cuando el Columbia se desintegró sobre Texas y Luisiana en su reingreso a la atmósfera terrestre, provocando el fallecimiento de los siete miembros de la tripulación ([19]).



Básicamente el accidente se produjo por un desprendimiento de una pieza de aislamiento que se desprendió del tanque externo en el lanzamiento golpeando posteriormente el ala izquierda. Ese daño provocó que en el reingreso de la atmósfera penetraran unos gases atmosféricos calientes y destruyeran la estructura interna del ala, provocando la desintegración de la nave.

Estructuralmente, se debió a unos controles técnicos e organizativos suficientes, que mejoraron tras el accidente, incluyendo la adición de una minuciosa inspección en órbita para determinar el estado del sistema de protección térmica del transbordador tras soportar el ascenso, y mantener una misión de rescate designada lista en caso de encontrar un daño irreparable.

### **2.7.5 CASO ENRON**

---

Enron Corporation fue una empresa gasista, constituida en 1985 en Houston (Texas), que en pocos años pasó a ser de una empresa pequeña a aparecer en la lista de la revista Fortune como la séptima mayor compañía en Estados Unidos. Básicamente llegaron a la situación mediante la materialización de fraudes internos (riesgo operacional), es decir, ingeniería contable: convirtiendo pasivos en activos, computando préstamos como ingresos, maquillando la deuda, inflando beneficios, etc. Todo ello produjo que en el 2001 cuando se empezaron a destapar las irregularidades, provocando la pérdida de trabajo de 20.000 empleados y la caída de su auditora, Arthur Andersen, partícipes del engaño. Posteriormente la empresa se declaró en bancarrota ([20] & [21]).



## Capítulo 3 CONTEXTO Y PROFUNDIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO ACTUAL

### 3.1 INTRODUCCIÓN

---

En este capítulo se pretende dar una breve contextualización del sector energético y de la industria que alrededor del mismo, posteriormente asociando las diferentes líneas de negocio de empresas clave en el ámbito español, poniendo como referencia a las empresas pertenecientes a la asociación *aelēc*. Estas empresas que se han mencionado se ocupan de los sectores de Infraestructura Energética y de Alumbrado Público, entre otros, que son sectores consolidados frente a otros sectores como los de Demand & Response, que son más innovadores, con lo cual es más sencillo y tiene más sentido realizar un análisis de la evaluación de riesgos operacionales.

Posteriormente, se explica más detenidamente, tras haber introducido los conceptos en el apartado 1.1.2, los procesos y fases que hay dentro de un proyecto, desde el estudio de viabilidad del activo que se pretende construir hasta la operación y mantenimiento del mismo.

### 3.2 SECTOR ENERGÉTICO

---

El sector energético engloba las actividades primarias, secundarias y terciarias de un país que están destinadas a la generación, distribución, transmisión y venta (con la innovación de todas ellas) de los productos energéticos del país.



La abundancia y variedad de los recursos naturales del área determinan los distintos recursos energéticos de una nación. Actualmente, entre los recursos energéticos más explotados se encuentran el petróleo, el gas natural, el carbón, etc. Estos recursos se utilizan para producir diferentes productos energéticos, en el que destaca la electricidad [22].

Con ello, hay que tener presente el concepto de mix energético, también conocido como matriz energética, que es la composición final de la electricidad producida por el conjunto de fuentes de energía primarias, renovables y no renovables, que cubren la demanda energética de un país [23].

Las industrias relacionadas con el sector energético son varias: la industria petrolera, la industria del gas, la industria de la energía eléctrica, la industria del carbón, la industria de la energía nuclear, de las energías renovables (mayormente hidroeléctrica, solar, eólica y la producción y venta de combustibles alternativos), etc. ([24])

En este proyecto se trata con mayor atención la industria relacionada con la producción y venta de energía eléctrica y las líneas de negocio que hay alrededor de ello, ya que en el caso práctico se aplica la metodología de medición y gestión de riesgos en proyectos de Infraestructuras Energéticas y Alumbrado Público.

### ***3.3 LÍNEAS DE NEGOCIO EN SECTOR ENERGÉTICO***

---

Mirando el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE) [25], se pueden tomar como referencia las empresas que forman parte de la Asociación de Empresas de Energía Eléctrica (*aelēc*), que son las siguientes: EDP, Veolia (Repsol), Endesa (ahora Enel), Iberdrola y Naturgy. Estas empresas en la asociación centran su actividad en la difusión, divulgación y promoción de los aspectos técnicos y regulados de actividades eléctricas, particularmente la distribución. Además, trabajan para posicionarse como actores clave para ayudar a desarrollar una adecuada transición energética en el país [26].



Los principios de las asociación, y por ende de las empresas, trabajan en mejorar toda la cadena de valor desde la generación hasta la comercialización de electricidad a los consumidores, mejorando las redes de distribución, la transición energética (electrificación), contadores inteligentes (demand & response), las nuevas tendencias de movilidad eléctrica y el autoconsumo, entre otros.

Primero se trata el estudio dentro de la cadena de valor de las fases y servicios de la industria eléctrica que están más consolidados. Después, se tratan los temas de líneas de negocio más innovadoras, y por último se introduce el concepto de Demand & Response y Ciudades Inteligentes, que están en fase de desarrollo comercial.

### **3.3.1 TENDENCIAS ACTUALES CONSOLIDADAS**

---

Como ya se ha mencionado, las tendencias más consolidadas en el sector energético se basan en la generación, distribución, transmisión (estas últimas dos están monopolizadas, aunque a veces las empresas participan en forma de subcontratas) y comercialización, así como el creciente uso, innovación, mantenimiento y gestión de las redes y de las energías renovables, siendo todos ellos centrados en el cliente. Estos siguen a su vez las nuevas tendencias de la des carbonización y electrificación de la economía, el progreso tecnológico y el aumento de la conectividad de los cliente [27].

#### ***3.3.1.1 Negocio de las renovables y cogeneración***

En este negocio se dedican a la generación y comercialización de energía eléctrica a partir de fuentes renovables: eólica (terrestre y marina), minihidráulica, termosolar, fotovoltaica, biomasa, etc. ([27] & [28]). Los retos que se presentan en este negocio son varios:

- Conseguir la máxima seguridad en las operaciones
- Maximizar la eficiencia en las operaciones para maximizar la rentabilidad de los activos.



- Maximizar la eficiencia en los costes de producción, con especial énfasis en los proyectos de eólica marina.
- Crecimiento rentable en distintas tecnologías.

### ***3.3.1.2 Negocio de las redes***

En este negocio se encargan de la construcción, operación y mantenimiento de las líneas eléctricas, subestaciones, centros de transformación y otras infraestructuras, para trasladar la energía eléctrica desde los centros de producción al usuario final.

Los retos de este negocio son:

- Tener cero accidentes.
- Basándose en la calidad de suministro e información sobre la red, ofrecer un servicio excelente.
- Maximizar la eficiencia en la operación del sistema a través de la excelencia operativa y la digitalización de los activos.
- Liderar la transformación hacia la integración más eficiente de energía renovable y distribuida.
- Integración del vehículo eléctrico
- Llegar a tener un 100% de redes inteligentes en 2030.

### ***3.3.1.3 G-D-T-C (Negocio de la generación y comercialización)***

Esta línea de negocio es diferente según se la empresa se dedique simplemente a la Generación y Comercialización, o si además participa como tercero en la Distribución y Transmisión. Por ejemplo, Iberdrola se dedica a los dos primeros mencionados, pero Endesa se dedica también a la Distribución ([29]).

Focalizando en los dos primeros, normalmente una empresa se dedicaría a la producción de electricidad mediante la construcción, operación y mantenimiento de centrales de generación, y compraventa de energía en los mercados mayoristas. Igualmente, se encarga de la comercialización al usuario final de energía y productos y servicios complementarios. Los restos de esta línea de negocio son:



- Conseguir un suministro competitivo y excelencia en el servicio a los clientes.
- Asegurar seguridad laboral.
- Tener una adecuada gestión medioambiental y protección de la biodiversidad.
- Conseguir excelencia operativa y mejora continua de la eficiencia.
- Identificación y minimización de riesgos.
- Desarrollo de nuevas soluciones energéticas.
- Implementar un sistema de energía, movilidad inteligente y de Smart Solar.

#### ***3.3.1.4 Negocio de la consultoría energética y eficiencia energética***

Es una línea de negocio en la cual las empresas ofrecen distintas soluciones de eficiencia energética, entendiéndose como el conjunto de métodos y técnicas que reducen el consumo de energía, permitiendo reducir los costes energéticos, controlar el consumo y proporcionar herramientas de producción más eficientes ([30]).

#### ***3.3.1.5 Negocio de los servicios energéticos en edificios, utilidades industriales***

En esta línea de negocio las empresas se dedican a optimizar la energía de los edificios y a reducir el impacto medioambiental de los mismos. Entre estos servicios incluyen: la compra y gestión de energía, la conducción, el mantenimiento, el control permanente de las instalaciones, la garantía de reparación y renovación y la ingeniería para los proyectos de instalación de redes de calor y frío ([31]).

En cuanto a utilidades industriales, se dedican desde el mantenimiento, venta de los suministros básicos (vapor, frío de proceso, aire comprimido y vacío, cogeneración, trigeneración y producción de electricidad), incluyendo el desarrollo de soluciones para la optimización de la eficiencia energética de las instalaciones de sus clientes ([32]).



### ***3.3.1.6 Negocio del gas***

El ciclo de vida del gas tiene las siguientes fases: aprovisionamiento, transporte, distribución, almacenamiento y comercialización ([33]). Posteriormente, conlleva todo el conjunto de instalaciones y equipos necesarios para hacer llegar la energía calorífica en las mejores condiciones a los centros de consumo, entre ellas las instalaciones receptoras de gas, estaciones de regulación y medida y las plantas de gas natural licuado ([34]).

## **3.3.2 TENDENCIAS INNOVADORAS**

---

Estas ideas y/o líneas de negocio están consolidadas ya dentro del mercado pero están siendo sujetas a innovaciones en los últimos años, teniendo un gran mercado y desarrollo adicional por venir. Básicamente se orientan hacia cuatro tipos de sectores o nichos de mercado: vivienda, empresa/industria, ciudad y movilidad eléctrica.

### ***3.3.2.1 Vivienda***

En este sector se desarrollan una serie de productos orientados para la vivienda, ofreciendo soluciones de calefacción y climatización, instalaciones solares y fotovoltaicas. Del porfolio de productos actual se incluyen: calderas, climatizadores, calentadores de agua, instalaciones fotovoltaicas y solares térmicas. El objetivo es conseguir que la casa sea un lugar más cómodo, confortable e inteligente, optimizando el uso de energía, proporcionando bienestar y protegiendo el medio ambiente. Todo esto incluyendo servicios de instalación, mantenimiento y reparación ([35] & [36]).

### ***3.3.2.2 Empresa/Industria***

Esta línea de negocio está orientada a gestionar los requisitos y oportunidades de la cartera energética de clientes, ofreciéndoles productos y servicios que ayudan a optimizar el consumo energético. Se tratan temas desde el suministro de energía al consumo de energía, monitorización, programación y supervisión de la demanda y



la generación (demand and response que se habla mejor en el apartado 3.3.3.1), estrategia de cartera e integración de fuentes de flexibilidad.

El proceso se suele estructurar de esta manera: se comienza con el asesoramiento energético, se identifica la mejor solución técnica personalizada al cliente, implementación de sistemas para monitorizar y controlar el consumo de energía para mejorar la eficiencia energética y por último se saca partido a los activos de generación participando en programas flexibles.

En esta línea de negocio los productos/servicios que se suelen ofrecer son los siguientes: generación distribuida y micro redes, soluciones de eficiencia energética, infraestructuras energéticas, flexibilidad y marketing directo, asesoramiento y Energy Intelligence Software, Gestión inteligente de facturas y Operación & Mantenimiento de activos ([37]).

### ***3.3.2.3 Ciudad***

Esta línea de negocio está orientada hacia una iluminación inteligente de la ciudad, buscando el mayor ahorro energético y económico posible con los mejores resultados estéticos. Se busca desarrollar servicios energéticos y digitales para llevarlos a la cooperación con gobiernos, administraciones públicas y empresas participadas ([38]). Los productos y servicios que se ofrecen en este sector son: sistemas de Smart Lighting para Alumbrado Público e Iluminación Artística, sistemas de telecontrol y monitorización digital (digital city) y construcción eficiente, es decir, eficiencia energética en la gestión de edificios tanto residenciales como comerciales.

### ***3.3.2.4 Movilidad eléctrica***

Actualmente esta línea de negocio es de la que más se está desarrollando, es decir, la movilidad eléctrica. Se está empezando a crear la infraestructura de recarga pública y privada, superando las barreras de entrada, promoviendo el desarrollo de la movilidad eléctrica, creando un valor sostenible y compartido por todas las



partes interesadas y explorando todas las oportunidades de negocio que nacerán, como los servicios de equilibrado y flexibilidad de la red.

En este sector, destacan los siguientes servicios y productos: estaciones de recarga para vehículos eléctricos, tanto de uso público como privado; servicios de recarga para particulares, empresas y entes públicos; alquiler y/o compra de coches eléctricos, flotas de empresa, sistemas de gestión de los puntos de recarga y mapas de la localización de los mismos ([39]).

### **3.3.3 TENDENCIAS INNOVADORAS EN DESARROLLO COMERCIAL**

---

#### ***3.3.3.1 Demand & Response***

Actualmente las nuevas tendencias se orientan hacia el concepto del Demand & Response o Gestión Activa de la Demanda (GAD) ([40]). Los sistemas de energía eléctrica se enfrentan a numerosos retos para satisfacer una demanda creciente y con cada vez mayores momentos de pico de una manera eficiente y sostenible, pretendiendo ajustar la potencia de demanda frente a la potencia de suministro ([41]). Con lo cual, este concepto engloba todo un conjunto de estrategias y medidas encaminadas a facilitar una mayor flexibilidad y una participación más activa de los consumidores de electricidad en los mercados eléctricos y en la operación del sistema a partir de incentivos económicos. Estos incentivos deben reflejar los costes reales de la energía y las condiciones del sistema en cada momento, de forma que modifique su consumo respecto a los patrones habituales ([40]). Si los precios internalizan todos los costes que conlleva hacer llegar la electricidad al consumidor, estos precios son las señales correctas a las que la demanda reaccionaría de forma natural hacia un consumo más eficiente. Es más, se espera que los consumidores respondan reduciendo o desplazando su consumo de horas del día en el que el precio de la electricidad es más elevado o en las que peligra la fiabilidad del sistema. En el caso que no sea así, las medidas de GAD implican intervenciones más directas como mecanismos directos de control del consumo ([41]).



Como se puede comprender, esta tendencia está aún en fase de vías de desarrollo comercial, todavía es prematuro aplicar la metodología en este sector.

### **3.3.3.2 Ciudades inteligentes**

Es un nuevo concepto de ciudad basado en los modelos de economía circular que destacan por su dinamismo y atractivo ([42]).

Dentro de este concepto entran distintos tipos de ciudad:

- Ciudad resiliente: es un concepto de ciudad que se anticipa y reduce los riesgos, con una planificación inteligente de las infraestructuras y los servicios urbanos, debido a la creciente urbanización, aumento de las catástrofes climáticas y la creciente presión de los recursos naturales. Por ejemplo, en Trenton (nueva Jersey, EEUU), se han desplegado 13 micro redes autónomas capaces de generar calor y electricidad, sustituyendo a la red eléctrica principal en caso de interrupciones causadas por condiciones climáticas extremas.
- Ciudad inteligente o *Smart City*: son ciudades que a través de los datos que se recogen, estos se utilizan para crear nuevos servicios urbanos, mejorando su competitividad, atractivo y sostenibilidad.
- Ciudad incluyente: son ciudades que promueven el acceso a servicios esenciales para las personas más vulnerables, involucrando a los ciudadanos y partes interesadas en la definición y en el funcionamiento de sus servicios. En la región de Greater Matale (Sri Lanka), se está desarrollando acceso al agua potable para 350.000 personas, 55 plantas de tratamiento y 450 km de tuberías que asegurarían un suministro seguro.
- Ciudad circular: son ciudades que preservando los recursos, promueven el crecimiento, la creación de empleos, aseguran sus suministros y reducen emisiones de CO<sub>2</sub>. Se animan a los actores locales a reciclar y a prolongar la duración de uso de los materiales. EN definitiva, se promueve una economía de funcionalidad que anima a compartir infraestructuras y servicios. En México, por ejemplo, se construirá y operará la primera instalación de conversión de residuos a energía en Latinoamérica, que



cada año transformará 1,6 millones de toneladas métricas de residuos domésticos en energía verde para suministrarla directamente a la red de metro de la ciudad.

- Ciudad habitable: promueve el bienestar de los ciudadanos, la protección de la biodiversidad y se reduce la huella medioambiental promoviendo las energías renovables.

### ***3.4 PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN Y O&M: PROCESOS Y TIPOS***

---

En la tipología de proyecto de Infraestructura Energética y Alumbrado Público (que son las tipologías en las que se aplica la metodología de gestión de riesgos en el caso práctico) tienen las fases de un proyecto de construcción, que van desde la oferta al cliente del proyecto hasta la operación y mantenimiento.

Se consideran tres fases principales en esta tipología ([43] & [44]):

1. **Fase de pre-aceptación/oferta y Diseño:** en esta fase se llevan a cabo las tareas de estudio y análisis de viabilidad técnica y económica del proyecto a realizar, en la cual se hace un estudio ingenieril del proyecto y una definición del alcance del mismo. Se presenta un diseño básico y una pre-oferta del proyecto al cliente, incluyendo la contratación de proveedores y la posible gestión del plan de compras. Incluso, se empiezan a contactar diferentes proveedores, para escuchar ofertas, y constructores y/o instaladores en el caso de que la empresa no tenga personal para proporcionar estos servicios si no es a través de terceros. En cuanto al Diseño final que se firma en el contrato, hay que considerar dos casos distintos:
  - i. Si el cliente es una entidad privada, y acepta tu pre-oferta, se realiza un diseño más exhaustivo del proyecto, pasando finalmente



a la firma oficial del mismo y posteriormente a la segunda fase de Ejecución.

ii. Si el cliente es una administración pública, hay que considerar los siguientes casos:

a. Si el proyecto se negocia de manera directa con la administración, y se gana el concurso, la parte de diseño se realiza antes de la aceptación del proyecto.

b. Si el proyecto se adjudica a la empresa que presenta el proyecto gracias a una asignación “aleatoria” de un organismo gubernamental (como es el CONSIP en Italia), la fase de diseño exhaustivo del proyecto se hace tras la firma de adjudicación. En este caso el diseño se incluiría en la siguiente fase principal de Ejecución.

2. **Fase de Ejecución (Execution):** esta fase conlleva desde trámites iniciales (Procurement y Permitting), Construcción e Instalación y finalmente los trámites finales (Commissioning):

i. **Diseño:** se realiza un estudio más exhaustivo de los requisitos técnicos y económicos del proyecto, que es el que finalmente se acuerda y aprueba en la firma del contrato.

ii. **Trámites iniciales (Procurement y Permitting):** en esta fase, tras la aprobación del proyecto, se presentan todos los documentos de detalles técnicos (ingeniería) y sus aprobaciones, se deben procesar todas las licencias administrativas y permisos necesarios (licencia de construcción, permiso de obra de carretera, licencia medioambiental y otras licencias), aprobación del distribuidor etc. Además, se reciben los materiales de los proveedores y el personal y equipos de los constructores e instaladores (en el caso de que no se dispongan internamente en la empresa).

iii. **Construcción y/o Instalación:** en esta fase se lleva a cabo la ejecución y la coordinación de las actividades relacionadas con la construcción e instalación de los activos físicos y desarrollo de las



actividades programadas basadas en el plan del trabajo del proyecto.

iv. **Trámites finales (Commissioning):** aquí se llevan a cabo las pruebas de puesta en marcha y coordinación final del proyecto, así como la gestión de las no conformidades. Además, se deben preparar y entregar toda la documentación técnica que certifican que los trabajos de construcción se han ejecutado y llevado a cabo según lo que se había acordado en la planificación del proyecto.

3. **Operación & Mantenimiento (O&M):** esta fase se centra en la operación y mantenimiento del activo físico distribuido, en el cual en el contrato se determina que tras un número de años debería ser funcional acorde a un programa de mantenimiento hasta la fecha de “caducidad” del mismo.

Según el tipo de contrato que la empresa firme con el cliente, las actividades a realizar puede conllevar toda la cadena de procesos mencionada anteriormente, o solo llevar a cabo partes de ella:

- O&M: se suele aplicar sobre todo a proyectos de Alumbrado público, en el cual se aplica una tarifa anual por cada punto de luz instalado, cubriendo el servicio de operación y mantenimiento (sustitución de lámparas, postes/estribos, líneas, etc.) de la infraestructura de alumbrado.
- Turn-Key: en este contrato se acuerda en proporcionar los materiales y los servicios de construcción y/o instalación, sin llegar a proporcionar los servicios de operación y mantenimiento. Dentro de este contrato, hay dos variantes:
  - El cliente te da el pago al contado al final del proyecto o a través de hitos, y al finalizar la obra el activo pertenece al cliente.
  - La empresa que proporciona el servicio también proporciona la financiación del proyecto, ya que el cliente en ese momento no tiene los recursos necesarios para llevarlo a cabo. El activo pertenece a la empresa hasta la finalización de la obra, que pasa al cliente.



- Renting: es una mezcla de Turn-Key, en el que la empresa además financia y proporciona servicios de O&M tras acabar el proyecto. El activo pasa a ser propiedad de la empresa.
- ESCo (Energy Service Company): es un proyecto de Gestión Energética Integrada, en el cual la empresa invierte para renovar el activo o la infraestructura energética, proporciona servicios de O&M y además se ocupa de proporcionar energía (o luz en el caso de Alumbrado Público), en el cual la empresa pretende obtener beneficios a través de una gestión eficiente de la energía del activo o de la zona de alumbrado público de la administración o zona a iluminar.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CONTEXTO Y PROFUNDIZACIÓN DEL SECTOR ENERGETICO ACTUAL*

---



## Capítulo 4 DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA: HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS Y TRATAMIENTO DE DATOS

### 4.1 INTRODUCCIÓN

---

---

En este capítulo se pretende dar un contexto de las herramientas estadísticas que se usan para la cuantificación de riesgos operacionales, así como del tratamiento de datos a realizar cuando hay que aplicar criterio experto, es decir, cuando no se tiene desde el inicio una fuente de base de datos del histórico de eventos de materializaciones de riesgos.

