



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Organización Industrial

Herramientas y Técnicas en la Gestión de la Incertidumbre

Autor:

Curto Lorenzo, David

Tutor:

**Acebes Senovilla, Fernando
Departamento de Organización de
Empresas y CIM**

Valladolid, noviembre 2020

Resumen

La Gestión del Riesgo se ha convertido en un tema de interés general dentro de la administración y dirección, y especialmente en la dirección y gestión de proyectos o *Project Management*. Sin embargo, no existe un consenso generalizado en cuanto a los conceptos de riesgo e incertidumbre. Una amplia revisión literaria nos ha permitido identificar cuatro tipos de incertidumbre: estocástica, aleatoria, epistémica y ontológica. Para realizar una buena gestión del riesgo, es imprescindible el uso de las técnicas y herramientas adecuadas. El objetivo de este trabajo es presentar un sumario de las herramientas y técnicas recomendadas para ser aplicadas a cada tipo de incertidumbre.

Palabras clave

Dirección de Proyectos; Riesgos; Gestión de Riesgos; Incertidumbre; Gestión de la Incertidumbre

Abstract

Risk Management is an emerging topic of interest in Management literature in general, and especially in the Project Management discipline. Nonetheless, there is no consensus about the concept of risk. A broad review of the literature let us identify four types of uncertainty: stochastic, aleatoric, epistemic and ontological. Successful Risk Management requires applying the appropriate techniques and tools. The aim of this paper is to present a synthesis of the tools and techniques, which must be applied to each type of uncertainty

Keywords

Project Management; Risk; Risk Management; Uncertainty; Uncertainty Management

Índice

Introducción	1
Motivación	1
Objetivos	1
Alcance	1
Estructura	2
1. Generalidades de la Dirección de Proyectos	3
2. Gestión del Riesgo	5
2.1 Orígenes del Riesgo	5
2.1.1 Riesgo desde la psicología.....	7
2.1.2 Riesgo desde la economía.....	7
2.1.3 Riesgo desde la ingeniería.....	8
2.2 Riesgo en la Dirección de Proyectos	8
2.2.1 Evolución histórica de la noción de Riesgo.....	9
2.2.2 El riesgo desde distintos estándares para la Dirección de Proyectos.....	11
2.2.3 Riesgo e Incertidumbre.....	11
2.2.4 El caso de los Riesgos Laborales.....	13
2.2.4.1 Integración en Proyectos.....	13
2.3 Componentes del Riesgo	14
3. Gestión de la Incertidumbre	17
3.1 Incertidumbre en la Dirección de Proyectos	17
3.2 Distintas clasificaciones	18
3.2.1 Incertidumbre y Complejidad.....	18
3.2.2 La dualidad de la Incertidumbre.....	19
3.2.3 Grado de desconocimiento de una incertidumbre.....	20
3.2.3.1 La madurez hacia el riesgo.....	21
3.2.4 No-eventos.....	23
3.2.4.1 Incertidumbre estocástica.....	27
3.2.4.2 Incertidumbre aleatoria.....	28

3.2.4.3	Incertidumbre epistémica	28
3.2.4.4	Incertidumbre ontológica	29
3.3	Modelos de gestión	30
4.	Herramientas y técnicas	33
	Metodología	34
4.1	Métodos de Decisión Multicriterio.....	36
4.1.1	Analytic Hierarchy Process (AHP).....	36
4.1.2	Analytic Network Process (ANP).....	38
4.1.3	ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE)	40
4.1.4	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ..	42
4.2	Métodos Heurísticos.....	43
4.2.1	Algoritmos genéticos	44
4.2.2	Búsqueda tabú	45
4.2.3	GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)	46
4.2.4	Recocido simulado	47
4.2.5	Redes Neuronales	48
4.3	Métodos lógicos	49
4.3.1	Event Tree Analysis (ETA)	50
4.3.2	Fault Tree Analysis (FTA)	51
4.3.3	Fuzzy Logic	51
4.4	Métodos basados en matrices.....	52
4.4.1	Risk Breakdown Matrix (RBM) and Structure (RBS).....	53
4.4.2	SWOT Analysis (Análisis DAFO/FODA)	54
4.5	Métodos matemáticos.....	55
4.5.1	Expected Monetary Value (EMV).....	56
4.5.2	Earned Value Management (EVM).....	56
4.5.3	Experimentos estadísticos	57
4.5.4	Human Reliability Assessment (HRA)	58
4.5.5	Margen	59
4.5.6	Monte Carlo.....	60
4.5.7	Pareto Analysis (PA).....	61
4.5.8	Programación lineal.....	62

4.5.9	Sensitivity Analysis	63
4.6	Métodos basados en diagramas de eventos	64
4.6.1	Checklist.....	65
4.6.2	Decision Tree Analysis.....	65
4.6.3	Diagramas de causa y efecto	66
4.6.4	Event and Causal Factor Charting (ECFCh).....	66
4.7	Métodos para la búsqueda de riesgos	67
4.7.1	Brainstorming	67
4.7.2	Change Analysis (ChA).....	68
4.7.3	Delphi	68
4.7.4	Expert Judgment.....	68
4.7.5	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).....	69
4.7.6	Incident Reporting (IR)	70
4.7.7	Risk Probability and Impact Assessment	71
4.7.8	What-If Analysis & SWIFT Analysis.....	71
4.7.8.1	What-If Analysis	72
4.7.8.2	SWIFT Analysis.....	72
4.7.9	'5 Why's' Technique	72
4.8	Resumen	73
	Conclusiones.....	77
	Referencias.....	79
	Anexo: Publicaciones.....	89

Índice de Figuras

Figura 1 Puntos en común sobre el concepto Riesgo	9
Figura 2 Componentes del Riesgo	14
Figura 3 Clasificación clásica de la Incertidumbre	20
Figura 4 La ventana de Johari. Elaboración propia.	24
Figura 5 Tabla Awareness – Knowledge. Elaboración propia.....	25
Figura 6 Clasificación de la Incertidumbre por 'No-eventos'.....	27
Figura 7 Gráfica de los procesos de búsqueda metodológica. Elaboración propia.....	35
Figura 8 Ejemplo de niveles de decisión jerarquizados. (Ishizaka & Nemery, 2013).	37
Figura 9 Ejemplo de una matriz de comparación. (Ishizaka & Nemery, 2013).	38
Figura 10 Ejemplo de red analítica. (Ishizaka & Nemery, 2013).	39
Figura 11 Ejemplo de matriz de comparación. (Ishizaka & Nemery, 2013)....	39
Figura 12 Ejemplo de la jerarquía obtenida mediante el método ELECTRE. Elaboración propia.	41
Figura 13 Preferencia de criterios para el método PROMETHEE. (Ishizaka & Nemery, 2013).	42
Figura 14 Ejemplo de método Topsis. (Ishizaka & Nemery, 2013).....	43
Figura 15 Sistema básico de funcionamiento de los algoritmos genéticos. Elaboración propia.	45
Figura 16 Ejemplo de una iteración de una búsqueda tabú. (Glover & Laguna, 1997).	46
Figura 17 Ejemplo de un pseudo-código genérico GRASP. (Feo & Resende, 1995).	47

Figura 18 Histograma de resultados obtenidos tras varios recocidos simulados. (Kirkpatrick et al., 1983).....	48
Figura 19 Ejemplo de esquema de una red neuronal. Elaboración propia.....	49
Figura 20 Diagrama Origen-Respuesta como base de ETA y FTA. (Chapman & Ward, 2003).....	50
Figura 21 Ejemplo de Risk Breakdown Matrix (RBM). (Hillson et al., 2006). .	54
Figura 22 Análisis DAFO/FODA/SWOT. Elaboración propia	55
Figura 23 Ejemplo de árbol de decisión con EMV incorporado. (Project Management Institute, 2017)	56
Figura 24 Variables de ejemplo de EVM. (Pajares & López-Paredes, 2011)..	57
Figura 25 Ejemplo de HRA para errores médicos. (M. Lyons et al., 2004).....	59
Figura 26 Ejemplo de Intervalos de tolerancia - Margen. (Bellagamba, 1999)	60
Figura 27 Ejemplo de duración de un proyecto después de aplicar la simulación de Monte Carlo con el software @RISK. Elaboración propia	61
Figura 28 Ejemplificación de un gráfico de Pareto. Elaboración propia.	62
Figura 29 Solución gráfica por optimización de un problema de dos variables. (Hillier & Lieberman, 2015).	63
Figura 30 Ejemplo de gráfico de tornado de un análisis de sensibilidad. (Project Management Institute, 2017)	64
Figura 31 Ejemplo de una lista de verificación - <i>Checklist</i> . (Project Management Institute, 2017).....	65
Figura 32 Ejemplo de un diagrama de causa y efecto. (Project Management Institute, 2017).....	66
Figura 33 Tabla modelo de AMFE. Elaboración propia.....	69
Figura 34 Registro de eventos en Incident Reporting (IR). Cinotti (2004).....	70
Figura 35 Ejemplo de estudio mediante una matriz de Probabilidad e Impacto con esquema de puntuación.	71

Índice de Tablas

Tabla 1 Orígenes del Riesgo.....	6
Tabla 2 Resumen de las visiones del concepto 'Riesgo' de distintos autores	10
Tabla 3 Indicadores del Grado de desconocimiento.....	23
Tabla 4 Herramientas, métodos y técnicas.....	34
Tabla 5 Métodos de Decisión Multicriterio.....	36
Tabla 6 Valores de comparación del método AHP	37
Tabla 7 Métodos Heurísticos.....	44
Tabla 8 Métodos lógicos.....	49
Tabla 9 Ejemplo de categorización de una variable fuzzy	52
Tabla 10 Métodos basados en matrices.....	53
Tabla 11 Métodos matemáticos	55
Tabla 12 Experimentos estadísticos. (Montgomery, 2017).....	58
Tabla 13 Métodos basados en diagramas de eventos	64
Tabla 14 Métodos para la búsqueda de riesgos	67
Tabla 15 Resumen de la clasificación de los métodos revisados por los tipos de incertidumbre	74
Tabla 16 Resumen de los métodos comúnmente utilizados en la detección y clasificación de nuevos riesgos	75

Introducción

Motivación

La Dirección de Proyectos se ha convertido en una disciplina de completa actualidad y, por ende, la Gestión de Riesgos de un proyecto ha logrado obtener una gran relevancia. En estas condiciones, hemos creído necesario la realización de una revisión del concepto de riesgo a lo largo de la historia. Para poder profundizar en su tratamiento y gestión, profundizaremos en el concepto de incertidumbre como causa de riesgos y las clasificaciones que los distintos autores han ido desarrollando.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la revisión de las múltiples técnicas, herramientas y métodos comúnmente utilizados en la Gestión de Riesgos. Previamente, se han revisado los conceptos de riesgo e incertidumbre como condición sine qua non para poder realizar el estudio sobre los sistemas de tratamiento de riesgos.

Otro de los propósitos principales de este trabajo es realizar un estudio sobre el riesgo y la incertidumbre y los orígenes, clasificaciones y componentes que los forman. Del mismo modo, es imprescindible establecer la relación que une el riesgo con la incertidumbre.

Alcance

Debido a que tratamos la incertidumbre como un paso necesariamente previo a la gestión de riesgos, hemos focalizado nuestra atención en las herramientas, técnicas y métodos atendiendo a la naturaleza de las variables con las que trabajan.

A efectos de conocer qué es la incertidumbre y la forma más adecuada de gestionarla, es necesario profundizar en el estudio sobre la naturaleza, las clasificaciones y los modelos de gestión de la incertidumbre. Con el objetivo de poder aplicar a cada tipo de incertidumbre las herramientas, métodos y técnicas adecuadas, realizar un estudio sobre el alcance y las limitaciones de estas se ha convertido en el núcleo de este trabajo.

Estructura

Para lograr alcanzar los objetivos expuestos, el documento se estructura como sigue:

- Capítulo 1. Generalidades de la Dirección de Proyectos: se presenta la situación actual de la dirección de proyectos.
- Capítulo 2. Gestión del Riesgo: se analizan los distintos significados que el concepto de riesgo ha ido recogiendo a lo largo de la historia. Asimismo, se profundiza en los orígenes del sentido actual del riesgo en la Dirección de Proyectos.
- Capítulo 3. Gestión de la Incertidumbre: Se sigue profundizando en el concepto de riesgo hasta llegar al concepto de incertidumbre. Igualmente, se revisan las últimas clasificaciones realizadas, así como se ahonda en la importancia de gestionar la incertidumbre como paso necesario y previo a la gestión de riesgos.
- Capítulo 4. Herramientas y técnicas: Son expuestas las herramientas, técnicas y métodos analizados. Se exponen las principales características de cada uno, relacionándolos con los tipos de incertidumbre que por su naturaleza podrían tratar. En este capítulo se presenta la metodología seguida.
- Conclusiones: Las principales conclusiones de este trabajo son expuestas en el capítulo final.

1. Generalidades de la Dirección de Proyectos

Debido a la pasada crisis económico-financiera, muchas empresas encontraron la solución a sus problemas en la especialización vía proyectos. Numerosas investigaciones e informes, como el del Ministerio de Industria (2011), animaban y fomentaban la búsqueda de soluciones en la creación de nuevos proyectos. Tanto las PYMES como las grandes empresas fueron instadas a emprender nuevos proyectos como una solución de escape a los problemas en los que se encontraban.

El concepto de proyecto, tal y como lo define el Project Management Institute (2017), se explica como *“un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”*. Esta definición, con un significado tan amplio, deja patente la transversalidad de los campos de aplicación de los proyectos.

Hablamos de un proyecto como el resultado de un proceso de creación único, enfocado a resolver unos problemas concretos y con el fin de obtener unos resultados medibles. Este enfoque tan multidisciplinar hace de un proyecto una oportunidad para aplicar los conocimientos que tengan las personas y las empresas de cualquier ámbito de la economía.

Cada fase de crecimiento de una empresa, bien mediante el lanzamiento al mercado de nuevos productos o por el crecimiento del área de influencia, tiende a realizarse mediante proyectos. La fragilidad en la consecución de todos y cada uno de los resultados esperados hace que la buena gestión de los proyectos sea una cualidad muy deseada por las empresas.

La dirección de proyectos sirve, pues, de punta de lanza en el desarrollo económico de las empresas. En lo referente a la ingeniería, un estudio realizado por Monster (2011) sobre la situación laboral de nuevos candidatos, concluye que la competencia de Director de Proyectos es una de las más demandadas por las empresas de selección de personal. Tal es la situación que, según recoge el informe de KPMG (2017), las empresas que son líderes de su sector generalizan el uso de la disciplina de la Dirección de Proyectos.

Debido a que un proyecto tiene unos objetivos que, por lo general, suelen ser bastante amplios, se coliga que un proyecto entraña riesgos de no consecución de algunos de esos objetivos. Hablamos de la gestión del riesgo en proyectos como una actividad directamente relacionada con la consecución de los objetivos del mismo (Hillson, 2014). Otro estudio, realizado por el World Economic Forum (2018) destaca la influencia que tiene la creación de nuevos proyectos en países con un alto crecimiento y desarrollo económico; así como la relevancia de la competencia de *Risk Manager*, o Gestor de Riesgo, en el desarrollo de nuevos proyectos.

El propio World Economic Forum (2016), en lo relativo a la ingeniería y la construcción, afirma: “*it is always important to improve accountability and manage risks effectively [...] by encouraging a common risk-management strategy*”. El sentido que le quiere dar el World Economic Forum es que siempre es importante mejorar la responsabilidad y la gestión efectiva de riesgos fomentando una estrategia común de gestión de riesgos.

La gestión de riesgos es un aspecto con mucha relevancia en la dirección y gestión de proyectos. Como indican Meredith et al. (2017), “*It is never too early in the life of a project to begin managing risk*”. El riesgo de un Proyecto debería comenzar a ser manejado lo antes posible. Los objetivos de un proyecto pueden llegar a ser muy amplios, y para ello es necesario hacer las cosas bien desde el principio.

Por este mismo motivo, multitud de organizaciones podrán comenzar a gestionar el riesgo desde el momento mismo de la creación de un proyecto. El objeto principal de estudio de nuestro trabajo será una revisión sobre el uso de las herramientas y técnicas más eficientes a la hora de tratar el riesgo.

2. Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo y, por consiguiente, de la incertidumbre, es una tarea multidisciplinar debido a la transversalidad de la dirección de proyectos. Las ramas del conocimiento científico a las que afecta la gestión del riesgo y de la incertidumbre, según Saunders et al. (2015), serían la economía, la ingeniería y la psicología: “*a broad range of intellectual disciplines including economics, engineering and psychology*”.

Se debate que la incertidumbre y sus riesgos asociados son una faceta multidisciplinar. Por este motivo, tantos autores de ramas del conocimiento tan distintas como la psicología, la economía o la ingeniería, debaten entre sí para darle a los conceptos de riesgo e incertidumbre una definición lo más clara posible.

Saunders et al. (2015) hablan del concepto de incertidumbre como un concepto polifacético y multidisciplinar. En este documento trataremos de buscar los orígenes del riesgo y de la incertidumbre desde las áreas del conocimiento humano que históricamente se han interesado por ellos: la psicología, la economía y la ingeniería.

2.1 Orígenes del Riesgo

Para encontrar la primera evidencia escrita sobre riesgo e incertidumbre deberíamos trasladarnos hasta el filósofo Séneca (55 C.E.), que escribió: “*Pierdes lo presente y, disponiendo de lo que está en las manos de la fortuna, dejas lo que está en las tuyas. ¿A dónde pones la mira? ¿Hasta dónde te extiendes? Todo lo que está por venir, es incierto.*”. Aquello que es ‘incierto’ es desconocido y, por tanto, entraña riesgos.

La certeza a la que hace referencia el pensador es la contraposición a lo desconocido. Hablamos de que gestionar los riesgos significa gestionar aquello desconocido. Otra forma de verlo sería decir que, aumentando el conocimiento que tenemos, disminuiría el riesgo al que nos enfrentamos.

Según exponen Hillson & Simon (2012), la gestión de riesgos actual, tal y como la conocemos, comienza con el trabajo sobre economía de Knight (1921). En dicho trabajo es donde el autor establece la diferencia entre riesgo e incertidumbre dentro de la Teoría de la Decisión.

Posteriormente, desde el punto de vista psicológico, se ha debatido sobre el prejuicio de retrospectiva como una fuente natural humana del concepto de riesgo. El debate se ha extendido hasta prácticamente nuestros días (Fischhoff, 2013). Para ultimar este proceso de transformación, Zarikas & Kitsos (2015) hablan de riesgo ingenieril como una desviación de las amenazas y las oportunidades de un proyecto.

Tenemos, pues, tres líneas de investigación a revisar, tal y como se observa en la Tabla 1: riesgo desde el punto de vista de la psicología, la economía y la ingeniería. En ciertos puntos es difícil establecer una línea de separación lo suficientemente clara.

Tabla 1 Orígenes del Riesgo

Rama del conocimiento	Fuentes
Psicología	
Prejuicio de retrospectiva	Fischhoff (2013)
Ventana de Johari	Luft & Ingham (1961)
Economía	
Teoría de la Decisión	Knight (1921)
Ingeniería	
Amenaza u oportunidad	Zarikas & Kitsos (2015)

Es por ello que, a pesar de ser psicólogos, los autores Luft & Ingham (1961) dibujaron la llamada ‘ventana de Johari’, en lo referente a la psicología cognitiva. Esta ‘ventana de Johari’ ha sido utilizada por muchos estudiosos de la gestión del riesgo para establecer una clasificación del mismo, como el doctor Hillson (2004). Todas estas ramas del conocimiento serán revisadas a continuación.

2.1.1 Riesgo desde la psicología

Aprender y estudiar buenos métodos de gestión del riesgo es necesario en la realización de proyectos, por lo que debe atender también a las condiciones básicas inherentes al ser humano. La gestión del riesgo está influenciada, tanto por la naturaleza del experimento, como por la del experimentador. Debido a que la naturaleza propia del modelador influye en la gestión del riesgo, hemos acudido a fuentes psicológicas para explicar el comportamiento humano.

Es condición humana el conocido como prejuicio de retrospectiva, consistente en subestimar el coste, tiempo y riesgos de las acciones planificadas y, por consiguiente, sobreestimar los beneficios y resultados (Fischhoff, 2013). Analizando la situación, la capacidad que tenemos para aprender del pasado estaría marcada por esta condición determinista, consustancial al sesgo retrospectivo.

En este campo del conocimiento científico, son notables los trabajos de Kahneman, Slovic and Tversky (1982), versando sobre la relación entre incertidumbre y los mundos exteriores e interiores del ser humano. Por otro lado, en la obra de Luft and Ingham (1961) establecían la llamada "*Johari Window*", o 'Ventana de Johari'.

Esta herramienta de la psicología cognitiva ha sido ampliamente estudiada por Fritzen (1987). La llamada 'ventana de Johari' ha servido de inspiración y de apoyo en el desarrollo del concepto de incertidumbre por grandes estudiosos del riesgo, como el doctor Hillson (2004), lejos del campo de la psicología.

2.1.2 Riesgo desde la economía

La primera vez que es tratado el riesgo como una probabilidad matemática viene de la mano de Knight (1921) y Su teoría de la Decisión. Entendemos, por tanto, que la primera mención a la gestión del riesgo como gestión de una variable estadística aparece por primera vez de la mano de un economista. Para Knight, el riesgo se puede predecir mediante el estudio de la probabilidad estadística.

Los conceptos de riesgo e incertidumbre han sido objeto de estudio de otros economistas durante el siglo XX. Un importante teórico de la economía, Keynes (1937), se interesó por distintas nociones de la incertidumbre, valorando la posibilidad de que no existiese relación entre los resultados obtenidos y la probabilidad de ocurrencia de un suceso. En otras palabras, consideraba la incertidumbre como un juego de probabilidades y, por tanto, se podrían esperar múltiples resultados posibles.

2.1.3 Riesgo desde la ingeniería

En referencia a la dirección de proyectos de ingeniería, Zarikas & Kitsos (2015) concluyen que “*experts tend to underestimate the uncertainties and costs, completion times, and risks of planned actions, whereas they overestimate the various benefits and profits of the project outcomes*”. Según ellos, los expertos tenderían a infravalorar las incertidumbres y los costes, los tiempos de finalización y los riesgos de las acciones planificadas, mientras que sobreestiman los diversos beneficios y ganancias de los resultados del proyecto.

Una forma de certeza en cuanto a la ocurrencia de un riesgo es observar la desviación de los indicadores de control de un proyecto. Cuando un parámetro de control se sitúa fuera de los límites asumibles por la naturaleza del diseño del proyecto, podríamos pensar que un riesgo está ocurriendo (Acebes et al., 2014b). El estudio de la variabilidad nos permitiría conocer cuán grande es esa desviación y qué consecuencias podría acarrear.

2.2 Riesgo en la Dirección de Proyectos

Podemos obtener múltiples beneficios de la buena gestión de las amenazas y oportunidades de un proyecto. Por tanto, lo difícil será acertar en las acciones que se toman mediante una buena gestión, aumentando la dificultad a medida que aumenta la precisión en la gestión de los riesgos.

