METODOLOGÍA DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES EN SITUACIONES DE RIESGO

TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

Dr. Fernando Vegas Fernández

GANADOR DE LA VI EDICIÓN

PREMIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION EN GERENCIA DE RIESGOS JULIO SÁEZ

agers
Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros

D. Fernando Vegas Fernández

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid, y PDD por la IESE Business School (Universidad de Navarra). Ha ocupado puestos directivos en las áreas de sistemas de información, riesgos, organización, normativa interna y control de gestión y costes en empresas del IBEX-35 de los sectores de ingeniería y construcción, habiendo sido CIO durante más de 25 años. Ha impartido clases de Máster en la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad Europea de Madrid y en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, abarcando los temas de gestión de riesgos, sistemas de información y gestión de costes. Como conferenciante ha intervenido en congresos organizados por el Project Management Institute (capítulo de Valencia) o el Institute for Competitive Intelligence y ha sido miembro de asociaciones profesionales como AGERS, ARIA, ASIS y CIONET. En 2014, ganó el premio Grupo OHL a la mejor idea innovadora por el proyecto «Inteligencia competitiva aplicada a la evaluación de riesgos». Se ha dedicado activamente a la investigación, con un enfoque práctico para solucionar los problemas que como profesional ha experimentado en las empresas, realizando su tesis doctoral en la Universidad Politécnica de Madrid con el trabajo de investigación «Factor de Visibilidad. Nuevo indicador para la evaluación cuantitativa de riesgos». Ha publicado artículos en revistas científicas indexadas de alto impacto, como El Profesional de la Información, Revista de la Construcción o Journal of Business Economics and Finance, y en revistas de asociaciones profesionales, como Observatorio Gerencia de Riesgos y Seguritecnia. Ha participado en la redacción de libros publicados por Agers como «Top 10 Cyber Risks» y «Guía de terminología de ciberseguridad».

METODOLOGÍA DE AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES EN SITUACIONES DE RIESGO

TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

Dr. Fernando Vegas Fernández

GANADOR DE LA VI EDICIÓN

PREMIO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION EN GERENCIA DE RIESGOS JULIO SÁEZ

ageRs Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros

Con el patrocinio de: El Corte Inglés seguros correduría te escuchamos

ISBN: 978-84-09-20195-2
Depósito Legal: M-11932-2020
Copyright: DEP637229687610472878
Nota Legal - Copyright

© 2020 AGERS, España. Todos los derechos reservados. Los contenidos de este trabajo (textos, imágenes, gráficos, elementos de diseño, etc.) están protegidos por derechos de autor y por las leyes de protección de la propiedad intelectual. La reproducción de divulgación de sus contenidos precisa la aprobación previa por escrito de AGERS y sólo puede efectuarse citando la fuente y la fecha correspondientes.

A mi esposa.

¿Qué sería de la vida, si no tuviéramos el valor de intentar algo nuevo?

Vincent van Gogh (1853-1890)

PRÓLOGO

2019 es el año en que se ha celebrado la VI edición Premio Julio Sáez, premio de reconocido prestigio Nacional e Internacional en investigación sobre Gerencia de Riesgos. Desde 2006, la Junta Directiva de la Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros (AGERS) viene otorgando con carácter bienal este premio de investigación en memoria del que fue su presidente entre los años 2003 y 2006, D. Julio Sáez del Castillo, Director de la División de Gerencia de Riesgos y seguros de El Corte Inglés, empresa que desde entonces patrocina el galardón.

Desde el primer momento esta iniciativa de AGERS tuvo como objetivo despertar el interés general y revitalizar la investigación científica en el área de gerencia de riesgos, con el doble propósito de crear un fondo documental serio y riguroso que se convirtiese en un referente en el mundo académico pero, sobre todo, con el propósito de generar contenido interesante y práctico para los profesionales del sector en un mundo tan cambiante y complejo como en el que nos encontramos.

Así ha sido una vez más en la VI edición del Premio Julio Sáez que contó con tres trabajos finalistas entre todos los presentados en plazo, y sobre los que los miembros del Jurado debatieron largamente para poder decidir el ganador de esta edición. El Jurado de la VI Edición del Premio Julio Sáez de Investigación en Gerencia de Riesgos, determinó por mayoría fallar a favor de la Monografía de Investigación titulada «Metodología de ayuda a la toma de decisiones en situaciones de riesgo. Transformación digital de la Gestión de Riesgos», de D. Fernando Vegas Fernández que se convierte en la ganadora de esta edición.

Se trata de una monografía novedosa y con un enfoque eminentemente práctico concebido desde y para las necesidades de los profesionales que se enfrentan a la gestión de los riesgos en sus empresas y desean hacer de ella un instrumento útil y que aporte valor. En esta línea, de forma muy rigurosa, la monografía expone cómo desarrollar un sistema informático para llevar a la práctica la digitalización de la función de riesgos sin necesidad de realizar grandes inversiones económicas. Con ello aúna dos de los grandes retos de nuestros días, la innovación y la transformación digital en el mundo de la empresa, mostrando cómo la gerencia de riesgos no solo no es ajena a dichos cambios, sino que puede y debe ser motor de los mismos.

Por mi parte ha sido un honor participar un año más como miembro del Jurado, compartiendo el mismo con ilustres personalidades del mundo de la gerencia de riesgo y el seguro como: D. Jose María Anastasio, Presidente del Jurado en representación del Centro de Seguros y Servicios Grupo de Seguros el Corte Inglés; Dña. María Nuche, Directora de Gestión de Riesgos en el Consorcio de Compensación de Seguros; Dña. Pilar González de Frutos, Presidenta de UNESPA; Dña. Mercedes Sanz Septién, Directora del área de Seguro y Previsión Social de Fundación MAPFRE;

D. Juan Carlos López Porcel, Presidente de AGERS y Gerente de Riesgos de ARCELORMITTAL España; D. Ignacio Martínez de Baroja, miembro de honor de AGERS y Gerente de Riesgos de HISPASAT; D. Gonzalo Iturmendi Morales, Secretario General, responsable de la comisión de investigación de AGERS y Secretario del Jurado; D. Pedro Tomey, miembro de Honor de AGERS y Director General de la Fundación AON; D. Jose Miguel Rodriguez Pardo, Universidad Carlos III de Madrid.

Por último agradecer a D. Fernando Vegas Fernández la confianza depositada en mí para escribir estas primeras líneas de su monografía, la cual me ha resultado fascinante y de gran aplicabilidad en un mundo en el que la trasformación digital inunda nuestros hogares, vidas y profesión, y de la que la gerencia de riesgos no puede ser ajena. Y a AGERS por su apoyo constante a lo largo de muchos años y su permanente búsqueda de lo mejor para nuestra profesión.

Mª Isabel Martínez Torre-Enciso
Vocal de la Junta Directiva de FERMA
Miembro del Consejo Asesor de AGERS

AGRADECIMIENTOS

No es posible llevar adelante un trabajo de investigación sin la ayuda de muchas personas. Unas me han ayudado técnicamente, dándome ideas, sugerencias o mostrándome otras formas de hacer las cosas; otras me han ayudado animándome ante las dificultades y apoyándome para seguir adelante. A todas ellas, mi agradecimiento.

A la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, por su valioso apoyo facilitándome documentación.

A Manuel Carmona, de Palisade Corporation, por su ayuda para aprender el uso de aplicaciones de simulación y por permitirme el uso de @Risk, aplicación informática que ha sido imprescindible para los estudios probabilísticos realizados.

A Alicia Soler, gerente de Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros (AGERS), por su ayuda para obtener documentación relevante, y por ponerme en contacto con académicos y expertos que me han servido de referencia y orientación para mi trabajo.

A AON Global Risk Consulting, por permitirme usar sus maravillosos mapas de riesgo global.

A Igne Pupelyte, de Gartner (antes Corporate Executive Board, CEB), por facilitarme el acceso a la valiosa información que ellos poseen sobre las mejores prácticas de las empresas.

A las empresas que han colaborado en esta investigación, explicándome desinteresadamente sus procedimientos de control y gestión de los riesgos, y facilitando casos de estudio.

A Katherine Reddington, por su ayuda para lograr un inglés perfecto en las publicaciones, y cuyo perfeccionismo ha extendido a los restantes ámbitos de la comunicación del trabajo de investigación realizado, contribuyendo a que el resultado final haya sido más preciso y fácilmente comprensible.

NOTA AL LECTOR

Este libro presenta un trabajo concebido desde y para las necesidades de los profesionales que se enfrentan a la gestión de los riesgos en sus empresas y desean hacer de ella un instrumento útil y que aporte valor. Es, por tanto, una obra con un enfoque eminentemente práctico.

La concepción de cuanto aquí se presenta se desarrolló a lo largo de tres años de trabajo en una empresa constructora multinacional, afrontando el reto de concebir y crear un departamento de riesgos moderno y eficaz. El resultado inmediato fue la definición de un sistema informatizado de gestión de riesgos que se implantó con éxito en esa empresa. El siguiente paso fue llevar a cabo una labor investigadora durante tres años en la Universidad Politécnica de Madrid, que sirvió para fundamentar y ampliar los planteamientos y conclusiones previos, aplicando un método de investigación riguroso conforme a los estándares académicos, que culminó con la defensa de la tesis doctoral «Factor de visibilidad. Nuevo indicador para la evaluación cuantitativa de riesgos» el día 19 de julio de 2019.

Este libro recoge el contenido de esa tesis y, aunque mantiene la rigurosidad académica, está enfocado para ser leído y comprendido por los profesionales. Al ser la gestión de riesgos una actividad transversal en las empresas es frecuente que participen en ella personas cuya especialidad es otra y que, por tanto, no están familiarizados con conceptos y términos estadísticos o formulaciones matemáticas. Por ese motivo, se ha realizado un esfuerzo de adaptación para hacer una redacción amena, clara y asequible, que permita al lector comprender lo esencial, dejando aparte los detalles. Para ello se ha trasladado a los anexos algunas fórmulas matemáticas y figuras cuando no resulten imprescindibles en un contexto concreto, mejorando de este modo la claridad y facilitando la línea narrativa.