Con lo cual, primero se introducen las herramientas estadísticas que se suelen utilizar, detallando más profundamente las que se utilizarán en el caso práctico, que son las funciones de Poisson (distribuciones de frecuencia), Weibull (distribuciones de severidad) y las simulaciones de Montecarlo (convolución de las dos anteriores).

Después, se especifica cual es el proceso en el cual no teniendo un histórico de eventos, se recurre al criterio experto del *process owner*<sup>17</sup>. Tras extraer la información en distintos pasos, se forma un histórico de eventos en el cual se puede aplicar la metodología a partir de bases de datos.

---

<sup>17</sup> Director de proyecto

## 4.2 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

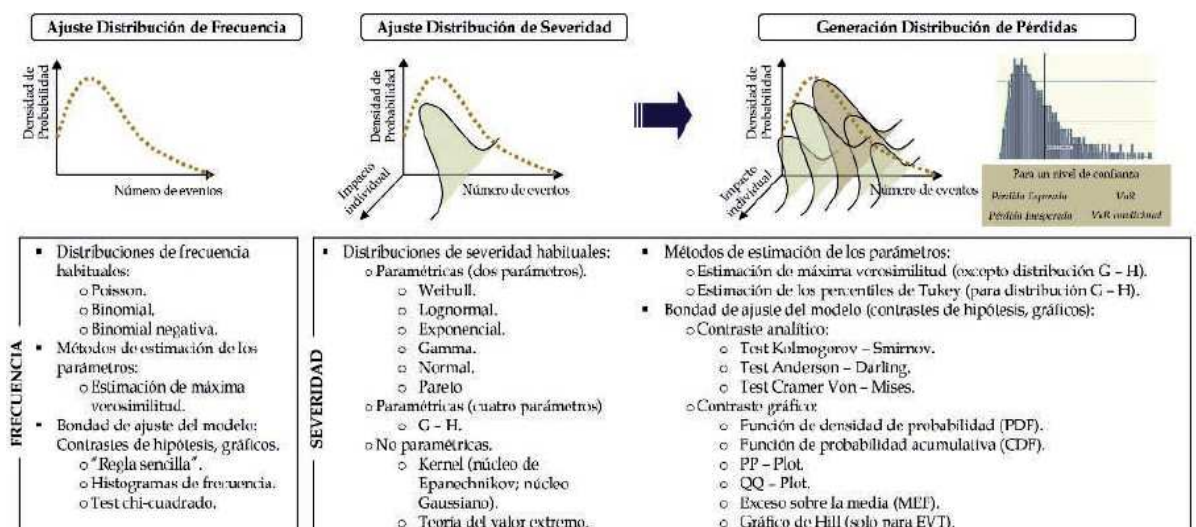
### 4.2.1 AJUSTE DE DISTRIBUCIONES

En el ajuste de distribuciones es habitual utilizar distribuciones paramétricas para la estimación de la severidad. Con frecuencia se usan distribuciones bi-paramétricas (ej.: Weibull, que es la que se utilizará, lognormal) o bien distribuciones de más de dos parámetros que presenten sensibilidad a los patrones de asimetría y curtosis (ej.: generalizada hiperbólica).

Sin embargo, en ocasiones las distribuciones paramétricas pueden resultar ineficientes para ajustar con precisión muestras de eventos operacionales.

Esta insuficiencia se hace más patente en agrupaciones de datos que presentan colas anchas, o en su caso, datos atípicos que por criterios de negocio no es recomendable eliminar. En esos casos, es posible acometer el proceso de ajuste con distribuciones semi-paramétricas (ej.: kernel).

Como las distribuciones clásicas de severidad se suelen seleccionar aquellas que toman valores no negativos, ya que una pérdida negativa podría considerarse como una ganancia, lo que carecería de sentido.



*Figura 12. Metodología de ajuste de distribuciones (LDA) (Fuente: [13])*



Debido a que la herramienta matemática e informática que se tiene a disposición lleva a cabo simulaciones de Montecarlo mediante la convolución de la distribución de frecuencia de Poisson y la distribución de severidad de Weibull, se explicarán a continuación detalladamente en los siguientes apartados.

#### 4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE POISSON

---

La distribución de Poisson ([45]), en teoría de probabilidad y estadística, es una distribución de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos en un intervalo de tiempo. Esta distribución, expresada en forma de función, considera que estos eventos son aleatorios e independientes entre sí. Se expresa de la siguiente manera:

$$f(k, \lambda) = P[\text{Poisson} = k] = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Dónde:

- $k$  es el número de ocurrencias del evento a modelizar
- $\lambda$  es el parámetro que define la función, que es un número positivo que representa el número de veces que se espera que ocurra el evento durante un intervalo dado.
- $e$  es la base de los logaritmos naturales

Tanto el valor esperado como la varianza de una variable aleatoria con distribución de Poisson son iguales a  $\lambda$ , es decir:

$$E[\text{Poisson}(\lambda)] = \lambda$$



---

### 4.2.3 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

---

La distribución de Weibull ([46]), en teoría de la probabilidad y estadística, es una distribución de probabilidad continua, es decir, flexible y de cola larga (sirve para modelizar impactos de gran magnitud pero de muy poca probabilidad). Estas son características necesarias para modelizar la severidad de las materializaciones de riesgo operacional. Además, permite calcular sus parámetros a partir de dos puntos de la misma, i.e., la media y un percentil determinado (95% suele ser el más común).

La función de densidad de una variable aleatoria con la distribución de Weibull se expresa de la siguiente manera:

$$f(x; \lambda, k) = \frac{k}{\lambda} \left( \frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} \quad \text{si } x \geq 0$$
$$f(x; \lambda, k) = 0 \quad \text{si } x < 0$$

Dónde:

- $k > 0$  es el parámetro de forma, que es lo que proporciona una gran flexibilidad a este modelo ([47]).
- $\lambda > 0$  es el parámetro de escala de la distribución.

La distribución modela la distribución de fallos (en sistemas) cuando la tasa de fallos es proporcional a una potencia del tiempo:

- Un valor de  $k < 1$  indica que la tasa de fallos decrece con el tiempo.
- Cuando  $k = 1$ , la tasa de fallos es constante en el tiempo.
- Un valor de  $k > 1$  indica que la tasa de fallos crece con el tiempo.

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x; k, \lambda) = 1 - e^{-(x/\lambda)^k}$$



Para  $x \geq 0$ , siendo nula cuando  $x < 0$ . Su media se expresa como una función Gamma de estas características:

$$E(X) = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

#### **4.2.4 SIMULACIÓN DE MONTECARLO**

---

La simulación de Montecarlo, en manera resumida, permite ver todos los resultados posibles de las decisiones que tomamos y evaluar el impacto del riesgo, lo cual nos permite tomar mejores decisiones en condiciones de incertidumbre.

La simulación de Montecarlo es una técnica matemática computarizada que permite tener en cuenta el riesgo en análisis cuantitativos y tomas de decisiones. Se utiliza en diferentes campos: finanzas, gestión de proyectos, energía, manufacturación, ingeniería, investigación y desarrollo, seguros, petróleo y gas, transporte y medio ambiente [48].

Lo que permite esta técnica a la persona responsable que está a cargo de tomar las decisiones de una serie posible de resultados, así como saber la probabilidad de que se produzcan según las medidas tomadas. Muestra las posibilidades extremas, es decir, los resultados de tomar la medida más arriesgada y la más conservadora, así como todas las posibles consecuencias de las decisiones intermedias.

La simulación de Montecarlo realiza el análisis de riesgo con la creación de modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores (una distribución de probabilidad), para cualquier factor con incertidumbre inherente. Luego, calcula los resultados una y otra vez, cada vez usando un grupo diferente de valores aleatorios de las funciones de probabilidad. Dependiendo del número de incertidumbre y de los rangos especificados, para llevar a cabo una simulación de Montecarlo se puede llegar a efectuar miles o decenas de miles de iteraciones o recálculos. La simulación de Montecarlo produce distribuciones de valores de los resultados posibles.



El análisis de riesgo se puede realizar cualitativa y cuantitativamente. Como ya se ha mencionado, el análisis cualitativo incluye una evaluación intuitiva. En cambio, el análisis de riesgo cuantitativo trata de asignar valores numéricos a los riesgos, utilizando datos empíricos o cuantificando evaluaciones cualitativas. Este proyecto se centrará a este último.

Mediante el uso de distribuciones de probabilidad, las variables pueden generar diferentes probabilidades de que se produzcan diferentes resultados. Las distribuciones de probabilidad son una forma mucho más realista de describir la incertidumbre en las variables de un análisis de riesgo. En la simulación de Montecarlo, se produce la convolución de la distribución de Poisson con la de Weibull.

Durante una simulación de Montecarlo, los valores se muestrean aleatoriamente a partir de las distribuciones de probabilidad introducidas. Cada grupo de muestras se denomina iteración, y el resultado correspondiente de esa muestra queda registrado. La simulación de Montecarlo realiza esta operación cientos o miles de veces, y el resultado es una distribución de probabilidad de posibles resultados. De esta manera, la simulación de Montecarlo proporciona una visión mucho más completa de lo que puede suceder. Indica tanto lo que puede suceder como la probabilidad de que suceda.

La simulación de Montecarlo proporciona una serie de ventajas sobre el análisis determinista:

- **Resultados probabilísticos:** los resultados muestran tanto lo que puede suceder y su probabilidad.
- **Resultados gráficos:** gracias a los datos que genera la simulación, es fácil crear gráficos de diferentes resultados y las posibilidades de que suceda.
- **Análisis de sensibilidad:** si se tienen pocos resultados, en los análisis deterministas es más difícil ver las variables que afectan al resultado. En la simulación, resulta más fácil ver que variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales.



- **Análisis de escenario:** cuando se usa la simulación, los analistas pueden ver exactamente los valores que tiene cada variable cuando se producen ciertos resultados, siendo muy valioso para profundizar en los mismos.
- **Correlación de variables de entrada:** en la simulación es posible modelar relaciones independientes entre diferentes variables de entrada.

#### 4.2.5 HERRAMIENTA INFORMÁTICA

---

La herramienta informática a utilizar que produce la convolución de las distribuciones de Poisson y Weibull mediante las simulaciones de Montecarlo es una herramienta interna de MS, la cual está programada en Excel a través de macros en VBA<sup>18</sup>. El nombre informal que se le da a la herramienta es “El Maquinillo”, que se produce a través de una herramienta interna llamada SIRO.

### 4.3 *TRATAMIENTO DE DATOS TRAS APLICAR CRITERIO EXPERTO PARA APLICARLOS EN UN CASO*

---

---

#### 4.3.1 INTRODUCCIÓN

---

Como se ha mencionado en el apartado 2.6 del proyecto, para aplicar la metodología de gestión de riesgos de manera efectiva hay dos maneras, una a través de la aplicación de la misma en fuentes de información provenientes del criterio experto o a través de bases de datos. Muchas veces las empresas no tienen un registro de la frecuencia, impacto medio e impacto máximo; lo cual dificulta el análisis de la gestión de riesgos.

En este apartado se comenta la información disponible que se suele tener en esta tipología de proyectos de Construcción, Operación y Mantenimiento en el sector

---

<sup>18</sup> “Visual Basic for Application” en Excel



energético. Hay que recalcar que la información manejada durante el mismo ha sido a través de Management Solutions y es de carácter confidencial, con lo cual no se mostrarán los datos manejados de forma directa.

### 4.3.2 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE Y CRITERIO EXPERTO

---

Para aplicar la metodología de manera directa a partir de bases de datos, la información debería estar recogida en este formato de frecuencia y severidad:

- Frecuencia de ocurrencia de las materializaciones de los riesgos
- Impacto económico de las materializaciones de los riesgos
- Impacto físico o sobre los activos o instalaciones
- Retraso de las tareas o hitos durante las diferentes fases del proyecto
- Otros datos de interés: puede ser la localización geográfica de la construcción del activo, administración pública perteneciente, tipo de activo, etc.

#### 4.3.2.1 Información disponible registrada

Muchas veces, esta información no se registra o no viene registrada de manera completa y en este formato. Tras poder analizar la información en la cual se ha podido tener acceso, en esta tipología de proyectos la información disponible suele ser la siguiente:

- Hitos y fechas de cronograma frente a hitos y fechas de realización del proyecto:
  - Si se miran las desviaciones de estas fechas, se puede comprobar si ha habido retrasos en las fechas reales con respecto a las fechas de planificación y si estas afectan al camino crítico (*critical path*).
  - Normalmente en estas desviaciones debería de estar especificada la causa → Muchas veces la causa de las incidencias que han provocado el retraso no vienen registradas o especificadas, teniendo que recurrir a obtener la información a partir de peticiones de información del experto o *process owner*.



- Diferencias entre coste total planificado y coste total incurrido:
  - Muchas veces el beneficio esperado por la empresa firmado en el contrato se puede ver afectado por sobrecostos durante el proyecto por diferentes razones:
    - Necesidad de mayor mano de obra
    - Incorrecta estimación de los materiales necesarios, teniendo que incurrir en mayores costes para conseguir más del susodicho.
  - En los contratos de O&M y suministro de energía muchas veces se producen sobrecostos debido a:
    - Necesidad de actividades de mantenimiento no planificadas que no estaban incluidas en el contrato, pero que la empresa está obligada a realizar.
    - Mala estimación del ahorro energético establecido al proponer un contrato de suministro de luz, que en vez de producir beneficios incurren pérdidas para la empresa.

Hay que añadir que aunque este tipo de información de sobrecostos y /o desviaciones en plazo esté disponible, muchas veces la causa de los mismos no viene especificada y no es suficiente para evaluar el riesgo, y la fiabilidad de la información registrada es incierta, conllevando a un posterior uso del criterio del experto para evaluar el riesgo.

#### ***4.3.2.2 Criterio experto***

Desafortunadamente, este tipo de información no viene registrada en todas las fases del proyecto, no viene figurada en la planificación del mismo o viene cambiada durante la realización. Esto suele pasar mucho en las fases de estudio de viabilidad, diseño, Procurement & Permitting y/o Commissioning; debido a todas las tramitaciones, licitaciones, negociaciones que conllevan estas fases. Además, son muy difíciles de contabilizar y de registrar de una manera uniforme.



Con lo cual, la extracción de información en estos casos proviene directamente a través de reuniones con la opinión del experto o *process owner*, que estableciendo ciertos parámetros y dejando claros las tipologías de riesgos operacionales más importantes durante la ejecución en las diferentes fases del proyecto, se puede obtener la frecuencia, impacto medio e impacto máximo. Esta manera es claramente más subjetiva que un histórico de datos, pero por ello la información se extrae de las personas directamente partícipes en los proyectos que conocen de primera mano los riesgos y las causas que los provocan, así como la frecuencia de ocurrencia de los mismos y el impacto que tienen en el proyecto (tanto económico como temporal).

#### 4.3.3 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN REGISTRADA

---

Si la información la información registrada está en el formato anterior: fechas y sobre-costes; el tratamiento a llevar a cabo es el siguiente:

- **Retrasos:** sabiendo las fechas de cronograma con respecto las fechas de realización real de los hitos del proyecto, se pueden sacar las desviaciones en la planificación, interesándonos solamente las desviaciones que han producido un retraso en la ejecución del proyecto. Estas deben de estar justificadas y asociadas a una incidencia que explique la causa original del retraso, para poder asociarla a un riesgo operacional de la taxonomía y poder aplicar la metodología.
- **Sobrecostes:** de la misma manera, sabiendo el coste total planificado (con el coste incurrido al cliente) con el coste total incurrido, se pueden establecer si ha habido sobrecostes o no durante las diferentes fases de ejecución del proyecto. Sabiendo la causa (en el caso que sea así) se puede asociar a una tipología de riesgo operacional de la taxonomía, aplicando así posteriormente la taxonomía.

A partir de la recogida de este tipo de información, se podría aplicar directamente el siguiente método del siguiente apartado.

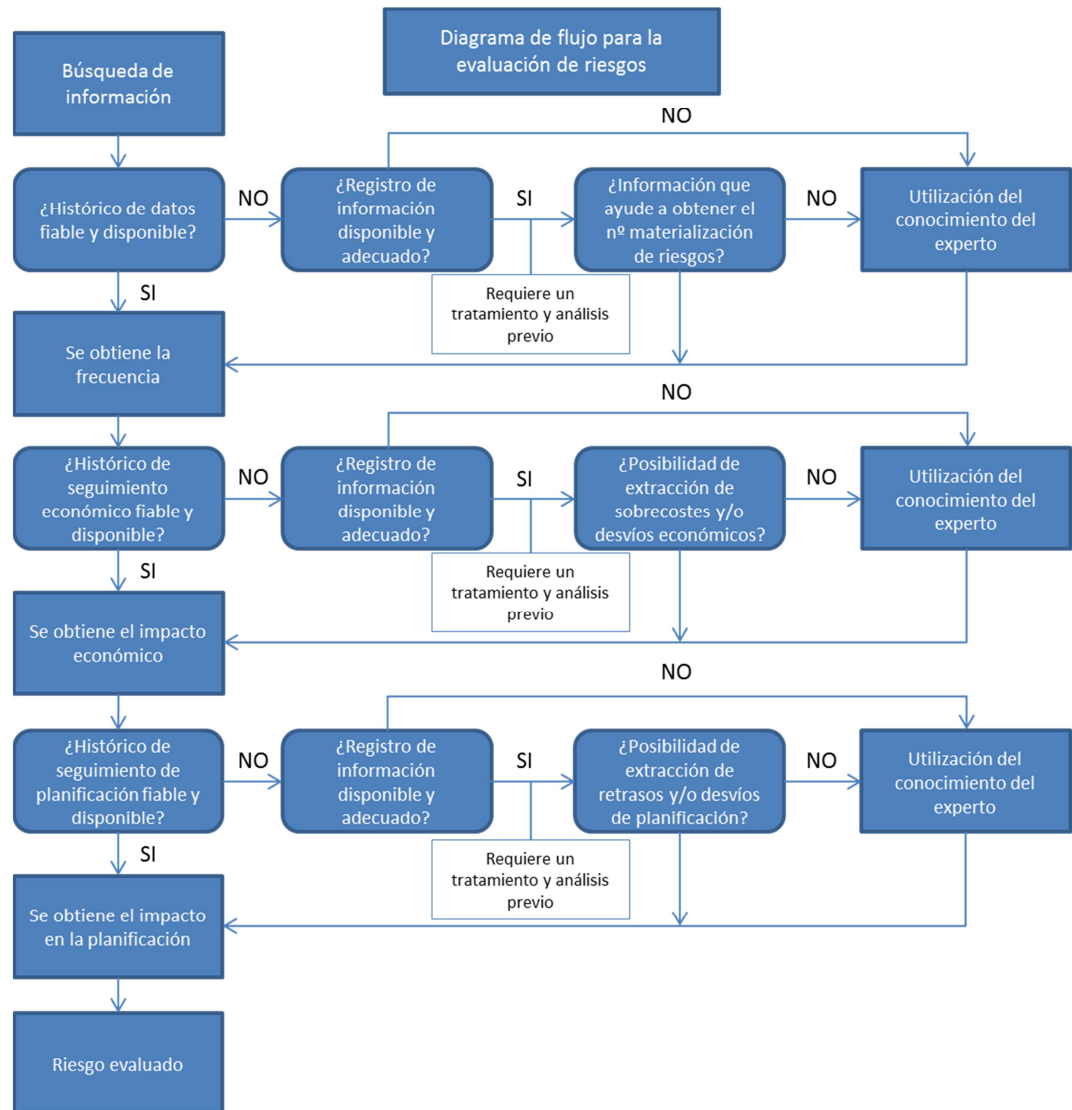


#### **4.3.4 METODOLOGÍA PARA APLICAR LA INFORMACIÓN**

---

Con lo cual con la información disponible y/u obtenida mediante el criterio experto, hay que obtener los datos necesarios para elaborar un caso:

- Frecuencia: es necesario saber cuántas veces en un periodo de tiempo determinado se producen los diferentes riesgos operacionales en la totalidad del proyecto.
- Severidad económica: para cada tipo de materialización de riesgo se requiere de un importe medio y de un importe máximo (asociado a un percentil que se negocia con el cliente, suele ser 95 o 99%) para el cálculo de una distribución que se ajuste a ambos.
- Severidad de planificación: lo mismo que en la severidad económica pero referida a desviación (retraso o *delay*) de la planificación.



*Figura 13. Diagrama de flujo para obtener la información*

En el diagrama de la Figura 13 se muestra el diagrama de flujo en el que se muestran los pasos que hay que seguir para poder llegar a aplicar la metodología. Se plantea desde el caso ideal en el que se tiene de un histórico de datos con la frecuencia de los eventos y con el historial del impacto económico de los mismos.

Inicialmente se comprueba si hay un registro de la frecuencia de los eventos de materialización de riesgos operacionales. Si no hay un histórico de datos que contenga ese registro de forma directa hay que examinar que información disponible hay en el formato según lo comentado en el 4.3.2.2, para poder



obtener la frecuencia con un estudio adicional. Si tampoco se tiene un registro de los eventos que producen sobrecostes o retrasos durante el proyecto de manera indirecta, se tiene que recurrir directamente a la opinión del experto.

Tras haber obtenido la frecuencia, hay que obtener la severidad del impacto, ya sea en forma de retraso con respecto a la planificación y/o coste adicional. Para ello, se sigue el proceso análogo comentado para obtener la frecuencia. Primero se confirma si hay un histórico de impacto económico y/o de planificación de los incidentes. En el caso que no sea así, se observa que información registrada en el formato mencionado en la sección 4.3.2.1, para poder analizarla y obtener dicha información tras un análisis adecuado. En el caso que tampoco se disponga de esta información, hay que recurrir directamente a la opinión del experto.