Definir lo más exacto posible qué es y cuán importante es un riesgo es básico para poder estudiar los efectos positivos y negativos que tengan

sobre los requisitos, restricciones, hipótesis, exclusiones y objetivos en un proyecto. Para poder abordar todos estos ámbitos, es necesario establecer de forma exacta, clara, concisa y completa todos los aspectos relevantes en el alcance de un proyecto (Public Works and Government Services Canada, 2015).

Un lenguaje común facilita el aprendizaje y el conocimiento transversal de un proyecto (Hillson, 2002b). A continuación, se hará un repaso a los distintos significados y definiciones que distintos autores le han dado al riesgo. Posteriormente, se tratará la relación entre los conceptos de riesgo e incertidumbre y se hará un breve repaso al caso particular de los riesgos laborales.

2.2.1 Evolución histórica de la noción de Riesgo

A pesar de que no existe consenso sobre las definiciones de riesgo e incertidumbre (Padalkar & Gopinath, 2016; Perminova et al., 2008; Williams, 1995), sí existen ciertos puntos en común, expuestos en la Figura 1. Entendiendo el riesgo como un evento futuro con cierta probabilidad de ocurrencia, existe consenso en que un riesgo debe acarrear consecuencias o repercusiones inesperadas o no planeadas (Chia, 2006).

Puntos en Común
<ul style="list-style-type: none">• Evento Futuro• Probabilidad de Ocurrencia• Consecuencias inesperadas

Figura 1 Puntos en común sobre el concepto Riesgo

El estudio bibliográfico realizado por Williams (1995) constata que las connotaciones negativas sobre el concepto de riesgo se ponen de manifiesto en multitud de autores. Los significados posteriores ya mencionan la posibilidad de expandir el concepto hacia implicaciones más positivas. Es decir, hacia oportunidades.

Las consecuencias negativas sobre el riesgo han sido una constante a lo largo de la historia. Sin embargo, Dowie (1999) observó en su estudio que la visión únicamente negativa podría servir como un escollo en la gestión de riesgos de forma adecuada.

No existe una acepción exacta del concepto de riesgo. A pesar de que cada autor haga su propia definición, incluso a nivel técnico-ingenieril, en este documento se tratará el riesgo como un evento que puede derivar en una amenaza o en una oportunidad (Hillson & Simon, 2012). En la Tabla 2, se observa un resumen sobre las visiones del 'Riesgo' por distintos autores.

Tabla 2 Resumen de las visiones del concepto 'Riesgo' de distintos autores

Autor	Riesgo
Chia (2006)	Consecuencias inesperadas
Dowie (1999)	Necesidad de ampliar el concepto hacia consecuencias positivas
Jaafari (2001)	Probabilidad de ganar o perder
Hillson (2002a)	Mezcla de oportunidades y amenazas
Chapman & Ward (2003)	Dos caras (resultados positivos o negativos) de la misma moneda
Hillson & Simon (2012)	Evento que puede derivar en una amenaza o una oportunidad

Multitud de autores posteriores entienden que el riesgo tiene consecuencias duales. Para Jaafari (2001) el riesgo consiste en la probabilidad de ganar o perder. Esta característica divergente, entre los resultados positivos y los negativos, se encuentra presente en los trabajos más recientes sobre riesgos.

En la misma línea de pensamiento, encontramos a Hillson (2002a). En su obra, llega a la conclusión de que las consecuencias beneficiosas a la hora de gestionar riesgos como una mezcla de oportunidades y amenazas son mayores que si tratamos el riesgo como un concepto netamente negativo.

Según Chapman & Ward (2003), esta separación de riesgos entre amenazas y oportunidades debe ser entendida como dos caras de la misma moneda. Así, un riesgo bien gestionado puede darnos resultados positivos y

convertirse en una oportunidad. Por el contrario, si la gestión es mala, puede dar como resultado una amenaza a los intereses del proyecto.

2.2.2 El riesgo desde distintos estándares para la Dirección de Proyectos

La definición que nos proporciona el Project Management Institute (2017) para 'riesgo individual' es *“un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto”*. Como los objetivos son la meta final de un proyecto, podemos afirmar que un riesgo podría afectar a metas, hitos, tiempo, coste y calidad de los resultados de un proyecto.

Para AXELOS (2017), el propietario del estándar de PRINCE2, riesgo es el conjunto de eventos inciertos que, en el caso de ocurrir, tendrían un efecto en la consecución de los objetivos del proyecto. En este caso, el efecto podría ser positivo o negativo. La metodología para la dirección de proyectos de la Comisión Europea, PM2, alinea su visión del riesgo con la de PRINCE2 (European Commission, 2018).

En el caso de la norma ISO 31000 (2018), se define riesgo como el *“efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”*. En esta norma, se exponen las directrices para la gestión del riesgo.

Por otra parte, tenemos que considerar lo que el Project Management Institute (2017) considera un 'riesgo general', distinguiéndose del 'riesgo individual' en ser *“el efecto de la incertidumbre sobre el proyecto en su conjunto, proveniente de todas las fuentes de incertidumbre”*. La relación directa entre incertidumbre y riesgo parece evidente

2.2.3 Riesgo e Incertidumbre

La incertidumbre anteriormente mencionada es la definición de la causa raíz de un evento, estudiado como un riesgo para el proyecto. Esta idea coincide con las de Ward & Chapman (2003) y Atkinson et al. (2006), en la que hablan de la necesidad que deberían tener los gestores del riesgo a la hora de centrarse en las causas de un riesgo. Por consiguiente, no se

hablaría de Gestión del Riesgo, sino de Gestión de la Incertidumbre, un concepto tratado más adelante.

Un estudioso de la Gestión del Riesgo y de la Incertidumbre es el doctor Hillson. En sus obras, Hillson (2004, 2009) realiza una definición muy particular de riesgo: “*riesgo es incertidumbre que importa*”, estableciendo una relación entre riesgo e incertidumbre.

Con esta idea de conexión entre los conceptos, Hillson (2004, 2009) destacó la relación como “*el riesgo es la incertidumbre medible; la incertidumbre es el riesgo inmensurable*”. En su corpus de conocimiento, si podemos medir una incertidumbre se convertiría en un riesgo.

Riesgo e incertidumbre han tenido siempre cierta relación. En el apartado anterior, 0

Multitud de autores posteriores entienden que el riesgo tiene consecuencias duales. Para Jaafari (2001) el riesgo consiste en la probabilidad de ganar o perder. Esta característica divergente, entre los resultados positivos y lo negativos, se encuentra presente en los trabajos más recientes sobre riesgos.

En la misma línea de pensamiento, encontramos a Hillson (2002a). En su obra, llega a la conclusión de las consecuencias beneficiosas a la hora de gestionar riesgos como una mezcla de oportunidades y amenazas son mayores que si tratamos el riesgo como un concepto netamente negativo.

Según Chapman & Ward (2003), esta separación de riesgos entre amenazas y oportunidades debe ser entendida como dos caras de la misma moneda. Así, un riesgo bien gestionado puede darnos resultados positivos y convertirse en una oportunidad. Por el contrario, si la gestión es mala, puede dar como resultado una amenaza a los intereses del proyecto.

El riesgo desde distintos estándares para la Dirección de Proyectos, se puede observar cómo el riesgo está relacionado con aquello que es ‘incierto’.

2.2.4 El caso de los Riesgos Laborales

Desde el punto de vista histórico, el trabajo siempre fue considerado un riesgo para la vida y la salud de los seres humanos. Afortunadamente para nuestros contemporáneos, los sistemas esclavistas y feudales han desaparecido de la faz de la Tierra. El reconocimiento del respeto a la salud y a la integridad física es un derecho fundamental del ser humano que aparece reconocido en la Declaración Universal de los Derechos Humanos (Moreno Jiménez, 2011).

Las condiciones laborales relacionadas con la calidad de vida han mejorado notablemente (EWCS, 2007). Partiendo del reconocimiento de los derechos laborales, la función empresarial se ha orientado hacia la mejora de la salud de los trabajadores. Es decir, las organizaciones tienen en cuenta la gestión de riesgos laborales.

A nivel legislativo, la norma ISO 45001 (2018) recoge las directrices para la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo. Por otro lado, la normativa española sobre gestión y prevención de riesgos laborales está recogida en la Ley de Prevención de Riesgos laborales (31/1995).

2.2.4.1 Integración en Proyectos

Desde el ámbito de la Dirección de Proyectos, el Project Management Institute (2017) considera fundamentales dos aspectos de los riesgos laborales: gestión de la seguridad y gestión de la salud. Siguiendo la metodología de integración de todos los aspectos de un proyecto, la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo son tenidos en cuenta en la fase de diseño de todo proyecto.

Considerando la necesidad de eliminar las amenazas para lograr el éxito de un proyecto, la gestión de los riesgos laborales pasa a colocarse en primera plana. Asimismo, el ámbito de la ingeniería destaca por integrar los riesgos laborales de salud y seguridad en sus riesgos operacionales (Badri et al., 2012).

Esta particular visión ingenieril de prevención integrada de riesgos laborales lleva teniendo lugar desde los años 1980 (Claudon et al., 2008).

Es por ello por lo que el campo de la ingeniería y la dirección de proyectos haya adquirido tal experiencia en gestión de riesgos.

2.3 Componentes del Riesgo

Las bases del estudio de Alleman et al. (2018b) parten de que el riesgo está formado por causas, hechos y consecuencias, según se expone en la Figura 2. Las causas hacen referencia a la “*root cause*”, o ‘causa raíz’, una condición fundamental que de verse reducida o eliminada prevendrá la ocurrencia, no ocurrencia o recurrencia del riesgo generado. La causa raíz de un riesgo se estudia mediante la incertidumbre.

Los hechos son la materialización de los eventos y actividades que genera la causa raíz. Es posible realizar un estudio de la probabilidad de ocurrencia o no ocurrencia de los eventos y actividades porque se definen mediante una función de distribución de probabilidad. Los autores (Zarikas & Kitsos, 2015) afirman que el objetivo de la gestión del riesgo es buscar la opción correcta a la hora de determinar esa función de distribución.

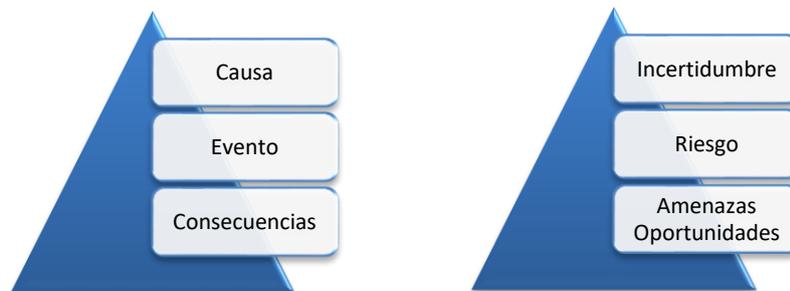


Figura 2 Componentes del Riesgo

Las consecuencias, siguiendo con la definición de Alleman et al. (2018b) son los efectos resultantes de la ocurrencia o no-ocurrencia del hecho como objeto de estudio. La buena gestión de los riesgos de un proyecto permite que las consecuencias negativas –las amenazas- no se materialicen y, por consiguiente, las consecuencias positivas –las

oportunidades- se puedan aprovechar, estudiar y sacar el máximo rédito una vez integradas en el know-how del proyecto.

3. Gestión de la Incertidumbre

La definición hace referencia a la clasificación de esa incertidumbre en los distintos tipos que han sido propuestos. Así, existen diversas corrientes de pensamiento y, por consiguiente, diversas definiciones y clasificaciones del concepto de incertidumbre.

3.1 Incertidumbre en la Dirección de Proyectos

Para que la incertidumbre pueda ser estudiada, mediante las metodologías y herramientas que existen en la gestión de riesgos, ha de estar definida y delimitada. Esta idea la expone García Pérez (2013) en lo referente a las funciones objetivo de estudio: *“Se definen a partir de la función de distribución de cada objetivo estocástico y su aplicación depende del criterio de optimización del problema de partida”*.

Podríamos medir y estudiar la incertidumbre y, consecuentemente, los resultados obtenidos estarían condicionados por la elección previa de la función de estudio. Como expone Acebes (2015): *“La incertidumbre del proyecto es la probabilidad de que la función objetivo no alcanzará su valor objetivo planificado”*.

La confianza que le damos a la ocurrencia o no-ocurrencia de un evento con probabilidades de ser estudiado, viene dada por el concepto estadístico de intervalo de confianza (IC). Los IC solo dan información estimada mediante una regresión estadística sobre el parámetro de estudio, enmarcado en la función de distribución que se le es asignada. Los IC no dan información sobre la incertidumbre a la hora de determinar el parámetro de estudio, se limitan a estudiar la distribución de los valores que toma el parámetro introducido (Zarikas & Kitsos, 2015).

3.2 Distintas clasificaciones

La distinción del tipo de incertidumbre del que se trata es muy importante a la hora de construir modelos de medición y gestión de riesgos e incertidumbres. Dado que hablamos de métodos y técnicas de tipo cuantitativo, hacer una distinción precisa es básico para no cometer fallos a la hora de formular adecuadamente los problemas (Der Kiureghian & Ditlevsen, 2008). La ventaja de separar las incertidumbres en distintos tipos bien diferenciados radica en elegir a cuál de ellas dirigiremos los recursos de la organización.

La revisión de las obras anteriores deja patente la imprecisión del concepto de incertidumbre. Asimismo, cada autor debería limitar y delimitar los conceptos que estudia, con el fin de no llevar a equívoco al resto de la comunidad científica y profesional.

Nuestro estudio se enfoca a la gestión de la incertidumbre en la dirección de proyectos mediante la utilización de herramientas y técnicas de gestión de tipo ingenieril. Para poder aplicar las herramientas adecuadas, haremos un repaso de las corrientes de pensamiento sobre las clasificaciones de la incertidumbre de los diversos autores.

3.2.1 Incertidumbre y Complejidad

La definición de un concepto tan etéreo como el de incertidumbre viene aparejada con otro tipo de fenómenos, como pueden ser la complejidad de un proyecto o la relación entre riesgo e incertidumbre. Algunos autores hablan de los conceptos de incertidumbre y complejidad como un mismo fenómeno, otros como una composición el uno del otro, y otros como dos conceptos completamente independientes (Padalkar & Gopinath, 2016).

Las múltiples consideraciones que tienen los autores a la hora de definir el concepto de incertidumbre hacen de su valoración algo particular. En el estudio realizado por Padalkar & Gopinath (2016) se pone de manifiesto la falta de consenso en las definiciones de complejidad e incertidumbre: *“there is sufficient evidence about lack of consensus on the definition of complexity in project context [...] or uncertainty”*.

En ese mismo estudio, los autores Padalkar & Gopinath (2016) resumen su análisis en la existencia de tres grandes ramas. Se abre al tema de estudio, por tanto, analizar las valoraciones que han hecho distintos autores sobre estas clasificaciones:

- La incertidumbre es un componente de la complejidad.
- La complejidad es un componente de la incertidumbre.
- Los dos conceptos son independientes.

Williams (1999) no entiende diferencia ontológica entre incertidumbre y complejidad. Para él, forman una sola variable. Sin embargo, multitud de autores han tratado el tema de la comparación de la incertidumbre con la complejidad, así como tratando de abordar la complejidad en proyectos (Brady & Davies, 2014; Browning, 2014; Hazır & Ulusoy, 2019; Qureshi & Kang, 2015; Ramasesh & Browning, 2014; Saunders et al., 2015; Ward & Chapman, 2003).

Los que han estudiado la idea de complejidad coinciden en la indeterminación de la definición de este concepto. Y, por consiguiente, limitar los conceptos de incertidumbre y complejidad queda a disposición del autor.

3.2.2 La dualidad de la Incertidumbre

El proceso de gestión de riesgos e incertidumbres es un proceso vivo, en el sentido de que se va desarrollando a medida que las técnicas de medición, evaluación y gestión de la información mejoran. Tradicionalmente, la incertidumbre se ha dividido en dos tipos: aleatoria y epistémica (Acebes, Pajares & López-Paredes, 2015), observándose en la Figura 3.

La incertidumbre epistémica hace referencia a la falta de conocimiento. Por el contrario, la incertidumbre aleatoria es debida a la aleatoriedad. Así lo ven autores como Elms (2004) y Der Kiureghian & Ditlevsen (2008). Ambos conceptos, incertidumbre aleatoria y epistémica serán tratados en profundidad a continuación.

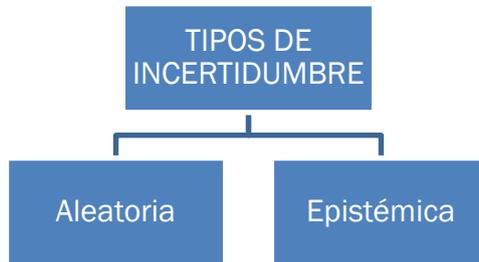


Figura 3 Clasificación clásica de la Incertidumbre

Para Chapman & Ward (2003), la incertidumbre surge de la ‘variabilidad’ y la ‘ambigüedad’. La variabilidad afectaría a la incertidumbre en aspectos como coste, duración de tareas y calidad o precisión técnica. No obstante, la ambigüedad tendría un área de influencia mucho mayor. La falta de claridad en la información obtenida y la falta de datos, detalles y estructuras eficientemente organizadas de trabajo formarían parte de la ambigüedad.

Ampliando esta línea de pensamiento, otros autores hacen referencia a la incertidumbre derivada de procesos impredecibles (Damjanovic & Reinschmidt, 2020). Este tipo de incertidumbre ha sido llamada ontológica y será ampliado seguidamente.

3.2.3 Grado de desconocimiento de una incertidumbre

Gran parte de los autores se inclinan a pensar que la incertidumbre es un concepto derivado de la deficiencia de información. La información recabada es mayor cuanto mayor es la madurez de una organización hacia el riesgo (Hopkinson, 2011). Esta información provoca en los gestores del riesgo una necesidad de estimar cuánta información falta para completar la información necesaria. Con esto conseguiríamos evitar malentendidos que llevasen a errores en el desarrollo de un proyecto.

En el contexto de incertidumbre como los problemas de una organización con la información, el autor Zack (1999) propone cinco categorías de incertidumbre. Dependiendo del grado de desconocimiento de una incertidumbre, se requerirá la aplicación más o menos exhaustiva de los diversos métodos y técnicas de tratamiento de información que existen. Las cinco categorías propuestas para la clasificación de la incertidumbre son:

- Poseemos completa certeza y, entonces, se trata de un evento completamente determinado.
- Conocemos las probabilidades exactas con la que se producirá un evento futuro.
- Estimamos las probabilidades de ocurrencia de un evento mediante intervalos de confianza.
- No conocemos las probabilidades ni las podemos estimar, pero sabemos que existe la posibilidad de ocurrencia de un evento.
- Se trata de un evento totalmente indefinido, desconociendo hasta el propio evento y, por tanto, no pudiendo ser objeto de estudio.

El autor enfoca los objetivos de sus estudios a la reducción de la incertidumbre o al aumento de las capacidades de la organización para manejarla y tolerarla. En todos los casos, la variable de estudio propuesta será la organización de la información y el desarrollo de las TICs, Tecnologías de la Información y de la Comunicación.

De este modo, la incertidumbre se vería reducida por el desarrollo de la capacidad de la organización para manejar información. Esta idea, llamada madurez hacia el riesgo de una organización, es el eje central de la obra del profesor Zack.

3.2.3.1 La madurez hacia el riesgo

La madurez de una organización hacia el riesgo es definida por Zack (1999) como la capacidad que tiene dicha organización para medir la incertidumbre. Según se expone, el aumento de valor generado de una organización aumenta de forma proporcional a la madurez que tenga la organización con el riesgo. Enfocado al mundo empresarial, a largo plazo la permitiría hacerse más competitiva en la toma de decisiones.

El autor trata el rol de las TICs como el eje central por el cual se desarrolla la madurez hacia el riesgo. Las Tics sirven como un medio de transmisión o intercambio de información: *“All information technology can be viewed as a medium for transmitting or exchanging information”*.

Para medir el grado de madurez, el autor habla del grado de desconocimiento de una incertidumbre. Los indicadores¹ utilizados para medir el grado de madurez de madurez de una organización, expuestos en la Tabla 3, son los siguientes:

- *Uncertainty*: Hace referencia al concepto de falta de información. Se produce *uncertainty* cuando no disponemos de unos mínimos conocimientos de la situación o de los intervalos de confianza que tratamos de manejar.

Luchamos contra este efecto invirtiendo los recursos de la organización en mejorar las TICs. De esta manera, las organizaciones podrán dar respuestas más rápidas, flexibles y exactas a la información obtenida. El autor hace hincapié en la absorción de conocimiento en el know-how de la organización a posteriori. El objetivo será analizar la información disponible para determinar qué información es la adecuada.

- *Complexity*: Se interesa por el concepto de la complejidad para procesar un exceso de información. Dicho efecto produce confusión a la hora de manejar grandes volúmenes de información, ya que no se conocen todos los procesos de entrada, procesamiento y salida de datos y las relaciones que se establecen entre las variables.

Por el contrario, si nos encontrásemos en una situación de deficiencia de información, el autor propone mejorar las TICs de la organización mediante el uso de diversas técnicas y métodos. Los métodos propuestos son el brainstorming o tormenta de ideas, el método Delphi y el uso de técnicas de producción flexibles. El objetivo con respecto al efecto de *complexity* sería analizar la información para acudir a la necesaria.

- *Ambiguity*: La *ambiguity* consiste en no tener la información enmarcada en un área del conocimiento. Por tanto, esta situación dificulta su interpretación.

Este efecto puede ser manejado con técnicas sencillas, tales como la consulta a expertos y las conversaciones cara a cara entre los responsables de la obtención de esa información. Hace referencia a la indefinición del marco de conocimiento que desea abordar.

¹ Al no encontrar ningún documento traducido al español, hemos decidido mantener los nombres en el idioma original que el autor les dio.

- *Equivocality*: Se refiere a la capacidad de interpretar de múltiples maneras una situación. Suele ser identificada como el contrario a *ambiguity*.

Este efecto, *equivocality*, puede llevar a que no sepamos a qué rama del conocimiento se refiere una información, por la posibilidad de pertenencia a varias ramas a la vez. Los métodos de manejo de este efecto de la incertidumbre propuestos coinciden con los de *ambiguity* y son enfocados hacia la coordinación hacia el objetivo común de la organización.

Tabla 3 Indicadores del Grado de desconocimiento

Indicadores del Grado de Desconocimiento	Información	Encaje en un área de conocimiento
Exceso de	Complexity	Equivocality
Falta de	Uncertainty	Ambiguity

Estos indicadores miden la capacidad de una organización de recabar, procesar y emitir juicios de valor de una información. Si realizáramos un control de estos indicadores, podríamos aumentar la capacidad de gestión del riesgo de una organización.

3.2.4 No-eventos

Como hemos visto, podemos clasificar los riesgos atendiendo a los distintos criterios que hagamos en la clasificación de una incertidumbre. El doctor Hillson (2009, 2012) realiza una clasificación de la incertidumbre atendiendo al concepto de riesgo como “*incertidumbre que importa*”.