Es posible desarrollar un sistema informático para llevar a la práctica la digitalización de la función de riesgos expuesta en este libro sin necesidad de realizar grandes inversiones económicas. Si bien se puede elaborar un sistema de información sofisticado, sólo asequible para las grandes empresas, es perfectamente posible desarrollar toda la funcionalidad con hojas de cálculo Excel programando las funciones necesarias mediante macros, de manera que para el usuario constituyan simplemente una colección más de funciones entre las muchas que ofrece Excel.

Este trabajo se finalizó en junio de 2019, lo cual debe ser tenido a efectos de los datos y referencias que contiene.

Dr. Fernando Vegas Fernández

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 19
   1.1. Riesgo e incertidumbre 20
   1.2. Punto de partida 21
   1.3. Objetivos, metodología y alcance 22
      1.3.1. Requisitos previos para los objetivos 23
         1.3.1.1. Simplicidad 23
         1.3.1.2. Obtenible a partir de las evaluaciones de impacto y probabilidad 23
         1.3.1.3. Linealidad 24
         1.3.1.4. Con percepción intuitiva 24
         1.3.1.5. Capacidad de resumen 24
         1.3.1.6. Representación gráfica 24
         1.3.1.7. Cobertura uniforme del mapa de calor 24
         1.3.1.8. Contingencia fiable 25
      1.3.2. Marco metodológico 25
      1.3.3. Alcance y limitaciones del estudio y los resultados 27
   1.4. Resumen del capítulo 28

2. ANTECEDENTES 31
   2.1. Contexto económico 31
   2.2. Contexto geográfico 33
   2.3. Riesgos emergentes 34
   2.4. Contexto legal 35
      2.4.1. Legislación española 35
      2.4.2. El deber de protección 36
      2.4.3. Seguridad tecnológica 37
      2.4.4. Conclusión del contexto legal 38
   2.5. Resumen del capítulo 39

3. SITUACIÓN ACTUAL Y DIFICULTADES 41
   3.1. Práctica habitual 41
      3.1.1. Visión general 42
      3.1.2. Nuevas técnicas de estimación del riesgo 46
      3.1.3. Cálculo de la contingencia 47
      3.1.4. Comunicación del riesgo 47
   3.2. Dificultades básicas 49
      3.2.1. Uso del indicador NPR 49
      3.2.2. Uso del método SPIP para indicar el nivel de riesgo global 51
      3.2.3. Uso del método SPIP para estimar la contingencia 52
      3.2.4. Imposibilidad de obtener el impacto y probabilidad equivalentes 53

3.3. Uso de escalas 53
3.3.1. Influencia del número de escalones 54
3.3.2. Escalas de asignación 56
3.3.2.1. Problemas detectados 56
3.3.2.2. Asignación numérica 58
3.3.3. Escalas de interpretación 59
3.4. Literatura consultada 60
3.4.1. Ponderación de la literatura consultada 62
3.4.1.1. Ponderación en función del tipo de publicación 62
3.4.1.2. Ponderación según la fecha de publicación 63
3.4.1.3. Ponderación por ceñirse a un país específico 64
3.4.1.4. Ponderación por ceñirse a una actividad específica 64
3.4.1.5. Ponderación final 64
3.5. Actitud ante el riesgo 65
3.5.1. Subjetividad 65
3.5.2. Aversión al riesgo 66
3.5.3. Apetito de riesgo 67
3.6. Teorema del Límite Central 68
3.7. Aspectos que condicionan el valor esperado 68
3.7.1. Número de riesgos identificados 69
3.7.2. Enfoque probabilístico 70
3.7.3. Correlación 70
3.7.4. Efecto Pareto 71
3.7.5. Nivel de confianza 73
3.8. Resumen del capítulo 74

4. INDICADOR NPR Y MÉTODO SPIP 77
4.1. Número de prioridad del riesgo (NPR) 77
4.1.1. Análisis tridimensional 77
4.1.2. Análisis bidimensional del NPR 81
4.1.2.1. No lineal 82
4.1.2.2. No intuitivo 83
4.1.2.3. Necesidad de uso de una tabla o gráfica 85
4.1.2.4. Mala cobertura del diagrama de Farmer 85
4.1.2.5. Mal comportamiento en la combinación de riesgos 86
A) Eventos alineados con la diagonal 86
B) Eventos alineados paralelamente a la diagonal 87
C) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal 87
D) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal y a ambos lados de ella 88
4.1.3. Indicador alternativo raíz de NPR 88
4.2. Método de resumen SPIP 90
4.2.1. Técnica de simulación de Monte Carlo 91
4.2.2. Método de análisis 93
4.2.3. Modelos aleatorios 97

4.2.3.1. Sin correlación ni efecto Pareto 98
4.2.3.2. Con correlación, sin efecto Pareto 99
4.2.3.3. Con correlación y efecto Pareto 99
4.3. Resumen del capítulo 100

5. MEJORA DE PRÁCTICAS ACTUALES 103
5.1. Revisión de la literatura académica 104
5.2. Sesión de tormenta de ideas 107
5.3. Entrevistas estructuradas 112
5.4. Integración de resultados 115
5.4.1. Descripción de las fases de actuación 115
5.4.2. Resultado de la integración 117
5.5. Discusión de resultados 120
5.6. Resumen del capítulo 123

6. NUEVO INDICADOR DE RIESGO GLOBAL 125
6.1. Factor de Visibilidad 125
6.1.1. Premisas iniciales 126
6.1.2. Estudio visual 127
6.1.3. Definición matemática de las curvas de nivel 129
6.1.4. Formulación del Factor de Visibilidad 129
6.1.5. Verificación del comportamiento del Factor de Visibilidad 130
6.1.5.1. Análisis tridimensional 131
6.1.5.2. Comportamiento lineal 132
6.1.5.3. Percepción intuitiva 132
6.1.5.4. No necesidad de uso de una tabla o gráfica 133
6.1.5.5. Cobertura del diagrama de Farmer 134
6.1.5.6. Aversión al riesgo 134
6.1.5.7. Comportamiento en la combinación de riesgos 135
A) Eventos alineados con la diagonal 135
B) Eventos alineados paralelamente a la diagonal 135
C) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal 135
D) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal y a ambos lados de ella 136
6.1.6. Situación con eventos de baja probabilidad 137
6.1.6.1. Alternativas estudiadas para eventos con baja probabilidad 137
6.1.6.2. Formulación del indicador con eventos de baja probabilidad 139
6.1.6.3. Análisis de las alternativas 139
6.1.7. Conclusión y límites 141
6.2. Método de resumen de riesgos 141
6.2.1. Descripción del método de resumen de riesgos 142
6.2.1.1. Paso 1: cálculo de los valores medios 143
6.2.1.2. Paso 2: obtención del punto de Ajuste I 143
6.2.1.3. Paso 3: obtención del punto Ajuste P 143

6.2.1.4. Paso 4: obtención de las medias de los puntos Ajuste I y Ajuste P 143
6.2.1.5. Paso 5 final: aplicación de una corrección a los valores anteriores 144
6.2.2. Formulación del método de resumen de riesgos 144
6.2.3. Conclusión del método de resumen de riesgos 145
6.3. Sistema de ponderación 146
6.3.1. Estudio exploratorio 146
6.3.1.1. Consideraciones conceptuales 146
6.3.1.2. Influencia de la ponderación 147
6.3.1.3. Pesos y ponderaciones 148
6.3.1.4. Influencia del Factor de Visibilidad 150
6.3.2. Análisis del método de ponderación 151
6.3.2.1. Primera aproximación: media ponderada 151
6.3.2.2. Segunda aproximación: autoponderada 151
6.3.2.3. Tercera aproximación: I + P + Fv 152
6.3.2.4. Cuarta aproximación: cuadrática con Factor de Visibilidad 153
6.3.2.5. Comparación de resultados 155
6.3.3. Comprobaciones con los escenarios A-E 156
6.3.3.1. Escenario C 156
6.3.3.2. Escenario D 157
6.3.3.3. Escenario E 157
6.3.4. Análisis de sensibilidad 158
6.3.4.1. Presencia de eventos de poco riesgo 159
6.3.4.2. Sensibilidad al aumento de riesgo de los eventos extremos 162
6.3.4.3. Tratamiento de los escenarios de mitigación 163
6.3.4.4. Nuevo evento de riesgo crítico o «línea roja» 164
6.3.5. Propuesta final 165
6.4. Resumen del capítulo 166

7. COSTE DEL RIESGO DE UN PROYECTO 169
7.1. Aproximación mediante regresión no lineal 169
7.1.1. Comprobación con proyectos reales 171
7.2. Fórmula multivariable 172
7.2.1. Conclusión de la fórmula multivariable 176
7.3. Resumen del capítulo 177

8. CASOS DE ESTUDIO 179
8.1. Resumen de riesgos 179
8.1.1. Caso 1: riesgo corporativo 179
8.1.2. Caso 2: riesgo de un país 181
8.1.3. Caso 3: proyecto tecnológico 183
8.1.4. Caso 4: proyecto de construcción 185
8.1.5. Caso 5: proyecto de construcción 188
8.1.6. Caso 6: riesgo tecnológico 189

8.2. Coste de riesgos 191
8.2.1. Caso 1: proyecto con 13 eventos de riesgo 191
8.2.2. Caso 2: proyecto con 21 eventos de riesgo 193
8.2.3. Caso 3: proyecto con 51 eventos de riesgo 194
8.2.4. Caso 4: proyecto con 51 eventos de riesgo 197
8.2.5. Caso 5: proyecto con 19 eventos de riesgo y 6 oportunidades 200
8.3. Resumen del capítulo 205