Hay que tener en cuenta que puede haber costes que no estén recogidos tanto en los históricos como en la información registrada, teniendo que añadirlos pertinentemente antes de aplicar la metodología.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



## Capítulo 5 CASO PRÁCTICO

### 5.1 INTRODUCCIÓN

---

---

En esta sección se plantea un caso práctico, en el cual se aplica la metodología de gestión de riesgos operacionales en el sector energético, aplicado en un proyecto de Infraestructura Energética y otro de Alumbrado Público.

Primero se presenta la definición y alcance del caso, en el que se plantea y se da una contextualización sobre la empresa ficticia, introduciendo y explicando los tipos de proyectos a analizar y sus procesos (ya comentados en la sección 3.4), así como un ejemplo de taxonomía de riesgos que se utiliza en este sector.

Después, se modelan los riesgos que son más significativos en cada proyecto, especificando el proceso mediante el cual se obtiene la frecuencia de materialización, impacto económico y/o de planificación de los mismos.

En la sección posterior se lleva a cabo un análisis de los resultados de las simulaciones de Montecarlo, siempre a nivel proyecto, y se extraen los resultados y las conclusiones pertinentes del caso, en otros similares o del mismo sector energético, aplicables a proyectos reales.

Se recuerda que la información utilizada a través de Management Solutions es de carácter confidencial, con lo cual datos de localizaciones se modificarán y las cifras se les aplica un factor entre [0,5; 1,75].

### 5.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE

---

---

El caso que práctico que se plantea es el siguiente: se presentan dos proyectos de diferente tipología, uno de Infraestructura energética y otro de Alumbrado



Público, mirando y evaluando los riesgos más importantes que aparecen en cada uno de los tipos. En el primero se verá el caso cuando no hay un histórico de datos, aunque si hay información disponible que necesita un estudio y tratamiento previo, teniendo que aplicar un tratamiento de datos para obtener los parámetros necesarios y una posterior revisión de los datos mediante el criterio experto. En el proyecto de Alumbrado Público se obtienen los parámetros directamente a través del criterio de los expertos, ya que no tienen ni siquiera un registro información que ayuda a obtener los parámetros necesarios, basándose en su experiencia.

La empresa que lleva a cabo estos proyectos, denominada Energrid<sup>19</sup>, se dedica tanto ejecución de la inversión, construcción e instalación y a la operación y mantenimiento de activos físicos de infraestructuras energéticas y de suministro de energía lumínica, destacando en los sectores de generación, distribución y comercialización de la energía eléctrica, así como la venta de nuevos productos relacionados con el sector energético y eléctrico. Hay que recalcar que la empresa subcontrata a constructores e instaladores, ya que la empresa no tiene el personal cualificado para llevar a cabo esas tareas.

Para ello se presentan en este apartado los dos proyectos representativos en cada modalidad, explicando las diferentes fases de los mismos. Además, se muestra la taxonomía de los diferentes riesgos con la cual se afrontan proyectos de este sector.

### **5.2.1 PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA**

---

Se pretende llevar a cabo la evaluación de riesgos de un proyecto de Infraestructura Energética, que suele conllevar las problemáticas más recurrentes en proyectos de este tipo de sector, llevado a cabo en España, concretamente en Galicia<sup>20</sup>. Este proyecto trata sobre el diseño e instalación de una subestación de Alta Tensión (66 kV/20 kV) para un parque eólico. Es un proyecto con tipo de

---

<sup>19</sup> Nombre ficticio

<sup>20</sup> Por motivos de confidencialidad la localización del proyecto no coincide con la real



contrato Turn-Key<sup>21</sup> en el que el cliente te paga según la consecución de ciertos hitos.

Las fases y procesos que se llevan a cabo dentro de un proyecto de esta tipología se muestran en la Figura 14.

Las principales problemáticas del proyecto fueron las siguientes:

- La duración teórica del proyecto en la pre-oferta era bastante menor a la del diseño en la firma final. Además incluso se produjeron otras situaciones que llevó a ulteriores retrasos.
- Hubo muchos sobrecostes sobre todo en la fase de ejecución, debido a la reestructuración del parque eólico que tuvo que llevarse a cabo para poder instalar la nueva subestación.
- Hubo retrasos considerables con las entregas de aparataje y de los transformadores, debido a problemas con proveedores y terceros, debido a la modalidad de contrato que estaba vigente con ellos y que no era la adecuada para este proyecto.

---

<sup>21</sup> Llave en mano



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---

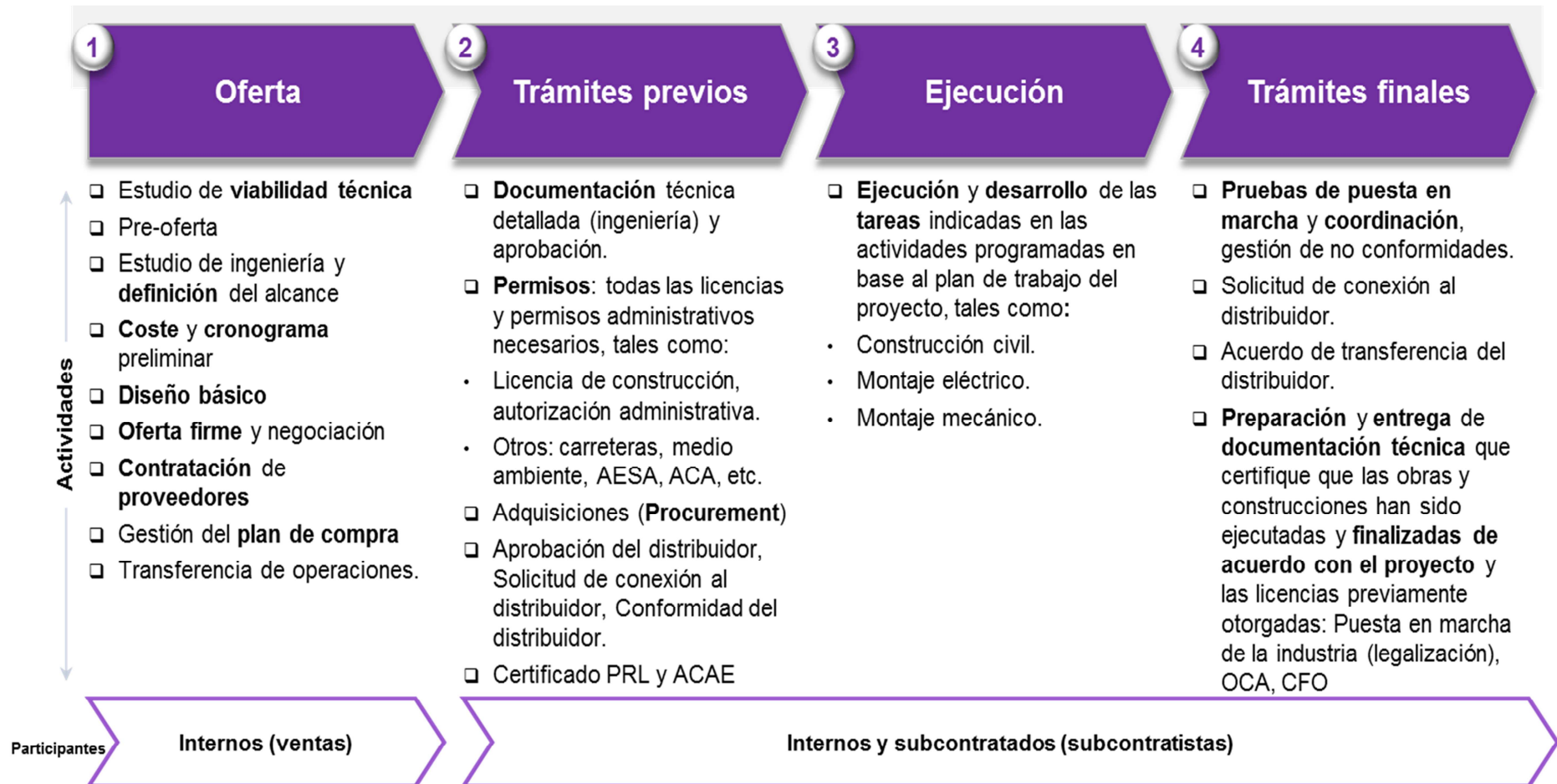


Figura 14. Procesos dentro de un proyecto de Infraestructura Energética



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



## 5.2.2 PROYECTO DE ALUMBRADO PÚBLICO

---

Se lleva a cabo la evaluación de riesgos de un proyecto de Alumbrado Público, específicamente de la construcción e instalación de la estructura luminosa de suministro de luz y de la operación y mantenimiento de un ayuntamiento en Italia, concretamente el de Bologna<sup>22</sup>.

El tipo de contrato es de Turn-Key más Gestión Integrada, en el cual el cliente (el Ayuntamiento) cede los derechos de las estructuras e instalaciones que la empresa Energrid remodela, para así poder mediante la gestión de energía poder tener beneficios a través del ahorro energético planificado en la factura de la luz. Además, la empresa se ocupa de las labores de Operación & Mantenimiento durante 10 años, siendo desde la fase de diseño y negociación hasta la de O&M de una duración total de 11 años.

Las principales problemáticas de este proyecto fueron las siguientes:

- El ahorro energético establecido no era el adecuado, con lo cual eso produjo una disminución del beneficio del ahorro establecido, incurriendo en pérdidas en algunos años.
- Debido a factores externos y de la mala manutención previa de las instalaciones, hubo que llevar a cabo más reparaciones no programadas que no estaban previstas en el contrato.
- Durante la etapa de construcción hubo retrasos por temas de licencias y de una planificación mal ejecutada.

En la Figura 15 se muestran los procesos que generalmente conllevan un proyecto de Alumbrado Público.

---

<sup>22</sup> Por motivos de confidencialidad la localización del proyecto no coincide con la real



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---

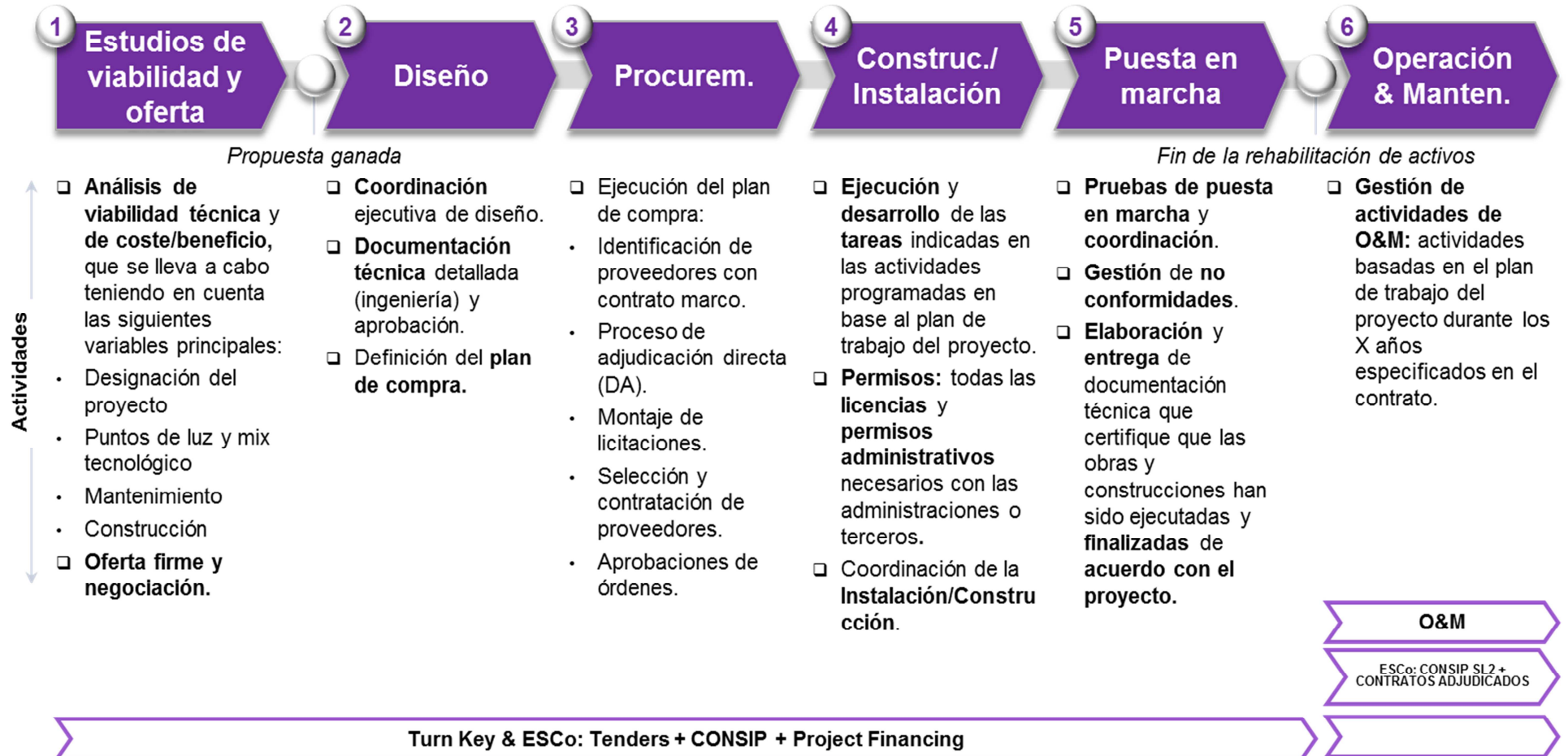


Figura 15. Procesos dentro de un proyecto de Alumbrado Público



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



---

### 5.2.3 TAXONOMÍA DE RIESGOS

---

La taxonomía de riesgos operacionales que se ha utilizado para analizar los proyectos es la siguiente:

**1. Ejecución:** El riesgo operacional en la ejecución de los procesos de la empresa. Esto incluye la planificación y el desarrollo de proyectos, la operación y el mantenimiento de los activos en servicio, así como los procesos de apoyo.

**1.1. Planificación y desarrollo:** riesgo asociado a la gestión de proyectos, considerando tanto las decisiones de inversión como la ejecución y desarrollo de los proyectos. Se incluyen los riesgos asociados a la fase de tramitación del proyecto con la administración competente.

**1.1.1. Planificación:** los riesgos asociados a la fase de ingeniería de los proyectos a emprender, la definición incorrecta de la planificación o estimación de los esfuerzos necesarios, los cambios de alcance que puedan existir en el proyecto, su falta de funcionalidad durante la ejecución del proyecto o ya finalizado, su viabilidad técnica y los riesgos de diseño/ingeniería.

*1.1.1.1. Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos:* riesgos asociados a la incorrecta definición del plan de ejecución y/o a la incorrecta estimación de los esfuerzos necesarios para la ejecución de las obras (incluyendo estimación de plazos, recursos, costes, remuneración, sinergias en la planificación, etc.).

*1.1.1.2. Cambio de alcance:* riesgo asociado a la modificación del alcance inicial estimado en un proyecto no relacionado con fallos en la estimación inicial.

*1.1.1.3. Cambio de funcionalidad:* Riesgo asociado con la falta de funcionalidad de un proyecto en curso o terminado.



*1.1.1.4. Viabilidad técnica:* riesgo asociado a la inviabilidad de un proyecto por razones técnicas (imposibilidad de implementación de una tecnología en particular, falta de disponibilidad de la tecnología, tecnología innovadora o inmadura, obsolescencia de la tecnología, etc.).

*1.1.1.5. Diseño/Ingeniería:* riesgos asociados a la existencia de errores de diseño, dado un alcance, que pueden dar lugar a retrasos en la planificación, sobrecostes, reelaboraciones, rediseños, etc.

1.1.2. Procedimientos: riesgos asociados a la fase de tramitación del proyecto ante la administración competente. Se incluye la tramitación ambiental y administrativa del proyecto.

*1.1.2.1. Licencias medioambientales:* riesgo derivado de un retraso significativo o de la denegación de licencias o permisos ambientales, con los consiguientes retrasos.

*1.1.2.2. Licencias administrativas:* el riesgo derivado de un retraso significativo o de la denegación de autorizaciones (permisos, licencias, etc.) por parte de las entidades públicas y privadas competentes, con los consiguientes retrasos.

*1.1.2.3. Otras licencias:* riesgo de que se produzcan retrasos significativos o de que terceros, públicos o privados, denieguen la autorización necesaria para proceder a la ejecución, con los consiguientes retrasos.

1.1.3. Ejecución y desarrollo: riesgos asociados a la ejecución y desarrollo de proyectos que pueden implicar desviaciones de coste y tiempo.

*1.1.3.1. Errores de ejecución:* riesgos asociados a la posibilidad de que se produzcan errores durante la ejecución del proyecto (sólo son causados por factores humanos de la empresa).

*1.1.3.2. Ubicación:* riesgos asociados a las características del emplazamiento en el que se van a realizar las obras, como la



existencia y adecuación de los accesos, las condiciones del subsuelo, los servicios afectados por el proyecto, la contaminación del suelo, el riesgo de hallazgos arqueológicos, etc., así como los riesgos asociados a la indisponibilidad de los terrenos.

*1.1.3.3. Coordinación:* riesgos asociados a las necesidades de coordinación, tanto internas como externas, tales como fallos en la comunicación interdepartamental.

*1.1.3.4. Factores de producción:* riesgos asociados a la inadecuación o no disponibilidad de estos factores, que requieren un aumento de la mano de obra, los materiales, los equipos o debido a un aumento del precio de la electricidad o a variaciones en otros factores.

*1.1.3.5. Rendimiento:* riesgos asociados al incumplimiento de las especificaciones de funcionamiento definidas en los documentos de funcionamiento de los equipos o asociados a la falta de funcionamiento preestablecido.

**1.2. Procesos de soporte:** riesgos asociados a la incertidumbre sobre posibles actuaciones arbitrarias que puedan ser realizadas por las Administraciones Públicas o cualquier tipo de conflicto geopolítico que pueda afectar negativamente a la Compañía. Esto incluye los riesgos asociados a posibles expropiaciones, nacionalizaciones y, en general, una situación de inestabilidad política.

1.2.1. Aprovevisionamiento: riesgos operativos asociados al proceso de adquisición. Definición incorrecta o inexistencia del plan de compra, retrasos en la recepción que pueden dar lugar a costes adicionales y/o retrasos.

1.2.2. Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos: riesgos asociados a la ejecución y control presupuestario de un proyecto y a errores y retrasos en la ejecución de transacciones económicas, facturación, cobros y pagos.



1.2.3. Control de calidad y diseño: riesgo derivado de la desviación de los estándares y normas de calidad asumido por la empresa en cualquier fase del proyecto.

**1.3. Proveedores:** riesgos asociados a los retrasos en la recepción debidos a causas asociadas al proveedor o a la inadaptación de los materiales recibidos a la norma exigida, lo que podría poner en duda su fiabilidad. Se incluye el abandono del proyecto por parte del proveedor.

1.3.1. Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado: riesgos asociados a situaciones en las que no es posible adquirir el bien/servicio debido a situaciones de escasez, falta de desarrollo del mercado o falta de disponibilidad de la oferta. Se incluye el caso de huelgas en sectores o proveedores de servicios en los que no es posible encontrar un suministro alternativo (por ejemplo, indisponibilidad de materias primas, bienes o servicios debido al incumplimiento de proveedores individuales o indisponibilidad de materias primas de calidad adecuada para el programa de producción).

1.3.2. Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios: riesgos asociados a los costes adicionales o a la interrupción del servicio debido a la mala calidad de los bienes entregados o de los servicios prestados por un proveedor o a la discontinuidad en colaboración con un proveedor (por ejemplo, por resolución unilateral del acuerdo, estado de insolvencia, etc.).

1.3.3. Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas: riesgos asociados a las responsabilidades que Energrid tendría que asumir por las actuaciones realizadas por proveedores y contratistas que excedan las responsabilidades asumidas por el contrato establecido o por la legislación vigente.

**2. Daños en activos físicos:** riesgo asociado con el daño a los activos físicos y que implica la reparación y/o reemplazo, ya sea durante la construcción,



operación o mantenimiento. Esto incluye los daños causados por fenómenos naturales, fallos en los equipos, falsas maniobras, falta de fiabilidad o catástrofes naturales. Se excluyen los daños debidos a ataques intencionados.

**2.1. Agentes atmosféricos o externos:** riesgo asociado a daños o incidentes en los bienes en construcción, operación o mantenimiento de la empresa derivados de lluvia, inundación, tormenta, nieve, hielo, granizo, niebla, viento, contaminación, etc. o derivados de animales, árboles, movimientos de tierra (no considerados terremotos), etc. Quedan excluidas las catástrofes naturales.

**2.2. Fallos de equipos:** riesgo asociado a daños o incidentes en los activos en construcción, operación o mantenimiento de la empresa derivados de fallas de equipos o materiales, corrosión, defecto de diseño o montaje.

**2.3. Capacidad/confiabilidad:** riesgo asociado a la propia capacidad y fiabilidad de los activos en construcción, operación o mantenimiento de la empresa.

**2.4. Falsas maniobras:** riesgo asociado a acciones incorrectas sobre los elementos del panel de control de la instalación (puede ser por acciones de transporte u operación).

**3. Personas y organización:** riesgos relacionados principalmente con el entorno en el que se desarrollan las actividades y la seguridad de las personas que trabajan en ellas.

**3.1. Salud, higiene y seguridad:** riesgos asociados a las condiciones específicas de salud, higiene y seguridad en el trabajo, tanto para los empleados de Energrid como para los contratistas. Esto incluye los riesgos asociados con la seguridad de las instalaciones, máquinas y equipos, asociados con la exposición a enfermedades, epidemias, etc. Esto incluye también los riesgos asociados a los atentados contra las personas, a los actos de violencia o incluso a los terroristas, así como a la seguridad del transporte (incluidos los accidentes en los que se ven implicados vehículos terrestres, como los proveedores de materiales, el transporte de personas, etc.).



**3.2. Relaciones laborales y sindicales:** Riesgos asociados al entorno laboral y a la gestión de las relaciones de la empresa con los empleados y/o entre empleados. Se incluyen los riesgos asociados al grado de conflicto laboral (incluyendo paros voluntarios y/o huelgas).

**3.3. Disponibilidad e idoneidad de las personas:** riesgos asociados al tamaño de la estructura organizativa de la empresa (de cualquier unidad corporativa o de negocio), gestión del conocimiento, formación, disponibilidad de perfiles de talento y retención, así como problemas de comunicación interna. Se incluyen los riesgos asociados a la falta de disponibilidad del número de personas necesarias para las tareas pendientes en función del dimensionamiento estimado, así como los asociados a la inadecuación de los perfiles disponibles para la ejecución de los procesos de apoyo o a la inexistencia de los perfiles requeridos.