Sobre la ‘Ventana de Johari’

En su obra, el doctor Hillson (2004), se apoya en la llamada ‘ventana de Johari’, una herramienta de la psicología cognitiva, para el desarrollo de los modelos de tratamiento de los distintos tipos de incertidumbre. Entonces, se crea una tabla llamada ‘Awareness – Knowledge’ –véase la Figura 5-, que bien podría ser traducido por ‘Percepción – Conocimiento’, en el sentido de ‘percepción externa’ contra ‘conocimiento interno’.

Los psicólogos Luft & Ingham (1961) crearon la llamada “*Johari Window*” o ‘Ventana de Johari’, una herramienta de la psicología cognitiva. En la Figura 4 se puede observar esta herramienta, la cual trata la relación de información que existe entre un emisor y receptor determinados.

En esa línea de pensamiento, Kahneman, Slovic and Tversky (1982) entendían la incertidumbre como una división entre el conocimiento proveniente del mundo externo y el proveniente del mundo interno. Vemos que esa dualidad entre los dos mundos es una idea presente en multitud de trabajos.

	Conocido por mí	Desconocido por mí
Conocido por los demás	ÁREA LIBRE	ÁREA CIEGA
Desconocido por los demás	ÁREA OCULTA	ÁREA DESCONOCIDA

Figura 4 La ventana de Johari. Elaboración propia.

En la obra de Fritzen (1982), se pone de manifiesto que la Ventana de Johari ilustra el proceso de retroalimentación -feedback- existente en un proceso de interacción humana, existiendo cuatro áreas referentes a la información tratada. Más adelante haremos referencia a la relación que existe entre los tipos de incertidumbre y cada área de la ventana de Johari. Las cuatro áreas, desde un punto de vista psicológico, son:

- Área libre: Conocido por mí / Conocido por los demás
- Área ciega: Desconocido por mí / Conocido por los demás
- Área oculta: Conocido por mí / Desconocido por los demás
- Área desconocida: Desconocido por mí / Desconocido por los demás

Mediante el análisis de la obra de Hillson (2004), podemos extraer la conclusión de que el autor no plantea sus cuatro tipos de incertidumbre como la correspondencia con cada una de las casillas de la ventana de Johari. Sin

embargo, se sirve de ella para establecer las líneas de actuación en lo que a tratamiento de riesgos se refiere.

AWARENESS	+	CAUTION	CERTAINTY
		Explore	Exploit
	-	IGNORANCE	AMNESIA
		Experience	Expose
		-	+
	KNOWLEDGE		

Figura 5 Tabla Awareness – Knowledge. Elaboración propia.

Contamos con cuatro casillas:

- *Caution.*

La incertidumbre que surge por una carencia de conocimiento sobre el riesgo que estamos tratando se sitúa en esta casilla. Hillson (2004) localiza en la zona de ‘caution’, o precaución, las incertidumbres de naturaleza epistémica y estocástica y propone la exploración como forma de tratarla.

- *Certainty.*

En esta situación de certidumbre, el concepto de incertidumbre no ha lugar. Nos encontraríamos en una situación en la cual aquello que se puede conocer, es conocido y está perfectamente comprendido. Las medidas a seguir cuando nos hallemos en este punto han de ser de perseverancia y optimización en la consecución de resultados, puesto que tenemos completa certeza sobre aquello que va a suceder.

- *Ignorance.*

El desconocimiento sobre lo que no puede ser conocido, posteriormente llamado ‘incertidumbre ontológica’, se encuadraría en esta zona de ignorancia. Una forma de abandonar la ignorancia sería adquirir experiencia.

- *Amnesia.*

Cuando nos encontremos con una incertidumbre sobre la que no tenemos conocimiento externo, la línea de actuación se centraría en potenciar el aumento del control de la información externa, para conseguir un mayor grado de certidumbre. El sentido que le quiere dar Hillson (2004) es el de revelar el conocimiento necesario para reducir la incertidumbre.

La clasificación en ‘No-eventos’

Para saber qué incertidumbres importan y cuáles quedan excluidas del objeto de estudio, se pregunta por los “*eventos futuros inciertos*” y aquellos “*no-eventos*” que modelan la incertidumbre. Con el fin de definir qué cualidades tiene una incertidumbre, Hillson (2014) establece la siguiente clasificación:

- Incertidumbre estocástica.
- Incertidumbre aleatoria.
- Incertidumbre epistémica.
- Incertidumbre ontológica.

Después de haber hecho una revisión sobre las clasificaciones que han hecho los diversos autores, creemos que la propuesta de la Figura 6 y realizada por Hillson (2014) es la más apropiada. El objetivo de nuestro estudio es la correcta asignación de herramientas y técnicas que se podrían aplicar en la Gestión de la Incertidumbre, en función del tipo de incertidumbre del que tratemos.

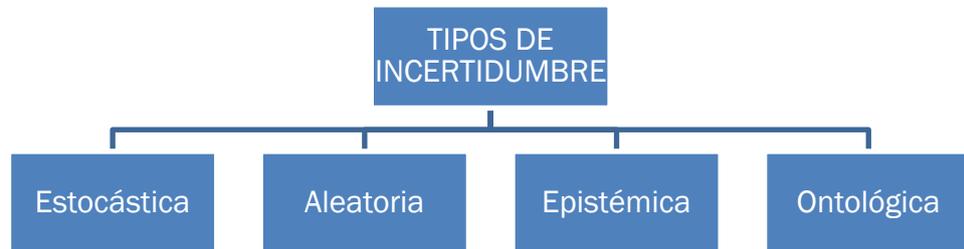


Figura 6 Clasificación de la Incertidumbre por 'No-eventos'.

3.2.4.1 Incertidumbre estocástica

La incertidumbre estocástica es definida por Hillson (2014) como “*future possible events, which are sometimes called ‘stochastic uncertainty’ or ‘event risk’*”. Es decir, hablamos de incertidumbre estocástica cuando tratamos de eventos futuros que, puede que sí, o puede que no se produzcan: riesgos de eventos.

Un ‘riesgo de eventos’ debería ser tratado como un ‘riesgo de ocurrencia o acción’, en tanto en cuanto, la ‘no ocurrencia’ del evento no supondría ningún riesgo, ni acarrearía ningún efecto. Estamos hablando de riesgos y, por tanto, un riesgo afecta a algún aspecto del alcance de un proyecto.

La incertidumbre estocástica hace referencia a eventos relacionados con los *stakeholders* -grupos de interés de un proyecto. Esta conclusión se obtiene de una lista de ejemplos que da el propio Hillson. Entre los más destacados, podríamos encontrar un cambio de objetivos por parte del cliente, la interrupción o dificultad del suministro de un proveedor clave o un cambio en el marco regulatorio previamente establecido.

La naturaleza estocástica de un proyecto puede ser modelada con distribuciones de probabilidad de duración de tareas y costes (Acebes et al., 2014b). Los principales métodos y técnicas para enfrentar la incertidumbre estocástica serían los “*stochastic branches*” (Hillson, 2004, 2009; Hillson & Simon, 2012).

Otros autores interpretan que los métodos estadísticos pueden tratar la variabilidad de los eventos (Padalkar & Gopinath, 2016). La aplicación de

ambos tipos de métodos se haría de forma individualizada por cada evento que deseemos estudiar.

Los “*stochastic branches*” pueden ser definidos como árboles de decisión, con ciertas particularidades. Cada decisión estaría modelada por una probabilidad estadística concreta, asociada a la nueva decisión a tomar.

3.2.4.2 Incertidumbre aleatoria

La incertidumbre aleatoria está caracterizada por la variabilidad, en la que es posible un rango de resultados. Se trata de un proceso estocástico, es decir, condicionado por un sistema físico o su entorno. La incertidumbre aleatoria un riesgo irreducible, porque el aumento del conocimiento de su sistema y entorno no reduce la aleatoriedad.

Hillson (2014) define a esta incertidumbre como “*variability risk*”, o riesgo de variabilidad. La relación que existe entre los resultados esperados y los resultados obtenidos se correspondería con este efecto de variabilidad.

Debido a su naturaleza, la incertidumbre aleatoria es irreducible. Por tanto, la mejor forma de tratar este tipo de incertidumbre es mediante modelos de gestión de riesgos de tipo cuantitativo.

El procedimiento más común a seguir para prevenir y combatir la incertidumbre aleatoria es la creación de un margen en materia de costes, tiempos y tecnologías. Aunque este concepto, así como distintos métodos de gestión de riesgos cuantitativos serán expuestos más adelante.

3.2.4.3 Incertidumbre epistémica

La incertidumbre epistémica es caracterizada por la ambigüedad – *ambiguity risk*-, según el doctor Hillson. Esto implica que la falta de conocimiento se centra en el sistema y el entorno. Conocer más valores de las cantidades o procesos del sistema reducen la ambigüedad. Este proceso de aumento de conocimiento provoca que los efectos, consecuencias e impactos generados por el riesgo de estudio se reduzcan o eliminen.

La incertidumbre epistémica estima las probabilidades de ocurrencia de un evento mediante intervalos de confianza. Se tratará lo máximo posible de

aumentar la precisión de los datos que estudiemos. Este hecho hace que la cuantificación de la incertidumbre sea muy flexible (Beer, 2016).

Debido a la naturaleza propia de la incertidumbre epistémica, las relaciones que se establecen entre un sistema y su entorno pueden introducir conexiones y dependencias entre sí que dificulten sobremanera la tarea de clasificación. Por ello es que la incertidumbre epistémica está relacionada con la falta de conocimiento.

Como resultado de vivir en un mundo determinístico, la incertidumbre epistémica depende de nuestras limitaciones (Damjanovic & Reinschmidt, 2020). A tal efecto, expandir las fronteras del conocimiento en los aspectos relacionados con el riesgo a tratar sería el camino a seguir.

La principal manera de abordar el tratamiento de la ambigüedad es la creación de modelos de gestión de la información. Así, Hopkinson (2011) propone la formación de un “*Risk Maturity Model (RMM)*”, o modelo de madurez del riesgo, en una organización como una necesidad. Otros autores siguen esta vía, como Zack (1999), quien propone que el desarrollo de las tecnologías de la comunicación facilita la gestión de la incertidumbre, haciendo más fácil el almacenamiento, clasificación, búsqueda y comunicación de la información.

Como se trata de un riesgo predecible y reducible, es necesario contar con planes de tratamiento de riesgos para mitigar los efectos negativos y estudiar las oportunidades positivas derivadas de un buen análisis y una buena gestión. Los ámbitos de actuación del plan de tratamiento de riesgos pueden clasificarse en costes, tiempo y tecnologías (Alleman et al., 2018b).

3.2.4.4 Incertidumbre ontológica

La incertidumbre ontológica se diferencia del resto en que no puede ser conocida ni estudiada. Va más allá de las limitaciones físicas de un sistema o un margen de contingencia: se trata de incertidumbre no conocida y que, además, no puede ser conocida (Alleman et al., 2018b). Surge del comportamiento de un sistema, y tiene que ver con la naturaleza propia del modelo. Es una incertidumbre que no se puede buscar porque no sabría por dónde empezar (Hillson, 2012).

La incertidumbre ontológica es comúnmente conocida como “*Black Swans*”, o cisnes negros, desde que Taleb (2007) acuñó el término por primera vez. Su naturaleza ontológica la sitúa más allá de los límites de nuestra forma de pensar o conocimiento (Hillson, 2014).

Generalmente, las consecuencias derivadas de la ocurrencia de un evento de tipo ontológico suelen ser negativas. Que se trate de incertidumbres irreconocibles, para las cuales el gestor de riesgos ignora su existencia completamente, no quiere decir que cualquier tipo de resultado catastrófico, negativo o dramático para los objetivos de un proyecto sea causa de una mala gestión de incertidumbre ontológica (Ramasesh & Browning, 2014).

Podemos afirmar que no se trata de un cajón de sastre, donde todo vale como excusa para resultados dramáticos derivados de una mala gestión. Según lo exponen Ale et al. (2020), los cisnes negros no pueden servir como excusa para no aplicar planes de contingencia, que de forma efectiva puedan tratar la incertidumbre ontológica.

3.3 Modelos de gestión

Existen modelos para tratar la incertidumbre epistémica y aleatoria. Dependerá del modelador decidir qué tipo de incertidumbre es aquella que está tratando y decidir si existe la posibilidad de reducirla (epistémica) o no (aleatoria). Muchas veces será una tarea difícil, dependiendo en gran medida del punto de vista subjetivo del modelador.

La información que nos arroja este estudio es que nuestros modelos de decisión afectan a la categorización de incertidumbres. Por tanto, siempre existirá discusión entre los modeladores y aquellos modelos de gestión de riesgos utilizados.

Aun así, nuestros modelos de decisión llevan asociados una incertidumbre propia que condiciona las decisiones de separación entre los tipos de incertidumbre. Este condicionamiento viene determinado por los límites del conocimiento del área de estudio, el nivel de detalle de nuestro modelo y la incertidumbre que estudiamos y las decisiones personales que toma el gestor de riesgos.

Los autores Der Kiureghian & Ditlevsen (2008) proponen que, como causa de vivir en un mundo determinista, la incertidumbre aleatoria no existiría porque, de existir incertidumbre, siempre será una falta de conocimiento. La necesidad de separar la incertidumbre entre aleatoria y epistémica surge de la búsqueda de aumento de productividad: invertir recursos en reducir aquellas incertidumbres que ingenierilmente pueden ser reducidas mediante la creación de planes de gestión de riesgos.

La integración de los procesos de gestión de riesgos puede formar parte de Lean Project Management, que busca generar valor para los clientes mediante la mejora continua (Gómez Meléndez, 2009). La metodología Lean Management podría aplicarse con multitud de aplicaciones en la gestión de los riesgos de un proyecto.

4. Herramientas y técnicas

Las tareas principales de un proyecto estarían relacionados con tres aspectos: tiempo, coste y técnica (Alleman et al., 2018a). Es decir, actividades como el control de la duración de actividades y procesos, el control de presupuesto y la optimización en la asignación de recursos son tareas básicas en la realización de cualquier proyecto.

Por otro lado, la presencia de incertidumbre en las actividades de un proyecto están íntimamente relacionadas con los requerimientos de los *stakeholders* de un proyecto (Bordley et al., 2019). Abordar la gestión de las actividades principales con las herramientas adecuadas optimizaría los procesos de producción, gestión de plazos y administración presupuestaria.

Se han analizado tanto herramientas cuantitativas como cualitativas, aunque poniendo especial atención a las cuantitativas por su uso generalizado en la dirección de proyectos de ingeniería. Ambos tipos son igualmente relevantes a la hora de tratar la ocurrencia y la recurrencia de riesgos.

Ocurre muchas veces que la taxonomía propia de herramientas cualitativas y cuantitativas no es clara. En otras palabras, muchas técnicas cualitativas se pueden adaptar para ser tratadas como cuantitativas. La diferencia sustancial radica en los fundamentos en los que se basan.

Por un lado, las herramientas cuantitativas están basados en distintos principios lógicos y matemáticos. Y por el otro, los métodos cualitativos se centran en el estudio de variables cualitativas: características, categorías, atributos o cualidades (Montgomery & Runger, 2004). La clasificación de los métodos estudiados se expone en la Tabla 4.

Debido a las particularidades propias de cada método, será interesante la aplicación de uno u otro en función del tipo de alternativas que queramos gestionar. Deberíamos atender a la naturaleza de los riesgos o incertidumbres a gestionar, principalmente si son riesgos medibles mediante probabilidad o no, si son de tipo cuantitativo o cualitativo, si son eventos aislados o interrelacionados, y otras características particulares.

Tabla 4 Herramientas, métodos y técnicas

Herramientas, Métodos y Técnicas
Decisión Multicriterio
Heurísticos
Lógicos
Basados en Matrices
Matemáticos
Basados en Diagramas de Eventos
Búsqueda de Riesgos

Por los motivos expuestos en este trabajo, creemos conveniente la realización de un análisis sobre la categorización de las herramientas, técnicas y métodos más utilizados en el tratamiento de los distintos tipos de incertidumbre. El objetivo no es tanto explicar paso a paso cada una de las técnicas, herramientas y métodos para hacer una guía de uso; sino conocer las características propias de estas para su utilidad a la hora de aplicarlas a la gestión de riesgos de un proyecto.

Metodología

Para la realización de este trabajo, se ha realizado una búsqueda de *papers*, documentos, artículos, libros y, en general, publicaciones relacionadas con el riesgo y la incertidumbre, así como las definiciones y clasificaciones realizadas sobre ellas a lo largo de la historia. Consecuentemente, la segunda parte de la búsqueda ha estado orientada hacia las técnicas, métodos y herramientas más frecuentemente utilizadas en la gestión de riesgos. Un resumen de los procesos de búsqueda metodológicos seguidos se encuentra en la Figura 7.

Primeramente, la tarea de búsqueda de información se ha llevado a cabo a través de tres de las principales bases de datos de revistas y documentos científicos: Scopus, Web of Science y Google Scholar. Los términos de búsqueda utilizados han sido “*risk*”, “*uncertainty*”, “*risk/uncertainty management*”, and “*project management*”. Del mismo modo,

“tools/techniques/methods” in “risk/uncertainty management” también ha sido término de búsqueda.

En segundo lugar, los artículos con mayor relevancia en función del número de citas obtenidas han sido seleccionados para su estudio. Seguidamente, se ha dado prioridad a aquellas publicaciones más recientes, con el fin de realizar una revisión lo más actualizada posible.

Con el objetivo de realizar un trabajo de revisión de artículos relevantes, se ha prestado especial atención a las publicaciones en revistas de gran impacto, tales como *International Journal of Project Management*, *European Journal of Operational Research*, *International Journal of Production Research* o *Journal of Risk Research*, principalmente.

Finalmente, de aquellas publicaciones más relevantes, se ha realizado una búsqueda ‘hacia atrás’ y ‘hacia adelante’ de las citas de mayor importancia. Para poder encontrar documentación sobre las distintas herramientas, se ha realizado una búsqueda por palabras clave y se han seleccionado las herramientas para ver cómo tratan la incertidumbre.

El compendio de los procesos de búsqueda ha arrojado un total de 137 publicaciones. Para la realización de este trabajo, se han revisado en profundidad 112 documentos de las 137 publicaciones obtenidas.

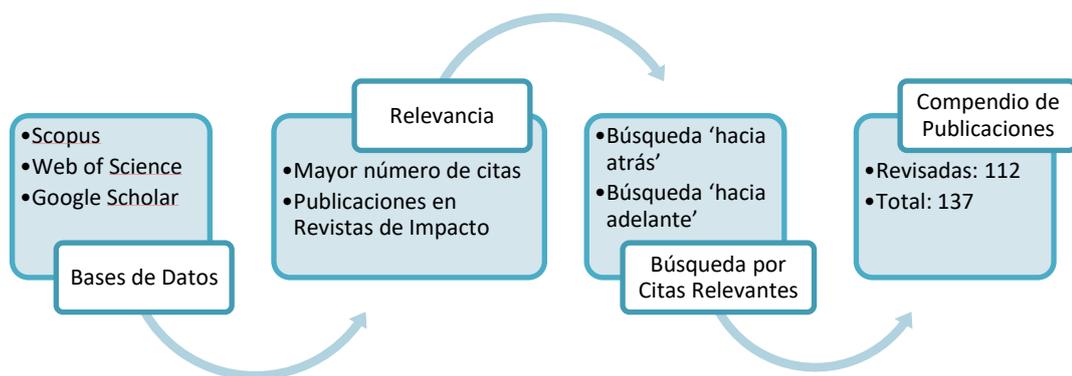


Figura 7 Gráfica de los procesos de búsqueda metodológica. Elaboración propia.

4.1 Métodos de Decisión Multicriterio.

Los métodos de Decisión Multicriterio, conocidos también por métodos de ayuda a la decisión, son un conjunto de métodos y técnicas basadas en la comparación de distintos escenarios. Resultan ser de gran importancia en el ámbito de la ingeniería, atendiendo a la afirmación de Hammond, John S; Keeney, Ralph L; Raiffa (1999): la tarea más importante que realizan los ingenieros es tomar decisiones.

Tal y como es expuesto por Ishizaka & Nemery (2013), generalmente no existe una única y perfecta opción a tomar; es ahí donde surge la necesidad de optimizar la toma de decisiones. Para lograr este objetivo, hacemos un repaso sobre los principales métodos de ayuda a la decisión, expuestos en la Tabla 5: Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP), ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE), Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation (PROMETHEE) y Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

Tabla 5 Métodos de Decisión Multicriterio

Métodos de Decisión Multicriterio
Analytic Hierarchy Process (AHP)
Analytic Network Process (ANP)
ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE)
Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation (PROMETHEE)
Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Los métodos expuestos en este apartado tienen un gran componente de subjetividad. El motivo del estudio de este tipo de herramientas para la gestión de riesgos es dar respuesta a la pregunta: qué riesgos e incertidumbres son más importantes para el correcto desarrollo del proyecto.

4.1.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

El método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o *proceso de jerarquía analítica*, consiste en asignar valores a los criterios de decisión utilizados. Se

dice que es un método de tipo compensatorio porque mide la importancia relativa de una opción con respecto a otra de forma jerárquica, como se expone en el ejemplo de la Figura 8, y sobre una serie de valores determinados (Ishizaka & Nemery, 2013).

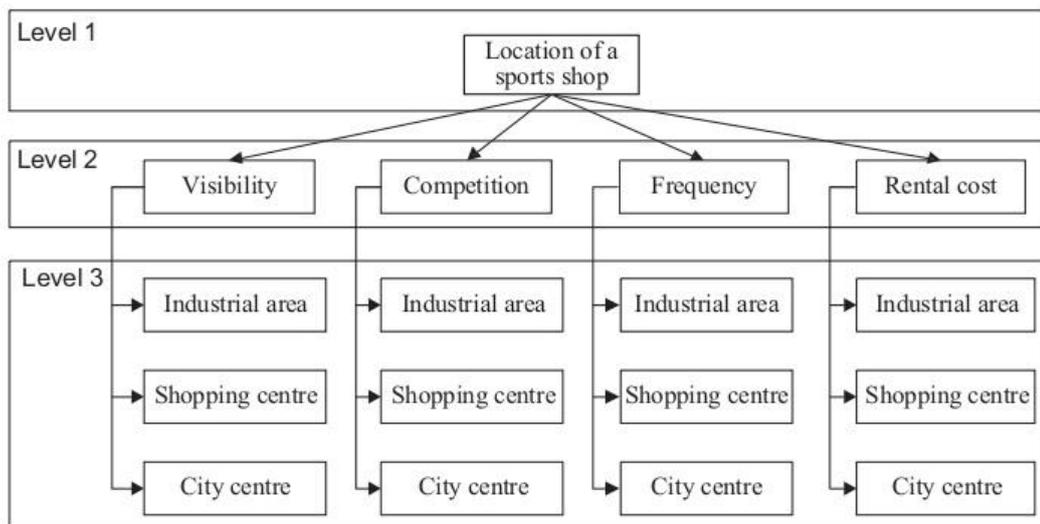


Figura 8 Ejemplo de niveles de decisión jerarquizados. (Ishizaka & Nemery, 2013).