9. CONCLUSIONES 207
9.1. Resultados 211
9.1.1. Factor de Visibilidad 211
9.1.2. Método de resumen de riesgos 213
9.1.3. Estimación del coste del riesgo global 214
9.1.4. Resumen 216
9.2. Implantación en las empresas 219
9.3. Contribución de los resultados 226
9.4. Nuevas líneas de investigación 230

ANEXOS 231

ANEXO 1. FORMULACIÓN MATEMÁTICA 233
Fórmulas del apartado 3.5.2. Aversión al riesgo 233
Fórmulas del apartado 4.1.1. Análisis tridimensional 233
Fórmulas del apartado 6.1.3. Definición matemática de las curvas de nivel 233
Fórmulas del apartado 6.1.4. Formulación del Factor de Visibilidad 235
Fórmulas del apartado 6.1.5.6. Aversión al riesgo 236
Fórmulas del apartado 6.1.6.1. Alternativas estudiadas para eventos con baja probabilidad 237
Fórmulas del apartado 6.1.6.2. Formulación del indicador con eventos de baja probabilidad 239
Fórmulas del apartado 6.2.2. Formulación del método de resumen de riesgos 240

ANEXO 2. ANÁLISIS 243
Análisis en el apartado 4.2.2. Método de análisis 243

ANEXO 3. FIGURAS COMPLEMENTARIAS 245
Figuras del apartado 4.2.3.1. Sin correlación ni efecto Pareto 245
Figuras del apartado 4.2.3.2. Con correlación, sin efecto Pareto 246
Figuras del apartado 4.2.3.3. Con correlación y efecto Pareto 247

ANEXO 4. RESUMEN EJECUTIVO 251

ANEXO 5. TABLA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS 253

BIBLIOGRAFÍA 255

1. INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones basada en la información requiere que ésta sea clara, concisa y objetiva. Sin embargo, el informe de riesgos de un solo proyecto puede constar de varias decenas de páginas describiendo entre 50 y 300 riesgos. Estos informes describen los riesgos detectados, valoran su impacto y probabilidad —a menudo de forma cualitativa y no siempre de forma individual—, y proponen medidas de mitigación.

En ausencia de una valoración global cuantitativa es difícil saber cuál es riesgo total de un proyecto, y la necesidad de presentar ofertas competitivas condiciona la toma de decisiones. En esta situación sería deseable disponer de un indicador objetivo y sencillo para resumir el nivel de riesgo del proyecto, similar al mostrado en la Figura 1.1.

Figura 1.1. Muestra de indicador gráfico único

Su atractivo es indudable: transmite gráficamente y de forma inmediata una idea clara acerca de la severidad del nivel de riesgo, de modo que se pueda saber, sin necesidad de más detalles, si hay que prestarle o no una posterior atención.

Ejemplos como el de la información sobre el peligro de aludes (escala europea de 1993), el oleaje (escala de Douglas), el viento (escala de Beaufort) o seísmos (escala de Richter) ilustran la posibilidad y el deseo de simplificar la información acerca del riesgo, presentándola mediante un valor único lineal cuya percepción sea fácilmente comprensible: 1 a 5, 1 a 10, etc.

Sin embargo, los informes a los que se ha tenido acceso acerca del riesgo de los proyectos carecen generalmente de un resumen final simple y objetivo que valore el nivel

de riesgo global cualitativo o cuantitativo, y, de haberlo, suele reducirse a una apreciación subjetiva del riesgo global y a un intento de valorar económicamente el efecto del riesgo identificado como una partida presupuestaria a integrar en la estimación de coste total del proyecto.

1.1. Riesgo e incertidumbre

Una breve reflexión acerca de qué significa la palabra «riesgo» puede ayudar a comprender mejor cuál es el papel actual del control y gestión de riesgos en las empresas.

La Real Academia Española define el término riesgo como «Contingencia o proximidad de un daño» (Real Academia Española 2016); hay muchas otras definiciones, como «Efecto de la incertidumbre sobre la consecución de objetivos» (International Organization for Standardization (ISO) 2009a), o «Evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto» (Project Management Institute 2017a). La primera definición hace foco en la situación, la segunda en el efecto y la tercera en el evento, pero todas destacan los conceptos de incertidumbre y objetivos.

En un lenguaje más corriente puede aceptarse que riesgo es la probabilidad de que suceda algo adverso (Whittaker 2015), lo cual, en el contexto de las empresas y la dirección de proyectos, significa que los objetivos de la empresa o de sus proyectos están expuestos a circunstancias adversas que pueden comprometerlos o menoscabarlos.

El efecto positivo del riesgo figura sólo en algunas de las acepciones del término «riesgo», pero no en el diccionario de la Real Academia Española ni en numerosas publicaciones (Banaitiene 2012). El riesgo positivo es una oportunidad, que conlleva sus propios riesgos y que añade el riesgo derivado de no aprovecharla. En el presente trabajo se han considerado separadamente los riesgos y las oportunidades; el planteamiento de que un riesgo grave pueda anularse con una gran oportunidad no se contempla en este estudio como adecuado, y una posible suma algebraica, independientemente de la ponderación que se utilice, puede conducir a engaño, como se demostrará con casos reales, y ésta es la razón de considerarlos separadamente.

Es conveniente clarificar el uso que se hace en este documento del término «contingencia», que es diferente del recogido por la Real Academia Española, pero habitual en las empresas y en la literatura consultada. Se utiliza para referirse a las previsiones relativas al coste de los riesgos, descartando el concepto de desviación general de los objetivos del proyecto, y se define como «coste correspondiente a la previsible materialización de los riesgos considerados en el proyecto» (Bouayed 2016; Moselhi 1997; Project Management Institute 2017b). Esta definición introduce los aspectos de la incertidumbre y del nivel de confianza con el que se realiza la previsión, que serán tratados posteriormente.

Una visión amplia del concepto del riesgo obliga considerar para cada evento de riesgo su origen, sus efectos y las consecuencias (Fernández Sánchez, 2010; ISO, 2018). La incertidumbre, como concepto antónimo del conocimiento seguro y claro de algo, es consustancial al riesgo, tanto en lo que se refiere a la cuantía del daño que puede producir como en cuanto a la probabilidad de que ello suceda (Bowers 1994; Rezaie et al. 2007); y es debida fundamentalmente a dos factores: desconocimiento y aleatoriedad. El primero es abordable mediante la obtención de información; el segundo es tratable estadísticamente cuando se dispone de información histórica (Bello and Odusami 2013; Günhan and Arditi 2007), de modo que una amplia experiencia puede ayudar a predecir, con mayor o menor certeza, qué es lo que finalmente va a pasar.

La preocupación por la incertidumbre ha aumentado aceleradamente en los últimos años, pero el desarrollo de los métodos predictivos no ha evolucionado paralelamente, y los resultados obtenidos son todavía muy limitados (Williams & Gong, 2014).

1.2. Punto de partida

Ante la pregunta de cómo resumir el riesgo total de un proyecto como un único evento de riesgo resumen, con su propio impacto y su probabilidad, las primeras entrevistas realizadas en empresas constructoras mostraron que los responsables del control y gestión de riesgos de los proyectos no conocían cómo hacerlo. Esta búsqueda se amplió a un espectro de industrias más amplio y a empresas de otros países, y la respuesta fue la misma. El siguiente paso fue mantener entrevistas con consultoras especializadas en riesgos (PWC, KPMG, Deloitte, GHESA y CEB, ahora, Gartner), asociaciones españolas de riesgos como IGREA y AGERS (AGERS está en la red de la Federation of European Risk Management Associations, FERMA), y fabricantes de soluciones informatizadas para la gestión de riesgos (Palisade Corporation, BWise, Oracle y Risk Decisions) con sus aplicaciones @Risk, BWise, Primavera y Predict, respectivamente. Pero no se obtuvo una solución que diera respuesta a la cuestión planteada.

Alternativamente, se planteó la posibilidad de valorar sólo el nivel de riesgo del proyecto, porque las empresas necesitaban resumir el riesgo total de sus proyectos o escenarios con un único valor cualitativo o cuantitativo. Se constató que algunas empresas lo hacían por estimación subjetiva directa, con los inconvenientes de falta de objetividad que esta práctica puede acarrear; otras lo hacían cuando disponían de indicadores cuantitativos específicos ligados a aspectos concretos de su negocio; y otras lo calculaban como suma de los productos del impacto por la probabilidad para todos los riesgos (de aquí en adelante, SPIP) o su promedio, siempre que dispusiesen de dichos valores.

El estudio de la literatura frecuentemente consultada por las empresas no resuelve cómo obtener el impacto y la probabilidad resultante de un escenario con múltiples riesgos ni aporta otra valoración del riesgo global más que el método SPIP (Project Management Institute 2013; Steinberg et al. 2004a), y la normativa aplicable tampoco

proporciona una solución (ISO, 2009a, 2018; Ministerio de trabajo, Migraciones y Seguridad Social, 1993).

La evidencia inicial fue que no era técnicamente posible describir el riesgo global de un proyecto mediante un impacto y una probabilidad equivalentes partiendo de los valores del impacto y la probabilidad de los riesgos identificados, y que la expresión del nivel de riesgo de un proyecto como un valor único estaba limitada al método SPIP o, incluso, era inexistente. La conveniencia de desagregar el riesgo para poder evaluarlo, según el principio sucesivo, complica la situación porque, después, surge la dificultad de integrar las valoraciones y hacerlas visibles de una forma sencilla.

La aceptación generalizada de esta limitación, alineada con la praxis observada inicialmente en algunas empresas españolas, no resultaba coherente con la concepción deseable del control y gestión de los riesgos como un instrumento activo y dinámico para disminuir los riesgos, mejorar los resultados y aumentar la competitividad de la empresa. Un informe largo, complejo y, a veces, subjetivo, sin un resumen claro, conciso e imparcial, acaba resultando una mera documentación, alejada de los responsables que adoptan decisiones.