**4. Sistemas:** riesgos operativos relacionados con los sistemas de la empresa, incluyendo su disponibilidad (por fallos en los sistemas de Energrid) y su ciberseguridad (por posibles ataques y manipulaciones, a través de Internet, a los sistemas de Energrid).

**4.1. Disponibilidad de los sistemas:** Riesgos asociados a la indisponibilidad por fallos en los sistemas de Energrid u otras posibles causas como la obsolescencia, la gestión inadecuada de los cambios, etc.

**4.2. Seguridad e integridad de los sistemas:** riesgos asociados a posibles ataques y manipulaciones de los sistemas de Energrid a través de Internet, relacionados con el acceso no autorizado o la publicación de datos confidenciales/sensibles.

**5. Fraude:** riesgos asociados con la concurrencia de fraude o actividades no autorizadas que involucren a agentes externos o al menos a un empleado de la compañía (agentes internos).

**5.1. Fraude interno:** riesgos asociados con pérdidas como resultado del incumplimiento intencional de las políticas internas de la empresa o de prácticas internas no autorizadas. Esto incluye los riesgos asociados con el uso de información privilegiada o confidencial por parte del personal



interno de la empresa, así como las transacciones cerradas en situaciones de conflicto de intereses.

**5.2. Fraude externo:** riesgo de fraude o actividades no autorizadas que no involucren a ningún empleado de la empresa, tales como robo, vandalismo, sabotaje, extorsión, etc.

## **6. Compliance**

**6.1. Legislación aplicable:** riesgos asociados a incumplimientos normativos y legales (normativa medioambiental, normativa contable y fiscal, etc.). Este riesgo incluye los posibles costes asociados a las sanciones por incumplimiento de las leyes y reglamentos, o los derivados de la materialización de eventos operativos (daños ambientales, daños a terceros, fugas de información confidencial, salud, higiene y seguridad en el trabajo, etc.). Esto incluye el cumplimiento de las normas técnicas, ambientales y de otro tipo, tales como la actividad económico-financiera y fiscal, laboral e internacional.

**6.2. Reglamento interno:** riesgos asociados al incumplimiento de las obligaciones contenidas en el reglamento interno de la empresa (normas, políticas y procedimientos, por ejemplo, procedimiento de contratación, procedimiento de diligencia debida, etc.). Este riesgo incluye el incumplimiento del Código de Ética de la Compañía o de los principios de RSE.

**6.3. Contractuales:** riesgos relacionados con el incumplimiento de obligaciones con la Administración Pública o con terceros en base a legislación y/o acuerdos contractuales que puedan afectar a la cuenta de resultados, a su valor patrimonial o a la consecución de los objetivos de la empresa, así como a posibles sanciones legales y/o penales.

En la Figura 16 se muestra en la taxonomía de riesgos en formato reducido.



*Figura 16. Taxonomía de riesgos aplicada*

### 5.3 MODELADO

En este apartado se modelan todos los parámetros necesarios en cada proyecto para poder analizar el impacto de los riesgos en los proyectos, partiendo de una situación diferente según la información disponible al empezar.

#### 5.3.1 MODELADO EN INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

En este apartado se pretende modelizar la frecuencia (ya sea en un número entero de materializaciones o probabilidad de ocurrencia), impacto económico y/o de planificación de los riesgos operacionales materializados de un proyecto de Infraestructura Energética, concretamente una subestación de Alta Tensión de un parque eólico, llevado a cabo por Energrid.

Como se explica en el apartado 2.6.2, si hubiese un histórico de eventos fiable y suficiente con los desvíos de coste y/o plazo se asociarían directamente a la



taxonomía de riesgos apuntando los parámetros a simular para ver el impacto de los riesgos en el proyecto.

Como sucede en este caso práctico, no la información no viene en ese formato, con lo cual hay que ver qué tipo de información se tiene a disposición, y ver si es suficiente y fiable para poder modelizar los parámetros necesarios. En caso de que no lo fuera, hay que recurrir al criterio experto para la revisión final de la calidad del dato, para poder ejecutar la metodología de cuantificación.

### ***5.3.1.1 Análisis y tratamiento de la información disponible***

#### **5.3.1.1.1 Planificación**

En Energrid se hace un registro de la planificación teórica y de la planificación real, es decir, el seguimiento de planificación de las fases de trámites previos, ejecución y trámites finales; así como de las tareas de cada fase.

Según medias históricas de Energrid la duración de las fases registrada en la base de datos es la siguiente:

- Plazo Trámites Previos: 60 días<sup>23</sup>
- Plazo Ejecución: 90 días
- Plazo Trámites Finales: 30 días

Después, Energrid planteó que los plazos de las fases del cronograma de las operaciones son las siguientes visto el proyecto:

- Plazo Trámites Previos: 74 días
- Plazo Ejecución: 138 días
- Plazo Trámites Finales: 38 días

---

<sup>23</sup> Los días incluyen tanto días intra-semanales laborales (lunes a viernes) como fines de semana y festivos.



En la Tabla 1 se muestran las fechas de inicio y final previstas de las tres fases mencionadas, así como su las fechas de inicio y final reales, mostrando la duración de tanto de las previstas inicialmente como de las reales.

En la Tabla 2 se muestran las fechas de inicial y final de cronograma, prevista y real de las distintas tareas registradas en el proyecto dentro de las distintas fases.

En la Tabla 3 se muestran sus duraciones.

De la extracción de información de las bases de datos se puede ver lo siguiente:

- De las distintas fases y tareas se pueden deducir los desvíos en la planificación con respecto a las fechas reales, previstas y de cronograma, pudiendo deducir el impacto en desviación temporal.
- No obstante, no vienen registradas las causas o los eventos que han provocado dichos desvíos, teniendo que recurrir al criterio de los expertos para poder modelizar el impacto de los riesgos en un proyecto de este tipo. Además, según los mismos la calidad de los datos no es suficiente para poder modelizar los riesgos de manera adecuada, de ahí la importancia de la aportación de los expertos.

\* PSS: Plan de Seguridad y Salud

\* CFO: Certificado de Final de Obra



<i>Planificación</i>	<i>Planificación teórica (días)</i>	<i>Fecha inicio prevista</i>	<i>Fecha fin prevista</i>	<i>Duración prevista (días)</i>	<i>Fecha inicio real</i>	<i>Fecha fin real</i>	<i>Duración real (días)</i>
<i>Trámites Previos</i>	74	09/05/2016	21/11/2016	192	09/05/2016	30/11/2016	201
<i>Ejecución</i>	138	24/06/2016	20/02/2017	236	24/06/2016	03/04/2017	279
<i>Trámites finales</i>	38	13/02/2017	21/07/2017	158	20/02/2017	29/09/2017	219
<i>Duración total</i>	250	-	-	586	-	-	699

Tabla 1. Fechas de cronograma genéricas



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

*CASO PRÁCTICO*

<i>Fase</i>	<i>Tipología de tarea</i>	<i>Nombre tarea</i>	<i>Tarea Precedente</i>	<i>F. Inicio Cronograma</i>	<i>F. Fin Cronograma</i>	<i>F. Inicio Prev.</i>	<i>F. Fin Prev.</i>	<i>F. Inicio Real</i>	<i>F. Fin Real</i>
<b>Trámites Previos</b>	Permisos Otros	Validación documental estándares ingeniería	-	09/05/2016	26/05/2016	09/05/2016	26/05/2016	09/05/2016	26/05/2016
	Autorización Administrativa Industria	Autorización Administrativa	Validación documental estándares ingeniería	26/05/2016	24/06/2016	26/05/2016	24/06/2016	26/05/2016	24/06/2016
	Redacción PSS	Redacción PSS	-	09/06/2016	22/07/2016	09/06/2016	22/07/2016	09/05/2016	08/09/2016
	Suministro/Entrega Equipos Entrega aparamenta	Entrega aparamenta	-	17/06/2016	05/09/2016	17/06/2016	04/11/2016	17/06/2016	30/11/2016
	Suministro/Entrega Equipos	Entrega transformador	-	17/06/2016	02/11/2016	17/06/2016	21/11/2016	17/06/2016	30/11/2016
<b>Ejecución</b>	Obra Civil	Cimentaciones y Obra Civil	Autorización Administrativa	22/09/2016	23/09/2016	24/06/2016	18/07/2016	24/06/2016	18/07/2016
	Otros (Ejecución)	Trabajos electromecánicos	Entrega aparamenta	02/11/2016	02/01/2017	02/11/2016	20/02/2017	30/11/2016	03/04/2017
<b>Trámites Finales</b>	CFO	CFO	-	18/07/2016	25/07/2016	13/02/2017	20/06/2017	20/02/2017	27/06/2017
	Puesta en Marcha Industria	Puesta en Marcha	CFO	25/07/2016	25/08/2016	20/06/2017	21/07/2017	27/06/2017	29/09/2017

*Tabla 2. Fechas tareas del proyecto*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

*CASO PRÁCTICO*

<i>Fases/Duración</i>	<i>Tipología de tarea</i>	<i>Nombre tarea</i>	<i>Tarea Precedente</i>	<i>Duración Cronograma</i>	<i>Duración prevista</i>	<i>Duración real</i>	<i>Retraso</i>
<i>Trámites Previos</i>	Permisos Otros	Validación documental estándares ingeniería	-	17	17	17	No
	Autorización Administrativa Industria	Autorización Administrativa	Validación documental estándares ingeniería	28	28	28	No
	Redacción PSS	Redacción PSS	-	43	43	119	Sí
	Suministro/Entrega Equipos Entrega aparamenta	Entrega aparamenta	-	78	137	163	Sí
	Suministro/Entrega Equipos	Entrega transformador	-	135	154	163	Sí
<i>Ejecución</i>	Obra Civil	Cimentaciones y Obra Civil	Autorización Administrativa	1	24	24	Sí
	Otros (Ejecución)	Trabajos electromecánicos	Entrega aparamenta	60	108	123	Sí
<i>Trámites Finales</i>	CFO	CFO	-	7	127	127	Sí
	Puesta en Marcha Industria	Puesta en Marcha	CFO	30	31	92	Sí

*Tabla 3. Duración de las tareas planificadas y reales*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



### 5.3.1.1.2 Seguimiento económico

De la información registrada en la base de datos de Energrid (mostrado en un formato reducido) son los precios de venta y de coste planificados en el diseño del proyecto, así como los solicitados cuando se firma el proyecto. Además, se registran los mismos valores cuando ya se ha llevado a cabo el proyecto, mostrándose simplemente los datos finales. A disposición también venían registrados los pagos de los diferentes hitos hacia Energrid por parte del cliente, como el desglose de los costes de materiales y licencias, trabajos de construcción e instalación llevados a cabo por subcontratistas.<sup>24</sup>

Con lo cual, también para asociar el impacto económico en proyectos de este tipo es necesario la aportación de los expertos, ya que los sobrecostes no vienen asociados con los eventos o causas que los provocan (que son clave para asociarlos a los riesgos de la taxonomía) y que la calidad de los datos registrados no son del todo correctos.

<i>Datos planificados</i>	<i>Datos solicitados</i>	<i>Datos reales</i>
<i>Venta proyecto planificado (€)</i>	<i>Venta proyecto solicitada (€)</i>	<i>Venta proyecto final (€)</i>
1.500.000	1.500.000	1.500.000
<i>Coste proyecto planificado (€)</i>	<i>Coste proyecto solicitado (€)</i>	<i>Coste proyecto final (€)</i>
1.428.600	1.430.000	1.499.000
<b>Margen sistema planificado (€)</b>	<b>Margen sistema solicitado (€)</b>	<b>Margen proyecto final (€)</b>
71.400	70.000	1.000

Tabla 4. Costes generales del proyecto

<sup>24</sup> No se muestra el desglose de precios por razones de confidencialidad.



### 5.3.1.2 Parametrización de los riesgos

Tras ver la información disponible, se determina que es necesaria la aportación del criterio experto<sup>25</sup> para llevar una adecuada parametrización del impacto económico y en plazo de los riesgos.

Cada riesgo se parametriza de la siguiente manera:

1. Se define si es un riesgo discreto, es decir, que ocurre un número de veces en un intervalo de tiempo definido (ya sea por semana, meses o años); o un riesgo singular, es decir, se define una probabilidad de ocurrencia que puede llevarse a cabo la materialización de dicho riesgo.
2. Impacto económico:
  - i. Impacto medio: es el valor del sobrecoste o desvío económico que conlleva al materializarse dicho riesgo en un escenario normal.
  - ii. Impacto máximo: es el valor del sobrecoste o desvío económico que conlleva al materializarse dicho riesgo en un escenario crítico o de *estrés*, que se suele asociar a un percentil del 95 o 99%.
3. Impacto en plazo:
  - i. Impacto medio: es el valor del retraso o desvío en plazo que conlleva al materializarse dicho riesgo en un escenario normal
  - ii. Impacto máximo: es el valor del s del retraso o desvío en plazo que conlleva al materializarse dicho riesgo en un escenario crítico o de *estrés*, que se suele asociar a un percentil del 95 o 99%.

En la Tabla 5 se refleja la parametrización de todos los riesgos del proyecto de Infraestructura Energética. Se toma como periodo de exposición la duración total del proyecto, es decir, 500 días.

Mediante el criterio experto, destacan los principales puntos:

- Los riesgos de mayor impacto económico son principalmente los de tipo 1.1 Planificación y desarrollo del proyecto, específicamente los de tipo

---

<sup>25</sup> Se obtiene la información mediante *workshops*



1.1.1 Planificación, que en principio son poco probables, pero tienen un gran impacto ya que conllevan grandes modificaciones en los proyectos en el diseño, estimación de esfuerzos e ingeniería que a su vez suponen un sobre coste en cuanto a personal y materiales; y de 1.1.3 Ejecución y desarrollo que son de menor impacto pero tienen una mayor probabilidad de ocurrencia. Los eventos asociados normalmente a este tipo de riesgos son mala planificación del proyecto, errores la ejecución durante la construcción/instalación, indisponibilidad de factores productivos, ya sean materiales o personal.

- En cuanto a impacto en plazo, los riesgos más significativos son aquellos de 1.1.2. Procedimientos, 1.2. Procesos de soporte y 1.3. Proveedores. Los riesgos pertenecientes a estos grupos conllevan grandes retrasos en los proyectos debido a la consecución de licitaciones administrativas, medioambientales y/u otras, procesos de aprovisionamiento, control de facturas y control de calidad hasta todos los temas relacionados con proveedores, desde retrasos y extensión de responsabilidades.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



Riesgos	Tipo	Frecuencia/Probabilidad de ocurrencia	Impacto Económico		Impacto en Plazo	
			Impacto Base (€)	Impacto Máximo (€)	Impacto Base (días)	Impacto Máximo (días)
1.1.1.1.Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos	Singular	5%	4.500	18.000	7	30
1.1.1.2.Cambio de alcance	Singular	10%	150.000	375.000	90	180
1.1.1.3.Cambio de funcionalidad	Singular	1%	750.000	1.500.000	180	360
1.1.1.4.Viabilidad técnica	Singular	1%	375.000	1.500.000	180	360
1.1.1.5.Diseño/Ingeniería	Singular	5%	150.000	300.000	45	120
1.1.2.1.Licencias medioambientales	Singular	20%	0	0	30	60
1.1.2.2.Licencias administrativas	Singular	40%	0	0	75	150
1.1.2.3.Otras licencias	Singular	20%	0	0	75	150
1.1.3.1.Errores de ejecución	Discreto	2 veces cada 12 meses	30.000	120.000	7	30
1.1.3.2.Ubicación	Singular	20%	75.000	150.000	15	60
1.1.3.3.Coordinación	Singular	20%	0	0	30	90
1.1.3.4.Factores de producción	Discreto	2 veces cada 12 meses	75.000	300.000	0	0



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

1.1.3.5.Rendimiento	Singular	1%	450.000	900.000	60	250
1.2.1.Aprovisionamiento	Discreto	1 vez cada dos meses	0	0	60	180
1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos	Singular	5%	3.000	12.000	7	30
1.2.3.Control de calidad y diseño	Singular	5%	15.000	30.000	0	0
1.3.1.Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado	Singular	1%	0	0	30	60
1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios	Singular	2%	150.000	675.000	30	90
1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas	Singular	0,1%	450.000	1.500.000	60	250
2.1.Agentes atmosféricos o externos	Discreto	1 vez cada 4 meses	0	0	7	30
2.2.Fallos en equipos	Singular	1%	0	0	3	12
2.3.Capacidad/confiabilidad	Singular	1%	0	0	15	60



2.4.Falsas maniobras	Singular	1%	0	0	5	15
3.1.Salud, higiene y seguridad	Discreto	1 vez cada 12 meses	0	0	2	7
3.2.Relaciones laborales y sindicales	Discreto	1 vez cada 4 años	0	0	7	30
3.3.Disponibilidad e idoneidad de las personas	Singular	2%	0	0	7	30
4.1.Disponibilidad de los sistemas	Discreto	1 vez cada 12 meses	0	0	2	7
4.2.Seguridad e integridad de los sistemas	Discreto	1 vez cada 12 meses	750	3000	2	7
5.1.Fraude interno	Singular	2%	7.500	30.000	0	0
5.2.Fraude externo	Discreto	2 veces cada 12 meses	7.500	30.000	7	30
6.1.Legislación aplicable	Singular	1%	75.000	300.000	60	250
6.2.Reglamento interno	Singular	0,1%	0	0	4	15
6.3.Contractuales	Singular	2%	30.000	120.000	0	0

Tabla 5. Taxonomía de riesgos de Infraestructura Energética



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



---

## 5.3.2 MODELADO EN ALUMBRADO PÚBLICO

---

### 5.3.2.1 *Análisis y tratamiento de la información disponible*

En cuanto a la información disponible para la parametrización y cuantificación de los riesgos de un proyecto de Alumbrado Público, concretamente en el Ayuntamiento de Bologna, es básicamente nula. Con lo cual, para el apartado de parametrización de los riesgos se aplica directamente el criterio experto<sup>26</sup>.

### 5.3.2.2 *Parametrización de los riesgos*

En este apartado se muestra en la Tabla 6 la parametrización de los riesgos. En este proyecto hay que estudiar los riesgos en dos partes. Como en el proyecto de Infraestructura Energética hay que parametrizar los riesgos desde la fase de Viabilidad hasta la de Puesta en Marcha, es decir, conllevaría toda la construcción e instalaciones de las estructuras lumínicas del Ayuntamiento de Bologna, específicamente en la zona central. La segunda parte conlleva la parametrización de los riesgos durante la fase de Operación y Mantenimiento, en la cual la Energrid pretende, mediante el ahorro energético estudiado previamente, conseguir beneficios durante esta fase. El coste total del proyecto es de 1.200.000 € y la duración de la fase de Construcción es de 1 año y la de Operación y Mantenimiento es de 10 años.

En cuanto a la parametrización de los riesgos:

- En la fase de Construcción a priori los riesgos que tienen un mayor impacto económico y en plazo son los mismos que en el de la tipología de Infraestructura Energética.
- En la fase de Operación y Mantenimiento, se reflejan solamente los riesgos principalmente de 1. Ejecución, en el tema de Mantenimiento de los activos construidos/instalados, incluyendo riesgos de 1.1.1. Planificación, 1.1.3. Ejecución y desarrollo, 1.2. Procesos de soporte, 1.3.

---

<sup>26</sup> Se obtiene la información mediante *workshops*



Proveedores, 5. Fraude y 6.3 Contractuales. Estos conllevan solamente un posible impacto económico, ya que la materialización de los mismos suelen estar asociados a eventos tipo de reparaciones no programadas y/o no bien llevadas a cabo, ahorro energético mal diseñado que conlleva una reducción del beneficio o incluso pérdidas, etc.