La escala básica de comparación consistiría en asignar valores entre 1 y 9 a un criterio C, comparando una opción i-ésima frente a otra opción j-ésima, tal y como se expone en la Tabla 6 (Saaty & Vargas, 2000):

Tabla 6 Valores de comparación del método AHP

Cij	Comparación de i contra j
1	Igual importancia
3	Moderada mayor importancia
5	Pronunciada mayor importancia
7	Demorable mayor importancia
9	Extrema mayor importancia

Se asignarán valores intermedios a aquellas relaciones que presenten características intermedias.

El objetivo es obtener los valores propios de la matriz construida a partir de los valores de comparación asignados. Una matriz de comparación basada en el ejemplo de Ishizaka & Nemery (2013) está expuesto en la Figura 9. Posteriormente, se conseguirá la opción óptima comparando el producto del valor propio y el peso relativo asignado a cada alternativa.

El AHP es un método principalmente subjetivo, ya que es el diseñador el responsable de asignar los valores comparativos. Se trata, por tanto, de un método de ayuda a la decisión de tipo cuali-cuantitativo, sirviéndose de la ayuda de las matemáticas para la resolución de un problema con asignaciones cualitativas.

	Visibility	Competition	Frequency	Rental costs
Visibility	1	1/4	1/5	2
Competition	4	1	1/2	1
Frequency	5	2	1	4
Rental costs	1/2	1	1/4	1

Figura 9 Ejemplo de una matriz de comparación. (Ishizaka & Nemery, 2013).

4.1.2 Analytic Network Process (ANP)

El *Analytic Network Process* (ANP), o *proceso de red analítica*, es obtenido a partir del AHP. Mientras que el AHP se compone de una jerarquía de alternativas ordenadas, el ANP busca determinar las prioridades de las alternativas de la decisión (Saaty & Vargas, 2013). Un ejemplo de una red analítica la podemos encontrar en la Figura 10.

La técnica sugerida comienza con la construcción de la matriz inicial siguiendo el siguiente esquema de dependencia entre criterios:

- 0: No existe dependencia.
- 1: Existe dependencia de un criterio sobre otro.

Con cada una de las columnas de la matriz resultante, haremos una matriz de comparación solo para aquellos criterios interdependientes, como se

puede observar en el ejemplo de la Figura 11. El objetivo es establecer las relaciones de retroalimentación y dependencia entre criterios.

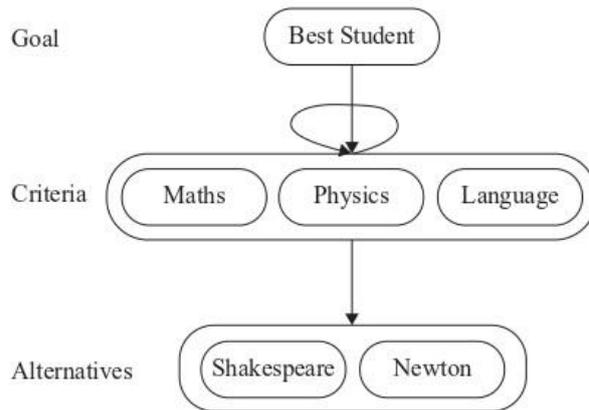


Figura 10 Ejemplo de red analítica. (Ishizaka & Nemery, 2013).

El ANP es un método muy empleado en la Ingeniería del Transporte para analizar la conectividad entre varios nodos de un sistema de transporte. Se generan las matrices origen-destino y nodo-eslabón, las cuales arrojan luz sobre las distintas formas de ordenación del tráfico de dicha red de transporte (Morlok, 1978).

		Alternatives			Criteria			
		Salsaly	Tangal	Xenthila	Brand	Designer	Fabric	Price
Alternatives	Salsaly		x	x	x	x	x	x
	Tangal	x		x	x	x	x	x
	Xenthila	x	x		x	x	x	x
Criteria	Brand	x	x	x				x
	Designer	x	x	x			x	x
	Fabric	x	x	x				x
	Price	x	x	x				

Figura 11 Ejemplo de matriz de comparación. (Ishizaka & Nemery, 2013).

4.1.3 ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE)

Los métodos ELECTRE, puesto que existen hasta 6 principales variedades de ELECTRE, son métodos basados en elección y eliminación de las alternativas (Rogers et al., 2000). Estas seis variantes de los métodos ELECTRE son llamadas:

- ELECTRE I
- ELECTRE II
- ELECTRE III
- ELECTRE IV
- ELECTRE-Tri
- ELECTRE 1S

Nosotros nos centraremos en las características generales comunes a todas las versiones de este método, puesto que cada versión hace referencia a un modo de resolución distinto (Ishizaka & Nemery, 2013). Los métodos ELECTRE son muy útiles cuando tenemos más de dos alternativas a elegir, debido su naturaleza.

Se trata de una revisión sistemática y comparativa entre las relaciones emparejadas dos a dos de las distintas opciones. El resultado obtenido es una medida de la jerarquía de las alternativas, desde la que más excede al resto, hasta la que menos destaca. Un ejemplo puede ser consultado en la Figura 12. La elección de los criterios cuantitativos de comparación hará que desarrollemos una u otra de las diversas opciones de métodos ELECTRE. Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation (PROMETHEE).

El método PROMETHEE tendrá como resultado una lista ordenada por la preferencia de las alternativas. Los métodos PROMETHEE están considerados los más modernos y complejos métodos de la Investigación Operativa (Pomerol & Barba-Romero, 2000). A su vez, los métodos PROMETHEE están presentes en multitud de áreas del conocimiento y la economía, tales como la gestión medioambiental, finanzas, química, medicina, agricultura y logística, entre otras (Behzadian et al., 2010).

DOMINANCIA	DOMINANCIA FILAS	DOMINANCIA COLUMNAS	DIFERENCIA	ORDEN
iPhone XS Max (512GB)	4	1	3	11,61
Alcatel 5	1	9	-8	1,62
Samsung Galaxy S9+ (256GB)	6	2	4	14,63
Vertu Constellation	2	2	0	6,14
Huawei P30 Pro	3	1	2	9,15
Xiaomi Mi A2	4	3	1	7,66
BlackBerry KEY2	1	9	-8	1,67
Motorola Moto G7	3	5	-2	5,18
OnePlus 6T	4	1	3	11,69
POCOPHONE F1	5	1	4	14,70
BQ Aquaris X Pro	3	6	-3	3,71
LG V40 ThinQ	1	4	-3	3,72
Xiaomi Mi 9	4	1	3	11,73
HONOR 10 Lite	6	3	3	11,74
TP-LINK NEFFOS C9	3	2	1	7,75

Figura 12 Ejemplo de la jerarquía obtenida mediante el método ELECTRE. Elaboración propia.

La base de este método se focaliza en el cálculo de los grados de preferencia según los criterios. Los valores que toman estos grados de preferencia están circunscritos al intervalo entre 0 y 1. En la Figura 13 se puede observar la preferencia de criterios de forma gráfica. La gestión de los grados de preferencia sigue tres pasos principales (Ishizaka & Nemery, 2013):

- Cálculo de la preferencia entre dos alternativas por cada criterio.
- Cálculo de los flujos de los criterios.
- Cálculo de los flujos globales.

La naturaleza de este método es subjetiva, en tanto en cuanto las alternativas y la preferencia de los criterios son fijadas por el modelador. Se trata de un método de tipo cuantitativo, puesto que el resultado está basado en criterios matemáticos.

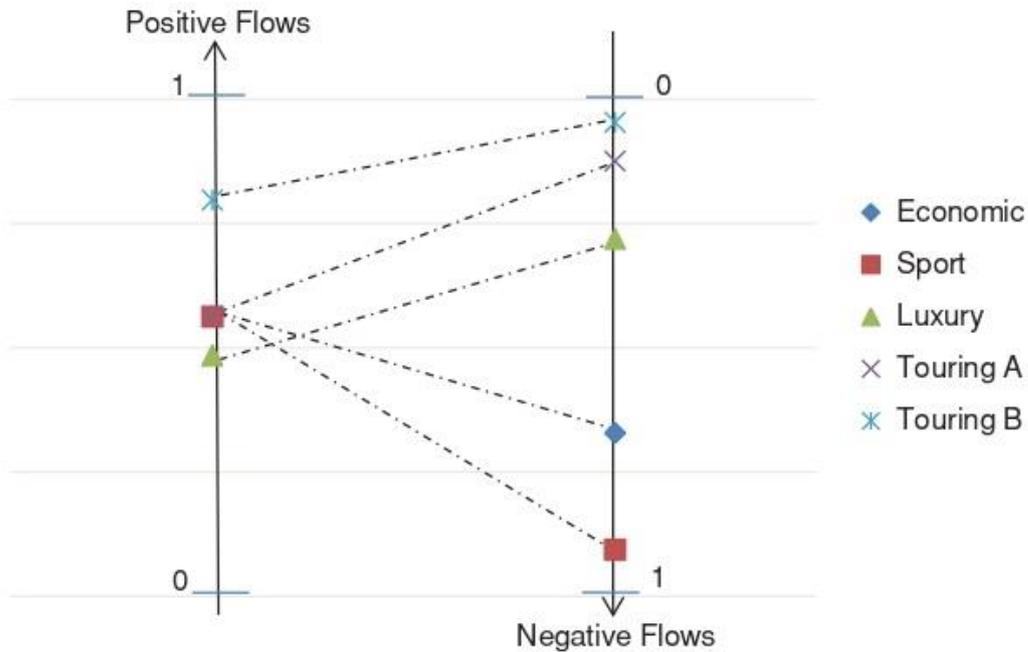


Figura 13 Preferencia de criterios para el método PROMETHEE. (Ishizaka & Nemery, 2013).

4.1.4 Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS son las siglas de *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*, pudiendo ser traducidas por *técnica para el orden de preferencia por semejanza a la solución ideal*. En otras palabras, busca compensar las alternativas de manera que estén lo más cerca de la solución ideal, y lo más alejado de la peor solución (Ishizaka & Nemery, 2013).

Al igual que el resto de los métodos de ayuda a la decisión, el método TOPSIS tiene un alto porcentaje de subjetividad. El modelador ha de decidir qué criterios son más importantes y asignar el valor que crea oportuno. A partir de ese momento, el método mide la desviación de cada alternativa con respecto al valor del criterio ideal, asignado previamente por el decisor.

En la Figura 14, se puede observar la comparativa entre las alternativas A y B, a condición de maximizar los criterios 1 y 2. Se puede observar que la alternativa A se encuentra más cercana a la solución ideal que la alternativa B.

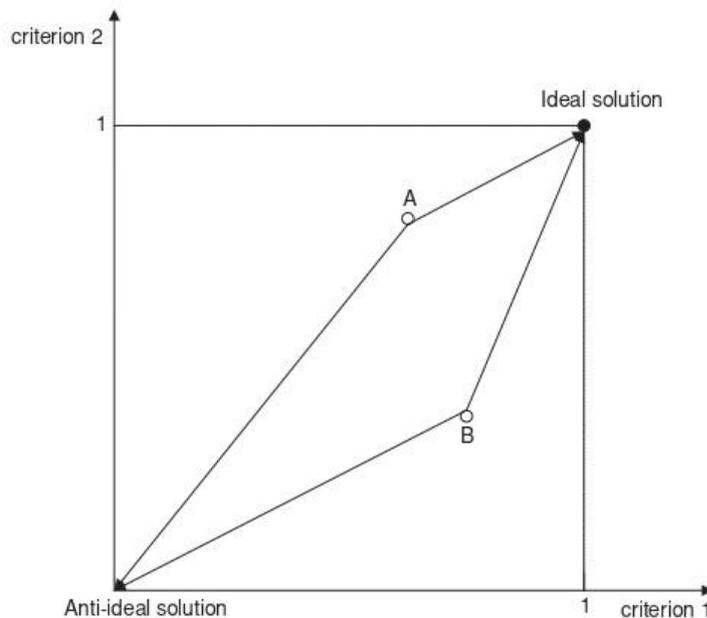


Figura 14 Ejemplo de método Topsis. (Ishizaka & Nemery, 2013)

EL método TOPSIS mide la desviación estadística normalizada de cada parámetro, y nos devuelve una lista ordenada de todas las alternativas. Se dice que es un método de tipo compensatorio porque pondera la lejanía con la peor solución, así como la cercanía a la solución ideal.

4.2 Métodos Heurísticos

Los métodos heurísticos se utilizan en la resolución de problemas difíciles. Estos métodos se basan en procedimientos simples que generarán una o varias soluciones buenas, fáciles y de forma rápida (Zanakis & Evans, 1981). Las soluciones que puedan generar no serán necesariamente las mejores porque prima la rapidez y la sencillez en la resolución de un problema.

El término heurístico es utilizado por varios autores como un sinónimo de 'iterativo', en el contexto de la comparación de unas soluciones con respecto a otras, y ofrecer como solución aquellas que son mejores. La metodología

heurística se puede observar en algunos métodos, como el Analytic Hierarchy Process (AHP) (Ishizaka & Nemery, 2013).

Podemos destacar en la Tabla 7 cinco de los métodos heurísticos más utilizados: algoritmos genéticos, búsqueda tabú, método GRASP, recocido simulado y redes neuronales (Ortiz Pimiento & Diaz Serna, 2018). Las técnicas heurísticas se llevan principalmente a cabo mediante la utilización de software informático.

Tabla 7 Métodos Heurísticos

Métodos Heurísticos
Algoritmos genéticos
Búsqueda tabú
GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)
Recocido simulado
Redes Neuronales

Los métodos heurísticos expuestos trabajan de una forma ordenada, siguiendo criterios lógicos o matemáticos que ofrecen soluciones factibles. La utilidad principal de este tipo de técnicas de resolución de problemas es la rapidez y la sencillez.

4.2.1 Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son un tipo de método heurístico basados en el funcionamiento de la genética (Goldberg, 1989). El funcionamiento consiste en transformar el problema a tratar hacia un 'problema genético', ejemplificado en la Figura 15: realizando un símil con los alelos, los cromosomas y la selección natural; se comparan los alelos con las variables de decisión, los cromosomas con las soluciones y las mutaciones con los cambios generados en los valores de la solución.

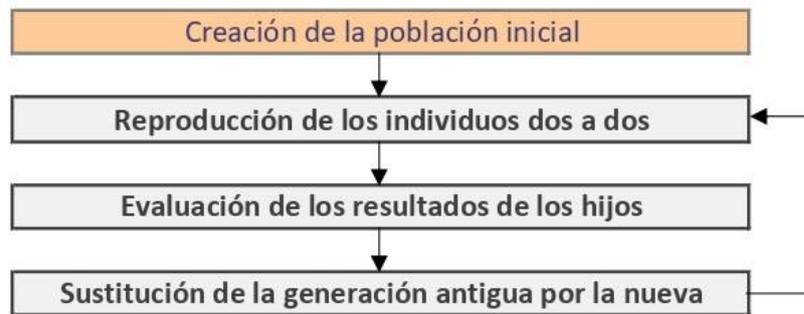


Figura 15 Sistema básico de funcionamiento de los algoritmos genéticos. Elaboración propia.

Al tratarse de métodos iterativos, los cambios producidos en una población son generados por tres operaciones: reproducción, sobrecruzamiento y mutación. Es decir, aplicando mutaciones-cambios en los alelos-valores, se observa si los cromosomas-soluciones de los individuos resultantes son de mejor calidad, repitiendo el proceso de forma iterativa.

4.2.2 Búsqueda tabú

La búsqueda tabú es un tipo de método heurístico basado en una búsqueda de los entornos locales. El método consiste en saltar de la posición actual a la mejor posición del entorno, lo que permite escapar de un óptimo local, como se puede apreciar en el ejemplo de la Figura 16 (Glover & Laguna, 1997).

Para evitar entrar en bucles, se tiene memoria de los últimos movimientos para que no se repitan: los llamados movimiento tabú. Esta característica hunde sus raíces en la inteligencia artificial (Hillier & Lieberman, 2015).

Add	Delete	Cost
AD	DE*	(Tabu move)
AD	CE	$85 + 100 = 185$
AD	AC	$80 + 100 = 180$
BE	CE	$100 + 0 = 100$
BE	AC	$95 + 0 = 95$
BE	AB	$85 + 0 = 85 \leftarrow \text{Minimum}$
CD	DE*	$60 + 100 = 160$
CD	CE	$95 + 100 = 195$

*A tabu move. Will be considered only if it would result in a better solution than the best trial solution found previously.

Figura 16 Ejemplo de una iteración de una búsqueda tabú. (Glover & Laguna, 1997).

4.2.3 GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)

El método GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) busca dar solución a un problema de alta complejidad combinatoria (Feo & Resende, 1995). Es un proceso de búsqueda local y adaptativa: de todos los valores de estudio, se fija el que mejores resultados arroja, y se adapta el resto de los valores.

Por su naturaleza de funcionamiento, es necesario transformar el problema de forma que se pueda trabajar con funciones matemáticas. Por este motivo, el método GRASP no está indicado para todos los diversos problemas que se quiera tratar. Un ejemplo de un pseudo-código genérico GRASP es expuesto en la Figura 17.

```
procedure grasp()
1  InputInstance();
2  for GRASP stopping criterion not satisfied →
3      ConstructGreedyRandomizedSolution(Solution);
4      LocalSearch(Solution);
5      UpdateSolution(Solution, BestSolutionFound);
6  rof;
7  return(BestSolutionFound)
end grasp;
```

Figura 17 Ejemplo de un pseudo-código genérico GRASP. (Feo & Resende, 1995)

4.2.4 Recocido simulado

Recocido simulado, o *Simulated Annealing*, es un método heurístico basado en la mecánica estadística de la ciencia de materiales. El recocido es un proceso físico de calentamiento a altas temperaturas utilizado para reblandecer compuestos químicos (Mascagni et al., 1990).

El recocido simulado sigue un algoritmo basado en la distribución de Boltzmann (Kirkpatrick et al., 1983). Este algoritmo consiste en la comparación sistemática de los resultados generados por el 'estado actual' con los resultados de otro 'estado generado'. Vemos que también es necesaria la transformación del problema hacia el uso de funciones matemáticas. Un ejemplo con los resultados obtenidos tras varias simulaciones se observa en la Figura 18.

Si los resultados del estado generado son mejores que los del actual, se toma este nuevo estado como el 'estado actual'. El bucle termina cuando el algoritmo no es capaz de arrojar mejores resultados. En este momento, el mejor resultado posible es el último 'estado actual', y se toma como solución al problema.

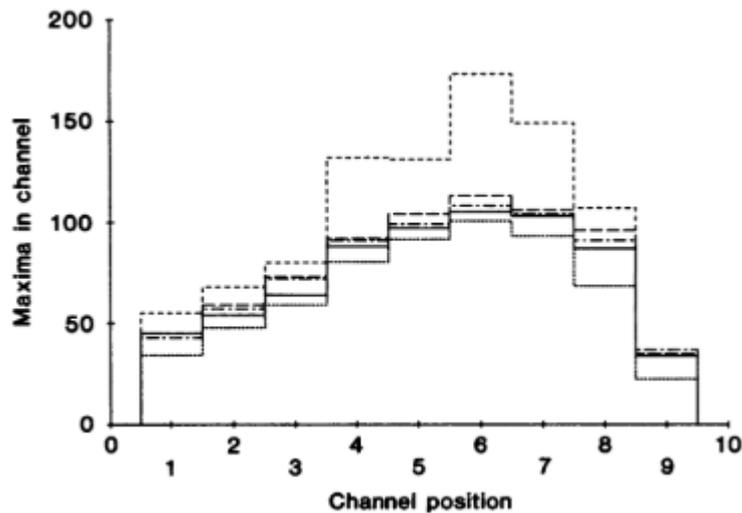


Figura 18 Histograma de resultados obtenidos tras varios recocidos simulados. (Kirkpatrick et al., 1983)

4.2.5 Redes Neuronales

Las redes neuronales son un método heurístico con gran capacidad de cálculo (Díaz, 1996). Se asemejan al funcionamiento neuronal de un cerebro, de forma que el conocimiento se da a través del aprendizaje. El enlace sináptico sería el lugar donde se almacenaría el conocimiento adquirido. Un ejemplo del esquema de funcionamiento se expone en la Figura 19.

Mascagni et al. (1990) afirman que las redes neuronales son menos precisas que los métodos basados en la distribución de Boltzmann. Sin embargo, son multitud los campos de aplicación de las redes neuronales, como queda patente en el trabajo de Rojas-Delgado, Trujillo-Rasúa, y Bello (2019). Los autores hacen un llamamiento al desarrollo de las redes neuronales, ya que ven factible la posibilidad de disminución del tiempo de ejecución de las mismas.

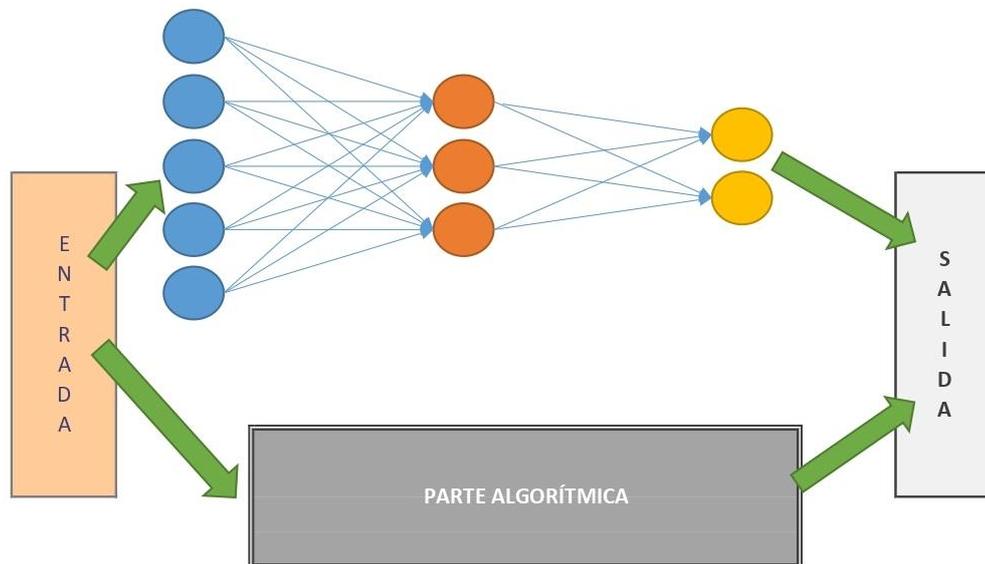


Figura 19 Ejemplo de esquema de una red neuronal. Elaboración propia.

4.3 Métodos lógicos

Los métodos lógicos estudiados en la Tabla 8 se fundamentan en las bases de la lógica *fuzzy* y la lógica *booleana*. En este apartado se estudiarán los métodos lógicos de *Event Tree Analysis (ETA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)* y *Fuzzy Logic*.