La situación descrita constituye el punto de partida de esta investigación, en la que se han diseñado soluciones de mejora aplicables no sólo a proyectos sino a empresas (riesgo del conjunto de los proyectos y riesgo corporativo), y no sólo al sector de construcción sino a casi cualquier otro sector.

1.3. Objetivos, metodología y alcance

El objetivo de esta investigación es mejorar la forma de gestionar los riesgos en las empresas y, particularmente, en sus proyectos, que suelen ser más exigentes en cuanto al plazo para realizar el estudio y a los medios disponibles para hacerlo. Hay muchos estudios y aportaciones anteriores orientadas a este mismo fin, pero, por alguna razón, no han logrado su aceptación por parte de las empresas, evaluadores de riesgos y directores de proyecto.

La gestión de riesgos debe aportar una información útil para la toma de decisiones, y se han tenido en cuenta las necesidades de las empresas y sus limitaciones para buscar una solución sencilla, intuitiva, que aproveche las evaluaciones previamente realizadas para no requerir un trabajo adicional por parte de los evaluadores, y que proporcione datos analíticos que posibiliten una toma de decisiones basada en datos cuantitativos.

Para todo ello es esencial disponer de un indicador que exprese visiblemente el nivel de riesgo de cualquier evento simple de riesgo y de un escenario de riesgo compuesto por cualquier número y tipo de eventos de riesgo, y conocer adicionalmente el impacto y la probabilidad resultante para el escenario. Esto supone definir un nuevo indicador del nivel de riesgo que facilite una visión integral y global, y crear un método

de resumen que posibilite calcular para dos o más eventos de riesgo su impacto y probabilidad equivalente, así como su nivel de riesgo conjunto.

El método de resumen debe soportar su tratamiento recursivo para poder resumir resúmenes previos a un nivel más alto de agrupación (por ejemplo, resumir el riesgo del conjunto de los proyectos en un país partiendo de los resúmenes de riesgo para cada proyecto).

El indicador y el sistema de resumen deben ser muy sencillos en cuanto a su uso y comprensión para lograr su integración en un sistema susceptible de aplicarse fácilmente y que aporte claridad para facilitar una buena toma de decisiones.

La estimación del coste del riesgo de un proyecto o escenario para dotar una contingencia plantea problemas que exigen una solución propia, y se propone como objetivo adicional dar una solución a la frecuente situación de desbordamiento de la contingencia

El contexto inicial de los trabajos fue el de proyectos de una empresa constructora, pero el alcance previsto se amplió para lograr que el resultado de la investigación fuera aplicable a cualquier tipo de proyecto en empresas de la mayor parte de las industrias y a los riesgos corporativos de las empresas.

1.3.1. Requisitos previos para los objetivos

Con objeto de concretar los objetivos anteriormente descritos se van a perfilar las propiedades inicialmente exigibles a la solución buscada, sin perjuicio de considerar requisitos adicionales que constituirán parte de los resultados de la investigación realizada.

1.3.1.1. Simplicidad

La solución encontrada debe ser simple, tanto en cuanto a la percepción de los resultados como a su utilización (Cretu et al. 2011; Mishra and Mishra 2016; Okan et al. 2018; Shen et al. 2018; Tsiga et al. 2017). Ello facilitará su aceptación por parte de los profesionales, particularmente en el sector de la construcción, evitando el clásico rechazo de los trabajos académicos (Bromiley et al. 2015; Serpella et al. 2014).

1.3.1.2. Obtenible a partir de las evaluaciones de impacto y probabilidad

Consecuencia del punto anterior, el nuevo indicador de riesgo no debe requerir un trabajo adicional ni evaluarse independientemente. Debe ser una consecuencia automática de las evaluaciones ya realizadas de impacto y probabilidad, incluso aunque éstas sean cualitativas.

1.3.1.3. Linealidad

La representación lineal es más fácilmente comprendida que la logarítmica u otros tipos de escala, como demuestran numerosos estudios (Ghazali et al. 2013; Siegler and Opfer 2003). El indicador de riesgo buscado debe ser lineal, de 0 a 100, y sus valores deben variar linealmente con las coordenadas del diagrama de Farmer: por ejemplo, 50 debe verse como la mitad de 100 y 75 debe representar un riesgo equidistante entre ambos.

1.3.1.4. Con percepción intuitiva

El nuevo indicador de riesgo debe resultar intuitivo. Esto significa que, a la vista de su valor, debe comprenderse perfectamente el nivel de riesgo que indica, sin necesidad del uso de mapas o leyendas que definan su severidad. Por ejemplo, un valor de 20 sobre 100 debe significar genéricamente un riesgo bajo, un valor de 50 un riesgo medio y un valor de 80 un riesgo alto, sin perjuicio de un posterior ajuste según el apetito de riesgo. La intuición utilizada para la toma de decisiones no informadas no es deseable (Ernevad 2014; Laryea and Hughes 2007), pero un sistema sólido que haga posible una toma de decisiones informada tiene que proporcionar un indicador que resulte intuitivo (Beasley et al. 2010).

1.3.1.5. Capacidad de resumen

El nuevo sistema buscado debe posibilitar resumir escenarios de riesgo indicando el nivel de riesgo global (Ivanets 2017; Schneider et al. 2008; Tóth and Sebestyén 2014) y su impacto y probabilidad equivalentes. Por este motivo, el nuevo indicador debe ser adecuado para posibilitar y facilitar este resumen.

1.3.1.6. Representación gráfica

La utilización de una representación gráfica debe ser un recurso para mejorar la percepción (Arikan 2005; Bañuls et al. 2006; Card et al. 2014; Jayasudha and Vidivelli 2016). Sin embargo, no debe ser un requisito imprescindible para poder comprender el significado del valor de un indicador de riesgo.

1.3.1.7. Cobertura uniforme del mapa de calor

El nuevo indicador propuesto debe lograr una cobertura uniforme del diagrama de Farmer, con curvas de nivel del indicador que estén equiespaciadas (Al- Bahar and Crandall 1990; Karakhan and Gambatese 2017). Esta cualidad está en consonancia con los requisitos de linealidad e intuición, y hace posible que la sensibilidad del indicador sea la misma en todas las zonas del mapa y con cualquier nivel de riesgo.

1.3.1.8. Contingencia fiable

La propuesta de determinación de la contingencia (para un proyecto o en una situación de riesgo corporativo) debe asegurar con un nivel de confianza razonable que no se verá desbordada en el horizonte temporal contemplado (Bakhshi and Touran 2014; Bhargava et al. 2010). Pero su cálculo debe apoyarse en la medida de lo posible en las prácticas actuales, sin imponer métodos sofisticados difíciles de comprender o llevar a cabo y que puedan quedar fuera del alcance de las empresas.

1.3.2. Marco metodológico

Los métodos de trabajo aplicados para esta investigación han estado permanentemente orientados a garantizar la definición y el éxito de los resultados alcanzados en cuanto a la trazabilidad del método científico y a su fiabilidad, aplicabilidad y aceptación por parte de las empresas. Para ello se ha buscado la validez y representatividad de las hipótesis de partida, y se aplicado el máximo rigor matemático para comprobar los resultados.

En coherencia con los planteamientos de Aven (2018) y Taroun (2014), la investigación realizada aúna la experiencia profesional en proyectos internacionales (generación de conocimiento A) y el estudio y revisión de métodos, teorías, principios y marcos de aplicación utilizando modelos (generación de conocimiento B). De este modo se ha abordado tanto el análisis de los métodos actuales como la definición de requisitos de mejora.

Las primeras indagaciones se realizaron en un contexto empresarial. La experiencia personal del autor, con más de 35 años en el sector de ingeniería y construcción, es un punto de partida que, aunque limitado, aporta un gran conocimiento del contexto en cuanto a la operativa, necesidades e idiosincrasia de los profesionales de este sector. Las reuniones periódicas con grandes empresas de éste y otros sectores, del IBEX-35 y de otros países, han aportado unos valiosos conocimientos sobre la práctica real de la evaluación de riesgos en las empresas.

La revisión de la literatura disponible muestra estudios que también explican cómo gestionan los riesgos las empresas, cuáles son las nuevas propuestas y líneas de investigación para la gestión de riesgos, y las carencias y limitaciones que siguen estando vigentes.

Se ha realizado un profundo análisis de los indicadores más populares usados para expresar el nivel de riesgo de un evento y de los métodos para resumir el riesgo de un proyecto, distinguiendo si se trata de conocer el nivel general de riesgo o el coste del riesgo. Se han analizado las dificultades derivadas de las prácticas habituales más extendidas —para comprender las razones que las causan y buscar su posible subsanación— y, a la vista de los resultados, se ha acometido el diseño de una solución que dé respuesta a los requisitos planteados.

Para la obtención de datos que posibiliten una efectiva definición de los requisitos que debe satisfacer la solución buscada se han utilizado varios métodos diferentes independientes, integrándose posteriormente sus resultados, práctica muy extendida entre los investigadores (Amusan et al. 2013; Fernández Sánchez 2010; Hruškovič 2011; Jarkas and Haupt 2015; Lam and Siwingwa 2017; Leceta Ostolaza 2014; Pérez Soriano 2014; Wang et al. 2004). Los métodos elegidos en este caso han sido revisión de la literatura académica disponible, tormenta de ideas y entrevistas estructuradas, lo que ha facilitado aunar la visión teórica y la práctica; sus resultados se han contrastado con la experiencia acumulada por el autor en empresas de ingeniería y construcción a lo largo de muchos años y con la opinión de profesionales expertos de éste y otros sectores.

A través de la revisión de la literatura se han confirmado algunos parámetros que definen el contexto del estudio, como son el número de riesgos considerados en un escenario o la elección del percentil adecuado. Se han considerado estos datos en la generación de modelos aleatorios de simulación y en la simulación de Monte Carlo, y se verá que condicionan los resultados numéricos obtenidos con esos métodos.