Riesgos	Tipo	Frecuencia/Probabilidad de ocurrencia	Impacto Económico		Impacto en Plazo	
			Impacto Base (€)	Impacto Máximo (€)	Impacto Base (días)	Impacto Máximo (días)
1.1.1.1.Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos	Singular	5%	3.600	14.400	7	30
1.1.1.2.Cambio de alcance	Singular	10%	120.000	300.000	90	180
1.1.1.3.Cambio de funcionalidad	Singular	1%	600.000	1.200.000	180	360
1.1.1.4.Viabilidad técnica	Singular	1%	300.000	1.200.000	180	360
1.1.1.5.Diseño/Ingeniería	Singular	5%	120.000	240.000	45	120
1.1.2.1.Licencias medioambientales	Singular	20%	0	0	30	60
1.1.2.2.Licencias administrativas	Singular	40%	0	0	75	150
1.1.2.3.Otras licencias	Singular	20%	0	0	75	150
1.1.3.1.Errores de ejecución	Discreto	1 vez cada año	24.000	96.000	7	30
1.1.3.2.Ubicación	Singular	20%	60.000	240.000	15	60
1.1.3.3.Coordinación	Singular	20%	0	0	30	90
1.1.3.4.Factores de producción	Discreto	1 vez cada año	60.000	240.000	0	0



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

1.1.3.5.Rendimiento	Singular	1%	360.000	720.000	60	250
1.2.1.Aprovisionamiento	Singular	60%	0	0	60	180
1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos	Singular	5%	2.400	9.600	7	30
1.2.3.Control de calidad y diseño	Singular	5%	12.000	24.000	0	0
1.3.1.Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado	Singular	1%	0	0	30	60
1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios	Singular	2%	120.000	540.000	30	90
1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas	Singular	0,1%	360.000	1.200.000	60	250
2.1.Agentes atmosféricos o externos	Discreto	1 vez cada año	0	0	7	30
2.2.Fallos en equipos	Singular	1%	0	0	3	12
2.3.Capacidad/confiabilidad	Singular	1%	0	0	15	60



2.4.Falsas maniobras	Singular	1%	0	0	5	15
3.1.Salud, higiene y seguridad	Discreto	1 vez cada año	0	0	2	7
3.2.Relaciones laborales y sindicales	Discreto	1 vez cada 4 años	0	0	7	30
3.3.Disponibilidad e idoneidad de las personas	Singular	2%	0	0	7	30
4.1.Disponibilidad de los sistemas	Discreto	1 vez cada año	0	0	2	7
4.2.Seguridad e integridad de los sistemas	Discreto	1 vez cada año	600	2.400	2	7
5.1.Fraude interno	Singular	0,1%	6.000	24.000	0	0
5.2.Fraude externo	Discreto	24 veces cada año	6.000	24.000	7	30
6.1.Legislación aplicable	Singular	1%	60.000	240.000	60	250
6.2.Reglamento interno	Singular	0,1%	0	0	4	15
6.3.Contractuales	Singular	2%	24.000	96.000	0	0

Tabla 6. Taxonomía de riesgos de Alumbrado Público de la construcción



Riesgos	Tipo	Frecuencia/Probabilidad de ocurrencia	Impacto Económico	
			Impacto Base (€)	Impacto Máximo (€)
1.1.1.1.Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos	Singular	0,1%	3.600	14.400
1.1.1.3.Cambio de funcionalidad	Singular	5%	90.000	300.000
1.1.3.1.Errores de ejecución	Discreto	2 vez cada año	3.840	11.520
1.1.3.4.Factores de producción	Discreto	1 vez cada año	79.200	162.000
1.1.3.5.Rendimiento	Singular	1 vez cada 2 años	76.800	192.000
1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos	Singular	5%	2.400	9.600
1.2.3.Control de calidad y diseño	Discreto	1 vez cada 2 años	3.600	10.800
1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios	Discreto	1 vez cada 2 años	18.000	81.000
1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas	Singular	0,1%	360.000	1.200.000
2.1. Agentes atmosféricos o externos	Discreto	2 veces cada 1 año	6.000	18.000
2.2. Fallos en equipos	Discreto	2 veces cada 1 año	6.000	18.000
5.1.Fraude interno	Discreto	1 vez cada 2 años	900	3.600
5.2.Fraude externo	Discreto	1 vez cada 6 meses	7.920	36.000



6.3.Contractuales	Discreto	1 vez cada 2 años	76.800	192.000
-------------------	----------	-------------------	--------	---------

*Tabla 7. Taxonomía de riesgos de Alumbrado Público de O&M*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*CASO PRÁCTICO*

---



## Capítulo 6 RESULTADOS DEL CASO PRÁCTICO

### 6.1 INTRODUCCIÓN

En esta sección se exponen los resultados principales obtenidos tras simular 100.000 escenarios de Montecarlo de los riesgos parametrizados en la sección anterior, tanto para un proyecto tipo de Infraestructura Energética como de Alumbrado Público, habiendo obtenido los impactos económicos y en plazo. Los resultados obtenidos permiten analizar cómo serían los cientos de miles de escenarios de un proyecto de la misma tipología y los impactos que pueden ocurrir si se quiere llevar a cabo un proyecto del mismo tipo.

### 6.2 RESULTADOS INFRAESTRUCTURA ENERGÉTICA

#### 6.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

En la Tabla 8 se muestran tanto la pérdida media individual y los percentiles 50, 95 y 99 de los 100.000 escenarios simulados de los riesgos individualmente.

Riesgos	Pérdida media individual (€)	Pérdida (P50) (€)	Pérdida (P95) (€)	Pérdida (P99) (€)
<i>1.1.1.1 Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos</i>	229,6108104	0	0	6812,750514
<i>1.1.1.2.Cambio de alcance</i>	<b>14930,25703</b>	<b>0</b>	<b>123152,8751</b>	<b>309342,0714</b>
<i>1.1.1.3.Cambio de funcionalidad</i>	7416,007226	0	0	18091,963
<i>1.1.1.4.Viabilidad técnica</i>	3491,687083	0	0	0



<b>1.1.1.5.Diseño/Ingeniería</b>	<b>7454,328332</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>214974,6221</b>
1.1.2.1.Licencias medioambientales	0,000200579	0	0,001390902	0,002980493
1.1.2.2.Licencias administrativas	0,000400739	0	0,002088211	0,00371564
1.1.2.3.Otras licencias	0,000199168	0	0,001384635	0,003009453
<b>1.1.3.1.Errores de ejecución</b>	<b>41666,66667</b>	<b>14475,64504</b>	<b>173594,5946</b>	<b>318556,1597</b>
<b>1.1.3.2.Ubicación</b>	<b>14698,53088</b>	<b>0</b>	<b>99143,80358</b>	<b>149497,963</b>
1.1.3.3. Coordinación	0,000200196	0	0,001387492	0,002987111
<b>1.1.3.4. Factores de producción</b>	<b>104166,6667</b>	<b>35114,92467</b>	<b>436165,8456</b>	<b>786153,6303</b>
1.1.3.5. Rendimiento	4462,819685	0	0	0
1.2.1.Aprovisionamiento	0,000596048	0,000178009	0,002487773	0,004071523
1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos	145,4775151	0	0	4446,26967
1.2.3.Control de calidad y diseño	765,3538535	0	1827,584577	21753,68644
1.3.1.Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado	1,03222E-05	0	0	3,64238E-05
1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios	3301,91566	0	0	33950,25475
1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas	371,6337037	0	0	0
2.1.Agentes atmosféricos o externos	0,001388889	0,000843418	0,004760611	0,007192379
2.2.Fallos en equipos	1,0246E-05	0	0	2,3E-06
2.3.Capacidad/confiabilidad	9,7444E-06	0	0	1,54445E-06
2.4. Falsas maniobras	9,99911E-06	0	0	3,79646E-05
3.1.Salud, higiene y seguridad	0,001388889	0,000834812	0,004717974	0,00714051
3.2.Relaciones laborales y sindicales	0,000347222	0	0,002092698	0,00399008
3.3.Disponibilidad e idoneidad de las personas	1,89241E-05	0	0	0,0006266



4.1.Disponibilidad de los sistemas	0,001388889	0,000839412	0,004754665	0,007159768
4.2.Seguridad e integridad de los sistemas	1041,666667	355,2892621	4364,347914	7866,528049
5.1.Fraude interno	8,601927122	0	0	0
<b>5.2.Fraude externo</b>	<b>20833,33333</b>	<b>13182,97773</b>	<b>68463,54403</b>	<b>109198,8632</b>
6.1.Legislación aplicable	806,557866	0	0	0,475455373
6.2.Reglamento interno	1,36577E-06	0	0	0
6.3.Contractuales	568,8392803	0	0	12345,40685

Tabla 8. Impacto económico de los riesgos individuales de I.E.

Como se puede comprobar, los riesgos que tanto en un escenario normal como en un escenario de estrés o poco favorable (percentil 95 y/o percentil 99) los riesgos que más afectan son:

- 1.1.1.2. Cambio de alcance & 1.1.1.5. Diseño e ingeniería: son riesgos que debido a una mala planificación del proyecto, tanto del alcance como de diseño, conllevan un rediseño y redefinición del mismo. Su impacto es notable aunque no son lo más significativos, pudiéndose aplicar medidas de mitigación en caso de ocurrencia de los mismos, ya que como en el proyecto expuesto en el apartado 5.2.1, se tuvo que básicamente desmantelar primero el parque eólico para poder llevar a cabo la obra de la subestación.
- 1.1.3.1. Errores de ejecución, 1.1.3.2. Ubicación & 1.1.3.4. Factores de producción: estos son los riesgos con mayor impacto en este tipo de proyectos. Esto se debe a que el primero y el tercero son riesgos discretos que tienen una número de materializaciones definida. En cuanto a la ubicación, dependiendo del terreno, situación y accesos a la zona puede ser más determinante o no.
- 5.2. Fraude externo: en grandes obras es común que se llevan a cabo actos vandálicos y/o robos de materiales en las la obra de la instalación, sobre



todo cuando la parte de ejecución tiene una duración considerable (de algunos meses).

A continuación se muestran las distribuciones de pérdidas económicas de algunos riesgos, por ejemplo: 1.1.3.1. Errores de ejecución y 1.1.3.4. Factores de producción.

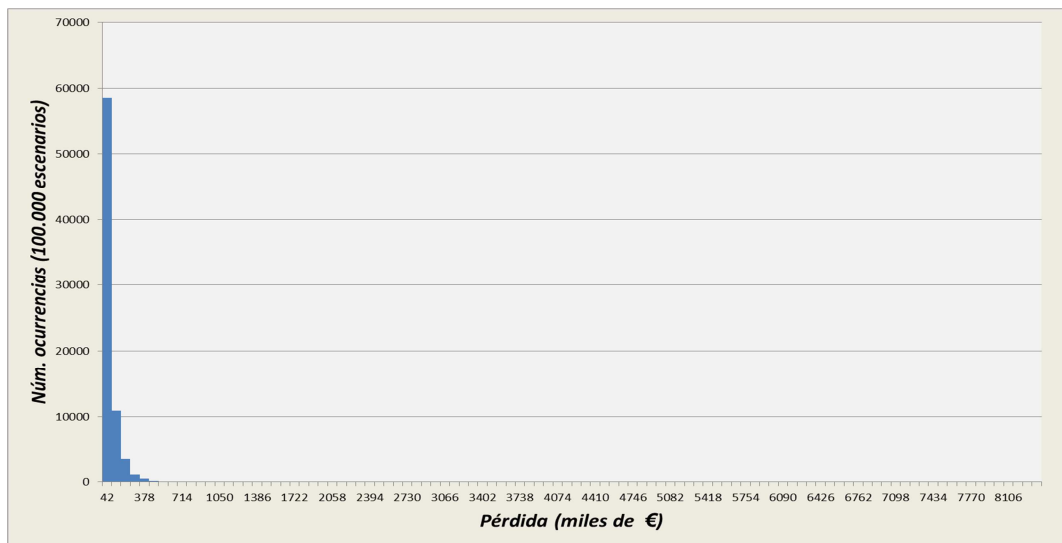


Figura 17. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.1. Errores de ejecución

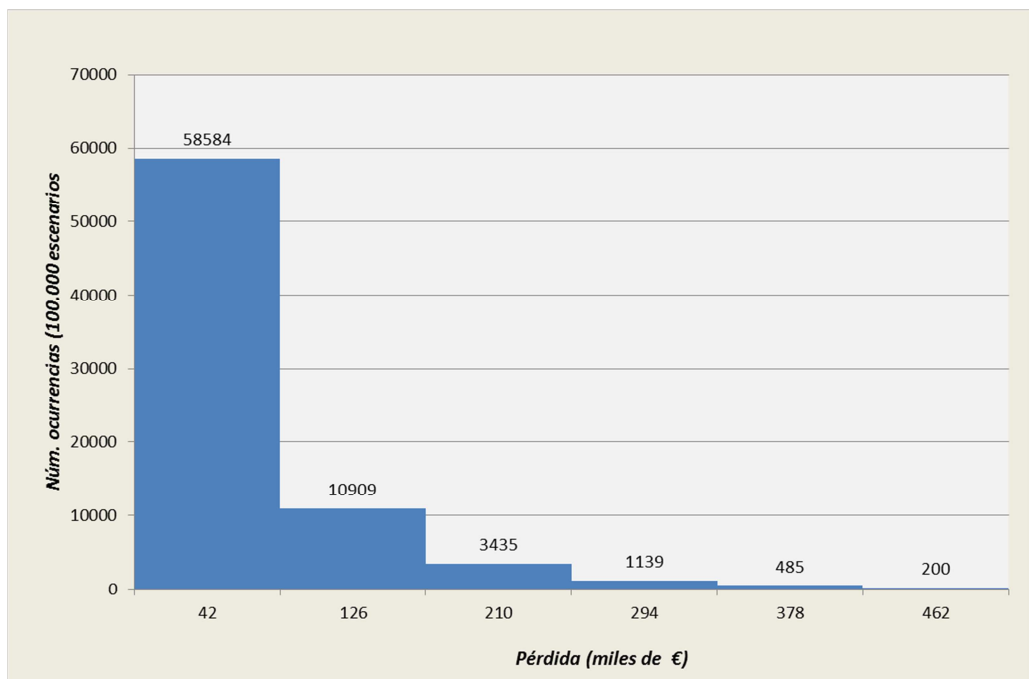


Figura 18. Distribución de pérdidas reducida del riesgo 1.1.3.1. Errores de ejecución

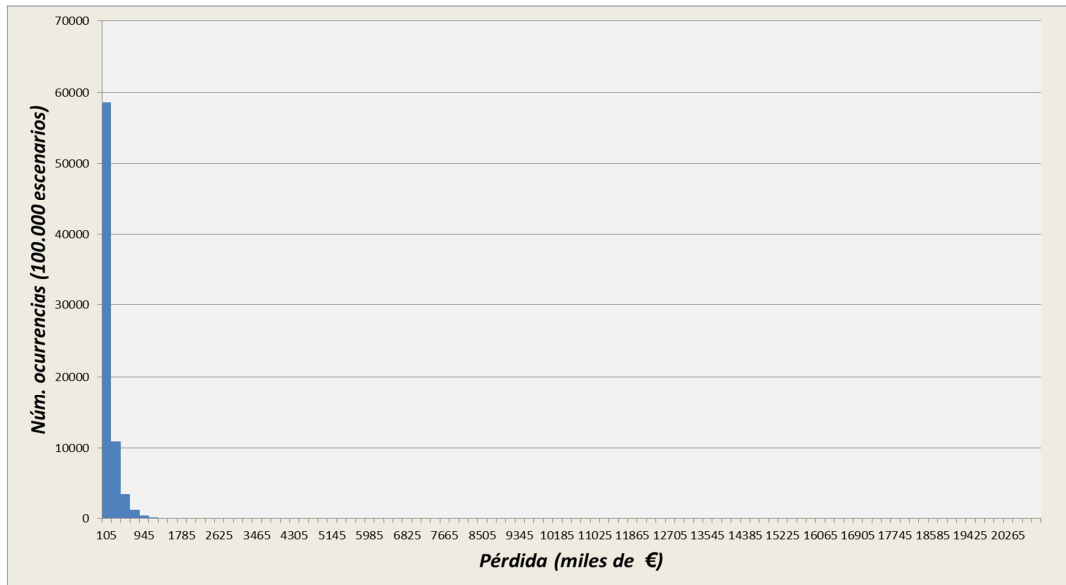


Figura 19. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción

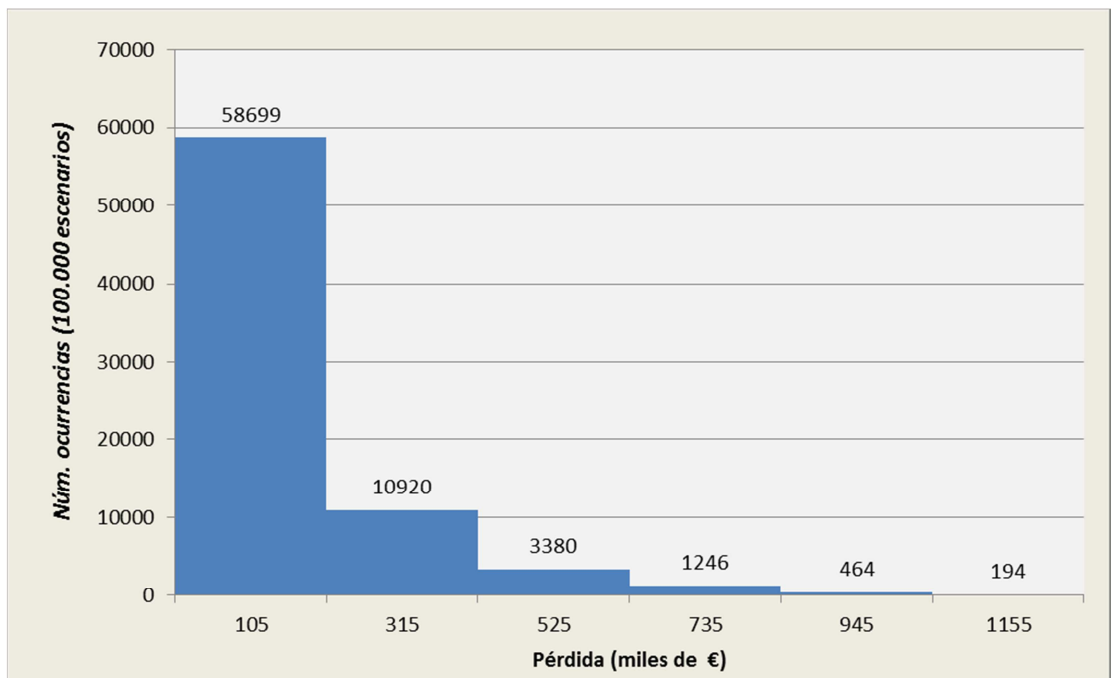


Figura 20. Distribución de pérdidas reducida del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción



En las distribuciones de ambos riesgos, se puede ver que son de colas largas y que alrededor del 78%<sup>27</sup> de las veces la pérdida es la esperada, el resto de las veces el impacto es mayor. Con lo cual, si el apetito al riesgo, es decir, el impacto del riesgo que la empresa está dispuesta a sufrir, es el de la pérdida esperada, la empresa invertiría en proyectos de este tipo.

En las siguientes tablas se muestran los diferentes niveles de agregación de los riesgos, desde el nivel 3 hasta el total evaluado.

Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.1.1. Planificación	33521,89048	0	123152,8751
1.1.2. Procedimientos	0,000800486	0	0,002865737
1.1.3. Ejecución y desarrollo	164994,6841	49590,56971	492298,3459
1.2. Procesos de soporte	910,8319646	0,000178009	1827,584755
1.3. Proveedores	3673,549374	0	0
2. Daños en activos físicos	0,001418878	0,000843418	0,004760611
3. Personas y organización	0,001755035	0,000834812	0,005426499
4. Sistemas	1041,668056	355,2901015	4364,349145
5. Fraude	20841,93526	13182,97773	68463,54403
6. Compliance	1375,397148	0	0

Tabla 9. Impacto económico agregado de nivel 3 de I.E

<sup>27</sup> Ha habido un total de 74.882 y 75.070 de impactos en 100.000 escenarios posibles respectivamente



Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.1.Planificación y desarrollo	198516,5754	49590,56971	509108,5843
1.2.Procesos de soporte	910,8319646	0,000178009	1827,584755
1.3.Proveedores	3673,549374	0	0
2.Daños en activos físicos	0,001418878	0,000843418	0,004760611
3.Personas y organización	0,001755035	0,000834812	0,005426499
4.Sistemas	1041,668056	355,2901015	4364,349145
5.Fraude	20841,93526	13182,97773	68463,54403
6.Compliance	1375,397148	0	0

Tabla 10. Impacto económico agregado de nivel 2 de I.E.

Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.Ejecución	203100,9567	45590,56989	510936,169
2.Daños en activos físicos	0,001418878	0,000843418	0,004760611
3.Personas y organización	0,001755035	0,000834812	0,005426499
4.Sistemas	1041,668056	355,2901015	4364,349145
5.Fraude	20841,93526	13182,97773	68463,54403
6.Compliance	1375,397148	0	0

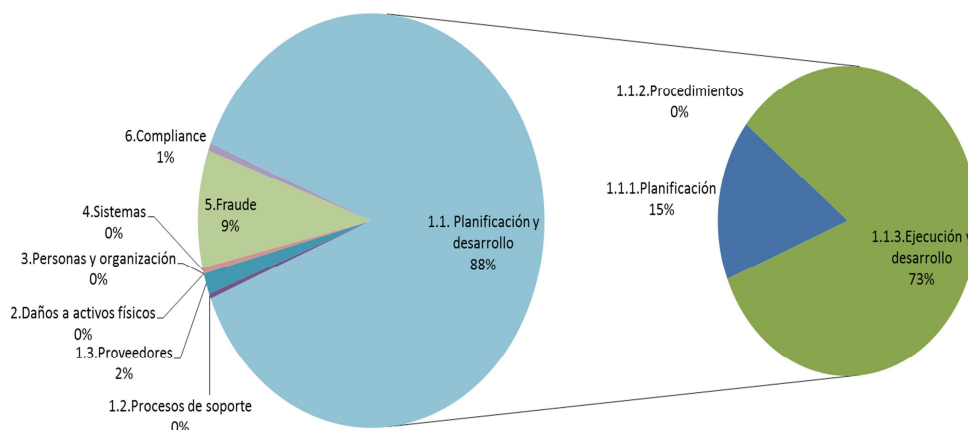
Tabla 11. Impacto económico agregado de nivel 1 de I.E.



<b>Total Evaluado</b>	<b>Pérdida Media (€)</b>	<b>Pérdida P50 (€)</b>	<b>Pérdida P95 (€)</b>
	226359,9604	63128,8394	526002,867

*Tabla 12. Impacto económico total evaluado de I.E.*

De los resultados obtenidos se puede confirmar que los riesgos de 1. Ejecución son los riesgos con mayor impacto económico. Si se observa la Figura 21 se puede observar que el 88% de la pérdida media de este tipo de proyectos provienen de los riesgos pertenecientes a la clase de 1.1. Planificación y desarrollo.



*Figura 21. Pérdida media económica de los riesgos de I.E. agregados*

## 6.2.2 IMPACTO EN PLAZO

En la Tabla 13 se muestran tanto la pérdida media individual y los percentiles 50, 95 y 99 de los 100.000 escenarios simulados de los riesgos individualmente.