Tabla 8 Métodos lógicos

Métodos lógicos
Event Tree Analysis (ETA)
Fault Tree Analysis (FTA)
Fuzzy Logic

4.3.1 Event Tree Analysis (ETA)

El *Event Tree Analysis (ETA)*, conocido como árbol de eventos, es una técnica lógica que modela un rango determinado de posibles consecuencias, partiendo de un evento inicial (Chapman & Ward, 2003). Estos resultados pueden ser tanto positivos como negativos para los objetivos del proyecto, como se puede observar en el esquema de funcionamiento de la Figura 20.

El objetivo principal es identificar la secuencia de eventos que pueden tener lugar como respuesta a la ocurrencia de un evento previo, junto al resto de alternativas posibles y la forma de detener el desarrollo de la cadena de sucesos (Mullai, 2006). Cuando se dispone de una cantidad adecuada – generalmente grande- de datos estadísticos, se podrían analizar los distintos escenarios con frecuencias de probabilidad.

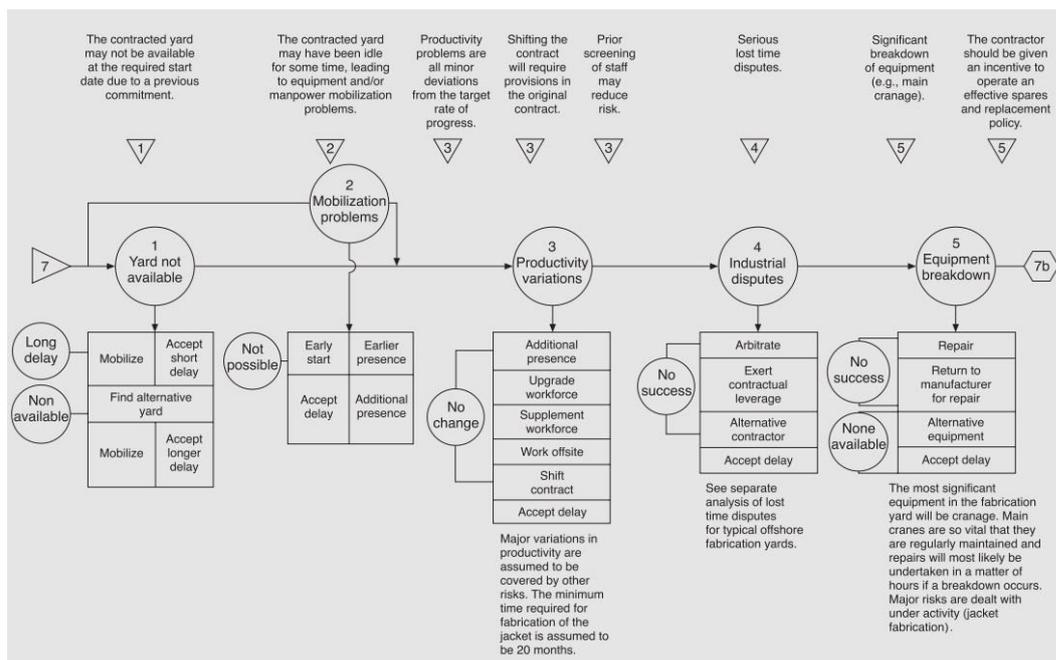


Figura 20 Diagrama Origen-Respuesta como base de ETA y FTA. (Chapman & Ward, 2003)

Un análisis ETA requiere de, al menos, tres elementos:

- Un evento o condición inicial.

- Los sistemas o acciones a tomar para interrumpir la cadena de sucesos.
- Los eventos respuesta a un evento previo.

Los sistemas de interrupción de la cadena de sucesos son llamados “*Line of Assurance (LOA)*” (Mullai, 2006) y actúan como cortafuegos. Por tanto, la realización de un ETA de tipo cuantitativo podría prevenir la acción de los riesgos-amenazas y, al mismo tiempo, potenciar la ocurrencia de riesgos-oportunidades.

4.3.2 Fault Tree Analysis (FTA)

El *Fault Tree Analysis (FTA)* es un método de búsqueda de las causas de un evento de tipo lógico *booleano* (Mullai, 2006). Al contrario que el *Event Tree Analysis (ETA)*, el FTA busca el origen de un evento determinado. Sigue el mismo esquema de funcionamiento del ejemplo de la Figura 20.

Con el objetivo principal de tratar las amenazas y las consecuencias negativas de la ocurrencia de ciertos eventos, se tienen en cuenta las posibles causas y la probabilidad estimada de no ocurrencia. Al tratarse de un método lógico, es necesario tener en cuenta las puertas lógicas que unan una serie de eventos. El FTA se comporta como el proceso inverso del ETA (Chapman & Ward, 2003).

4.3.3 Fuzzy Logic

La teoría Fuzzy (Zadeh, 1965) surge de la necesidad de explicar las clases o categorías en las que se podrían dividir y enmarcar las distintas realidades del mundo. Según recoge la traducción del Diccionario Cambridge, ‘*fuzzy*’ significa ‘*borroso, indistinto o confuso*’. La teoría fuzzy ayudaría a definir y enmarcar de una forma más precisa aquellas clases o categorías que, por su propia naturaleza, son de carácter difuso.

El autor Zadeh (1965) nos pone el ejemplo de la categoría ‘números mayores que 1’. En esta categoría tendrían cabida infinitud de números tan diversos como los números fraccionarios ($\frac{11}{10}$), los enteros (2) o los irracionales (π). La confusión existe por no definir ‘cuán mayor’ un número es ‘mayor que

1'. Sin embargo, π es mayor que 2 y, a su vez, 2 es mayor que $\frac{11}{10}$; mientras que todos ellos cumplen la condición de ser 'números mayores que 1'. La teoría fuzzy ayudaría a definir de forma más nítida las condiciones que incluyen y excluyen a un miembro de una clase, y el grado en el que cumplen o no esas condiciones. Un ejemplo para los números comprendidos entre 0 y 1 se expone en la Tabla 9.

La incertidumbre derivada de la imprecisión o confusión, a diferencia de la incertidumbre proveniente de la aleatoriedad, podría ser tratada mediante técnicas fuzzy. Multitud de métodos y aplicaciones, tales como el *Earned Value Management (EVM)* (Naeni et al., 2011) o el método TOPSIS (Pramanik et al., 2020), pueden tomar la teoría fuzzy para la especificación de su procedimiento (Bréfort, 2018; Espín Andrade et al., 2020; Ortiz Pimiento & Diaz Serna, 2018; Rohmer & Baudrit, 2011; Salahdine et al., 2017).

La lógica fuzzy, o *Fuzzy Logic*, tiene como objetivo obtener una lista de actividades con los intervalos de confianza sobre la relevancia de cada actividad (Patterson & Self, 2018). La técnica de la lógica fuzzy se centra en calcular un margen sobre el coste o la duración de las actividades estudiadas, tal y como se explica en (Bellagamba, 1999).

Tabla 9 Ejemplo de categorización de una variable fuzzy

IMPORTANCIA	ABREVIACIÓN	INTERVALO DE NÚMERO FUZZY
MUY MAL	MM	(0,0.1)
MAL	M	(0.05,0.3)
INTERMEDIO-MAL	IM	(0.15,0.5)
INTERMEDIO	I	(0.3,0.7)
INTERMEDIO-BIEN	IB	(0.5,0.9)
BIEN	B	(0.7,1)
MUY BIEN	MB	(0.9,1)

4.4 Métodos basados en matrices

En este apartado y expuestos en la Tabla 10, se tratarán los métodos de *Risk Breakdown Structure (RBS)*, así como el análisis conocido por los nombres

de FODA, DAFO o SWOT. El RBS es un sistema compuesto por matrices de nombre *Risk Breakdown Matrix (RBM)*.

Tabla 10 Métodos basados en matrices

Métodos basados en matrices
Risk Breackdown Matrix (RBM) & Risk Breackdown Structure (RBS)
SWOT Analysis (Análisis DAFO/FODA)

Los métodos basados en matrices tienen por objeto central de estudio los eventos o situaciones que puedan ser considerados riesgos de un proyecto. Como base general, el estudio de eventos aislados es de tipo cualitativo. Si bien es cierto que, disponiendo de la cantidad de información suficiente, el uso de probabilidades estadísticas de ocurrencia y de detección y detención de los sucesos aumenta la precisión de los métodos.

4.4.1 Risk Breakdown Matrix (RBM) and Structure (RBS)

Hillson (2002b) propone el *Risk Breakdown Structure (RBS)* como la mejor forma de estructurar la información obtenida durante el proceso de gestión de los riesgos. El RBS facilitaría la comprensión e interpretación de la información introducida.

En un sentido más profundo, el RBS es una herramienta jerárquica que permite estructurar el proceso de gestión de riesgos mediante la notificación, identificación y evaluación de todos los riesgos reportados que pueden afectar al proyecto, como se puede observar en la Figura 21. Un RBS está compuesto por matrices, llamadas *Risk Breakdown Matrix (RBM)*.

Un buen uso de las matrices RBM, dentro de un sistema RBS reporta, principalmente, los siguientes beneficios (Hillson et al., 2006):

- Ayuda a identificar y notificar los riesgos.
- Permite la gestión de cada riesgo individualizado.
- Tiene en cuenta lecciones aprendidas de proyectos pasados.

		RBS					Values for WP	
		risk sources					ΣR	WPs order
		$P_{i,1}$	$P_{i,2}$	$P_{i,3}$...	$P_{i,n}$		
WBS Work packages	WP1	$I_{1,j}$					$\Sigma R_{1,j}$	
	WP2	$I_{2,j}$						
	WP3	$I_{3,j}$						
	WP4	$I_{4,j}$						
	WP5	$I_{5,j}$						
	...							
WPs order	WPm	$I_{m,i}$						
Risk sources evaluation	ΣR	$\Sigma R_{i,1}$						
	Risk sources order							

Figura 21 Ejemplo de Risk Breakdown Matrix (RBM). (Hillson et al., 2006).

4.4.2 SWOT Analysis (Análisis DAFO/FODA)

Un *strengths, weakness, opportunity and threat (SWOT) Analysis* es un análisis sobre fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de una organización. En español se conoce como análisis DAFO o análisis FODA (Project Management Institute, 2017). Tiene dos ejes vertebrales: ‘interno vs externo’, y ‘negativo vs positivo’ (Emblemsvåg & Endre Kjølstad, 2002).

Por un lado, podemos clasificar como cualidades internas las debilidades y las fortalezas propias de una organización. Por el contrario, las oportunidades y las amenazas formarían parte del área externa a la organización.

Por otro lado, las fortalezas y oportunidades corresponden a la parte positiva del eje ‘negativo vs positivo’, mientras que las amenazas y debilidades formarían la parte que acarrearía consecuencias negativas. Estos ejes se cruzan entre sí, formando una matriz, como se muestra en la Figura 22:

	NEGATIVO	POSITIVO
INTERNO	DEBILIDADES	FORTALEZAS
EXTERNO	AMENAZAS	OPORTUNIDADES

Figura 22 Análisis DAFO/FODA/SWOT. Elaboración propia

Debido a su sencillez y cierta subjetividad, los autores (Emblemsvåg & Endre Kjølstad, 2002) explican que tiene diversas limitaciones, tales como la falta de precisión o la simplicidad. Sea como fuere, destacan la importancia del análisis SWOT-DAFO cuando una organización se encuentre en situaciones complejas.

4.5 Métodos matemáticos

Los distintos métodos matemáticos estudiados en este apartado y expuestos en la Tabla 11 tienen la particularidad de ser métodos necesariamente cuantitativos. En otros apartados se han tratado técnicas y herramientas que trabajan con funciones matemáticas.

Tabla 11 Métodos matemáticos

Métodos matemáticos
Expected Monetary Value (EMV)
Earned Value Management (EVM)
Experimentos estadísticos
Human Reliability Assessment (HRA)
Margen
Monte Carlo
Pareto Analysis (PA)
Programación lineal
Sensitivity Analysis

Sin embargo, su esquema de funcionamiento nos ha permitido clasificarlos de una forma más específica. Un ejemplo de este caso serían las técnicas de recocido simulado y método ELECTRE, siendo métodos heurísticos y de ayuda a la decisión, respectivamente.

4.5.1 Expected Monetary Value (EMV)

El *Expected Monetary Value*, o Valor Monetario Esperado, es una estimación del presupuesto asociado a cada una de las alternativas de un árbol de decisión (Project Management Institute, 2017), expuesto en el punto 4.6.2 más adelante. Su uso se encuentra necesariamente enmarcado en el entorno de un árbol de decisión, como se puede observar en la Figura 23.

El EMV se utiliza principalmente para obtener el coste o beneficio estimado para el final de cada rama del árbol de decisión. Es decir, el EMV se focaliza en el final de cada trayectoria posible para tener una visión de conjunto más amplia de todos los escenarios posibles.

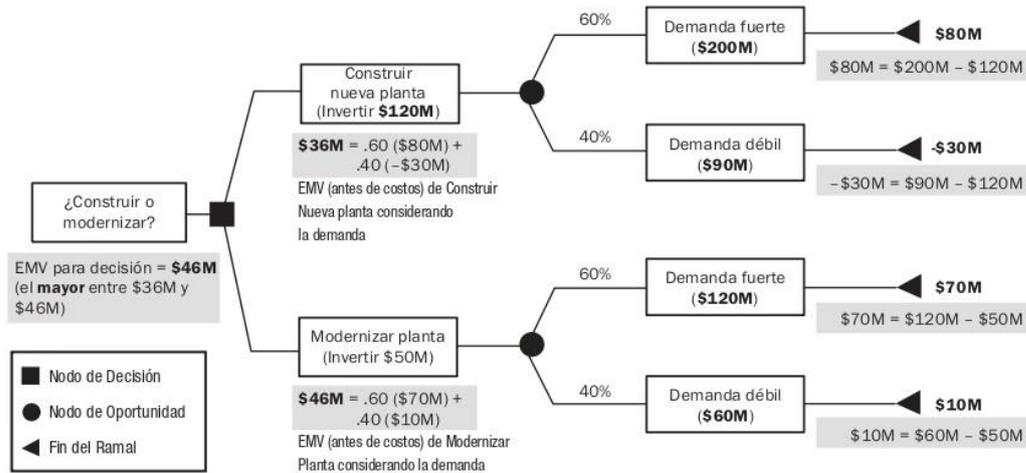


Figura 23 Ejemplo de árbol de decisión con EMV incorporado. (Project Management Institute, 2017)

4.5.2 Earned Value Management (EVM)

El *Earned Value Management (EVM)*, o Metodología del Valor Ganado, es una técnica muy útil en la gestión conjunta del alcance, coste y plazos

(Project Management Institute, 2017). El EVM es un método que monitoriza la desviación que existe entre los datos reales y los datos estimados sobre cómo debería haber sido el desempeño teórico del proyecto (Acebes et al., 2013; Pajares & López-Paredes, 2011). Un ejemplo es expuesto en la Figura 24.

Para lograr su objetivo, el EVM precisa del cálculo de varios índices predefinidos por el Project Management Institute (2017), expuestos en la Figura 23 más atrás, donde se profundiza en el alcance, limitaciones y desarrollo del método del EVM. Los requerimientos mínimos para el buen desarrollo de este método requieren que se conozcan las distribuciones de probabilidad de las actividades estudiadas (Acebes et al., 2014b).

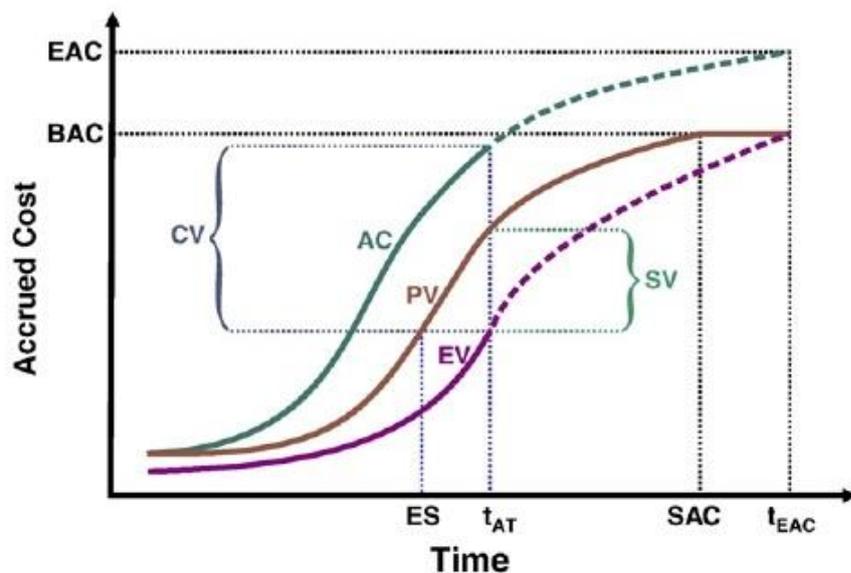


Figura 24 Variables de ejemplo de EVM. (Pajares & López-Paredes, 2011).

4.5.3 Experimentos estadísticos

Para tratar modelos con presencia de incertidumbre variable, Montgomery (2017) hace hincapié en la importancia del correcto diseño de experimentos estadísticos. Para ello, Montgomery (2017, 2019) y Montgomery & Runger (2004) han generado un amplio trabajo explicando los pasos y las condiciones a seguir para la resolución de ciertos problemas, en función de los datos de partida que se conozcan.

Estos experimentos se realizan en presencia de software informático especializado en tratamiento de datos estadísticos. Para solucionar los problemas que durante un proyecto puedan surgir, Montgomery (2017) hace una propuesta para transformar el problema de estudio de forma que se comporte como alguno de los tipos de experimentos que estudia y propone, resumidos en la Tabla 12.

Tabla 12 Experimentos estadísticos. (Montgomery, 2017).

Experimentos Estadísticos
Modelos de regresión
Diseño de bloques aleatorizados
Cuadrados latinos
Cuadrados grecolatinos
Diseños factoriales generales
Diseños factoriales de tipo 2^k
Diseños factoriales de tipo 3^k
Diseños de respuesta de superficies

4.5.4 Human Reliability Assessment (HRA)

Los *Human Reliability Assessment/Analysis (HRA)* es un conjunto de técnicas inspiradas en los métodos de *Fault Tree Analysis (FTA)* y *Event Tree Analysis (ETA)*. Su objetivo es analizar los posibles accidentes, errores y debilidades de un sistema, tratando a las personas pertenecientes al sistema como parte de ello. Es decir, el objeto central de los métodos HRA es el conjunto de personas que forman un sistema. Los HRA serían traducidos por *análisis de la fiabilidad humana*, tratando de dar una respuesta cuantitativa al grado de culpabilidad que tiene la acción humana sobre el sistema estudiado (M. Lyons et al., 2004).

Del mismo modo que las otras técnicas, la calidad de los resultados de los HRA dependerá en gran medida de la calidad de los datos de partida (Mullai, 2006). Si disponemos de datos cuantitativos y probabilísticos lo suficientemente fiables, podremos obtener grandes resultados con el uso de los distintos métodos de HRA.

El desarrollo de los métodos HRA se encuentra en pleno apogeo, según la revisión realizada por Bell & Holroyd (2009). En esta revisión, se pone de manifiesto que existen más de 35 métodos de HRA con grandes beneficios potenciales. Los más importantes tienen aplicación principal en la industria de la energía nuclear. Aun así, hacen un llamamiento al desarrollo de estos métodos de HRA por el gran beneficio potencial que se les estima. Un ejemplo de un HRA sobre el ámbito sanitario se expone en la Figura 25.

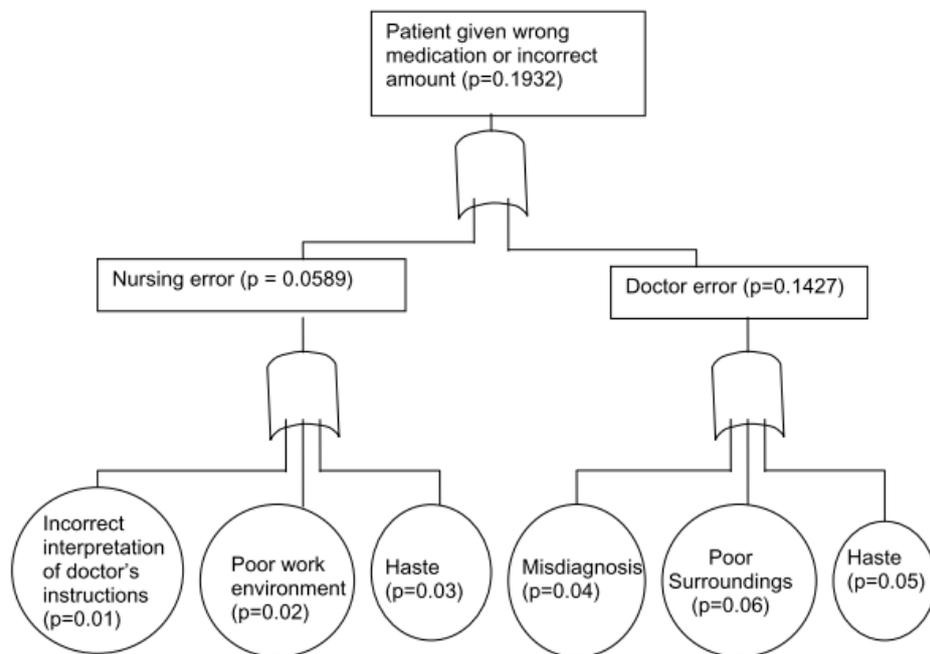


Figura 25 Ejemplo de HRA para errores médicos. (M. Lyons et al., 2004)

4.5.5 Margen

Una de los métodos más utilizados a la hora de gestionar la variabilidad es mediante el margen (Elms, 2004), y algunos autores afirman ser la única solución factible (Alleman et al., 2018b). La NASA (2014) define el margen como la tolerancia dada a las desviaciones en “*presupuesto, duraciones previstas y parámetros de rendimiento técnico*”².

² La cita original de NASA (2014) es: “*budget, projected schedules, and technical performance parameters*”.

Ajustar bien el margen es una actividad tan clave como difícil porque no se conoce el grado exacto de margen que hay que aplicar al tratamiento de cada incertidumbre (Bellagamba, 1999). Un rango de valores de ejemplo para el margen se encuentra en la Figura 26. Tan malo sería proporcionar un excesivo margen como un margen demasiado escueto (Alleman et al., 2018a; Aven & Zio, 2018), pudiendo entrar el proyecto en sobrecostos innecesarios y entregas tardías.

High	<0.25, 0.50, 1.00>	<0.25, 0.50, 0.75>	<0.10, 0.25, 0.75>	<0.00, 0.15, 0.25>
Medium	<0.25, 0.50, 0.75>	<0.10, 0.25, 0.75>	<0.00, 0.15, 0.25>	<-0.05, 0.05, 0.15>
Low	<0.10, 0.25, 0.75>	<0.00, 0.15, 0.25>	<-0.05, 0.05, 0.15>	<-0.10, 0.00, 0.10>
	Very Immature	Immature	Mature	Very Mature

Figura 26 Ejemplo de Intervalos de tolerancia - Margen. (Bellagamba, 1999)

4.5.6 Monte Carlo

El método de Monte Carlo es usado para el tratamiento de la incertidumbre aleatoria, así como los riesgos generados por esta. A partir del método de Monte Carlo, se puede obtener la información necesaria para conocer la contribución que la incertidumbre aleatoria medida aporta al conjunto del proyecto (Acebes et al., 2014a; Acebes, Pereda, et al., 2015).