La simulación de Monte Carlo y la elaboración de modelos de simulación aleatorios han ayudado a profundizar en las dificultades que plantea el resumen de riesgos, principalmente en cuanto a costes, y estudiar soluciones adecuadas, como se detalla en el apartado 4.2. Estos métodos se han utilizado con un claro enfoque probabilístico, en combinación con la aplicación de técnicas de regresión múltiple y el análisis estadístico, para elaborar modelos predictivos con fórmulas aplicables al cálculo de contingencias de proyectos.

Los resultados obtenidos se han validado de dos formas independientes: primero, se ha verificado que satisfacen los requisitos funcionales anteriormente definidos; segundo, se han comprobado los valores numéricos que proporciona la solución con proyectos reales y con modelos de simulación. La comparación de los valores numéricos con proyectos reales muestra que los resultados coinciden cuando la empresa hace un buen estudio de riesgos y evidencia los fallos de su estudio cuando no coinciden.

Se ha realizado una prueba de conjunto de la solución finalmente alcanzada implantándola en una empresa española del IBEX-35. El resultado ha sido satisfactorio y ha recibido una buena acogida entre los evaluadores de riesgos y entre los directivos que toman decisiones.

Se puede resumir la metodología aplicada distinguiendo tres bloques. En primer lugar, los métodos aplicados para analizar las técnicas actuales y para definir los requisitos para una solución; a continuación, los métodos empleados para analizar la aplicabilidad de la regla de utilidad esperada de Neumann y Morgenstern y del teorema del Límite Central, aspectos básicos para la validez del método SPIP y para plantear un enfoque probabilístico alternativo; finalmente, mediante el enfoque matemático y la

simulación se ha dado solución, no sólo a la formulación del nuevo indicador y del método de resumen de riesgos de escenarios, sino a la obtención de una formulación para la obtención de un coeficiente de seguridad basado en una regresión múltiple apoyada en variables estadísticas, que, aplicado al valor SPIP en el cálculo de la contingencia, constituye un sistema predictivo.

En la Figura 1.2 se presenta esquematizado el resumen metodológico descrito.

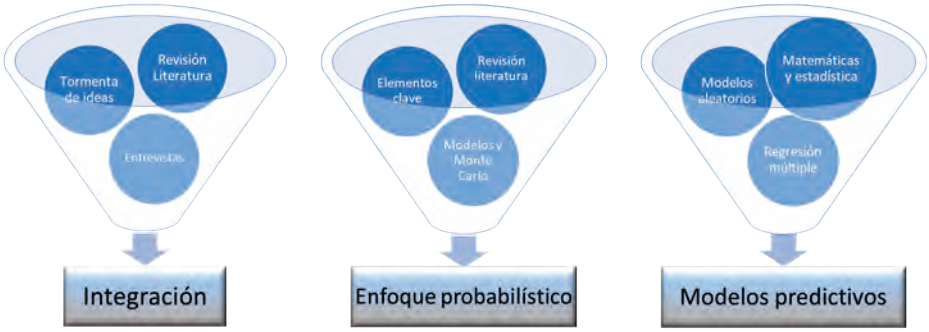

Figura 1.2. Resumen de métodos aplicados

1.3.3. Alcance y limitaciones del estudio y los resultados

Esta investigación ha nacido en el marco de proyectos de construcción, pero el estudio y los resultados no se han ceñido a este contexto por varios motivos. Primero, la complejidad de los proyectos de construcción es muy exigente en cuanto al uso de sistemas y aplicaciones de gestión de riesgos (Akinsola 1997; Williams 2017). Segundo, el estudio realizado para definir el número de eventos de riesgo de los proyectos cubre casi cualquier escenario, y las conclusiones sobre la aplicabilidad del teorema del Límite Central resultan válidas siempre que no se gestionen simultáneamente miles de riesgos. Tercero, la naturaleza de las limitaciones e inconvenientes detectados no es particular de la industria de la construcción, sino que, por el contrario, tiene una raíz común a la práctica de gestión de riesgos en casi cualquier sector. Cuarto, las soluciones que se proponen son de tipo genérico y, por tanto, aptas para cualquier escenario, sin perjuicio de utilizar indicadores o métodos adicionales específicos de una industria, actividad o proceso. La solución propuesta para el cálculo de contingencias (estimación del coste del riesgo del proyecto), aunque comprobada con proyectos de construcción, es aplicable a casi cualquier otro escenario debido a que tiene en cuenta la distribución probabilística de los riesgos considerados.

El enfoque del método de resumen de riesgos es el de mostrar sensibilidad ante una situación de riesgo alto y, por ello, se aparta de los valores medios al uso que, precisamente, diluyen la presencia de eventos aislados de alto riesgo. En el caso de empresas

aseguradoras, con miles de riesgos con muy baja probabilidad, independientes, con una cierta homogeneidad, y que cumplen los requisitos del teorema del Límite Central, la situación es diferente, lo cual distancia mucho el escenario del contemplado en esta investigación.

En los cálculos realizados para obtener el coste conjunto de los riesgos se ha adoptado como nivel de confianza el 85% que, si bien es adecuado para la mayor parte de los casos en cualquier tipo de industria, queda por debajo del usado en sectores como el biomédico o el financiero (que usan entre el 95 y el 99%). Este parámetro es particularmente sensible en la interpretación de la simulación de Monte Carlo, y esta decisión condiciona la obtención del coeficiente de seguridad a aplicar en el cálculo de la contingencia para los proyectos.

El caso particular de que todos los eventos de riesgo del escenario tengan una probabilidad muy baja constituye un escenario que, aunque podría ser típico en empresas aseguradoras, se aparta de las situaciones más habituales consideradas en este estudio. No obstante, se tiene en cuenta y se proporcionan soluciones alternativas, aunque deberían ser adaptadas al caso concreto de que se trate, realizando una investigación adicional para parametrizar adecuadamente las soluciones propuestas.

Queda fuera del alcance de este trabajo la estimación del impacto de los eventos de riesgo (sea o no un coste) y de la probabilidad de que acontezcan, con toda la incertidumbre que ello conlleva. Se parte de la confiabilidad en las definiciones realizadas por los evaluadores, y se acepta dicha estimación sin cuestionarla. Una discretización pormenorizada de los riesgos según el principio sucesivo (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004), resta importancia a la precisión de cada evaluación individual y garantiza un resultado conjunto más preciso y fiable.

1.4. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha planteado la complejidad creciente de los estudios de riesgos, cómo ello dificulta la correcta comprensión de la situación global del nivel de riesgo que es imprescindible para una adecuada toma de decisiones, y que sería deseable disponer de un indicador de riesgos sencillo que mostrara el nivel de riesgo y poder resumir el riesgo global de un proyecto o de un escenario complejo.

Se han expuesto las necesidades básicas para la evaluación y comprensión de los escenarios de riesgo, que definen los objetivos de esta investigación: disponer de un indicador del nivel de riesgo comprensible y adecuado, poder resumir el riesgo global de cualquier escenario expresándolo como un riesgo equivalente mediante su impacto y probabilidad, y aumentar la fiabilidad del cálculo del coste total del riesgo de un proyecto o escenario para evitar el desbordamiento de la contingencia, que debe tener un tratamiento diferente.

Una vez descritos los objetivos, se ha presentado la metodología empleada para alcanzarlos, que contempla la representatividad, aplicabilidad y aceptación de los resultados.

Se han explicado las particularidades de los sectores asegurador (gestionan miles de riesgos, presumiblemente con una probabilidad muy baja), biomédico y financiero o similar (utilizan un percentil para el nivel de confianza superior al 95%), que se apartan de la generalidad del resto de los sectores. La aplicación en ellos de algunos de los resultados de esta investigación requiere su revisión y posible adaptación.

2. ANTECEDENTES

Tradicionalmente las empresas constructoras han operado en sus países de origen y no han fomentado las experiencias internacionales, que habían dado con frecuencia malos resultados en el pasado. De esta forma, el entorno era conocido: país, clientes, proveedores, materiales, terreno, etc. En estas condiciones es evidente que la incertidumbre es relativamente baja, y esta circunstancia no ha favorecido el desarrollo de la función de control y gestión de riesgos. Esta situación era aplicable a otros muchos sectores de la industria, con la clara excepción de algunos como el de seguros y financiero en los cuales la gestión del riesgo tradicionalmente ha formado parte de su núcleo de negocio.

Sin embargo, la situación de trabajar principalmente en entornos domésticos o conocidos ha cambiado drásticamente, y las empresas se enfrentan a nuevos riesgos sin tener la formación, la cultura, ni los medios adecuados para ello (Leung et al. 2017; Di Marco et al. 2010; Zou et al. 2010). Se analizan a continuación las circunstancias que han determinado este excepcional cambio de contexto, habiéndose considerado un amplio espectro de sectores de la industria: ingeniería y construcción, concesiones, financiación de seguros, fabricación de productos para la salud, petróleo y gas, tecnología informática y comunicaciones.

2.1. Contexto económico

El control y gestión de riesgos ha aumentado en las empresas desde la crisis financiera y económica de 2008 (Arjona 2015; FERMA/ECIIA 2014; Lin et al. 2017), y es un aspecto fundamental para controlar el grado de exposición de las empresas y para la toma de decisiones al acometer nuevos proyectos (Everson et al. 2017; Huidobro et al. 2009; Kaplinski 2013; Schieg 2006; Zhao 2007).

El 15 de septiembre de 2008 el gigante financiero Lehman Brothers presentó su declaración formal de quiebra acelerando el comienzo de una crisis económica que ya se estaba gestando (AIRMIC/ALARM/IRM 2010). La crisis financiera de Islandia entre 2008 y 2009 fue la confirmación de un cambio de paradigma que puso en entredicho a notables entidades de calificación de riesgos como Standard & Poor's, cuestionando su eficiencia y capacidad por no haber previsto estos acontecimientos. En España, su crisis económica que había comenzado en el año 2007 se vio muy agravada por esta crisis mundial.