<b>Riesgos</b>	<b>Pérdida media individual (días)</b>	<b>Pérdida (P50) (días)</b>	<b>Pérdida (P95) (días)</b>	<b>Pérdida (P99) (días)</b>
<i>1.1.1.1 Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos</i>	0,34481218	0	0,000333233	9,581974787
<i>1.1.1.2. Cambio de alcance</i>	<b>8,966612499</b>	<b>0</b>	<b>83,03310903</b>	<b>157,9457173</b>



<i>1.1.1.3.Cambio de funcionalidad</i>	1,906173235	0	0	30,6529311
<i>1.1.1.4.Viabilidad técnica</i>	1,926483728	0	0	47,60927432
<i>1.1.1.5.Diseño/Ingeniería</i>	2,29603571	0	1,532786812	72,29756499
<b><i>1.1.2.1.Licencias medioambientales</i></b>	<b>5,918377235</b>	<b>0</b>	<b>39,71791033</b>	<b>59,61689375</b>
<b><i>1.1.2.2.Licencias administrativas</i></b>	<b>30,04901964</b>	<b>0</b>	<b>124,0619585</b>	<b>167,238364</b>
<b><i>1.1.2.3.Otras licencias</i></b>	<b>14,9607513</b>	<b>0</b>	<b>100,1727207</b>	<b>150,2521397</b>
<b><i>1.1.3.1.Errores de ejecución</i></b>	<b>9,722222222</b>	<b>2,540796062</b>	<b>43,37206729</b>	<b>84,58716398</b>
<i>1.1.3.2.Ubicación</i>	2,974529781	0	18,31786362	59,27776576
<i>1.1.3.3. Coordinación</i>	6,027228627	0	41,55370914	91,08545965
<i>1.1.3.4. Factores de producción</i>	0,001388889	0,000826062	0,004749763	0,007165611
<i>1.1.3.5. Rendimiento</i>	0,583593598	0	0	0,013066182
<b><i>1.2.1.Aprovisionamiento</i></b>	<b>36,07643442</b>	<b>11,0480102</b>	<b>149,2377452</b>	<b>245,5249993</b>
<i>1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos</i>	0,345536075	0	0,000222506	9,361251876
<i>1.2.3.Control de calidad y diseño</i>	5,16439E-05	0	1,86666E-05	0,001658246
<i>1.3.1.Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado</i>	0,300820829	0	0	0
<i>1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios</i>	0,596124694	0	0	20,77848044
<i>1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas</i>	0,064802227	0	0	0
<b><i>2.1.Agentes atmosféricos o externos</i></b>	<b>9,722222222</b>	<b>2,504624412</b>	<b>43,49640999</b>	<b>86,76934026</b>
<i>2.2.Fallos en equipos</i>	0,032466201	0	0	0,027793261
<i>2.3.Capacidad/confiabilidad</i>	0,143484946	0	0	0,001652115
<i>2.4. Falsas maniobras</i>	0,050897532	0	0	0,177634609
<i>3.1.Salud, higiene y seguridad</i>	2,777777778	1,31598247	10,54272998	17,32504978



3.2.Relaciones laborales y sindicales	2,430555556	0	14,25313669	43,0073614
3.3.Disponibilidad e idoneidad de las personas	0,137487526	0	0	2,324542142
4.1.Disponibilidad de los sistemas	2,777777778	1,318453791	10,61629441	17,27315842
4.2.Seguridad e integridad de los sistemas	2,777777778	1,311483024	10,52960952	17,25332867
5.1.Fraude interno	8,84869E-07	0	0	0
<b>5.2.Fraude externo</b>	<b>19,44444444</b>	<b>10,75589596</b>	<b>68,57019207</b>	<b>116,8673371</b>
6.1.Legislación aplicable	0,622257739	0	0	0,065469012
6.2.Reglamento interno	0,004705282	0	0	0
6.3.Contractuales	1,91453E-05	0	0	0,00066068

Tabla 13. Impacto en plazo de los riesgos individuales de I.E.

De los resultados obtenidos del impacto en plazo a nivel individual de los riesgos destaca:

- 1.1.1.2. Cambio de alcance: a priori es un riesgo que no tenía trascendencia en cuanto a desviación en plazo, pero en caso de materializarse sí que conlleva un retraso debido a la incorrecta planificación y rediseño posterior del proyecto.
- 1.1.2. Procesos de soporte: los riesgos de licencias administrativas, medioambiental y/u otras siempre conllevan retrasos, debido a que son gestiones que dependen de instituciones ajenas a la empresa, ya sea ayuntamientos, propiedades privadas, etc.
- 1.2.1. Aprovisionamiento: la materialización de este riesgo suele ser muy recurrente, debido a los tipos de contratos que se tienen con los proveedores, en los cuales si no se tiene el un contrato adecuado para ejecutar las compras necesarias y a los precios adecuados, ello conlleva a nuevas negociaciones y a retrasos inherentes durante el proyecto.
- 2.1. Agentes atmosféricos y 5.2. Fraude externo: las condiciones atmosféricas conllevan parones durante los proyectos que impide a los operarios llevar a cabo las construcciones e instalaciones asociadas. A su



vez, actos vandálicos y/o robos de materiales durante la construcción conllevan retrasos en el proyecto al tener que pedir nuevamente materiales y/o tener que reparar equipos dañados.

A continuación se muestran las distribuciones de pérdidas económicas de algunos riesgos, por ejemplo: 1.1.2.1. Licencias administrativas y 1.2.1. Aprovisionamiento.

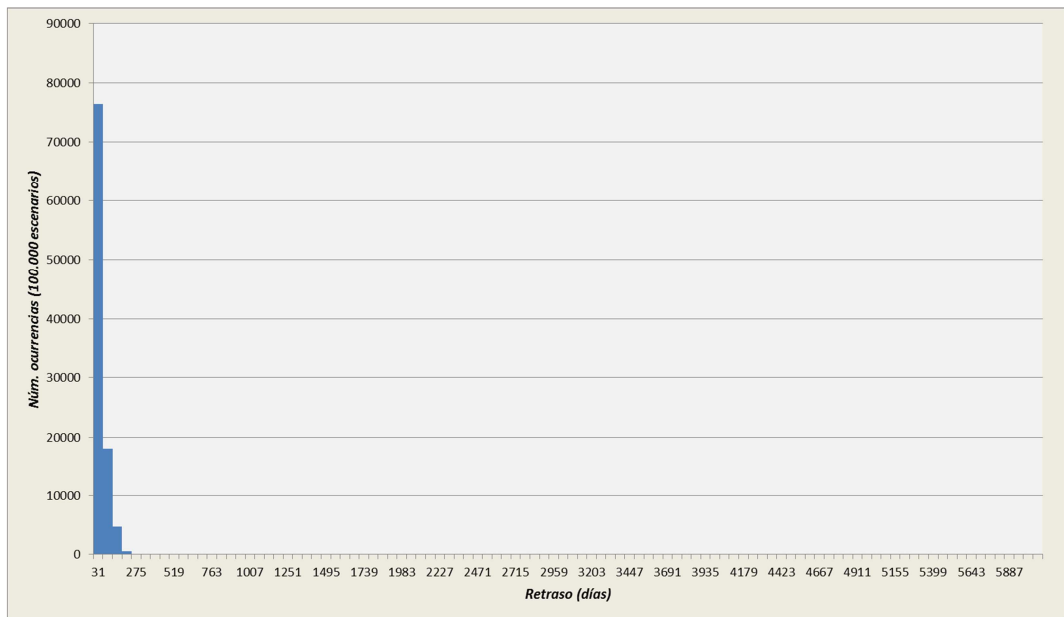


Figura 22. Distribución de pérdidas (retrasos) del riesgo 1.1.2.1. Licencias administrativas

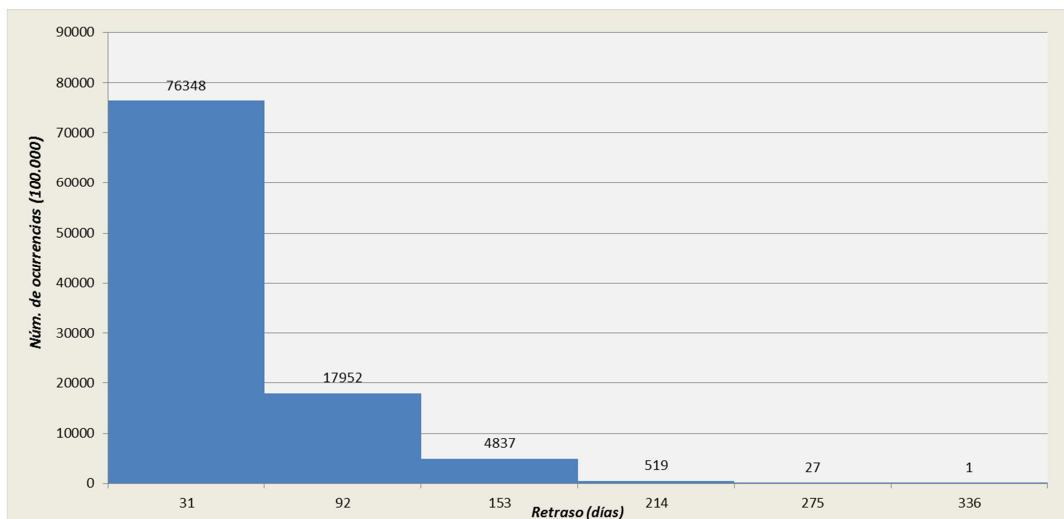




Figura 23. Distribución de pérdidas (retrasos) reducida del riesgo 1.1.2.1. Licencias administrativas

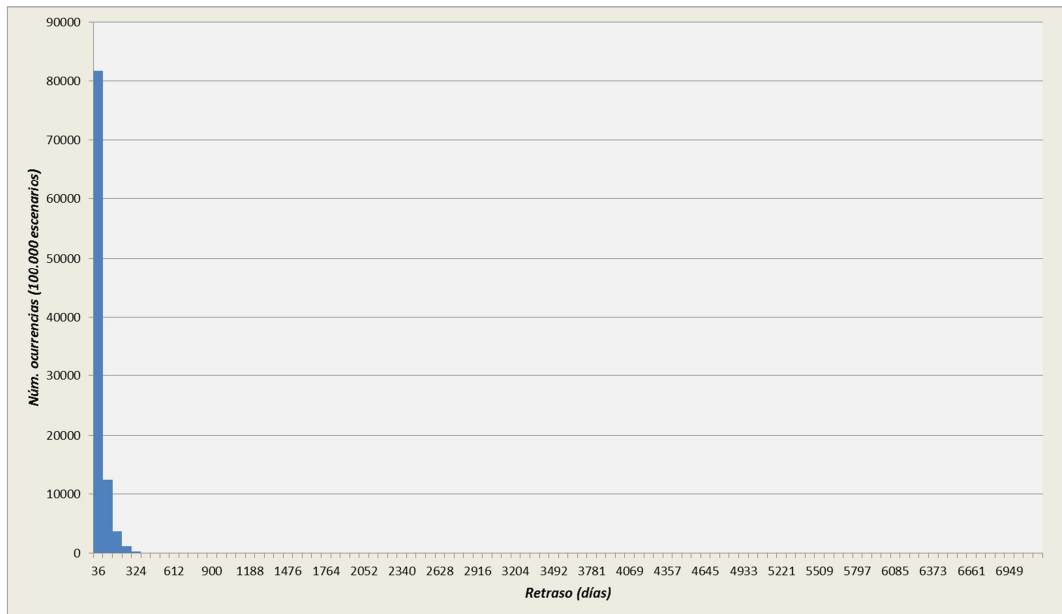


Figura 24. Distribución de pérdidas (retrasos) del riesgo 1.2.1. Aprovechamiento

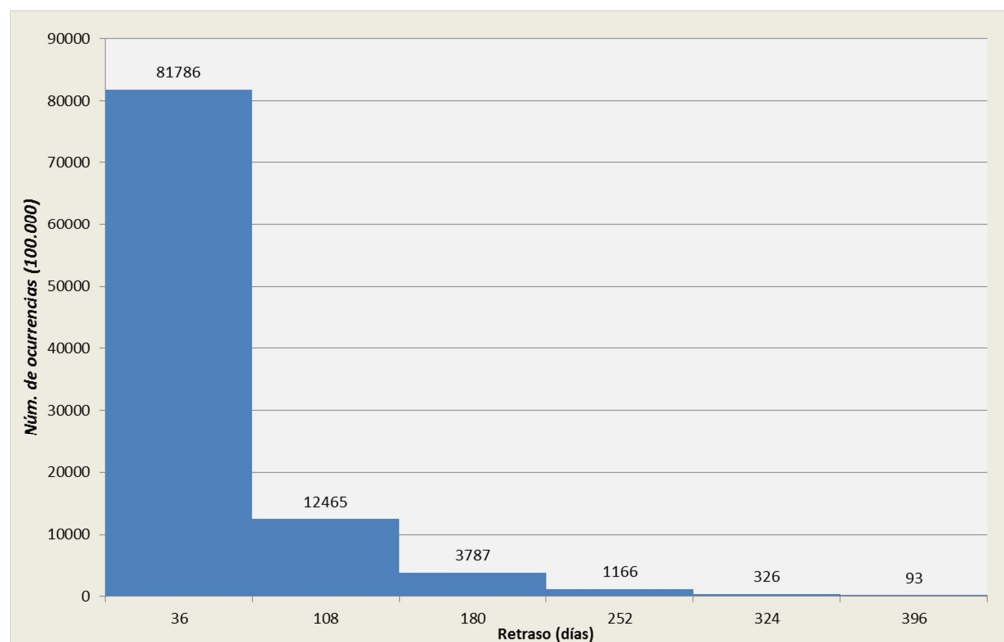


Figura 25. Distribución de pérdidas (retrasos) reducida del riesgo 1.2.1. Aprovechamiento



En estas distribuciones de pérdidas se puede ver que son de colas largas, en el cual la pérdida de mayor probabilidad es la esperada (76,34 y 81,79% de las veces)<sup>28</sup>, habiendo algún caso extremo. Con lo cual, si el apetito al riesgo aceptado por la empresa es el de la pérdida esperada, sabiendo que aproximadamente una de cada 20 veces el impacto puede ser mucho mayor, la empresa invertiría sin problemas en proyectos de este tipo a sabiendas del retraso que pueden suponer los distintos riesgos.

En las siguientes tablas se muestran los diferentes niveles de agregación de los riesgos, desde el nivel 3 hasta el total evaluado.

Nivel	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)
1.1.1.Planificación	15,44011735	0	83,0472554
1.1.2.Procedimientos	50,92814818	0	164,3272829
1.1.3.Ejecución y desarrollo	19,30896312	2,541622124	63,61082546
1.2.Procesos de soporte	36,42202214	11,0480102	149,2377452
1.3.Proveedores	0,96174775	0	0
2.Daños en activos físicos	9,949070901	2,504624412	43,49640999
3.Personas y organización	5,345820859	1,31598247	19,05257724
4.Sistemas	5,555555556	2,629936816	16,36184966
5.Fraude	19,44444533	10,75589596	68,57019207
6.Compliance	0,626982167	0	0

Tabla 14. Impacto en plazo agregado de nivel 3 de I.E.

<sup>28</sup> Ha habido un total de 99.684 y 99.623 de 100.000 escenarios con impactos



Nivel	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)
1.1.Planificación y desarrollo	85,67722865	2,541622124	196,5255136
1.2.Procesos de soporte	36,42202214	11,0480102	149,2377452
1.3.Proveedores	0,96174775	0	0
2.Daños en activos físicos	9,949070901	2,504624412	43,49640999
3.Personas y organización	5,345820859	1,31598247	19,05257724
4.Sistemas	5,555555556	2,629936816	16,36184966
5.Fraude	19,44444533	10,75589596	68,57019207
6.Compliance	0,626982167	0	0

Tabla 15. Impacto en plazo agregado de nivel 2 de I.E.

Nivel	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)
1.Ejecución	123,06	13,59	345,76
2.Daños en activos físicos	9,949070901	2,504624412	43,49640999
3.Personas y organización	5,345820859	1,31598247	19,05257724
4.Sistemas	5,555555556	2,629936816	16,36184966
5.Fraude	19,44444533	10,75589596	68,57019207
6.Compliance	0,626982167	0	0

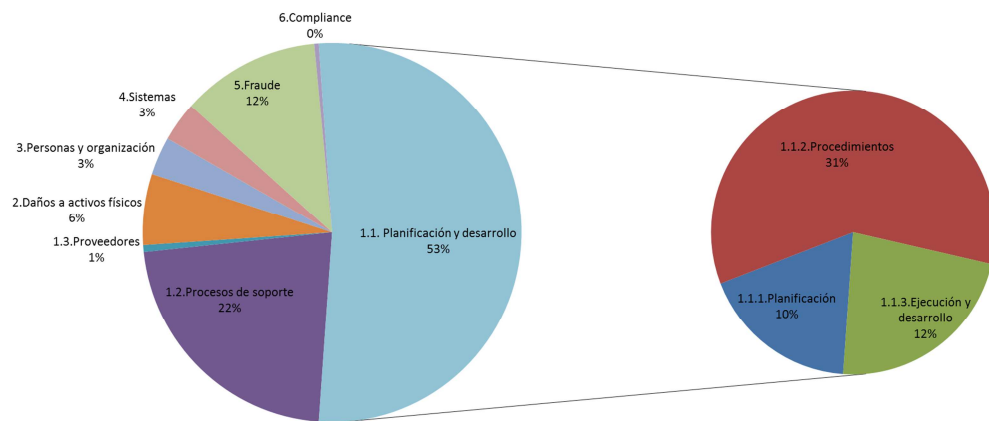
Tabla 16. Impacto en plazo agregado de nivel 1 de I.E.



<b>Total Evaluado</b>	<b>Pérdida media individual (días)</b>	<b>Pérdida (P50) (días)</b>	<b>Pérdida (P95) (días)</b>
	163,9828734	30,79607198	281,2279306

*Tabla 17. Impacto en plazo total evaluado de I.E.*

De los resultados obtenidos se puede confirmar que los riesgos de 1. Ejecución, destacando los de 1.1.2. Procedimientos (31%), junto con los de 1.2. Procesos de soporte son los riesgos con mayor de desviación en plazo.



*Figura 26. Pérdida media (retrasos) de los riesgos de E.I. agregados*

## **6.3 RESULTADOS ALUMBRADO PÚBLICO**

### **6.3.1 IMPACTO ECONÓMICO**

#### **6.3.1.1 Fases de Construcción**

En la Tabla 18 se muestran tanto la pérdida media individual y los percentiles 50, 95 y 99 de los 100.000 escenarios simulados de los riesgos individualmente.

<b>Riesgos</b>	<b>Pérdida media individual (€)</b>	<b>Pérdida (P50) (€)</b>	<b>Pérdida (P95) (€)</b>	<b>Pérdida (P99) (€)</b>
<i>1.1.1.1 Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos</i>	184,5878672	0	0	5498,06118



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

RESULTADOS DEL CASO PRÁCTICO

<b>1.1.1.2.Cambio de alcance</b>	<b>12135,92193</b>	<b>0</b>	<b>100622,9642</b>	<b>245903,6805</b>
1.1.1.3.Cambio de funcionalidad	6385,436388	0	0	134718,2665
1.1.1.4.Viabilidad técnica	2812,986376	0	0	0
<b>1.1.1.5.Diseño/Ingeniería</b>	<b>6060,524672</b>	<b>0</b>	<b>11546,26004</b>	<b>175463,7768</b>
1.1.2.1.Licencias medioambientales	0,000200722	0	0,001388281	0,003015541
1.1.2.2.Licencias administrativas	0,000402125	0	0,002078915	0,003700467
1.1.2.3.Otras licencias	0,000201319	0	0,001390044	0,00303082
<b>1.1.3.1.Errores de ejecución</b>	<b>24000</b>	<b>3898,356383</b>	<b>111096,4693</b>	<b>215505,1932</b>
<b>1.1.3.2.Ubicación</b>	<b>12039,07091</b>	<b>0</b>	<b>80378,51053</b>	<b>120104,5344</b>
1.1.3.3. Coordinación	0,000199801	0	0,001387794	0,003031893
<b>1.1.3.4. Factores de producción</b>	<b>60000</b>	<b>9392,336175</b>	<b>281318,2017</b>	<b>538182,7101</b>
1.1.3.5. Rendimiento	3692,017345	0	0	79369,26167
1.2.1.Aprovisionamiento	0,000603775	0,000184943	0,002499678	0,004122045
1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos	116,0516829	0	0	3561,640882
1.2.3.Control de calidad y diseño	602,4631892	0	759,190406	17509,55906
1.3.1.Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado	9,98168E-06	0	0	4,76551E-05
1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios	2389,54443	0	0	32504,51413
1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas	293,0921282	0	0	0
2.1.Agentes atmosféricos o externos	0,001	0,000397005	0,003963658	0,006222398
2.2.Fallos en equipos	9,91264E-06	0	0	0
2.3.Capacidad/confiabilidad	9,99572E-06	0	0	0
2.4. Falsas maniobras	9,84774E-06	0	0	0



3.1.Salud, higiene y seguridad	0,001	0,000399692	0,003905792	0,006180189
3.2.Relaciones laborales y sindicales	0,00025	0	0,001703841	0,003484088
3.3.Disponibilidad e idoneidad de las personas	2,02173E-05	0	0	0,000690338
4.1.Disponibilidad de los sistemas	0,001	0,000400647	0,003934699	0,006198471
4.2.Seguridad e integridad de los sistemas	600	95,86237581	2819,171537	5416,111953
5.1.Fraude interno	7,81561256	0	0	0
<b>5.2.Fraude externo</b>	<b>12000</b>	<b>6084,952254</b>	<b>43944,37045</b>	<b>74755,36009</b>
6.1.Legislación aplicable	621,1776021	0	0	164,1653014
6.2.Reglamento interno	8,669E-07	0	0	0
6.3.Contractuales	503,935453	0	0	10116,93932

Tabla 18. Impacto económico de los riesgos individuales de A.P. de Construcción

Se puede confirmar que los riesgos que más impactan durante la fase de construcción son los mismos que los estudiados en el proyecto de Infraestructura Energética, pero con diferente magnitud asociados al presupuesto y al periodo de duración del proyecto, que es menor.

En las siguientes tablas se muestran los diferentes niveles de agregación de los riesgos, desde el nivel 3 hasta el total evaluado.

Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.1.1.Planificación	27579,45724	0	101283,2516
1.1.2.Procedimientos	0,000804166	0	0,00286032
1.1.3.Ejecución y desarrollo	99731,08845	13290,69256	316433,9206
1.2.Procesos de soporte	718,5154758	0,000184943	759,1905909
1.3.Proveedores	2682,636568	0	0



2.Daños en activos físicos	0,001029756	0,000397005	0,003963658
3.Personas y organización	0,001270217	0,000399692	0,00444822
4.Sistemas	600,001	95,86277646	2819,172291
5.Fraude	12007,81561	6084,952254	43944,37045
6.Compliance	1125,113056	0	0

*Tabla 19. Impacto económico agregado de nivel 3 de A.P. de Construcción*

<b>Nivel</b>	<b>Pérdida Media (€)</b>	<b>Pérdida P50 (€)</b>	<b>Pérdida P95 (€)</b>
1.1.Planificación y desarrollo	127310,5465	13290,69256	332906,2644
1.2.Procesos de soporte	718,5154758	0,000184943	759,1905909
1.3.Proveedores	2682,636568	0	0
2.Daños en activos físicos	0,001029756	0,000397005	0,003963658
3.Personas y organización	0,001270217	0,000399692	0,00444822
4.Sistemas	600,001	95,86277646	2819,172291
5.Fraude	12007,81561	6084,952254	43944,37045
6.Compliance	1125,113056	0	0

*Tabla 20. Impacto económico agregado de nivel 2 de A.P. de Construcción*

<b>Nivel</b>	<b>Pérdida Media (€)</b>	<b>Pérdida P50 (€)</b>	<b>Pérdida P95 (€)</b>
1.Ejecución	130711,70	13290,70	333665,46



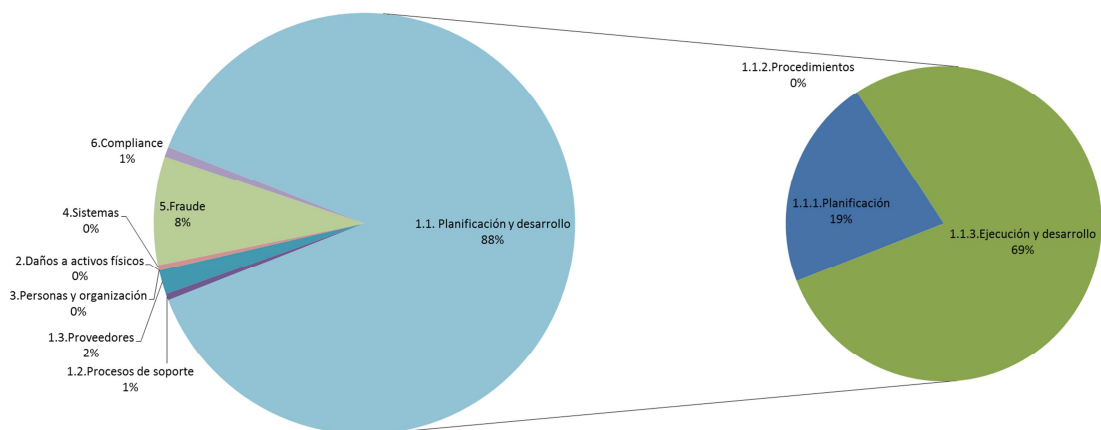
2.Daños en activos físicos	0,001029756	0,000397005	0,003963658
3.Personas y organización	0,001270217	0,000399692	0,00444822
4.Sistemas	600,001	95,86277646	2819,172291
5.Fraude	12007,81561	6084,952254	43944,37045
6.Compliance	1125,113056	0	0

*Tabla 21. Impacto económico agregado de nivel 1 de A.P. de Construcción*

<b>Total Evaluado</b>	<b>Pérdida Media</b>	<b>Pérdida P50</b>	<b>Pérdida P95</b>
	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>	<b>(€)</b>
	144444,6305	19471,50857	341342,8969

*Tabla 22. Impacto económico total evaluado de A.P. de Construcción*

Como ocurre en el proyecto de Infraestructura Energética, de los resultados obtenidos se puede confirmar que los riesgos de 1. Ejecución son los riesgos con mayor impacto económico.



*Figura 27. Pérdida media de los riesgos de A.P. agregados durante la Construcción*



### 6.3.1.2 Fase de O&M

En la Tabla 23 se muestran la pérdida media individual y los percentiles 50, 95 y 99 de los riesgos individuales de la fase de O&M de los 100.00 escenarios de un proyecto de Alumbrado Público durante 10 años.

<b>Riesgos</b>	<b>Pérdida media individual (€)</b>	<b>Pérdida (P50) (€)</b>	<b>Pérdida (P95) (€)</b>	<b>Pérdida (P99) (€)</b>
<i>1.1.1.1 Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos</i>	110,0903925	0	0	0
<i>1.1.1.3.Cambio de funcionalidad</i>	4460,323148	0	0	144242,7805
<i>1.1.3.1.Errores de ejecución</i>	<b>76800</b>	<b>74736,75144</b>	<b>119641,2307</b>	<b>141820,0092</b>
<i>1.1.3.4. Factores de producción</i>	<b>792000</b>	<b>769401,237</b>	<b>1299507,758</b>	<b>1550645,72</b>
<i>1.1.3.5. Rendimiento</i>	<b>384000</b>	<b>355760,8492</b>	<b>782622,6275</b>	<b>999785,405</b>
<i>1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos</i>	118,7461794	0	0	3549,552632
<i>1.2.3.Control de calidad y diseño</i>	<b>18000</b>	<b>16155,30345</b>	<b>39487,12247</b>	<b>51894,03825</b>
<i>1.3.2.Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios</i>	<b>90000</b>	<b>59799,52737</b>	<b>279473,1426</b>	<b>472629,7155</b>
<i>1.3.3.Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas</i>	369,8883731	0	0	0
<i>2.1.Agentes atmosféricos o externos</i>	<b>120000</b>	<b>116796,1278</b>	<b>187151,0795</b>	<b>221436,9384</b>
<i>2.2. Fallos en equipos</i>	<b>120000</b>	<b>117060,6963</b>	<b>187757,2155</b>	<b>220767,1356</b>
<i>5.1.Fraude interno</i>	4500	3522,20919	12024,23243	17712,59252
<i>5.2.Fraude externo</i>	<b>158400</b>	<b>139467,3013</b>	<b>328545,4619</b>	<b>457247,1444</b>
<i>6.3.Contractuales</i>	<b>384000</b>	<b>358357,8504</b>	<b>783701,4463</b>	<b>1000851,293</b>

Tabla 23. Impacto económico de los riesgos individuales de A.P. de O&M



Como se ha comentado en los problemas principales en el apartado de 5.2.1, los riesgos más significativos son:

- 1.1.3.1. Errores de ejecución, 1.1.3.4. Factores de producción y 1.1.3.5. Rendimiento: son los riesgos que más afectan debido a que se materializan debido a todos los errores de ejecución, fallos de diseño y/o malas estimaciones de ahorro energético, debido a todas las actividades de mantenimiento no programadas que hay que llevar a cabo. También incluyen el rendimiento no esperado de las nuevas instalaciones lumínicas y los cambios de precios no establecidos de factores productivos como adicional mano de obra y materiales.
- 1.2.3. Control de calidad y diseño y 1.3.2. Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios: aquí aparecen todos los sobrecostes debidos al no seguimiento de los estándares adecuados antes de la instalación y a las sobrecostes debido a las instalaciones mal ejecutadas por terceros. A su vez, se recogen los sobrecostes debidos al desempeño ineficiente de servicios de reparación y en tiempos inadecuados.
- 2.1. Agentes atmosféricos o externos y 2.2. Fallos en equipos: en estos riesgos se agrupan todos aquellos sobrecostes de reparaciones no programadas debido a agentes externos (sin contar actos vandálicos y/o robos) y fallos en equipos durante la operación debido defectos de diseño.
- 5.2. Fraude externo y 6.3. Contractuales: aquí se recogen las materializaciones de riesgos debidos a factores externos, normalmente actos vandálicos y/o robos, que provocan sobre costes traducidos en reparaciones ulteriores no programadas que la empresa tiene que absorber. Aquí, como en el riesgo de rendimiento, se incluyen todos los sobrecostes por no cumplir los requisitos técnicos firmados con el Ayuntamiento.

A continuación se muestran las distribuciones de pérdidas económicas de algunos riesgos, por ejemplo: 1.1.3.4. Factores productivos, 2.2. Fallos en quipos y 5.2. Fraude Externo.

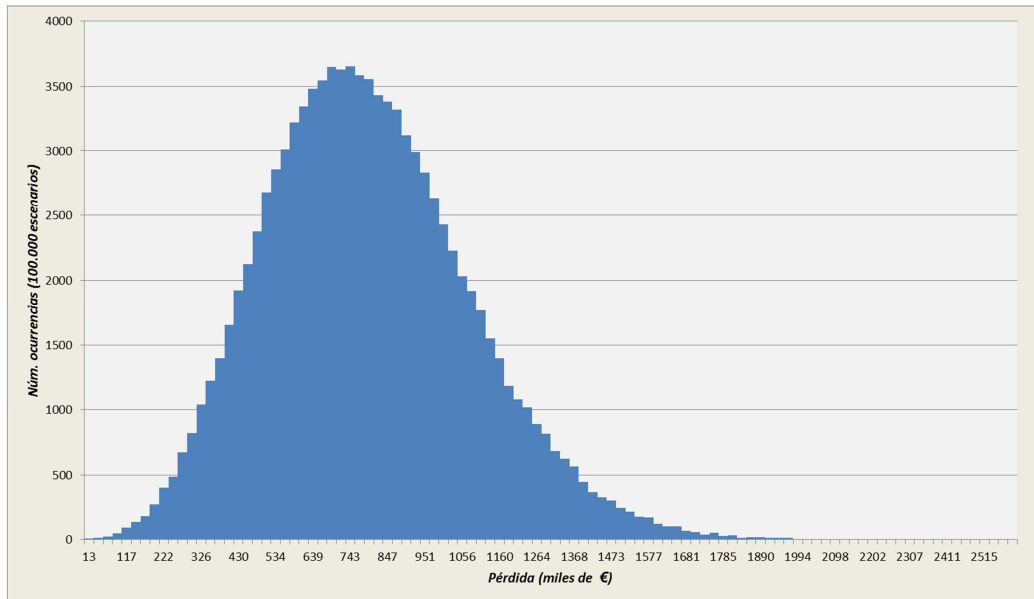


Figura 28. Distribución de pérdidas del riesgo 1.1.3.4. Factores de producción

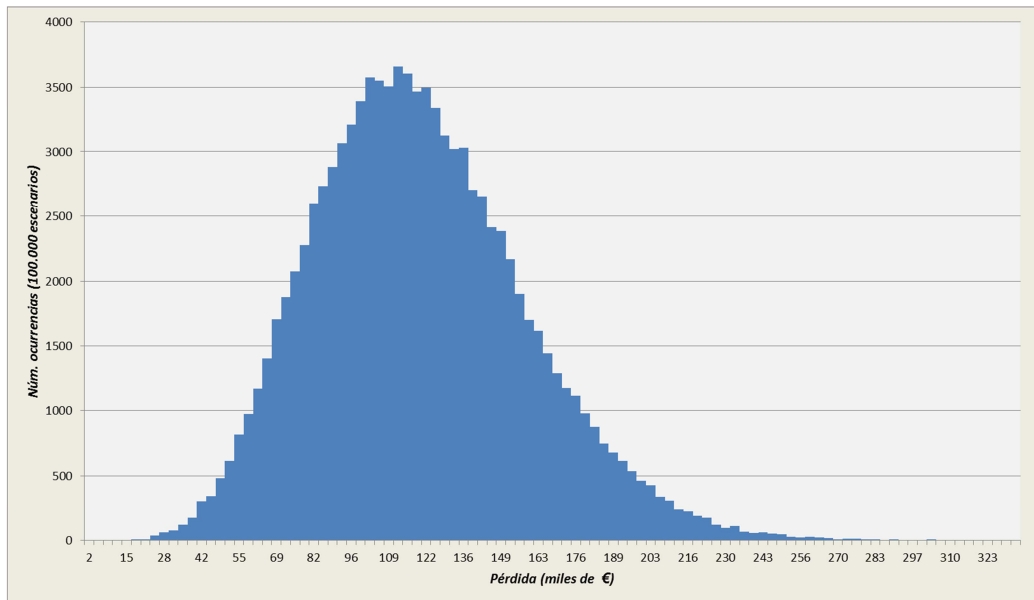


Figura 29. Distribución de pérdidas del riesgo 2.2. Fallos en equipos

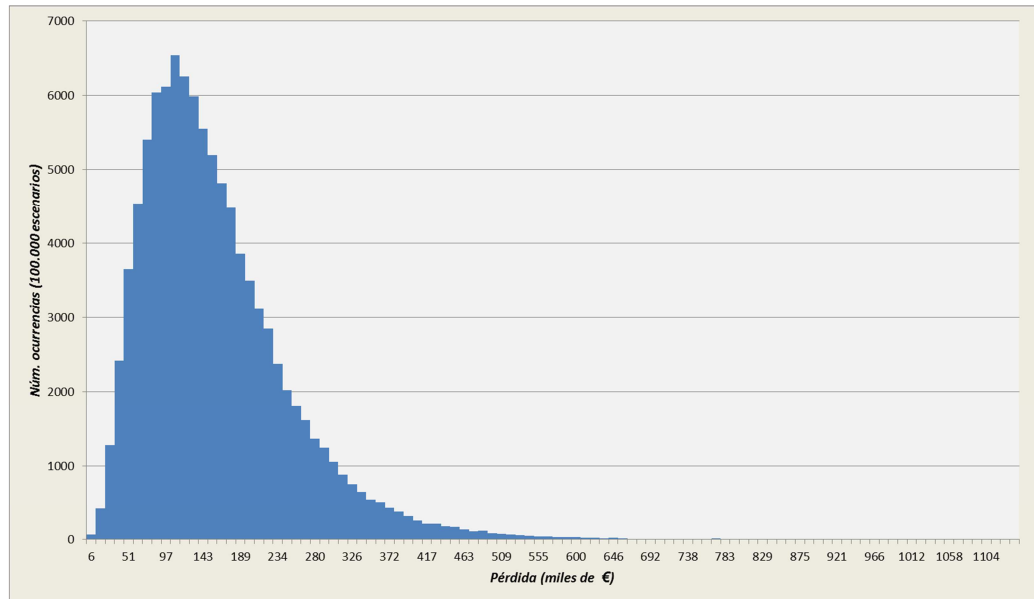


Figura 30. Distribución de pérdidas del riesgo 5.2. Fraude externo

En este caso se puede ver que las distribuciones de pérdidas son más parecidas a distribuciones Normales centradas en la media (pérdida esperada)<sup>29</sup>. Aquí sucede como en los otros casos, si el apetito al riesgo de la empresa es aceptar que ocurra como impacto medio el esperado, la empresa invertiría en proyectos de este tipo, a sabiendas de que una de cada 20 veces hay probabilidades de que el impacto sea mucho mayor.

Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.1.1.Planificación	4570,413541	0	0
1.1.2.Procedimientos	0	0	0
1.1.3.Ejecución y desarrollo	1252800	1199898,838	1882507,381
1.2.Procesos de soporte	18118,74618	16155,30345	39364,18376
1.3.Proveedores	90369,88837	59799,52737	279473,1426

<sup>29</sup> 99.995, 99.342 y 99.999 de 100.000 escenarios han sufrido impactos



2.Daños en activos físicos	240000	233856,8241	333595,5681
3.Personas y organización	0	0	0
4.Sistemas	0	0	0
5.Fraude	162900	142989,5105	332258,7241
6.Compliance	384000	358357,8504	783701,4463

Tabla 24. Impacto económico agregado de nivel 3 de A.P. de O&M

Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.1.Planificación y desarrollo	1257370,414	1199898,838	1881984,106
1.2.Procesos de soporte	18118,74618	16155,30345	39487,12247
1.3.Proveedores	90369,88837	59799,52737	279473,1426
2.Daños en activos físicos	240000	233856,8241	333595,5681
3.Personas y organización	0	0	0
4.Sistemas	0	0	0
5.Fraude	162900	142989,5105	332258,7241
6.Compliance	384000	358357,8504	783701,4463

Tabla 25. Impacto económico agregado de nivel 2 de A.P. de O&M



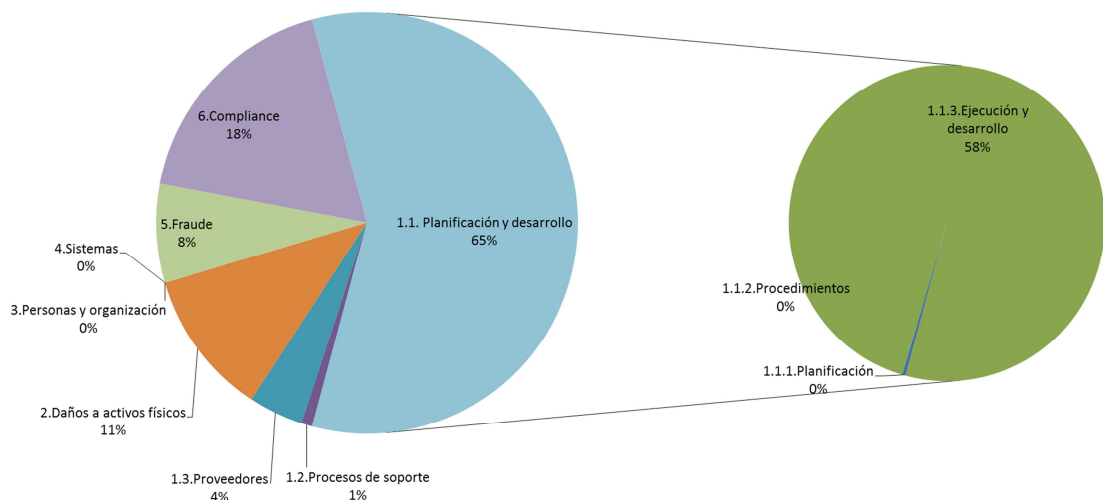
Nivel	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
1.Ejecución	1365859,05	1275853,67	2200944,37
2.Daños en activos físicos	240.000	233856,51	333595,57
3.Personas y organización	0	0	0
4.Sistemas	0	0	0
5.Fraude	162900	142989,5105	332258,7241
6.Compliance	384000	358357,8504	783701,4463

*Tabla 26. Impacto económico agregado de nivel 1 de A.P. de O&M*

Total Evaluado	Pérdida Media (€)	Pérdida P50 (€)	Pérdida P95 (€)
	2152759,048	2011057,854	2871714,005

*Tabla 27. Impacto económico total evaluado de A.P. de O&M*

En la Figura 31 se muestra que los riesgos de 1.1.3 Ejecución y desarrollo (58%) son los riesgos con mayor impacto económico junto con los de 6. Compliance (18%) y 2. Daños en activos físicos (11%).



*Figura 31. Pérdida media de los riesgos de A.P. agregados durante O&M*



## 6.3.2 IMPACTO EN PLAZO

### 6.3.2.1 Fases de Construcción

En la Tabla 28 se muestran la pérdida media individual y los percentiles 50, 95 y 99 de los riesgos individuales de la fase de O&M de los 100.00 escenarios de un proyecto de Alumbrado Público durante 10 años.

Riesgos	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)	Pérdida (P99) (días)
<i>1.1.1.1 Fallos en la elaboración del plan de trabajo y/o estimación de esfuerzos</i>	0,358134065	0	0,000258441	10,16752372
<b>1.1.1.2.Cambio de alcance</b>	<b>8,848825399</b>	<b>0</b>	<b>83,04066522</b>	<b>155,966837</b>
<i>1.1.1.3.Cambio de funcionalidad</i>	1,78581707	0	0	8,987154782
<i>1.1.1.4.Viabilidad técnica</i>	1,831821949	0	0	0
<i>1.1.1.5.Diseño/Ingeniería</i>	2,242189065	0	0	71,3399521
<b>1.1.2.1.Licencias medioambientales</b>	<b>5,973150097</b>	<b>0</b>	<b>40,09133534</b>	<b>60,12067164</b>
<b>1.1.2.2.Licencias administrativas</b>	<b>29,676269</b>	<b>0</b>	<b>123,894569</b>	<b>166,9843936</b>
<b>1.1.2.3.Otras licencias</b>	<b>14,94116837</b>	<b>0</b>	<b>99,59206704</b>	<b>150,1103816</b>
<b>1.1.3.1.Errores de ejecución</b>	<b>7</b>	<b>0,758967423</b>	<b>34,41267011</b>	<b>73,88241758</b>
<i>1.1.3.2.Ubicación</i>	3,054854722	0	18,41045054	60,15980193
<b>1.1.3.3. Coordinación</b>	<b>5,957407942</b>	<b>0</b>	<b>40,91803942</b>	<b>90,48241215</b>
<i>1.1.3.4. Factores de producción</i>	0,001	0,000392269	0,003933664	0,006201961
<i>1.1.3.5. Rendimiento</i>	0,647225236	0	0	0,234980643
<b>1.2.1.Aprovisionamiento</b>	<b>35,78345661</b>	<b>10,901134</b>	<b>149,6658995</b>	<b>243,6461899</b>
<i>1.2.2.Administración y gestión del control presupuestario, facturación, cobros y pagos</i>	0,356154205	0	0,003664865	9,909197634



<i>1.2.3. Control de calidad y diseño</i>	4,74409E-05	0	0	0,001538521
<i>1.3.1. Falta de disponibilidad o escasez de bienes y servicios en el mercado</i>	0,303512244	0	0	1,231517421
<i>1.3.2. Interrupciones/Desviaciones en el tiempo y en la forma en el desempeño de los bienes y servicios</i>	0,607372761	0	0	21,19505937
<i>1.3.3. Ampliación de la responsabilidad por los actos de los proveedores y contratistas</i>	0,061747385	0	0	0
<b>2.1. Agentes atmosféricos o externos</b>	<b>7</b>	<b>0,771226836</b>	<b>34,40368689</b>	<b>73,26386781</b>
<i>2.2. Fallos en equipos</i>	0,026317089	0	0	0
<i>2.3. Capacidad/confiabilidad</i>	0,159143169	0	0	0,023438292
<i>2.4. Falsas maniobras</i>	0,051109978	0	0	0,077960215
<i>3.1. Salud, higiene y seguridad</i>	2	0,533864574	8,578729815	14,74179712
<i>3.2. Relaciones laborales y sindicales</i>	1,75	0	10,14397845	35,62987936
<i>3.3. Disponibilidad e idoneidad de las personas</i>	0,137441604	0	0	2,267034696
<i>4.1. Disponibilidad de los sistemas</i>	2	0,545994278	8,593455494	14,87867726
<i>4.2. Seguridad e integridad de los sistemas</i>	2	0,524527209	8,627190175	14,88221422
<i>5.1. Fraude interno</i>	1,02032E-06	0	0	0
<b>5.2. Fraude externo</b>	<b>14</b>	<b>5,996206752</b>	<b>55,06374524</b>	<b>100,4194618</b>
<i>6.1. Legislación aplicable</i>	0,551587556	0	0	0
<i>6.2. Reglamento interno</i>	0,004417314	0	0	0
<i>6.3. Contractuales</i>	2,00102E-05	0	0	0,000672536

*Tabla 28. Impacto en plazo de los riesgos individuales de A.P. de Construcción*

Se puede confirmar que los riesgos que más impactan durante la fase de construcción son los mismos que los estudiados en el proyecto de Infraestructura Energética, variando según la duración del proyecto.