La popularidad y la relevancia del método de Monte Carlo es debida a la precisión de sus estimaciones, en detrimento de otros métodos menos precisos, como los métodos PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Techniques/Critical Path Method*) o el diagrama de Gantt (Acebes et al., 2014b; Ortiz Pimiento & Diaz Serna, 2018).

El método de Monte Carlo se sirve de aplicaciones informáticas que realizan la simulación repetidamente durante miles de veces (Project Management Institute, 2017). Se puede realizar un análisis del Índice de Criticidad para cada actividad, pudiendo obtener aquellas que son prioritarias para el buen desarrollo del proyecto. Un ejemplo obtenido con el software @RISK se puede observar en la Figura 27.

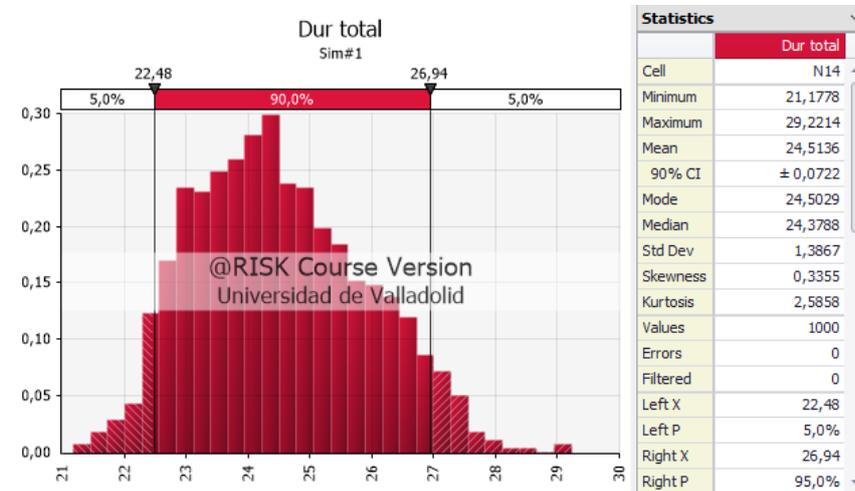


Figura 27 Ejemplo de duración de un proyecto después de aplicar la simulación de Monte Carlo con el software @RISK. Elaboración propia

4.5.7 Pareto Analysis (PA)

El *Pareto Analysis* es una técnica estadística muy común. Realizar un *análisis de Pareto* consiste en aplicar la regla estadística de Pareto (80-20). Es decir, el 80% de los problemas son causados por el 20% de los eventos ocurridos (Rebernik & Bradač, 2008).

Para poder realizar un análisis de Pareto, es necesario contar con una lista de los mayores problemas y soluciones factibles de un proyecto. Partiendo de esta base, se agrupan los problemas que pueden ser solucionados mediante una acción de respuesta conjunta y optimiza el coste de respuesta.

Un análisis de Pareto aspira a poder dar respuesta a una gran cantidad de problemas, estimada en el 80% del total, atendiendo solo al 20% de los eventos más importantes (Mullai, 2006). Sus resultados pueden ser de tipo cuantitativo y son generalmente mostrados en gráficos, como se expone en la Figura 28.



Figura 28 Ejemplificación de un gráfico de Pareto. Elaboración propia.

4.5.8 Programación lineal

La programación lineal es un método matemático de optimización, considerado uno de los mayores avances científicos del siglo XX (Hillier & Lieberman, 2015). Busca obtener una solución óptima que resuelva un problema, generalmente de transporte sobre la asignación de recursos limitados con respecto a ciertas restricciones.

La programación lineal modelaría el valor de cada una de las variables de decisión introducidas en el programa, con el objetivo de encontrar una solución que se ajuste a los límites establecidos por el programador. Un ejemplo sencillo de dos variables se encuentra en la Figura 29. Uno de los programas de gestión de programación más utilizados en nuestros días sería el software informático Microsoft Excel (Ishizaka & Nemery, 2013).

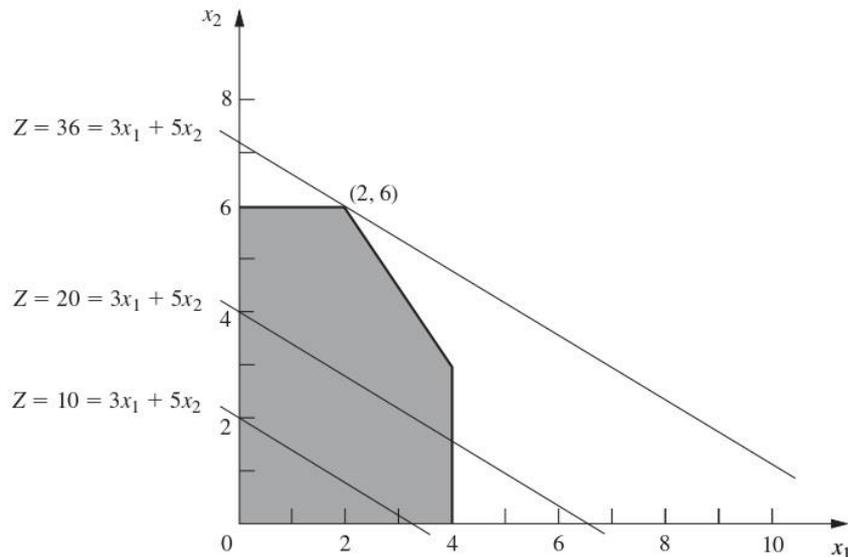


Figura 29 Solución gráfica por optimización de un problema de dos variables. (Hillier & Lieberman, 2015).

4.5.9 Sensitivity Analysis

Un *Sensitivity Analysis*, o *análisis de sensibilidad*, es un método utilizado en el tratamiento de la variabilidad. A diferencia del método de Monte Carlo, usado para modelos de probabilidad compleja; el análisis de sensibilidad es adecuado para modelos de parámetros determinísticos, cuando no disponemos de suficientes datos, o cuando los datos son contradictorios. (Chapman & Ward, 2003).

El análisis de sensibilidad nos permite poder determinar qué incertidumbres estudiadas tienen mayor impacto en el proyecto (Project Management Institute, 2017), tal y como se puede apreciar en la Figura 30. Si bien es cierto que se puede emplear un análisis de sensibilidad directamente, la combinación con el método de Monte Carlo nos permitiría obtener una información de mayor calidad (Acebes et al., 2014a).

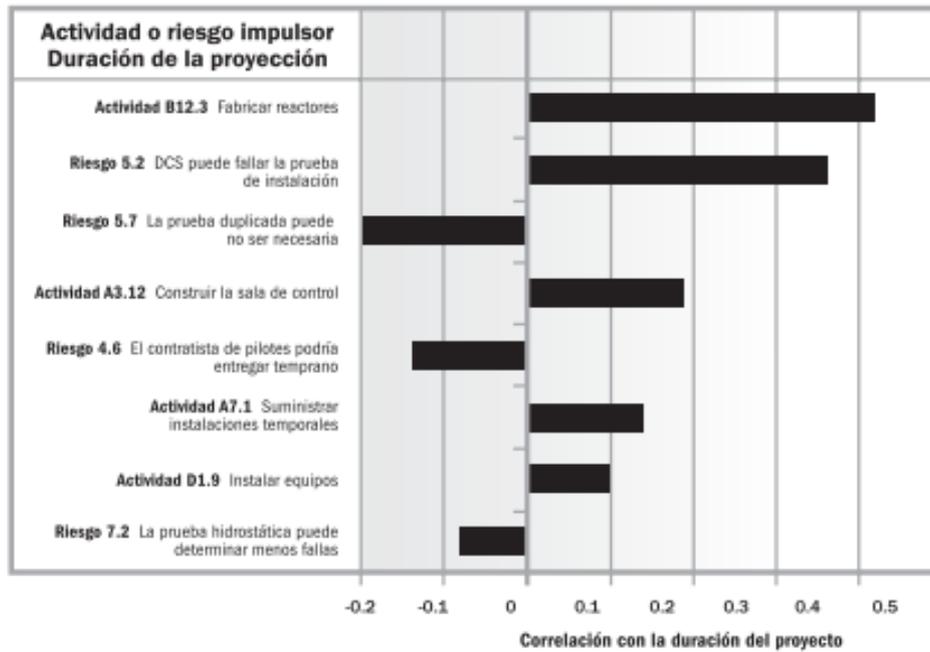


Figura 30 Ejemplo de gráfico de tornado de un análisis de sensibilidad. (Project Management Institute, 2017)

4.6 Métodos basados en diagramas de eventos

A diferencia de los métodos matemáticos, y de acuerdo con los que están basados en matrices, los ‘diagramas de eventos’ están centradas en la ocurrencia de eventos. Son técnicas que generalmente siguen una estructura definida. En este apartado se tratarán los métodos de *checklist*, *Decision Tree Analysis*, diagramas de causa y efecto y *Event and Causal Factor Charting (ECFCh)*, expuestos en la Tabla 13.

Tabla 13 Métodos basados en diagramas de eventos

Métodos basados en diagramas de eventos
Checklist
Decision Tree Analysis
Diagramas de Causa y Efecto
Event and Causal Factor Charting (ECFCh)

4.6.1 Checklist

Las *checklist*, o listas de verificación, consisten en una técnica para asegurarse de que una serie de eventos o pasos inevitables se han llevado a cabo (Project Management Institute, 2017). La función principal es orientar al Director del Proyecto del nivel de desarrollo en el que se encuentra una tarea o un conjunto de tareas de un proyecto.

Muchas organizaciones cuentan con listas de verificación estandarizadas en base a la experiencia con proyectos previos. Las listas de verificación pueden ser utilizadas para multitud de ámbitos, tanto de un proyecto, como de aspectos de la vida cotidiana (Mullai, 2006). Un ejemplo de una *checklist*, o lista de verificación se encuentra en la Figura 31.

Defectos/Fecha	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4	Total
Pequeño arañazo	1	2	2	2	7
Gran arañazo	0	1	0	0	1
Doblado	3	3	1	2	9
Falta componente	5	0	2	1	8
Color equivocado	2	0	1	3	6
Error de rotulación	1	2	1	2	6

Figura 31 Ejemplo de una lista de verificación - *Checklist*. (Project Management Institute, 2017)

4.6.2 Decision Tree Analysis

Un *Decision Tree Analysis*, o árbol de decisiones, es una técnica basada en los diagramas de flujo o mapas de procesos (Project Management Institute, 2017). Un árbol de decisiones es la base de otros métodos de gestión de riesgo estudiados en este trabajo, tales como el ETA, el FTA y el EMV. En el apartado 4.5.1 más atrás, Expected Monetary Value (EMV), se expone la Figura 23 donde se puede observar un árbol de decisión con el método EMV incorporado.

Los árboles de decisión son especialmente utilizados por aquellas organizaciones con un nivel mayor de aversión al riesgo (T. Lyons & Skitmore,

2004). Debido a su sencillez, es utilizado principalmente como un método para tener una perspectiva general a la hora de escoger la mejor decisión posible de todos los escenarios alternativos.

4.6.3 Diagramas de causa y efecto

Los diagramas de causa y efecto son una técnica de representación de la información mediante la identificación de eventos interrelacionados entre sí. Estos diagramas, como el ejemplo de la Figura 32, persiguen el objetivo de identificar la causa raíz de un efecto inesperado (Project Management Institute, 2017).

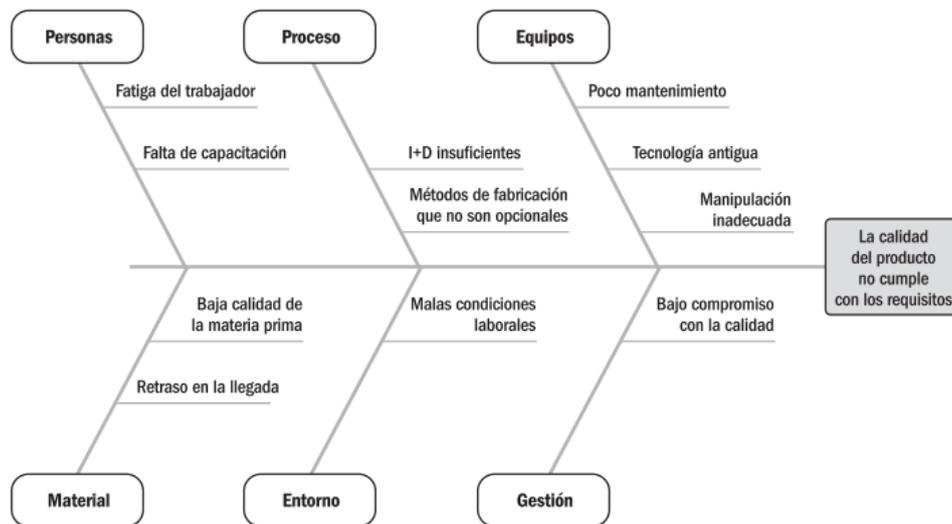


Figura 32 Ejemplo de un diagrama de causa y efecto. (Project Management Institute, 2017)

4.6.4 Event and Causal Factor Charting (ECFCh)

El *Event and Causal Factor Charting (ECFCh)* es una técnica de análisis en forma de tabla de los factores causa y efecto de una serie de eventos lógicos y secuenciados (Mullai, 2006). Contiene más información que la incluida en un diagrama de causa y efecto, puesto que, para la realización de un ECFCh, es necesario incluir las condiciones para la ocurrencia de un evento.

Además, el ECFCh tiene en cuenta las posibles desviaciones y los efectos asociados a la ocurrencia de eventos no planificados. No sigue una

distribución de ‘flechas y eventos’, propia de un diagrama de eventos. Más bien, el ECFCh se podría conformar como la tabla de exposición de la información obtenida de los eventos que la componen.

4.7 Métodos para la búsqueda de riesgos

Los métodos de gestión de búsqueda y clasificación de importancia de riesgos requieren de un alto componente de creatividad y subjetividad. Estas técnicas permiten la trazabilidad de eventos y la ordenación de aquellos que puedan tener un impacto más relevante en el alcance del proyecto. Los métodos estudiados en este apartado se encuentran en la Tabla 14:

Tabla 14 Métodos para la búsqueda de riesgos

Métodos para la búsqueda de riesgos
Brainstorming
Change Analysis (ChA)
Delphi
Expert Judgment
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
Incident Reporting (IR)
Risk Probability and Impact Assessment
What-If Analysis & SWIFT Analysis
‘5 Why’s’ Technique

4.7.1 Brainstorming

El *brainstorming* es una técnica también llamada ‘tormenta de ideas’. Un *brainstorming* es una de las técnicas que más pueden llegar a estimular la creatividad (Chapman & Ward, 2003). Consta de un grupo de personas con formación y experiencia de diversos campos, las cuales aportan una multitud de soluciones a un problema planteado.

Posteriormente, todas las ideas se debaten con el fin de discriminar las óptimas de las que no son tan apropiadas. El *brainstorming* es utilizado por

multitud de organizaciones como el punto de partida para la gestión de riesgos, problemas y cuestiones de muy diversa índole.

4.7.2 Change Analysis (ChA)

El *Change Analysis (ChA)*, traducido como análisis de cambios, es un método de revisión sistemático utilizado en la identificación de nuevos riesgos (Mullai, 2006). A medida que avanza un proyecto y se van consiguiendo hitos, los directores de proyecto toman decisiones que pueden afectar a varios de los objetivos.

La naturaleza propia de los proyectos, hace que estén sometidos a cambios constantes (Jaafari, 2001). El ChA es una herramienta utilizada para identificar, tanto el impacto de esas nuevas decisiones, como la clasificación de nuevos riesgos.

4.7.3 Delphi

El método Delphi es una técnica de obtención de información mediante el consenso de expertos (Project Management Institute, 2008). Se sigue un proceso compuesto por varias rondas, mediante el cual, un grupo de expertos responde una serie de preguntas.

El consenso se habrá de conseguir en pocas rondas, aprovechando el *feedback* o la retroalimentación resultante de la iteración. En todo momento, los miembros participan de forma anónima para evitar prejuicios o sesgos que puedan influir en la toma de las decisiones individuales.

4.7.4 Expert Judgment

La técnica de *Expert Judgment*, o juicio de expertos, consiste en consultar la opinión de un experto en la materia que se está tratando. Podemos entender como expertos a aquellas personas que posean la “*educación, conocimiento, habilidad, experiencia o capacitación especializada*” suficiente en el área del conocimiento al que pertenece el riesgo que tratemos (Project Management Institute, 2017).

La obtención de información mediante la técnica del juicio de expertos se puede conseguir mediante entrevistas y reuniones, asistencia a conferencias, ferias o eventos o mediante un estudio teórico sobre los riesgos a tratar. Además de para la obtención de nuevos riesgos, esta es una herramienta muy útil para comprender las dimensiones de un riesgo y la forma de gestionarlo adecuadamente.

4.7.5 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

El *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, conocido en español como Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), es método utilizado principalmente en el área de diseño y desarrollo de un producto. El AMFE es una técnica adecuada para reducir o eliminar aquellos fallos más importantes durante el proceso de creación de un nuevo producto (Rebernik & Bradač, 2008).

Durante la aplicación del método AMFE, existen tres aspectos de los fallos estudiados a tener en cuenta:

- El grado de importancia, dureza o severidad de las consecuencias.
- La frecuencia de ocurrencia.
- La facilidad de detección.

De esta manera, aquellos fallos más severos deberían tener un tratamiento prioritario, así como los que más se repitan. La facilidad de detección depende en gran medida de la calidad de los aparatos de medición y sistemas de detección de los fallos y efectos (Mullai, 2006). Un modelo de AMFE es expuesto en la Figura 33.

Índice	Causas	Controles	Gravedad GI	Ocurrencia OI	Detección DI	IPR inicial	Acciones Correctivas Recomendadas	Acciones Correctivas Tomadas	Gravedad GF	Ocurrencia OF	Detección DF	IPR final

Figura 33 Tabla modelo de AMFE. Elaboración propia.

Existe otra variante del método estándar FMEA, llamado *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)* (Bouti & Kadi, 1994). El FMECA es un

método más cuantitativo que su versión estándar, teniendo en cuenta un índice de criticidad sobre los eventos estudiados.

4.7.6 Incident Reporting (IR)

El método del *Incident Reporting (IR)* consiste en la notificación de incidentes, generalmente negativos, ocurridos en una organización. El IR es un método sistemático que recaba la máxima información posible sobre un evento determinado, como el ejemplo de la Figura 34.

ESITO DELL'EVENTO		
EVENTO potenziale	Situazione pericolosa/danno potenziale/evento non occorso (ad esempio personale insufficiente, pavimento sdruciolevole, ma su cui non si sono verificate cadute)	Livello 1
	Situazione pericolosa/danno potenziale/evento occorso ma intercettato (ad esempio preparazione di un farmaco sbagliato ma mai somministrato, far- maco prescritto per un paziente allergico)	Livello 2
EVENTO effettivo	Nessun esito – evento accaduto ma nessun danno occorso (ad esempio farmaco innocuo somministrato erroneamente al paziente)	Livello 3

Figura 34 Registro de eventos en Incident Reporting (IR). Cinotti (2004)

Al ser un método sistemático, aumenta el conocimiento general de la organización sobre la correlación entre eventos que se repiten periódicamente, así como de la efectividad de las acciones correctivas impuestas. Cinotti (2004) hace un llamamiento al control sobre la influencia de la subjetividad a la hora de tratar los eventos notificados por el *Incident Reporting*.

Tal y como explica la autora, el método del *Incident Reporting* es generalmente utilizado en sectores donde es imprescindible la gestión del riesgo para evitar catástrofes, tales como la industria aeronáutica, la nuclear o la petroquímica.

4.7.7 Risk Probability and Impact Assessment

El estudio de *Risk Probability and Impact Assessment* consiste en la evaluación de la probabilidad e impacto de los riesgos de un proyecto (Project Management Institute, 2017). Esta técnica permite analizar individualmente cada riesgo en función de su probabilidad de ocurrencia y el tipo de impacto que pueda tener en algún objetivo del proyecto, como se puede apreciar en la Figura 35.

En la realización de este estudio participan expertos y miembros del proyecto mediante entrevistas o reuniones. Tiene un alto componente de subjetividad, por lo que cada una de las respuestas obtenidas habrá de ser examinada posteriormente por los encargados de la gestión de riesgos.

		Amenazas					Oportunidades						
Probabilidad	Muy alta 0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	Muy alta 0,90	
	Alta 0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04	Alta 0,70	
	Mediana 0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03	Mediana 0,50	
	Baja 0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	Baja 0,30	
	Muy baja 0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	Muy baja 0,10	
		Muy bajo 0,05	Bajo 0,10	Moderado 0,20	Alto 0,40	Muy alto 0,80	Muy alto 0,80	Alto 0,40	Moderado 0,20	Bajo 0,10	Muy bajo 0,05		
		Impacto negativo					Impacto positivo						

Figura 35 Ejemplo de estudio mediante una matriz de Probabilidad e Impacto con esquema de puntuación.

4.7.8 What-If Analysis & SWIFT Analysis

Tanto el *What-If Analysis*, como el *Structured What-If Technique (SWIFT) Analysis*, componen una única técnica de gestión de riesgos. Ambos métodos se utilizan para predecir, intuir o descubrir riesgos futuros y prever su gestión. La diferencia entre ambas herramientas radica en la estructuración y flexibilidad del proceso a seguir.

4.7.8.1 What-If Analysis

El *What-If Analysis* es una técnica particular de *brainstorming*, o tormenta de ideas, que responde de forma sistemática a preguntas del tipo: '¿qué hubiese pasado si [un evento determinado] hubiese ocurrido?'. El objetivo consiste en dibujar un futuro con multitud de escenarios posibles (Mullai, 2006).

4.7.8.2 SWIFT Analysis

Por su parte, el *Structured What-If Technique (SWIFT) Analysis* es una variante más estructurada del *What-If Analysis*. En su ejecución, contaría con un supervisor que realizaría preguntas del tipo: '¿Cómo [un evento concreto] ha podido ocurrir?' o '¿Era posible o previsible que [un evento concreto] ocurriese?' (Mullai, 2006).

Tiene un objetivo más profundo que el *What-If Analysis*. El fin de un análisis de tipo SWIFT es dar respuesta a las causas, consecuencias, salvaguardas y cortafuegos para prevenir un evento, así como una lista de recomendaciones en torno a los eventos estudiados.

Tanto el *What-If Analysis*, como el *SWIFT Analysis*, son utilizados principalmente en la identificación de riesgos y amenazas de un proyecto (Aven & Zio, 2018). Tal y como explican los autores, son métodos simples pero efectivos como métodos de análisis e identificación de riesgos.

Se trata de dos técnicas llevadas a cabo por expertos que buscan encontrar las desviaciones en materia de riesgos, accidentes y beneficios potenciales, que la toma de una decisión puede acarrear. Al igual que la mayoría de las otras técnicas estudiadas, su potencial se multiplica aprovechando las sinergias del uso conjunto de las técnicas empleadas en la gestión de riesgos (Card et al., 2012).