La recesión económica mundial, afectando a los países más desarrollados, sirvió en cambio para favorecer a los «países emergentes» BRIC (Brasil, Rusia, India, China), grupo conceptual surgido en el año 2001 al que más tarde se sumó Sudáfrica (en 2011). Estos países crecieron económicamente a ritmos muy superiores a los de Europa y las principales economías occidentales. La siguiente figura muestra la evolución del PIB en esos años a partir de datos obtenidos del Banco Mundial y con elaboración propia (Figura 2.1).

Figura 2.1. Evolución comparada del PIB mundial, europeo y español

El crecimiento del PIB mundial en 2018 fue del 3,6%, correspondiendo un crecimiento del 2,2% a las economías avanzadas y 4,5% a las emergentes y en desarrollo, destacando China e India con crecimientos de hasta un 6,6% y un 7,1% respectivamente (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad 2019). Este desequilibrio ha sido aún mayor en los años anteriores.

Este impactante cambio en el equilibrio económico mundial ha impulsado a las empresas de los países industrializados a buscar nuevos mercados, empezando a operar en otros países donde la demanda no había disminuido e, incluso, crecía.

En conjunto, la cifra de exportaciones de España en 2018 fue de 285.024 millones de euros, lo que supuso, aproximadamente, el 24% de su PIB.

En el sector de la construcción las 225 principales empresas del mundo duplicaron su volumen internacional en 6 años (2005 a 2010), y esta actividad exterior siguió aumentando hasta 2013 multiplicando casi por 3 las cifras de 2005, según datos de la Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de Infraestructuras (SEOPAN 2017). El reparto geográfico de esta actividad exterior en 2016 según esa misma fuente fue: Asia y Australia (26%), Europa (21%), Oriente Medio (18%), África (13%), Estados Unidos (11%), América Central y del Sur (7%) y Canadá (4%).

Sin embargo, estas nuevas oportunidades conllevan nuevos riesgos debido al desconocimiento de los nuevos mercados, en lugares muy alejados del país de origen, y a las dificultades añadidas que supone trabajar en ellos.

2.2. Contexto geográfico

El mapa mundial de riesgos ha empeorado significativamente en los últimos 10 años, como indican numerosas entidades como AON, CESCE, International SOS, The Economist o World Economic Forum, que proporcionan datos globales.

Los riesgos generales ligados a cada país son de una índole muy variada: seguridad, macroeconómico, financiero, estabilidad política, corrupción, trabas burocráticas, legal y regulatorio, infraestructuras, mercado de trabajo, sanitario, climatológico o terrorismo.

Se han intensificado los fenómenos desequilibrantes con influencia internacional, como la inestabilidad política y social, la corrupción o el cambio climático y, además, hay factores significativos, nuevos o que se han reforzado, que fomentan la inestabilidad.

El resultado es que el mundo actual es mucho menos seguro que hace 10 años, lo cual es una circunstancia muy desfavorable cuando la situación económica impulsa a las empresas a trabajar fuera de sus mercados domésticos acudiendo a otros países en los que no tienen experiencia y de los cuales tienen poco conocimiento. Adicionalmente, los países emergentes, los países menos desarrollados y hasta algunos países desarrollados están en procesos de cambio que deterioran sus condiciones de seguridad.

La comparación de la situación mundial global en los años 2008 y 2018 hace posible comprobar inmediatamente este incremento global del nivel de riesgo. Se muestran para ello las gráficas de riesgo global de AON (AON 2019) en las que los datos de 2018 corresponden al último cuatrimestre (Figura 2.2). Las imágenes se reproducen con permiso de AON y se exime su responsabilidad relativa a la precisión de estos datos.

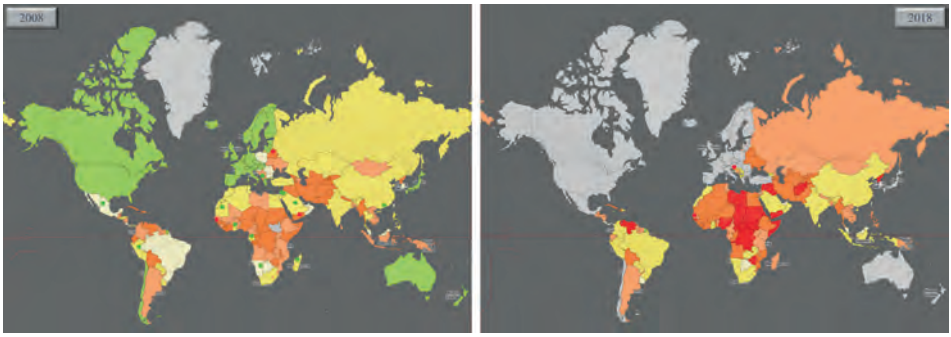

Figura 2.2. Evolución 2008-2018 riesgo global *(con permiso de AON)*

La figura muestra un incremento general notable del riesgo mundial, singularmente en África, Asia y Sudamérica, continentes a los que se ha volcado preferentemente la exportación de las empresas constructoras (ver el apartado 2.1 «Contexto económico»). Los mayores crecimientos del riesgo se han producido en países del centro y

norte de África, en Venezuela, Cuba, Siria, Irak, Afganistán, Turkmenistán, Myanmar, Camboya y Corea del Norte. También hay que considerar el aumento del riesgo en Rusia y en China.

2.3. Riesgos emergentes

El inicio del siglo XXI ha traído consigo nuevos riesgos, antes no considerados o inexistentes (World Economic Forum 2015, 2016, 2017, 2018). Cabe destacar la aparición del Estado Islámico (DAESH), cuyos orígenes se remontan a 2002; nuevas formas de terrorismo, que se ha internacionalizado atacando de forma incontrolada en cualquier escenario; la desestructuración de la Unión Europea, con la salida del Reino Unido; el auge del fundamentalismo religioso y de los nacionalismos excluyentes; las grandes migraciones desde territorios en guerra, creando en los países receptores dificultades económicas, de seguridad y de integración social; la ralentización de las economías emergentes, con un retroceso en Brasil y una fuerte desaceleración en China; la inestabilidad del precio del petróleo; los intereses en mínimos históricos mantenidos durante un periodo de tiempo muy largo; el aumento de la tensión política entre Estados Unidos y Corea del Norte; la escasez o contaminación de recursos básicos alimentarios o del agua, así como de las materias primas. A los ataques terroristas físicos se suman ahora los ataques cibernéticos (World Economic Forum 2018).

La alta dependencia de los sistemas informáticos aumenta la vulnerabilidad ante un fallo de las infraestructuras críticas o ante ataques tecnológicos destinados a robar, manipular o destruir información. Esta dependencia de la tecnología afecta a empresas, proyectos y personas, y ha aumentado extraordinariamente el riesgo de colapso, robo o extorsión que, si anteriormente se realizaba con un propósito limitado (robo de tecnología, creación de daño o deseo de notoriedad), ahora se realiza con fines monetarios o desestabilizadores, y con una tecnología que está al alcance de cualquiera.

La intensa movilidad en el desarrollo de proyectos internacionales y la migración han facilitado que enfermedades antes erradicadas vuelvan a surgir, aumentando el riesgo de epidemias difícilmente controlables: el sida, identificado originariamente en 1920, extendiéndose masivamente a partir de 1964; la gripe A comenzó a extenderse en 2009 y fue un motivo de preocupación mundial durante varios años; el ébola, inicialmente confinado en pocos países (Zaire 1976), apareció en Costa de Marfil en el año 2009 y reapareció como epidemia en Sierra Leona en 2014 extendiéndose a todos los continentes (Konduru et al. 2018; Turchin and Denkenberger 2018; World Economic Forum 2016). Enfermedades transmitidas por los mosquitos, como son el dengue, la malaria o el zika, se han convertido en una grave preocupación al desplazar trabajadores para llevar a cabo proyectos en países donde sean endémicas.

Estas dificultades y muchas otras semejantes han dado lugar al desarrollo y endurecimiento de una legislación destinada a proteger los intereses de las personas, las empresas y los estados.

2.4. Contexto legal

La falta de confianza en la seguridad de empresas y entidades, y la toma de conciencia de las graves repercusiones económicas y sociales que ocasiona la quiebra de entidades financieras, bancarias y de grandes corporaciones, provocó a partir de 2008 el desarrollo de numerosas leyes orientadas a asegurar la estabilidad y proteger los intereses comunes. También se revisaron leyes anteriores, modificándolas o estableciendo nuevas pautas de aplicación que crearon jurisprudencia.

Estas nuevas leyes y reglamentos, desarrollados en los entornos internacional, europeo y español, han supuesto un incremento de la seguridad de empresas e instituciones, destinado a restablecer y a garantizar la confianza económica y social (Arjona 2015; FERMA/ECIIA 2014; The Institute of Internal Auditors 2013). Pero también han supuesto para estas empresas e instituciones un claro endurecimiento de las exigencias de control y gestión de los riesgos (Rothstein et al. 2006).

2.4.1. Legislación española

Se resumen a continuación los cambios más significativos en la legislación española hasta mayo de 2019.

La Ley Orgánica 5/2010 de modificación del Código Penal introdujo por primera vez una responsabilidad objetiva de las personas jurídicas por la realización de determinadas actuaciones ilícitas de sus administradores y, lo que resulta más destacable, por las realizadas por las personas a su cargo si no hubiesen empleado la diligencia debida en establecer mecanismos de supervisión y control dentro de la organización (artículo 31 bis Responsabilidad penal de personas jurídicas).

La Ley Orgánica 1/2015, en vigor el 1 de julio, desarrolla los presupuestos de responsabilidad, exigiendo a empresas y directivos incorporar estas nuevas obligaciones de cumplimiento normativo.

El Código de buen gobierno de la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV), de 2015, recomienda que «exista una función interna de control y gestión de riesgos ejercida por una unidad o departamento interno de la sociedad». Esta recomendación, la número 46, exige que esta función esté «bajo la supervisión directa de la comisión de auditoría o, en su caso, de una comisión especializada del consejo de administración».