En las siguientes tablas se muestran los diferentes niveles de agregación de los riesgos, desde el nivel 3 hasta el total evaluado.



<b>Nivel</b>	<b>Pérdida media individual (días)</b>	<b>Pérdida (P50) (días)</b>	<b>Pérdida (P95) (días)</b>
1.1.1.Planificación	15,06678755	0	83,04066522
1.1.2.Procedimientos	50,59058747	0	163,9382786
1.1.3.Ejecución y desarrollo	16,6604879	0,759359691	56,84681245
1.2.Procesos de soporte	36,13965826	10,901134	149,6658995
1.3.Proveedores	0,972632389	0	0
2.Daños a activos físicos	7,236570236	0,771226836	34,40368689
3.Personas y organización	3,887441604	0,533864574	14,09636963
4.Sistemas	4	1,070521487	13,04783138
5.Fraude	14,00000102	5,996206752	55,06374524
6.Compliance	0,55602488	0	0

*Tabla 29. Impacto en plazo agregado de nivel 3 de A.P. de Construcción*

<b>Nivel</b>	<b>Pérdida media individual (días)</b>	<b>Pérdida (P50) (días)</b>	<b>Pérdida (P95) (días)</b>
1.1.Planificación y desarrollo	82,31786292	0,759359691	192,8981471
1.2.Procesos de soporte	36,13965826	10,901134	149,6658995
1.3.Proveedores	0,972632389	0	0
2.Daños en activos físicos	7,236570236	0,771226836	34,40368689
3.Personas y organización	3,887441604	0,533864574	14,09636963



4.Sistemas	4	1,070521487	13,04783138
5.Fraude	14,00000102	5,996206752	55,06374524
6.Compliance	0,55602488	0	0

*Tabla 30. Impacto en plazo agregado de nivel 2 de A.P. de Construcción*

Nivel	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)
1.Ejecución	119,43	11,66	342,56
2.Daños en activos físicos	7,236570236	0,771226836	34,40368689
3.Personas y organización	3,887441604	0,533864574	14,09636963
4.Sistemas	4	1,070521487	13,04783138
5.Fraude	14,00000102	5,996206752	55,06374524
6.Compliance	0,55602488	0	0

*Tabla 31. Impacto en plazo agregado de nivel 1 de A.P. de Construcción*

Total Evaluado	Pérdida media individual (días)	Pérdida (P50) (días)	Pérdida (P95) (días)
	149,1101913	20,03231334	265,6742895

*Tabla 32. Impacto total evaluado de A.P. de Construcción*

Como sucede en el proyecto de Infraestructura Energética, en la Figura 32 se muestra que los riesgos de 1.1. Planificación y desarrollo (55%) son los riesgos con mayor impacto económico junto con los de 1.2 Procesos de soporte (24%).

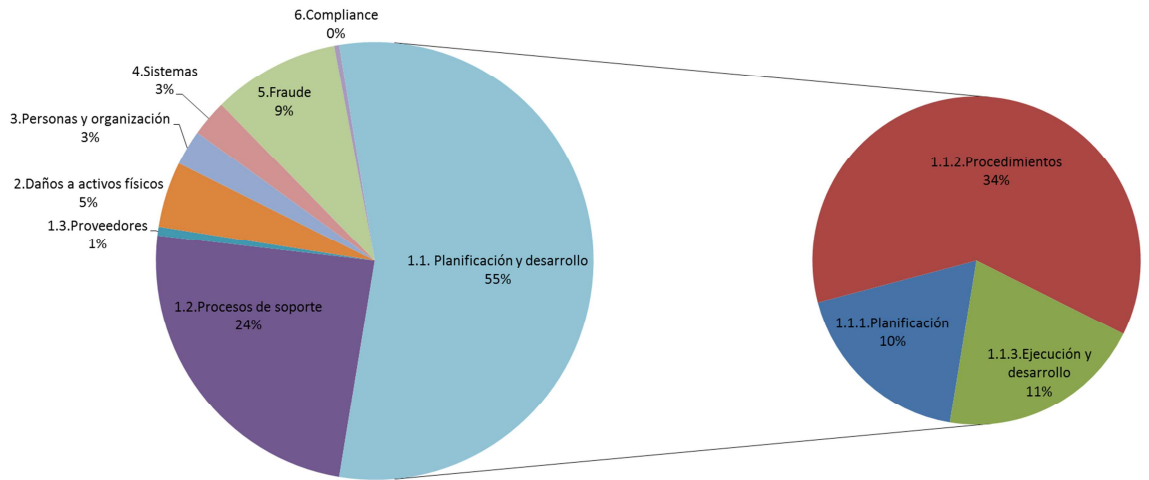


Figura 32. Pérdida media (retraso) de los riesgos de A.P. agregados durante la Construcción



## Capítulo 7 CONCLUSIONES

En este proyecto se ha llevado a cabo un estudio sobre riesgos operacionales en el sector energético aplicados a proyectos de Infraestructura Energética y Alumbrado Público, aplicando una metodología de gestión de riesgos a un caso práctico en los cuales con la información existente era necesaria la aportación del criterio de los expertos para poder aplicarla.

### ***7.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RIESGOS***

---

- Actualmente, la integración de unidades de *Risk Management* en las compañías es cada vez más necesario. Esta unidad debe ayudar a las demás áreas de la empresa a inculcar una cultura de gestión y análisis de los riesgos para ser consciente de los riesgos a los que se está expuesto, ya que según el apetito al riesgo que se esté dispuesto a asumir las decisiones estratégicas serán unas u otras.
- La gestión de riesgos, poniendo foco a los riesgos operacionales, es fundamental para el sector energético. Debido a su impacto económico, medioambiental y para la sociedad, como se ha podido observar en algunos ejemplos que se exponen durante el proyecto, es fundamental que sea gestionado adecuadamente. Con una adecuada gestión de los riesgos se pueden llegar a prevenir y a mitigar de manera adecuada.
- De entre todas las metodologías, la *Loss Distribution Approach* es la que mejor se adapta para analizar riesgos operacionales, y así obtener posibles impactos de pérdida esperada y pérdida máxima definiendo un intervalo de confianza adecuado.



## **7.2 *COMPRENSIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE NEGOCIO ACTUALES EN EL SECTOR ENERGÉTICO***

---

- De las líneas de negocio estudiadas a través de la asociación de *ael̄c* se puede comprobar que hay líneas de negocio que están más asentadas, como infraestructuras energéticas, redes, alumbrado público; otras que son más innovadoras (ciudad, empresa/industria, etc.), y unas que están en vías de desarrollo comercial, como el *Demand & Response* y las ciudades inteligentes. En las primeras y en las segundas tiene más sentido aplicar la metodología de gestión de los riesgos debido a que es un sector más asentado en el cual hay más información y los directores de proyectos conocen a la perfección los riesgos presentes en el sector. En las terceras al estar en vías de desarrollo comercial, todavía es prematuro aplicar la metodología.
- También se ha hecho un estudio de los proyectos típicos que se llevan a cabo en Infraestructura Energética y Alumbrado Público, explicando las diferentes fases y los tipos de proyectos que hay dentro de los mismos.

## **7.3 *DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS***

---

- La metodología definida parte del caso base en el cual se tenga un histórico de datos, tanto económicos como en plazo, en el cual se pueda obtener una frecuencia, pérdida esperada y pérdida máxima (asociada a un percentil del 95 o 99%). En el caso de que no se tuviera dicho histórico de eventos, se vería y analizaría la información existente. En el caso de que esta no estuviera disponible y/o no fuera suficiente, se acude al criterio de los expertos.



- Se ha aplicado la metodología con el apoyo del criterio de los expertos. En el caso del proyecto de Infraestructura Energética había un cierto seguimiento de las fases en líneas genéricas en cuanto a planificación, pero no se especificaban los eventos que provocaban los retrasos y muchos riesgos no se podían parametrizar. Lo mismo ocurría con el seguimiento económico.
- En cambio, para el proyecto de Alumbrado Público ha sido totalmente necesaria la aportación de los expertos, ya que la empresa no llegaba a hacer un seguimiento de los plazos de los retrasos ocurridos ni un seguimiento económico de los sobrecostes, y en ambos no se registraban los eventos que originaban los mismos.

#### **7.4 RESULTADOS DEL CASO PRÁCTICO**

---

- En el proyecto de Infraestructura Energética y en el de Alumbrado Público en la fase de Construcción, los riesgos más relevantes económicamente son aquellos que tiene que ver con la Ejecución del Proyecto, sobre todo los de Planificación y Ejecución y Desarrollo. En cuanto a desviaciones en plazo, destacan los relacionados con procedimientos (licencias) y ejecución y desarrollo.
- En la parte de Operación y Mantenimiento de los activos del proyecto de Alumbrado Público, también repercuten económicamente riesgos de ejecución y desarrollo, controles de calidad, retrasos de proveedores, daños en activos físicos, agentes externos y contractuales. Todos estos tienen que ver principalmente con sobrecostes debidos a una mala gestión del mantenimiento, un plan mal diseñado del ahorro energético establecido así como un número grande de manutención no programada.



## **7.5 CONCLUSIONES SOBRE LA GESTIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES**

---

---

El objetivo de esta metodología de gestión de riesgos es proporcionar ventajas al director de proyecto en las siguientes facetas:

- Se puede tener un mejor criterio en la decisión estratégica de si invertir o no en ciertos proyectos con el mismo perfil de riesgos que ya se han llevado a cabo anteriormente, sabiendo cuales son aquellos con mayor impacto habiendo establecido el apetito al riesgo<sup>30</sup>.
- Se puede establecer un precio o *pricing* más competitivo en las ofertas, ajustando mayormente el precio inicial con respecto a los de los posibles competidores, sabiendo cuales son los riesgos más probables y los impactos que pueden llegar a tener.
- Poder llevar a cabo una gestión del riesgo proactiva, es decir, poder activar medidas de mitigación y/o prevención de manera efectiva mediante un cuadro de mando basado en una base de datos bien documentada que avise mediante indicadores de tipo KPIs o KRIs, antes de que los riesgos se materialicen o se estén materializándose.

## **7.6 LIMITACIONES PRINCIPALES DURANTE EL PROYECTO**

---

---

Durante el proyecto las principales limitaciones han sido las siguientes:

- Los datos obtenidos para llevar a cabo el caso práctico han sido principalmente a través de estimaciones de criterio de los expertos. La falta de una base de datos con un histórico de eventos en el que se registraran los sobrecostos y/o desvíos en plazos.

---

<sup>30</sup> El impacto del riesgo que se está dispuesto a aceptar.



- Al aplicar la metodología en un proyecto de Infraestructura Energética, se ha podido estudiar la magnitud de los impactos de los riesgos operacionales en una Instalación Eléctrica. Debido a la falta de acceso de una base de datos con una catalogación de la información uniforme por grupos de proyectos, no se ha podido tomar un muestreo mayor, pudiendo haber estudiado un grupo de proyectos del mismo tipo o un portfolio de proyectos mayor, por ejemplo, de estaciones de gas licuado, estaciones de media/baja tensión, consultoría energética, etc. Con lo cual por ello el caso práctico se ha limitado a un proyecto.
- En el caso de Alumbrado Público, no había ni siquiera un registro de los proyectos en cuanto a sobrecostes y desviaciones en plazo. Simplemente había un registro de la duración de las actividades y del coste de las mismas. Con lo cual, por ello el estudio de Alumbrado Público se ha limitado a un Ayuntamiento.





## Capítulo 8 FUTUROS DESARROLLOS

A partir de este proyecto se podrían llevar a cabo los siguientes futuros desarrollos:

- Llevar a cabo el mismo caso práctico, pero con un histórico de datos suficiente y fiable para modelar las distribuciones frecuencia y de severidad de los riesgos de manera más precisa, en vez de tener que acudir a la información de proyecto por proyecto o a través de los expertos. Las compañías deben de ser las primeras interesadas en adquirir una cultura de gestión y medición del riesgo, no solo para llevar a cabo este ejercicio sino también para llevar un control adecuado de los mismos, conllevando las ventajas comentadas en apartado 7.5.
- Poder ampliar el alcance del estudio a otros tipos de proyectos, inclusive a un portfolio: instalaciones eléctricas (baja, media y alta tensión), instalaciones de gas, consultoría energética, puntos de recarga de vehículos eléctricos, diferentes ayuntamientos de diferentes zonas, iluminación artística, etc. Cuantos más sectores se gestionen se podrá controlar de manera más precisa el apetito al riesgo de los mismos.
- Establecer las variables que son más determinantes y que cambian la severidad y la tipología de los riesgos, como puede ser el presupuesto de los proyectos, la duración, la clasificación de los productos (tipos de proyecto), zona de realización, etc.
- Llevar a cabo un cuadro de mando que a partir de las distribuciones de pérdida y frecuencia de los riesgos en las siguientes modalidades: por proyecto, por riesgo, por tipo de proyecto o producto y por portfolio de proyectos, según la base de datos a disposición. De manera gráfica se podrían controlar los riesgos mediante la muestra de KRIs o KPIs, y poder así tomar decisiones estratégicas en tiempo real.



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

*FUTUROS DESARROLLOS*

---



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] [VABU19] Vázquez Burguillo R., "Acuerdos de Basilea", última visita realizada: 01/05/2019, link <https://economipedia.com/definiciones/acuerdos-de-basilea.html>
- [2] [CGMA13], "Risk Heat Map", última visita realizada: 01/05/2019, link: <https://www.cgma.org/resources/tools/essential-tools/risk-heat-maps.html>
- [3] [IVAI18], "Eight steps to creating a risk heat map, última visita realizada: 01/05/2019, link: "<https://www.iaa.nl/actualiteit/nieuws/eight-steps-to-creating-a-risk-heat-map>
- [4] [ENNU19], "Accidente nuclear de Fukushima, Japón", última visita realizada: 01/05/2019, link: <https://energia-nuclear.net/accidentes-nucleares/fukushima.html>
- [5] [PALLA19], Pallardy R., "Deepwater Horizon oil spill", última visita realizada: 01/05/2019, link: <https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill>
- [6] [EXMO18], "The Valdez oil spill", última visita realizada: 01/05/2019, link: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Tools-and-processes/Risk-management-and-safety/The-Valdez-oil-spill#overview>
- [7] [KENT19], Kenton W., "Enterprise Risk Management (ERM)", última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.investopedia.com/terms/e/enterprise-risk-management.asp>
- [8] [VAZQ19], Vázquez R., "Acuerdos de Basilea", última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://economipedia.com/definiciones/acuerdos-de-basilea.html>
- [9] [BPIN04], Banco de Pagos Internacionales, "Convergencia internacional de medidas y normas de capital", última visita realizada: 11/07/2019, link:<https://www.bis.org/publ/bcbs107esp.htm>
- [10] [WIKI18], "Basilea III", última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Basilea\\_III](https://es.wikipedia.org/wiki/Basilea_III)



- 
- [11] [BIS], “*Basel III: international regulatory framework for banks*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.bis.org/bcbs/basel3.htm>
- [12] [BIS\_11], “*Basel III: A global regulatory framework for more resilient banks and banking systems - revised version June 2011*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.bis.org/publ/bcbs189.htm>
- [13] [COCA14] Coca D., García de Blas R., Calvo J., Álvarez J. y del Canto A., “*Operational risk management in the energy industry*”, White Paper, MS, 2014
- [14] [WIKI19], “*Accidente nuclear de Fukushima I*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente\\_nuclear\\_de\\_Fukushima\\_I](https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_nuclear_de_Fukushima_I)
- [15] [ENNU19], “*Accidente nuclear de Fukushima, Japón*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://energia-nuclear.net/accidentes-nucleares/fukushima.html>
- [16] [WIKI19], “*Deepwater Horizon*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater\\_Horizon](https://es.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon)
- [17] [PALL19], “*Deepwater Horizon oil spill*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.britannica.com/event/Deepwater-Horizon-oil-spill>
- [18] [EXMO18], “*The Valdez oil spill*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://corporate.exxonmobil.com/en/Energy-and-environment/Tools-and-processes/Risk-management-and-safety/The-Valdez-oil-spill#overview>
- [19] [WIKI19], “*Accidente del transbordador espacial Columbia*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente\\_del\\_transbordador\\_espacial\\_Columbia](https://es.wikipedia.org/wiki/Accidente_del_transbordador_espacial_Columbia)
- [20] [CRON06], “*El caso Enron*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://elpais.com/economia/2006/07/05/actualidad/1152084782\\_850215.html](https://elpais.com/economia/2006/07/05/actualidad/1152084782_850215.html)
- [21] [VANG16], “*Enron: el mayor escándalo financiero de la historia, tan grande como olvidado*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.lavanguardia.com/economia/20161202/412319658496/enron-quiebra-escandalo.html>
- [22] [WIKI19], “*Sector energético*”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Sector\\_energ%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Sector_energ%C3%A9tico)
-



- [23] [WIKI19], “Matriz energética”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz\\_energ%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_energ%C3%A9tica)
- [24] [WIKI19], “Energy industry”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_industry](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_industry)
- [25] [IDAE], “ENERGÍA ELÉCTRICA”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://idaes.es/energia-electrica>
- [26] [AELE], última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://aelec.es/>
- [27] [IBER19], “Líneas de negocio”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.iberdrola.com/conocenos/lineas-negocio>
- [28] [NATU19], “Renovables”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://www.naturgy.com/conocenos/actividad\\_y\\_energias/renovables](https://www.naturgy.com/conocenos/actividad_y_energias/renovables)
- [29] [NATU19], “Electricidad”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://www.naturgy.com/conocenos/actividad\\_y\\_energias/electricidad](https://www.naturgy.com/conocenos/actividad_y_energias/electricidad)
- [30] [VEOL19], “Eficiencia energética”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.veolia.es/es/servicios/actividades/eficiencia-energetica>
- [31] [VEOL19], “Servicios energéticos en edificios”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.veolia.es/es/servicios/actividades/servicios-energeticos-en-edificios>
- [32] [VEOL19], “Utilidades industriales”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.veolia.es/es/servicios/actividades/utilidades-industriales>
- [33] [NATU19], “Gas”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://www.naturgy.com/conocenos/actividad\\_y\\_energias/gas](https://www.naturgy.com/conocenos/actividad_y_energias/gas)
- [34] [ENDE19], “Proyectos de gas”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.endesaclientes.com/grandes-clientes/proyectos-gas.html>
- [35] [ENEL19], “Servicios y soluciones para la vivienda”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.enelx.com/es/casa-inteligente/servicios-soluciones-para-vivienda>
- [36] [ENEL19], “Home misión”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.enelx.com/es/casa-inteligente/home-mission>
- [37] [ENEL19], “Business mission”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.enelx.com/es/smart-business/business-mission>
-



- [38] [ENEL19], “E-City misión”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
<https://www.enelx.com/es/ciudad-inteligente/e-city-mission>
- [39] [ENEL19], “Electric mobility misión”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
<https://www.enelx.com/es/movilidad-electrica/electric-mobility-mission>
- [40] [IIT\_13], Vallés Rodriguez M., Frías Marín P., Reneses Guillén J., González Sotres L., “Gestión Activa de la Demanda para una Europa más eficiente”
- [41] [WIKI19], “Demand response”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Demand\\_response](https://en.wikipedia.org/wiki/Demand_response)
- [42] [VEOL19], “Ciudades del futuro”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
<https://www.veolia.es/es/servicios/clientes/ciudades-del-futuro>
- [43] [PRMA19], “Fases proyectos construcción: las 6 etapas que te conducen al éxito”, última visita realizada: 11/07/2019, link: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/construccion/fases-proyectos-construccion-las-6-etapas-que-te-conducen-al-exito>
- [44] [COCI13], “ETAPAS EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
<https://www.elconstructorcivil.com/2013/04/etapas-en-un-proyecto-de-construccion.html>
- [45] [WIKI19], “Distribución de Poisson”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_de\\_Poisson](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Poisson)
- [46] [WIKI19], “Distribución de Weibull”, ”, última visita realizada: 11/07/2019, link: [https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n\\_de\\_Weibull](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Weibull)
- [47] “La distribución de Weibull”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
<http://www.ub.edu/stat/GrupsInnovacio/Statmedia/demo/Temas/Capitulo4/BOC4m1t9.htm>
- [48] [PALI19], “Simulación Monte Carlo”, última visita realizada: 11/07/2019, link:  
[https://www.palisade-lta.com/risk/simulacion\\_monte\\_carlo.asp](https://www.palisade-lta.com/risk/simulacion_monte_carlo.asp)



## *Parte II ESTUDIO*

### *ECONÓMICO*



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS**  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)  
INGENIERO INDUSTRIAL

---



## Capítulo 1 ESTUDIO ECONÓMICO

En esta sección se muestra un cálculo económico del coste del proyecto y se explica la rentabilidad del mismo de vistas al futuro. Teniendo en cuenta que la duración del proyecto ha sido (teóricamente) de 300 horas (12 ECTS):

<i>COSTE DEL PROYECTO</i>			
ACTIVIDAD	Precio (€/hora)	Horas	Coste total (€)
Documentación	20	50	1000
Análisis	50	100	5000
Cálculo	50	100	5000
Elaboración del informe	30	50	2500
COSTE TOTAL (€)			13500

Tabla 33. Coste total del proyecto

Teniendo en cuenta que se han utilizado metodologías asentadas en cuanto a gestión de riesgos y se ha utilizado a un becario, perteneciente a la escuela del ICAI, como mano de obra para llevar a cabo el proyecto, la viabilidad y la fiabilidad del proyecto están aseguradas. Debido a que las empresas cada vez buscan tener una mejor gestión de los costes de los proyectos y no quieren invertir en unos nuevos sin conocer los posibles riesgos cuantitativamente, el interés de inversión en proyectos de gestión de riesgos está a la orden del día.