4.7.9 '5 Why's' Technique

EL '*5 Why's' Technique* es la técnica de 'los 5 ¿por qué?'. Se trata de un método simplificado del *Fault Tree Analysis (FTA)* especializado en la gestión de accidentes (Mullai, 2006).

El funcionamiento de este método consiste en hacer preguntas sobre el porqué de la ocurrencia de un evento. Seguidamente a la respuesta dada, hay que volver a preguntarse iterativamente durante un máximo de cinco veces el porqué de la ocurrencia de dicho evento, o hasta que se considere haber alcanzado la causa raíz de un problema.

Es una técnica con unas limitaciones evidentes, principalmente de consumo de tiempo por la falta de garantía de consecución de resultados óptimos. A su vez, esta simplicidad la hace adecuada para aquellas organizaciones con poca madurez hacia la gestión de riesgos (Cagliano et al., 2015).

4.8 Resumen

Para la realización de este trabajo, han sido revisados una lista de herramientas propuestas por Cagliano et al. (2015) y Pellerin & Perrier (2019), así como diversas técnicas sobre el diseño de experimentos estadísticos (Montgomery, 2017, 2019). En la misma línea, hemos revisado distintos métodos multicriterio de ayuda a la decisión, como los métodos Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Analytic Hierarchical Process (AHP) and Elimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE), así como métodos de programación lineal (Hillier & Lieberman, 2015; Ishizaka & Nemery, 2013).

En las tablas de este apartado, se expone un resumen sobre las principales herramientas analizadas. Debido a la naturaleza de las variables que trata cada método, en la Tabla 15, se expone un resumen de la clasificación de los distintos métodos y herramientas por cada tipo de incertidumbre. Por el contrario, se expone en la Tabla 16, un resumen de los métodos comúnmente utilizados en la detección y clasificación de nuevos riesgos. La incertidumbre ontológica no está incluida, considerando solo los planes de contingencia como la única forma de gestionar este tipo de incertidumbre.

En nuestro estudio, también hemos revisado diversos métodos basados en lógica booleana y lógica fuzzy, tales como las técnicas de Fuzzy Logic y Fault

Herramientas y Técnicas en la Gestión de la Incertidumbre

Tree Analysis propuestos por Aven and Zio (2018) y Pramanik, Mondal, and Haldar (2020).

Para el tratamiento de la variabilidad, históricamente se han recomendado los métodos del camino crítico (Critical Path Method, o CPM) y el diagrama de Gantt. Sin embargo, los trabajos expuestos por los autores Acebes *et al.* (2014a) y Ortiz Pimiento y Diaz Serna (2018) ponen de manifiesto la baja precisión de estos métodos. En su lugar, recomiendan encarecidamente el método de Monte Carlo debido a su alta precisión en el abordaje de la variabilidad.

Tabla 15 Resumen de la clasificación de los métodos revisados por los tipos de incertidumbre

Herramienta, método y técnica	Incertidumbre ¹		
	Epistémica	Aleatoria	Estocástica
Decision Tree Analysis	X		
Delphi	X		X
Event Tree Analysis (ETA)	X	X	X
Expected Monetary Value (EVM)		X	X
Fault Tree Analysis (FTA)	X		
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	X	X	X
Fuzzy Logic	X		
Linear Programming		X	X
Margin		X	
Monte Carlo		X	
Multi-Criteria Decision	X		X
Pareto Analysis (PA)	X	X	X
Sensitivity Analysis	X	X	X
Statistical Experiments		X	
Structured What-if Technique (SWIFT) Analysis	X		

Por el contrario, en el campo de los métodos heurísticos, hemos puesto especial atención en como los algoritmos genéticos y en las redes neuronales pueden ser utilizados en el tratamiento de la incertidumbre (Rojas-Delgado, Trujillo-Rasúa, y Bello (2019).

Otro tipo de estrategias en el tratamiento de la variabilidad es el margen. Este concepto de margen es el intervalo de confianza que le damos a una función de distribución de probabilidad. Tal y como es definida por NASA (2014), el margen es la tolerancia dada a las desviaciones en “*presupuesto, duraciones previstas y parámetros de rendimiento técnico*”³. En otras palabras, los parámetros que nos miden el presupuesto, los tiempos y la actuación de nuestras tecnologías en un proyecto deberían contar con un margen de error. Es considerada la herramienta principalmente usada para el tratamiento de la aleatoriedad por su rapidez de ejecución.

Tabla 16 Resumen de los métodos comúnmente utilizados en la detección y clasificación de nuevos riesgos

Herramienta, método y técnica
Brainstorming
Cause and Effect diagram
Change Analysis (ChA)
Checklist
Expert Judgement
Heuristic Methods
Human Reliability Assessment (HRA)
Incident Reporting
Multi-Criteria Decision Methods
Risk Breakdown Matrix (RBM); Risk Breakdown Structure (RBS)
Risk Probability and Impact Matrix (RPIM)
Strengths, Weakness, Opportunities, and Threats (SWOT) Analysis
What-If Analysis
'5 Why's' Technique

Para la gestión de la incertidumbre ontológica, Ale, Hartford, y Slater (2020) afirman que la naturaleza propia de esta incertidumbre no puede ser utilizada como una excusa para no gestionarla. En su lugar, hacen un llamamiento a la organización generalizada de planes de contingencia para evitar amenazas y aprovechar las oportunidades de un riesgo.

³ La cita original de NASA (2014) es: “*budget, projected schedules, and technical performance parameters*”.

Conclusiones

En este trabajo, se han presentado las definiciones de riesgo e incertidumbre que recogen los autores más relevantes en la gestión de riesgos. Se ha comprobado que, tradicionalmente, el riesgo ha sido comprendido como una amenaza hacia el logro de los objetivos del proyecto. Profundizando en las definiciones más actuales, se ha constatado que el riesgo es considerado bidireccional. Por tanto, lo más adecuado sería tratar al riesgo como la posibilidad de conseguir amenazas y oportunidades sobre el proyecto.

Se ha profundizado en los orígenes del riesgo, así como se han revisado las múltiples clasificaciones de riesgo e incertidumbre. Se han observado tres ramas principales como origen del riesgo en la Dirección de Proyectos: la psicología, la economía y la ingeniería.

En lo relativo a la incertidumbre en la gestión de los riesgos de un proyecto, se ha constatado que existe relación entre la incertidumbre y la complejidad de un proyecto. Del análisis de los distintos tipos de incertidumbre, se ha realizado un estudio profundo sobre cuatro tipos de incertidumbre: estocástica, aleatoria, epistémica y ontológica.

Se han revisado las herramientas, métodos y técnicas comúnmente utilizadas en el ámbito de la gestión de riesgos en proyectos. Tanto las herramientas cualitativas como las cuantitativas han sido revisadas para la elaboración de este trabajo. En ellas se incluyen métodos de ayuda a la decisión multicriterio, heurísticos, lógicos, matriciales, matemáticos o basados en diagramas. Otros métodos comúnmente utilizados para la búsqueda de riesgos han sido revisados.

Como consecuencia del análisis de los métodos propuestos y de los tipos de incertidumbre estudiados, se nos ha permitido la posibilidad de asignar las herramientas más adecuadas para cada tipo de incertidumbre, debido a la naturaleza propia de ambas.

Nuestras investigaciones muestran que existen métodos y técnicas específicas para la gestión de la incertidumbre, en el sentido de la prevención de amenazas y promoción de oportunidades. En este estudio, hemos intentado

Herramientas y Técnicas en la Gestión de la Incertidumbre

mostrar la importancia de identificar correctamente la incertidumbre de un riesgo para asignarle una herramienta, técnica o método que se ajuste a su naturaleza. La gestión de la incertidumbre, por tanto, se ha convertido en una actividad clave para el éxito de cualquier proyecto.

Referencias

- Acebes, F. (2015). *Integración de la Incertidumbre y Riesgos en la Gestión y Control del Proyecto*. Universidad de Valladolid.
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2013). Beyond Earned Value Management: A Graphical Framework for Integrated Cost, Schedule and Risk Monitoring. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 74, 181–189.
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014a). Exploring the Influence of Seasonal Uncertainty in Project Risk Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119(April), 329–338.
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014b). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, 32(3), 423–434.
- Acebes, F., Pajares, J., & López-Paredes, A. (2015). Gestión de riesgos del proyecto. Desde la gestión de riesgos a la gestión de incertidumbre. *XIX International Congress on Project Management and Engineering, July*, 15–17.
- Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015). Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1597–1609.
- Ale, B. J. M., Hartford, D. N. D., & Slater, D. H. (2020). Dragons, black swans and decisions. *Environmental Research*, 183, 109–127.
- Alleman, G. B., Coonce, T. J., & Price, R. A. (2018a). Increasing the Probability of Program Success with Continuous Risk Management. *College of Performance Management, The Measurable News*, 4, 27–46.
- Alleman, G. B., Coonce, T. J., & Price, R. A. (2018b). What is Risk? *College of Performance Management, The Measurable News*, 1, 25–34.
- Atkinson, R., Crawford, L. H., & Ward, S. (2006). Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International Journal of Project Management*, 24(8).
- Aven, T., & Zio, E. (2018). *Knowledge in Risk Assessment and Management* (T.

- Aven & E. Zio (Eds.); 1st ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- AXELOS. (2017). *Managing Successful Projects with PRINCE2®* (AXELOS Limited (Ed.); 6th Editio). TSO (The Stationery Office).
- Badri, A., Gbodossou, A., & Nadeau, S. (2012). Occupational health and safety risks: Towards the integration into project management. *Safety Science*, 50(2), 190–198.
- Beer, M. (2016). *Alternative approaches to the treatment of epistemic uncertainties in risk assessment*.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198–215.
- Bell, J., & Holroyd, J. (2009). Review of human reliability assessment methods. *Health & Safety Laboratory*, 78.
- Bellagamba, L. (1999). Estimating Risk Adjusted Cost or Schedule Using Fuzzy Logic. *INCOSE International Symposium*, 9(1), 241–246.
- Bordley, R. F., Keisler, J. M., & Logan, T. M. (2019). Managing projects with uncertain deadlines. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 291–302.
- Bouti, A., & Kadi, D. A. (1994). A State-of-the-art Review of FMEA/FMECA. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 1(4), 515–543.
- Brady, T., & Davies, A. (2014). Managing Structural and Dynamic Complexity: A Tale of Two Projects. *Project Management Journal*, 39(4), 28–42.
- Bréfort, D. (2018). *Managing Epistemic Uncertainty in Design Models through Type-2 Fuzzy Logic Multidisciplinary Optimization*. The University of Michigan.
- Browning, T. R. (2014). Managing complex project process models with a process architecture framework. *International Journal of Project Management*, 32(2), 229–241.
- Cagliano, A. C., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2015). Choosing project risk management techniques. A theoretical framework. *Journal of Risk Research*, 18(2), 232–248.

- Card, A. J., Ward, J. R., & Clackson, P. J. (2012). Beyond FMEA: The structured what-if technique (SWIFT). *Journal of Healthcare Risk Management*, 31(4).
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights* (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Chia, E. S. (2006). Assessment Framework for Project Management. *IEEE*, 376–379.
- Cinotti, R. (Ed.). (2004). *La Gestione del Rischio nelle Organizzazioni Sanitarie* (1st ed.). Il Pensiero Scientifico Editore.
- Claudon, L., Daille-Lefèvre, B., & Marsot, J. (2008). La Révolution du Numérique: un tout pour concevoir des postes de travail plus sûrs. *Hygiène et Sécurité Du Travail (INRS)*, 5–13.
- Damnjanovic, I., & Reinschmidt, K. (2020). *Data Analytics for Engineering and Construction Project Risk Management*. Springer International Publishing.
- Der Kiureghian, A., & Ditlevsen, O. (2008). Aleatoric or epistemic? Does it matter? *Special Workshop on Risk Acceptance and Risk Communication*, 1–13.
- Díaz, A. (1996). *Optimización heurística y redes neuronales* (1st ed.). Paraninfo.
- Dowie, J. (1999). Against risk. *Risk Decision and Policy*, 4, 57–73.
- Elms, D. G. (2004). Structural safety—Issues and progress. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 6(2), 116–126.
- Emblemsvåg, J., & Endre Kjølstad, L. (2002). Strategic risk analysis – a field version. *Management Decision*, 40(9), 842–852.
- Espín Andrade, R. A., Díaz-Curbelo, A., & Gento Municio, Á. M. (2020). *The Role of Fuzzy Logic to Dealing with Epistemic Uncertainty in Supply Chain Risk Assessment : Review Standpoints*.
- European Commision. (2018). *PM2 Project Management Methodology Guide 3.0* (European Commision (Ed.); 3.0). European Commision.
- EWCS. (2007). Fourth European Working Conditions Survey. In *European Foundations for the Improvement of Living and Working Conditions*.
- Feo, T. A., & Resende, M. (1995). Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. *Journal of Global Optimization*, 2, 1–27.

- Fischhoff, B. (2013). Hindsight \neq foresight: The effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. *Quality & Safety in Health Care*, 304–312.
- Fritzen, S. J. (1987). *La Ventana de Johari. Ejercicios de dinámica de grupo, de relaciones humanas y de sensibilización*. (5th ed.). Sal Terrae.
- García Pérez, F. (2013). Enfoque estocástico de la incertidumbre en la selección de carteras de proyectos. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, Volumen 14*, 83–119.
- Glover, F. W., & Laguna, M. (1997). Tabu Search. In Springer Science+Business Media New York (Ed.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (1st ed., Vol. 53, Issue 9). Springer US.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* (1st ed.). Addison-Wesley.
- Gómez Meléndez, M. (2009). Applying Lean Concepts in Project Management Presenter Profile. *Applying Lean Concepts in Project Management*, 51.
- Hammond, John S; Keeney, Ralph L; Raiffa, H. (1999). *Decisiones Inteligentes: Guía para tomar mejores decisiones* (c2000 (Ed.)). Gestion 2000.
- Hazır, Ö., & Ulusoy, G. (2019). A classification and review of approaches and methods for modeling uncertainty in projects. *International Journal of Production Economics*.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). *Introduction to Operations Research*. (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hillson, D. (2002a). Extending the risk process to manage opportunities. *International Journal of Project Management*, 20, 235–240.
- Hillson, D. (2002b). The Risk Breakdown Structure (RBS) as an Aid to Effective Risk Management. *Fifth European Project Management Conference, June*, 19–20.
- Hillson, D. (2004). Effective Opportunity Management for Projects – Exploiting Positive Risk. In *Taylor & Francis*.
- Hillson, D. (2009). Managing Risk in Projects. In *Gower Publishing limited* (1st ed.). Gower Publishing limited.
- Hillson, D. (2012). *El riesgo es más que un futuro incierto*. Risk Doctor Briefing.
- Hillson, D. (2014). How to manage the risks you didn't know you were taking. *PMI® Global Congress*, 1–8.

- Hillson, D., Grimaldi, S., & Rafele, C. (2006). Managing Project Risks Using a Cross Risk Breakdown Matrix. *Risk Management*, 8(1), 61–76.
- Hillson, D., & Simon, P. (2012). *Practical Project Risk Management. The ATOM Methodology* (2nd ed.). Management Concepts Press.
- Hopkinson, M. (2011). *The Project Risk Maturity Model. Measuring and Improving Risk Management Capability* (1st ed.). Gower Publishing limited.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). Multi-Criteria Decision Analysis. In *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software* (1st ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- ISO 31000. (2018). *Norma Internacional ISO 31000* (Vol. 2).
- ISO 45001. (2018). *Norma Internacional ISO 45001*.
- Jaafari, A. (2001). Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: Time for a fundamental shift. *International Journal of Project Management*, 19(2), 89–101.
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.); 24th ed.). Cambridge University Press.
- Keynes, J. M. (1937). The general theory of unemployment. *The Quarterly Journal of Economics*, 51, 209–223.
- Kirkpatrick, S., Gelatt Jr., C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), 671–680.
- Knight, F. H. (1921). Risk, Uncertainty, and Profit. In The Riverside Press (Ed.), *Hart, Schaffner & Marx: Vol. XXXI* (1st ed.). Boston: Houghton Mifflin Company.
- KPMG. (2017). *Driving Business Performance: Project Management Survey 2017*. 1–52.
- Luft, J., & Ingham, H. (1961). The Johari Window. *Human Relations Training News*, 5(1), 6–7.
- Lyons, M., Woloshynowych, M., Adams, S., & Vincent, C. (2004). Error Reduction in Medicine. *Final Report to the Nuffield Trust. Department of Surgical Oncology & Technology, Imperial College, London*.

- Lyons, T., & Skitmore, M. (2004). Project risk management in the Queensland engineering construction industry: A survey. *International Journal of Project Management*, 22(1), 51–61.
- Mascagni, M., Aart, E., & Korst, J. (1990). Simulated Annealing and Boltzmann Machines: A Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing. *Mathematics of Computation*, 55(191), 393–395.
- Meredith, J. R., Shafer, S. M., & Mantel, S. J. (2017). *Project management: a strategic managerial approach* (10th ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Ministerio de Industria, T. y C. (2011). *Informe del grupo de trabajo de crecimiento empresarial del Observatorio de la PYME*. 1–57.
- Monster. (2011). *United States Engineering 2011 Job Candidates. Insights and Analysis from Professionals, Recruiters and Hiring Managers*.
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (Arizona State University (Ed.); Ninth Edit). John Wiley & Sons Ltd.
- Montgomery, D. C. (2019). Supplement Text Material. In *Design and Analysis of Experiments* (Vol. 1, Issue August). John Wiley & Sons Ltd.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2004). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Moreno Jiménez, B. (2011). Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales. *Medicina y Seguridad Del Trabajo*, 57(1), 4–19.
- Morlok, E. K. (1978). *Introduction to transportation engineering and planning*. McGraw-Hill College.
- Mullai, A. (2006). Risk Management System – Risk Assessment Frameworks and Techniques. In Turku (Ed.), *European Union (European Regional Development Fund)*. DAGOB Publication Series.
- Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2011). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 29(6), 764–772.
- NASA. (2014). *NASA Space Flight Program and Project Management Handbook* (1st ed.). NASA.
- Ortiz Pimiento, N. R., & Diaz Serna, F. J. (2018). The project scheduling problem with non-deterministic activities duration: A literature review. *Journal of*

Industrial Engineering and Management, 11(1), 116.

- Padalkar, M., & Gopinath, S. (2016). Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literature. *International Journal of Project Management*, 34(4), 688–700.
- Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615–621.
- Patterson, D., & Self, P. (2018). Demystifying Artificial Intelligence & How It Will Make Project Planning Better. *College of Performance Management, The Measurable News*, 1, 25–34.
- Pellerin, R., & Perrier, N. (2019). A review of methods, techniques and tools for project planning and control. *International Journal of Production Research*, 57(7), 1–19.
- Perminova, O., Gustafsson, M., & Wikström, K. (2008). Defining Uncertainty in Projects - A New Perspective. *International Journal of Project Management*, 26(1), 73–79.
- Pomerol, J.-C., & Barba-Romero, S. (2000). *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice* (Springer Science+Business Media New York (Ed.); 1st ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Pramanik, D., Mondal, S. C., & Haldar, A. (2020). A framework for managing uncertainty in information system project selection: an intelligent fuzzy approach. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 15(1), 70–78.
- Project Management Institute. (2008). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (4th ed.). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (Project Management Institute (Ed.); 6th ed).
- Public Works and Government Services Canada. (2015). *Project Complexity and Risk Assessment Manual*.
- Qureshi, S. M., & Kang, C. W. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165–176.

- Ramasesh, R. V., & Browning, T. R. (2014). A conceptual framework for tackling knowable unknown unknowns in project management. *Journal of Operations Management*, 32(4), 190–204.
- Rebernik, M., & Bradač, B. (2008). Idea evaluation methods and techniques. *Institute for Entrepreneurship and Small Business Management, University of Maribor, Slovenia*.
- Rogers, M., Bruen, M., & Maystre, L.-Y. (2000). *Electre and Decision Support: Methods and Applications in Engineering and Infrastructure Investment* (Springer (Ed.); 1st ed.). Springer Science+Business Media.
- Rohmer, J., & Baudrit, C. (2011). The use of the possibility theory to investigate the epistemic uncertainties within scenario-based earthquake risk assessments. *Natural Hazards*, 56(3), 613–632.
- Rojas-Delgado, J., Trujillo-Rasúa, R., & Bello, R. (2019). A continuation approach for training Artificial Neural Networks with meta-heuristics. *Pattern Recognition Letters*, 125, 373–380.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2000). Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. In F. S. Hillier (Ed.), *International Series in Operations Research & Management Science* (1st ed.). Springer Science+Business Media.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2013). *Decision Making with the Analytic Network Process* (T. L. Saaty (Ed.); 2nd ed.). Springer Science+Business Media.
- Salahdine, F., Kaabouch, N., & El Ghazi, H. (2017). Techniques for dealing with uncertainty in cognitive radio networks. *2017 IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 1–6.
- Saunders, F. C., Gale, A. W., & Sherry, A. H. (2015). Conceptualising uncertainty in safety-critical projects: A practitioner perspective. *International Journal of Project Management*, 33(2), 467–478.
- Séneca, L. A. (55 C.E.). De la brevedad de la vida. (Diálogos). In Joan-Carles Mèlich trad. (Ed.), *Filosofía de la finitud* (pp. 35–42). Herder.
- Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable* (1st ed.). Random House.
- Ward, S., & Chapman, C. (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International Journal of Project Management*, 21(2), 97–105.