La reforma de 2014 de la Ley de Sociedades de Capital (LSC) endurece notablemente el régimen de responsabilidad de los administradores sociales y per-

sonas asimiladas a ellos, incrementando el riesgo que asume el administrador o directivo de una sociedad en el ejercicio de dicho cargo. Un nuevo artículo, el 529 «Facultades indelegables del Consejo de Administración», incluye, entre otras facultades indelegables, la «determinación de la política de control y gestión de riesgos».

El espíritu de estos cambios es que los administradores de las empresas deben responder personalmente, incluso con penas de cárcel, de los daños consecuencia de la actuación o evolución de sus empresas si no demuestran haber actuado «con diligencia» para prevenir y evitar esos daños, habiendo establecido «mecanismos de supervisión y control dentro de la organización».

2.4.2. El deber de protección

En el escenario del desplazamiento y como principio fundamental del Derecho español, con independencia de la regulación en materia preventiva del país de destino, el desplazamiento no puede suponer para el trabajador un menoscabo de los estándares de seguridad y salud que tenía asegurados en España. Este espíritu es el que recoge cuanto se refiere al denominado «Deber de protección» *(«Duty of Care»)* que ha cobrado auge en la última década, pese a ser un concepto antiguo (Raftery 1994).

En este sentido, el artículo 1.4 del Estatuto de los Trabajadores, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo («ET»), dispone que la legislación laboral española se aplicará a los trabajadores españoles contratados en España al servicio de empresas españolas en el extranjero, sin perjuicio de las normas de orden público aplicables al lugar de trabajo. Por ello, sin perjuicio de la normativa de prevención de riesgos laborales de cada Estado, los niveles de protección de la normativa española seguirán siendo una referencia de obligaciones mínimas hacia los trabajadores desplazados.

La jurisprudencia está haciendo extensiva esta protección a todo el entorno de la vida del trabajador desplazado, aplicando la consideración de que está desplazado por decisión de la empresa, de modo que se exige que disponga de las mismas condiciones de seguridad de que disponía en su país de origen (España), incluso cuando está fuera del trabajo, en su tiempo libre y durante los fines de semana. Cuando ello no resulte posible, la empresa está obligada a informar al trabajador y a formarle y proporcionarle los recursos de asistencia necesarios para mitigar las condiciones de inseguridad del país de destino.

Además de la normativa española (o la del país de origen) se deben tener en cuenta las normativas aplicables de los Estados de destino, distinguiendo por su singularidad el entorno europeo del de otras jurisdicciones. Las Directivas europeas más destacables aplicables en la Comunidad Europea son:

Directiva	Contenido
96/71/CE, de 16 de diciembre de 1996	Sobre el desplazamiento de trabajadores efectuado en el marco de una prestación de servicios.
89/391/CEE, de 12 de junio de 1989	Aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo, con las modificaciones operadas por el Reglamento (CE) núm. 1882/2003, la Directiva 2007/30/CE (28/06/2007) y el Reglamento (CE) núm. 1137/2008 (22/10/2008).
2014/67/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de mayo de 2014	Desplazamiento de trabajadores efectuado en el marco de una prestación de servicios, por la que se modifica el Reglamento (UE) nº 1024/2012 relativo a la cooperación administrativa a través del Sistema de Información del Mercado Interior («Reglamento IMI»). Regula la obligación de comunicar el desplazamiento de los trabajadores.

Tabla 2.1. Directivas europeas relativas al deber de protección

Entre los Convenios aplicables fuera de la Unión Europea cabe citar los siguientes emitidos por la Organización Internacional del Trabajo (OIT):

Convenio	Contenido
155, de 22 de junio de 1981	Seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo.
161, de 25 de junio de 1985	Servicios de salud en el trabajo.
187, de 15 de junio de 2006	Marco promocional para la seguridad y salud en el trabajo.

Tabla 2.2. Convenios internacionales relativos al deber de protección

El conocimiento colectivo de este mayor nivel de exigencia está determinando que aumente el número de denuncias por parte de los trabajadores afectados.

2.4.3. Seguridad tecnológica

En el contexto tecnológico y de la información la normativa exige la implantación de medidas de seguridad organizativas, lógicas y físicas, lo cual supone un coste para las empresas. En el caso de un siniestro, además del daño directo ocasionado por el ataque o fallo, se sufriría el daño indirecto derivado del impacto mediático en sus clientes, y de las sanciones que los organismos reguladores podrían imponer si no se demostrara una debida diligencia en la prevención y mitigación de este tipo de riesgos.

Las regulaciones están en plena evolución, pero las más relevantes en mayo de 2019 son:

Documento	Contenido
Directiva 2013/40/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013	Ataques contra los sistemas de información y por la que se sustituye la Decisión marco 2005/222/JAI del Consejo.
Recomendación del Consejo de la Unión Europea, de 12 de febrero de 2013	Estrategia de ciberseguridad de la Unión Europea: Un ciberespacio abierto, protegido y seguro. Destinada a proteger los derechos de los ciudadanos en el ciberespacio.
Directiva 2016/1148/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio	Medidas destinadas a garantizar un elevado nivel común de seguridad de las redes y sistemas de información en la Unión. Indica que debe fomentarse una cultura de gestión de riesgos que implique una evaluación del riesgo y la aplicación de medidas de seguridad adecuadas (directiva NIS).
Regulación 2016/679/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016	General Data Protection Regulation (GDPR), que regula la protección de los datos personales y las obligaciones de las empresas para garantizar su protección y seguridad.

Tabla 2.3. Regulaciones en el contexto tecnológico y de la información

2.4.4. Conclusión del contexto legal

No es objeto de este estudio realizar una recopilación exhaustiva de la legislación aplicable sino resaltar los aspectos esenciales que comportan un notable aumento del riesgo: la mayor complejidad que conlleva cumplir la legislación; la mayor responsabilidad de los administradores frente a los incidentes; el incremento de las penas impuestas; y la mayor exposición al riesgo de las empresas ejecutando proyectos, particularmente en un entorno internacional.

Las empresas tienen que hacer frente a estas nuevas exigencias. Pero, sobre todo, tienen que aprender a controlar y gestionar sus riesgos de forma que aseguren el éxito de sus proyectos y la continuidad de la propia empresa. Parte de la operativa de este control y gestión de riesgos es, sin duda, la transferencia del riesgo. El aseguramiento ha sido y será una parte irrenunciable de la operativa de la empresa para realizar sus actividades. Sin embargo, el espíritu de las nuevas normas y leyes exigen una labor activa de control y gestión del riesgo, y la responsabilidad no siempre es transferible. La forma de enfrentarse con los riesgos es un aspecto diferenciador que influye en la capacidad competitiva y en los resultados de las empresas (Arjona 2015), y no todas las empresas están preparadas para ello (Addo 2015; Banaitiene 2012; Bello and Odusami 2008; Ergin 2005; Mahmood et al. 2002; Mills 2001; Otali and Odesola 2014; Zou et al. 2010).

2.5. Resumen del capítulo

En este capítulo se han explicado los cambios socioeconómicos que han dado lugar, por un lado, a un gran aumento de los riesgos globales y, por otro, a un cambio en las políticas de actuación geográfica de las empresas, principalmente de las constructoras españolas.

El cambio de contexto determina que las empresas se vean expuestas a un mayor nivel de riesgo en la ejecución de sus operaciones y estén sujetas a una mayor exigencia en cuanto al control y gestión de sus riesgos, tanto por razones de índole práctico en sus operaciones, como debido a una mayor presión legislativa.

Todas estas circunstancias han determinado el gran desarrollo de la evaluación y gestión de riesgos, que debe abarcar los riesgos corporativos, operativos y de protección de los trabajadores, y debe estar permanentemente actualizada para tener en cuenta los riesgos emergentes.

3. SITUACIÓN ACTUAL Y DIFICULTADES

El control y gestión de riesgos es una función que está presente hoy en día en la mayor parte de las grandes empresas (Lin et al. 2017). Se utiliza para conocer el riesgo que tienen los proyectos, para conocer el nivel de exposición al riesgo del conjunto de la empresa y para tomar decisiones (Zhao 2007). Por otra parte, los riesgos son diversos (Mishra and Mishra 2016), su identificación, análisis y descripción es difícil, y la información disponible para su valoración es parcial y subjetiva (Al- Bahar and Crandall 1990).

Hay numerosos estándares y estudios que describen los diversos métodos de evaluación y gestión de riesgos y su utilización por parte de las empresas (Renault and Agumba 2016; Rodney et al. 2015; Taroun 2014), así como relativos a cómo calculan la contingencia o previsión del coste de los riesgos que sucederán a lo largo del proyecto (De Marco, Rafele, & Thaheem, 2016; Dikmen, Birgonul, & Arikan, 2004; Hamid & Kehinde, 2017; Smith & Bohn, 1999); pero todavía hay lagunas en los campos de investigación y un alto porcentaje de proyectos fracasa o incumple sus expectativas en cuanto a coste, plazo o calidad (Dandage et al. 2018).

Se ha constatado recientemente una evolución organizativa en las empresas españolas según la cual el departamento de riesgos está pasando a depender del área de auditoría interna. Este hecho es relevante y, aunque en consonancia con la recomendación 46 del Código de buen gobierno de la CNMV y alineado con el planteamiento de las tres líneas de defensa (The Institute of Internal Auditors 2013), podría ser un síntoma de que se está situando el control y gestión de riesgos lejos de las unidades operativas, con un enfoque más próximo a la auditoría y al cumplimiento que a maximizar las posibilidades estratégicas de las operaciones. Por otra parte, las áreas operativas no suelen disponer de instrumentos eficaces para un ejercicio proactivo del control y la gestión de los riesgos de forma que puedan lograr una ventaja competitiva, lo cual ha sido repetidamente expresado por numerosos autores (Abdelghany and Ezeldin 2010; Arunraj et al. 2013; Dikmen et al. 2004, 2006; Fuertes Peña and Romero Rubio 2003; Fung et al. 2010; Thamhain 2013; The Joint Forum 2003).