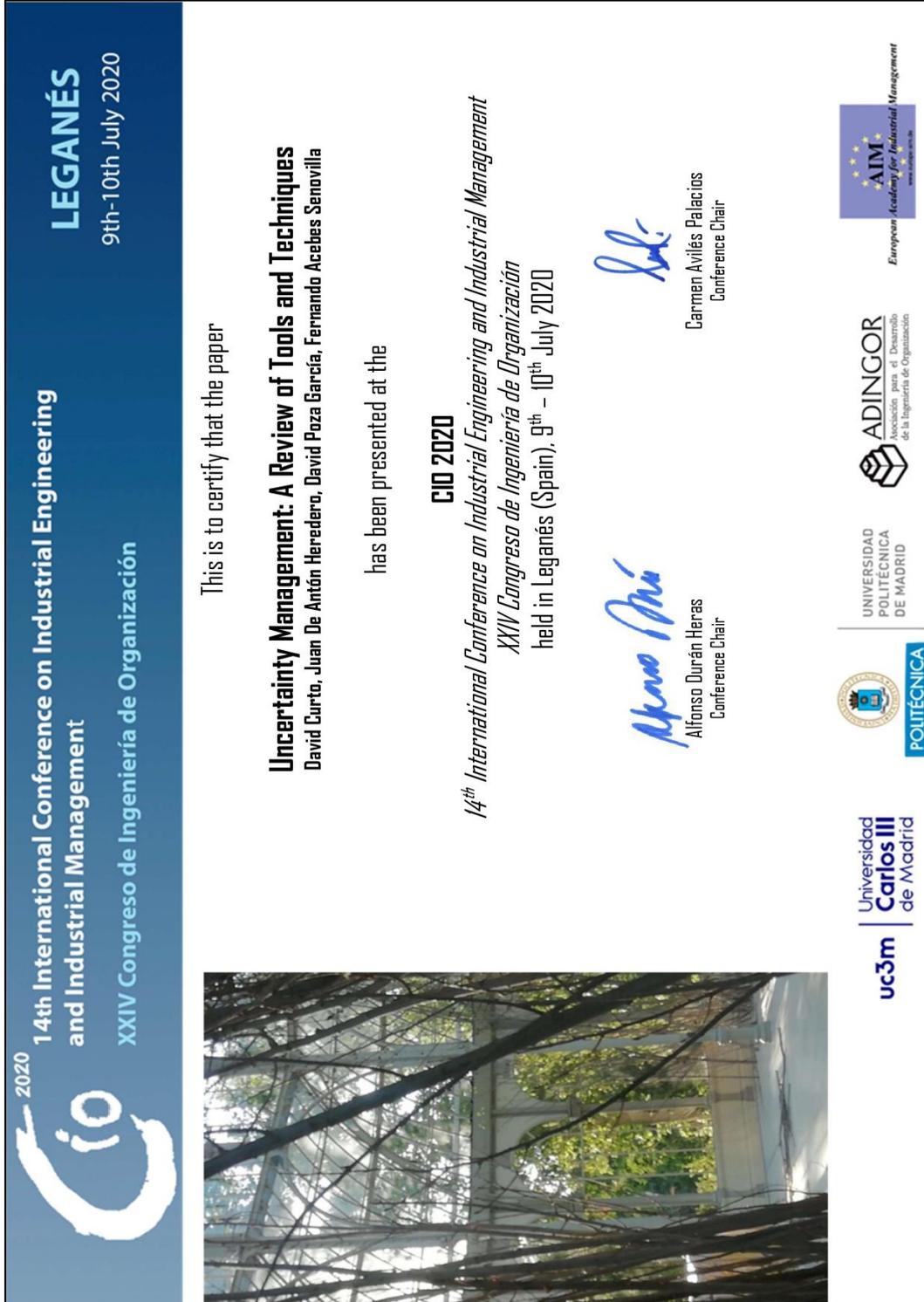
- Williams, T. M. (1995). A classified bibliography of recent research relating to project risk management. *European Journal of Operational Research*, 85, 18–38.
- Williams, T. M. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17.
- World Economic Forum. (2016). Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology. In *World Economic Forum (WEF)* (Issue May).
- World Economic Forum. (2018). The Future of Jobs Report. In *World Economic Forum (WEF)* (Vol. 31, Issue 2).
- Zack, M. H. (1999). Managing organizational ignorance. In *Knowledge Directions* (Vol. 1, Issue Summer).
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
- Zanakis, S. H., & Evans, J. R. (1981). Heuristic Optimization: Why, When, and How to Use It. *Interfaces*, 11(5), 84–91.
- Zarikas, V., & Kitsos, C. P. (2015). Theory and Practice of Risk Assessment. In C. P. Kitsos, T. A. Oliveira, A. Rigas, & S. Gulati (Eds.), *Springer International Publishing* (Vol. 136). Springer International Publishing.

Anexo: Publicaciones

Durante la realización de este trabajo de investigación, se ha presentado y aceptado para publicación un artículo en el congreso 14th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (ICIEIM) & XXIV Congreso de Ingeniería de Organización (CIO2020):

Curto, David, Juan de Antón, David Poza & Fernando Acebes. 2020. "Uncertainty Management: A Review of Tools and Techniques." In XIV International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Madrid – España.

Asimismo, el artículo presentado en el congreso 14th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (ICIEIM) & XXIV Congreso de Ingeniería de Organización (CIO2020) ha sido seleccionado para su publicación en el *special issue* 'LECTURE NOTES IN MANAGEMENT AND INDUSTRIAL ENGINEERING' (<https://www.springer.com/series/11786>) de SPRINGER Publisher, titulado "Ensuring Sustainability: New Challenges for Organizational Engineering".



LEGANÉS
9th-10th July 2020

2020
14th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
and Industrial Management
XXIV Congreso de Ingeniería de Organización

This is to certify that the paper

Uncertainty Management: A Review of Tools and Techniques
David Curto, Juan De Antón Heredero, David Poza García, Fernando Acebes Senovilla

has been presented at the

CIO 2020
14th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XXIV Congreso de Ingeniería de Organización
held in Leganés (Spain), 9th – 10th July 2020


Alfonso Durán Heras
Conference Chair


Carmen Avilés Palacios
Conference Chair


uc3m | Universidad Carlos III de Madrid


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID


ADINGOR
Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización


AIM
European Academy for Industrial Management
www.aim-iaim.eu



14th_ICIEIM_CIO2020, 059, v6 (final): 'Uncertainty Management: A Review of Tools ... 1

14th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XXIV Congreso de Ingeniería de Organización
Madrid, Spain, July 9-10, 2020

Uncertainty Management: A Review of Tools and Techniques

Curto D¹, de Antón J², Poza D³, Acebes F⁴

Abstract Risk Management is an emerging topic of interest in Management literature in general, and especially in the Project Management discipline. Nonetheless, there is no consensus about the concept of risk. A broad review of the literature let us identify four types of uncertainty: stochastic, aleatoric, epistemic and ontological. Successful Risk Management requires applying the appropriate techniques and tools. The aim of this paper is to present a synthesis of the tools and techniques, which must be applied to each type of uncertainty.

Keywords: Project Management; Risk; Risk Management; Uncertainty; Uncertainty Management

1 Introduction

Many companies and organizations have found the solution to their economic problems, due to the last economic and financial crisis, in specialization through new projects. Many surveys, such as World Economic Forum (2018), conclude that Risk Management, in the scope of Project Management, is one of the most demanded hard skills for recruiters and hiring managers in the last decade.

Regarding the engineering corporations, the World Economic Forum (2016) affirms that the requirements of efficiently Risk Management must be directed by a

¹David Curto Lorenzo (e-mail: davideurtolorenzo@gmail.com)

²Juan de Antón Heredero (e-mail: juan.anton@uva.es).

³David Poza García (e-mail: dpoza@gmail.com)

⁴Fernando Acebes Senovilla (✉ e-mail: facebes@yahoo.es). Corresponding author

Dpto. de Organización de Empresas y CIM. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Pso. Del Cauce 59, 47011 Valladolid (Spain).

2 14th_ICIEIM_CIO2020, 059, v6 (final): 'Uncertainty Management: A Review of Tools...

2

'common risk-management strategy'. This 'strategy' should be implemented as soon as possible in the project life cycle, as exposed in Meredith et al. (2017).

The main goal of this paper is to present a proposal of the tools and techniques commonly used in Risk Management, based on the criterion of the different types of uncertainty. To achieve this objective, we have made a review of the concepts of risk and uncertainty, and the different classifications identified in the literature. Likewise, we did research on different tools and techniques used for the management of risks and uncertainties.

The remainder of the article is structured as follows. In the next section, we introduce our methodology. As a third section, we present a review of the historical meaning of the concept of risk in the scope of Project Management. In the fourth section, we describe the identified four categories of uncertainty: stochastic, aleatoric, epistemic and ontological. Therefore, an analysis of the most frequent tools, methods and techniques commonly used in Risk Management is presented in section 5. Finally, we summarize the most relevant findings and conclusions.

2 Research Methods

In drawing up this report, we mainly searched for papers, articles, books and publications in general, related to the definitions of risk, uncertainty and different categories of uncertainty. Subsequently, we also searched for publications of methods and techniques frequently used in Risk Management. The terms used in the scientific journals databases of Scopus, Web of Science and Google Scholar were "risk", "uncertainty", "risk/uncertainty management", and "project management"; as well as "tools/techniques/methods" in "risk/uncertainty management".

In phase 2, we selected those articles with a higher relevance, concentrating on the number of citations and paying particular attention to the newer ones. Henceforth, we focused on scientific journals of high impact, i.e. International Journal of Project Management, European Journal of Operational Research, International Journal of Production Research, and Journal of Risk Research, inter alia.

As a third phase, we did research on backward and forward citations into the most relevant publications. To present this paper, 41 papers were reviewed out of the 104 documents reported by the research.

3 Risk Management

Although there is no broad consensus in the definition of neither risk nor uncertainty (Williams, 1995; Perminova, Gustafsson and Wikström, 2008), the Project Management Institute (2017) defined individual risk as "*an uncertain event or condition that, if it occurs, has a positive or negative effect on one or more project*

objectives". In this sense, Chapman and Ward (2003) perceived opportunities and threats as the two sides of a same coin. Jaafari (2001) took the same view, understanding risk as the probability of losing or winning.

On the other hand, Hillson (2002) affirmed that risk was traditionally understood as an event which involves adverse outcomes, such as loss, danger or damage. This vision is present in Dowie (1999), as long as risk means negative consequences. By contrast, Chia (2006) highlighted the common ground in some features of risk. In this regard, risk means a future event with a probability of occurrence and unexpected-unplanned repercussions.

4 Uncertainty

The definition of risk made by Hillson (2009) is "*uncertainty that matters*". This idea is related to the definition of 'general risk', proposed by the Project Management Institute (2017): "*the effect of uncertainty on the project as a whole, arising from all sources of uncertainty including individual risks*".

Owing to uncertainty's fickle nature, it would be necessary to answer "*how uncertainties might 'matter'*" (Hillson, 2014). According to the idea of Alleman, Coonce and Price (2018a), the core of any risk is the uncertainty which causes it. It is widely accepted that risk emerges from uncertainty (Hillson and Simon, 2012) and risk might be a subset-consequence of uncertainty (Hillson, 2016; Alleman, Coonce and Price, 2018b).

Hence, several problems may emerge; three issues were put in the spotlight: 'Uncertainty is everywhere', 'Not all uncertainties matter' and 'Not all uncertainties that matter are bad' (Hillson, 2020). In addressing these questions, many classification criteria were reviewed (Pajares, López-Paredes and Acebes, 2015; Hazır and Ulusoy, 2019). Traditionally, uncertainty was classified into two types: epistemic, related to the lack of knowledge, and aleatory, due to the randomness (Elms, 2004). Hillson (2014) proposed the next broadened classification of uncertainty-'non-event' that matters: stochastic, aleatoric, epistemic, and ontological.

Stochastic Uncertainty

Stochastic uncertainty –also called 'event risk'– is defined as "*future possible events*" (Hillson, 2014). An 'event risk' could be understood as an 'action' risk, which means that if the risk cannot materialize –'non-action'–, it would not have any impact on the scope and objectives of the project.

The particular way of dealing with stochastic uncertainties necessitates an individual application for each event studied. As for the imprecise accuracy in determining the measures of the stochastic events, statistical techniques are recommended in stochastic treatment (Padalkar and Gopinath, 2016).

4 14th_ICIEIM_CIO2020, 059, v6 (final): 'Uncertainty Management: A Review of Tools...

4

Aleatoric Uncertainty

The aleatoric uncertainty is described by variability, which means there is a wide range of possible results. Its nature is stochastic, in the sense of independence from the system and the environment. Thus, aleatoric uncertainty is irreducible.

This 'variability risk' is related to planned events or activities (Hillson, 2014). From the moment the event provoked by aleatoric uncertainty is known, Hillson proposed managing this kind of uncertainty through quantitative risk models.

Epistemic Uncertainty

By contrast, epistemic uncertainty is related to lack of knowledge. This means it could be addressed by getting information about the system and the environment. Resulting from living in a deterministic world, the epistemic uncertainty relies on real-world limitations (Damjanovic and Reinschmidt, 2020). To that effect, expanding the boundaries of knowledge of the organization is just the settlement.

Due to the lack of information, Hopkinson (2011) points out the necessity of the formation of a Risk Maturity Model (RMM) in the organization to prevent unexpected epistemic events. This kind of uncertainty would get reduced if Information and Communications Technology (ICT) were further developed.

Ontological Uncertainty

On the other hand, nothing is knowable about ontological uncertainty. It transcends the physical limitations of a system and the environment. Ontological uncertainty is the unknown knowledge of what is impossible to know.

Commonly known as 'Black Swans', since Taleb (2007) first coined the term, the ontological uncertainty would correspond to those uncertainties which cannot be knowable (Alleman, Coonce and Price, 2018b). The ontological uncertainty is located "outside of our current mindset or cognisance" (Hillson, 2014).

5 Tools and Techniques

There are good reasons for categorising tools, methods, and techniques by the nature of the event treated. Zarikas and Kitsos (2015) conclude that most experts are used to misjudging threats while they exaggerate gains. The crucial milestones of a project used to be in the presence of uncertain deadlines (Bordley, Keisler and Logan, 2019). As they explain, becoming aware of this uncertainty results in estimations with a higher accuracy, which will increase the opportunities for the success of the project. To exemplify this, a huge number of methods were reviewed. In Table 1, methods are classified by the type of uncertainty they could address, due to the nature of the variables treated in the methods and the nature of the type of

uncertainty. Furthermore, techniques typically used in categorizing new risks are exposed in Table 2.

In the knowledge of its limitations, both quantitative and qualitative techniques are appropriate to anticipate and prevent the occurrence and recurrence of risks. It should be noted that the concept of quantitative techniques cannot be a hotchpotch of tools. By contrast, they are substantiated by different logical and mathematical basis. Both qualitative and quantitative techniques (Cagliano, Grimaldi and Rafele, 2015; Pellerin and Perrier, 2019) and design of statistical experiments methods (Montgomery, 2017, 2019) were reviewed.

Table 1 Summary of the classification of methods and types of uncertainty

Tool, Method and Technique	Uncertainty ¹		
	Epistemic	Aleatoric	Stochastic
Decision Tree Analysis	X		
Delphi	X		X
Event Tree Analysis (ETA)	X	X	X
Expected Monetary Value (EVM)		X	X
Fault Tree Analysis (FTA)	X		
Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	X	X	X
Fuzzy Logic	X		
Linear Programming		X	X
Margin		X	
Monte Carlo		X	
Multi-Criteria Decision	X		X
Pareto Analysis (PA)	X	X	X
Sensitivity Analysis	X	X	X
Statistical Experiments		X	
Structured What-if Technique (SWIFT) Analysis	X		

¹Ontological uncertainty is not included considering that only Contingency and Disaster Plans could address it.

Similarly, Multi-Criteria Decision Methods, such as Analytic Hierarchical Process (AHP) and ELimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE), as well as Linear Programming (Ishizaka and Nemery, 2013; Hillier and Lieberman, 2015) were studied. The main handling tool in aleatoric uncertainty management is margin, which is the tolerance given to the deviations of “*budget, projected schedules, and technical performance parameters*” (NASA, 2014).

Based on Fuzzy and Boolean logic, Fuzzy Logic and Fault Tree Analysis, proposed by Aven and Zio (2018) and Pramanik, Mondal, and Haldar (2020), were

6

revised. In addressing the variability, Monte Carlo method is recommended instead of less-accurate methods of Critical Path Method (CPM) or Gantt Chart (Acebes *et al.*, 2014a, 2014b; Ortiz Pimiento and Diaz Serna, 2018). In the scope of heuristic methods, Genetic Algorithms and Artificial Neural Network (Rojas-Delgado, Trujillo-Rasúa, and Bello, 2019) were also reviewed.

As explained by Ale, Hartford, and Slater (2020), ignorance in not treating ontological uncertainty –Black Swans- cannot be an excuse for failed management. They made a call for organizing ‘contingency and disaster plans’ to avoid threats and promote opportunities.

Table 2 Summary of the methods commonly used in detecting and classifying new risks.

Tool, Method and Technique
Brainstorming
Cause and Effect diagram
Change Analysis (ChA)
Checklist
Expert Judgement
Heuristic Methods
Human Reliability Assessment (HRA)
Incident Reporting
Multi-Criteria Decision Methods
Risk Breakdown Matrix (RBM); Risk Breakdown Structure (RBS)
Risk Probability and Impact Matrix (RPIM)
Strengths, Weakness, Opportunities, and Threats (SWOT) Analysis
What-If Analysis
‘5 Why’s’ Technique

6 Conclusion

In this paper, we present some of the most outstanding definitions and classifications of risk and uncertainty. Within the framework of controlling risk in projects, we suggested the main tools and techniques commonly used in Risk Management. In consequence, we adopted an appropriate taxonomy of uncertainty that allowed us to assign the most suitable tools, methods and techniques to each type of uncertainty.

Our findings show that, due to the particular nature of each type of uncertainty, there are specific tools and techniques for Uncertainty Management. We have attempted to show the importance of identifying the correct uncertainty to assign the proper tools, methods and techniques for the success of any project.

7 References

- Acebes, F. *et al.* (2014a) 'A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics', *International Journal of Project Management*, 32(3), pp. 423–434.
- Acebes, F. *et al.* (2014b) 'Exploring the influence of Seasonal Uncertainty in Project Risk Management', *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 119(April), pp. 329–338.
- Ale, B. J. M., Hartford, D. N. D. and Slater, D. H. (2020) 'Dragons, black swans and decisions', *Environmental Research*, 183, pp. 109–127.
- Alleman, G. B., Coonce, T. J. and Price, R. A. (2018a) 'Increasing the Probability of Program Success with Continuous Risk Management', *College of Performance Management, The Measurable News*, (4), pp. 27–46.
- Alleman, G. B., Coonce, T. J. and Price, R. A. (2018b) 'What is Risk?', *College of Performance Management, The Measurable News*, (1), pp. 25–34.
- Aven, T. and Zio, E. (2018) *Knowledge in Risk Assessment and Management*. 1st edn. Edited by T. Aven and E. Zio. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Bordley, R. F., Keisler, J. M. and Logan, T. M. (2019) 'Managing projects with uncertain deadlines', *European Journal of Operational Research*, 274(1), pp. 291–302.
- Cagliano, A. C., Grimaldi, S. and Rafele, C. (2015) 'Choosing project Risk Management techniques. A theoretical framework', *Journal of Risk Research*, 18(2), pp. 232–248.
- Chapman, C. and Ward, S. (2003) *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. 2nd edn. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Chia, E. S. (2006) 'Assessment Framework for Project Management', *IEEE*, pp. 376–379.
- Damjanovic, I. and Reinschmidt, K. (2020) *Data Analytics for Engineering and Construction Project Risk Management*. Cham: Springer International Publishing (Risk, Systems and Decisions).
- Dowie, J. (1999) 'Against risk', *Risk Decision and Policy*, 4, pp. 57–73.
- Elms, D. G. (2004) 'Structural safety—Issues and progress', *Progress in Structural Engineering and Materials*, 6(2), pp. 116–126.
- Hazır, Ö. and Ulusoy, G. (2019) 'A classification and review of approaches and methods for modeling uncertainty in projects', *International Journal of Production Economics*. Elsevier B.V.
- Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. (2015) *Introduction to Operations Research*. 10th edn. McGraw-Hill Education.
- Hillson, D. (2002) 'Extending the risk process to manage opportunities', *International Journal of Project Management*, 20, pp. 235–240.
- Hillson, D. (2009) *Managing Risk in Projects*. 1st edn, Gower Publishing limited. 1st edn. Farnham, UK: Gower Publishing limited.
- Hillson, D. (2014) 'How to manage the risks you didn't know you were taking', *PMI® Global Congress*, pp. 1–8.
- Hillson, D. (2016) *The Risk Management Handbook: A Practical Guide to Managing the Multiple Dimensions of Risk*. 1st edn. Edited by D. Hillson. Kogan Page Publishers.
- Hillson, D. (2020) *Capturing Upside Risk: Finding and Managing Opportunities in Projects*. 1st edn, *Capturing Upside Risk*. 1st edn. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Hillson, D. and Simon, P. (2012) *Practical Project Risk Management. The ATOM Methodology*. 2nd edn. Management Concepts Press.

8 14th_ICIEIM_CIO2020, 059, v6 (final): 'Uncertainty Management: A Review of Tools...

8

- Hopkinson, M. (2011) *The Project Risk Maturity Model. Measuring and Improving Risk Management Capability*. 1st edn. New York: Gower Publishing limited.
- Ishizaka, A. and Nemery, P. (2013) *Multi-Criteria Decision Analysis*. 1st edn, *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. 1st edn. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Jaafari, A. (2001) 'Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: Time for a fundamental shift', *International Journal of Project Management*, 19(2), pp. 89–101.
- Meredith, J. R., Shafer, S. M. and Mantel, S. J. (2017) *Project management: a strategic managerial approach*. 10th edn. John Wiley & Sons Ltd.
- Montgomery, D. C. (2017) *Design and Analysis of Experiments*. Ninth Edit. Edited by Arizona State University. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd.
- Montgomery, D. C. (2019) 'Supplement Text Material', in *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons Ltd.
- NASA (2014) *NASA Space Flight Program and Project Management Handbook*. 1st edn. Washington, D.C.: NASA.
- Ortiz Pimiento, N. R. and Diaz Sema, F. J. (2018) 'The project scheduling problem with non-deterministic activities duration: A literature review', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(1), p. 116.
- Padalkar, M. and Gopinath, S. (2016) 'Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literature', *International Journal of Project Management*, 34(4), pp. 688–700.
- Pajares, J., López-Paredes, A. and Acebes, F. (2015) 'Gestión de riesgos del proyecto. Desde la gestión de riesgos a la gestión de incertidumbre', *LXX International congress on Project Management and Engineering*, (July), pp. 15–17.
- Pellerin, R. and Perrier, N. (2019) 'A review of methods, techniques and tools for project planning and control', *International Journal of Production Research*. Taylor & Francis, 57(7), pp. 1–19.
- Perminova, O., Gustafsson, M. and Wikström, K. (2008) 'Defining Uncertainty in Projects - A New Perspective', *International Journal of Project Management*, 26(1), pp. 73–79.
- Pramanik, D., Mondal, S. C. and Haldar, A. (2020) 'A framework for managing uncertainty in information system project selection: an intelligent fuzzy approach', *International Journal of Management Science and Engineering Management*. Taylor & Francis, 15(1), pp. 70–78.
- Project Management Institute (2017) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. 6th edn. Project Management Institute.
- Rojas-Delgado, J., Trujillo-Rasúa, R. and Bello, R. (2019) 'A continuation approach for training Artificial Neural Networks with meta-heuristics', *Pattern Recognition Letters*. Elsevier B.V., 125, pp. 373–380.
- Taleb, N. N. (2007) *The black swan: The impact of the highly improbable*. 1st edn. Random House.
- Williams, T. M. (1995) 'A classified bibliography of recent research relating to project Risk Management', *European Journal of Operational Research*, 85, pp. 18–38.
- World Economic Forum (2016) *Shaping the Future of Construction. A Breakthrough in Mindset and Technology*, *World Economic Forum (WEF)*.
- World Economic Forum (2018) *The Future of Jobs Report*, *World Economic Forum (WEF)*.
- Zarikas, V. and Kitsos, C. P. (2015) *Theory and Practice of Risk Assessment*, *Springer International Publishing*. Edited by C. P. Kitsos et al. Springer International Publishing.