En los siguientes apartados se analizan los métodos más utilizados en las empresas para gestionar sus riesgos, mostrando sus fortalezas, debilidades y carencias.

3.1. Práctica habitual

En este apartado se describen y analizan las prácticas más habituales, y se muestra que en muchas ocasiones resultan muy limitadas y que se siguen demandando instrumentos eficientes e informes más sencillos (FERMA 2014, 2016).

3.1.1. Visión general

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas para acometer el estudio de los riesgos: los «Métodos objetivos» y «Métodos subjetivos».

Los «Métodos objetivos», basados en cuestionarios, recogen información objetiva relativa al escenario del estudio como, por ejemplo, el método Gretener (Carpio de los Pinos and González García 2017; Fuertes Peña and Romero Rubio 2003; Reilly et al. 2003; Usher et al. 1966). Con estos métodos se identifican las circunstancias objetivas que concurren relativas a un tema, como son el número de pisos o de habitaciones en una edificación de uso público residencial, el tipo de materiales o la presencia de extintores. Al cumplimentar el cuestionario se obtiene una calificación que, mediante un sistema previamente calibrado, indica de modo objetivo el nivel de seguridad o riesgo que presenta el edificio o instalación.

Es evidente la bondad de estos métodos porque no es preciso evaluar los riesgos, sino que se describen las circunstancias objetivas o la situación, evitando subjetividades, pero están muy limitados al ser sistemas completamente cerrados, diseñados para un propósito específico con cuestionarios no modificables, y su uso no se ha generalizado.

Los «Métodos subjetivos» son de propósito más general y requieren una valoración de los riesgos identificando la causa que los genera, el riesgo que representan y las consecuencias en caso de que acontezcan (ISO 2009b), lo cual requiere una valoración de las circunstancias que concurren en cada caso, que son más difíciles de objetivar e introducen una cierta subjetividad (Creedy et al. 2010; Montibeller and von Winterfeldt 2015). La labor de control y gestión de riesgos debe enfrentarse en este caso a numerosos obstáculos (Dandage et al. 2018) que pueden ser debidos a aspectos humanos, organizacionales, materiales o culturales (Liu et al. 2015).

Los métodos subjetivos son los más utilizados, y siguen un proceso de identificación de los riesgos seguido de su análisis, valoración y definición de su tratamiento, que deberá ser comunicado y objeto de seguimiento (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004; ISO 2018; Project Management Institute 2017a; Steinberg et al. 2004a). Estos métodos están enfocados a describir y valorar cada uno de los riesgos identificados y no proporcionan per se un resumen de la situación global.

El informe de riesgos de un proyecto de construcción medio puede constar de más de 40 páginas de texto, sin ningún indicador resumen que exprese la situación del riesgo total. Sería aplicable aquí el enfoque de «extracción de estructuras de grandes conjuntos de datos que puedan ser representadas de forma visual a los usuarios» y el planteamiento de visualización y de captura de las cualidades esenciales de los datos (Olmeda-Gómez 2014).

La forma tradicional de evaluar un riesgo es definir su impacto y la probabilidad de que acontezca (Curtis and Carey 2012; Goodpasture 2004; Raftery 1994; Steinberg et

al. 2004a; Whittaker 2015), y esa práctica sigue siendo la más extendida en las empresas (Alonso 2005; Asadi and Eswara Rao 2018; Dziadosz and Rejment 2015; Szymański 2017). Sin embargo, hay empresas que se limitan a identificar y describir los riesgos, sin valorarlos individualmente, haciendo una valoración cualitativa del conjunto clasificando el riesgo total como «bajo», «medio» o «alto», por ejemplo. Esta valoración es evidentemente subjetiva.

Para valorar cualitativamente el impacto y la probabilidad es frecuente utilizar escalas de Likert, que permiten expresar la percepción personal o actitud ante un determinado riesgo (Likert 1932). Las escalas pueden ser numéricas o alfabéticas, en forma de etiquetas indicativas del grado de severidad o frecuencia. Para ello, cabe apoyarse en el uso de una tabla de doble entrada (impacto y probabilidad) con la cual se puede evaluar cada evento de riesgo situándolo en la casilla correspondiente. De esta forma tan sencilla se obtiene una visión gráfica mediante un «mapa de calor» o «mapa de riesgos» (Steinberg et al. 2004b), que es un mapa bidimensional de impacto y probabilidad, y viene a ser una versión simplificada de un diagrama de Farmer con muy baja resolución (Figura 3.1).

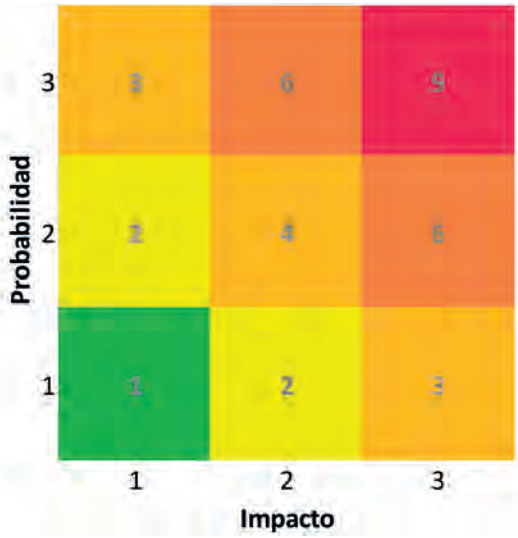

Figura 3.1. Mapa de calor básico

Estas tablas posibilitan varias funcionalidades: A) expresar fácilmente el impacto y probabilidad del riesgo; B) asignar un índice de riesgo o valoración semicuantitativa a cada cuadrante en función del producto de su impacto por su probabilidad (u otro criterio), lo cual proporciona una valoración semicuantitativa (Alcocer-Yamanaka et al. 2016; ISO 2009b; OpRisk Advisory and Towers Perrin 2010; Project Management Institute 2017b; West et al. 2016); y C) establecer mediante códigos de colores o similar dos o más niveles de severidad o gravedad del riesgo acordes con el apetito de riesgo establecido.

Mediante estas tablas se puede definir gráficamente la «frontera del riesgo aceptable» (ANSI/ASIS/RIMS 2015; Steinberg et al. 2004a) o definir áreas para marcar diferentes niveles de riesgo, que se basan en las celdas definidas en la tabla y en el valor que tienen asignado (Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social 1993; Royer 2000; Samantra et al. 2017a; West et al. 2016). En el ejemplo de la Figura 3.1 se muestran cinco niveles de severidad del riesgo, que se definen visualmente mediante la asignación de colores entre el verde y el rojo.

Esta forma de evaluación es cualitativa y simple, pero presenta ciertos inconvenientes a primera vista, como depender absolutamente del número de escalones elegidos para las escalas de impacto y probabilidad (en el ejemplo, 3), y proporcionar un índice o valoración del riesgo que es difícil de interpretar si no se dispone de la tabla de definiciones para ver las puntuaciones y los niveles de severidad establecidos (en el ejemplo, hay valores de 1 a 9 con cinco niveles de severidad del riesgo).

Una alternativa a valorar cada celda en función del producto de su impacto por su probabilidad es asignar una numeración creciente a las celdas de la tabla, en sentido diagonal de izquierda a derecha y de arriba abajo (Figura 3.2). Esta forma de numerar rompe la simetría en cuanto a la asignación de la gravedad (simetría relativa a la diagonal que une el punto del mapa con mínimo impacto y probabilidad con el punto con máximo impacto y probabilidad, de aquí en adelante, «la diagonal») de forma que, con unas mismas escalas de asignación de impacto y probabilidad, se obtienen índices de riesgo diferentes de los que se tendrían considerando el producto del impacto por la probabilidad (CEB Risk Management Leadership Council 2015).

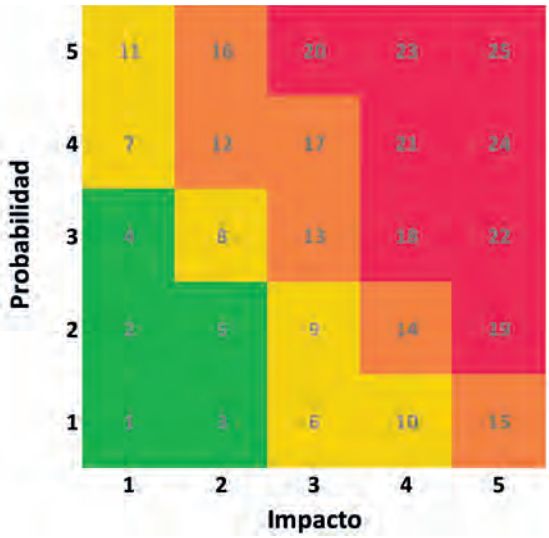

Figura 3.2. Mapa de calor modificado

Este procedimiento, muy popular entre los responsables de prevención de riesgos laborales, es todavía más dependiente de la disponibilidad de la tabla, dado que, sin ella,

no resulta posible saber cuál es el índice de riesgo asignado a un evento cuyo impacto y probabilidad se conocen (Figura 3.2).

El indicador más generalizado para expresar la intensidad del riesgo es el producto de su impacto por su probabilidad, al cual se le aplican nombres como «factor de riesgo» o, simplemente, «riesgo». En este trabajo se utiliza la denominación de la norma ISO 31010, «Número de prioridad del riesgo» (NPR). Aun siendo el indicador más popular, cabe introducir variables adicionales, como la velocidad de presentación (CEB Risk Management Leadership Council 2013), o dimensiones, como la vulnerabilidad (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas 2012), que requieren algoritmos más complejos.

Cuando el número de riesgos aumenta, bien debido al tamaño del proyecto o bien por aplicación del principio sucesivo (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004), el modelo de riesgos es más complejo y requiere una organización para su manejo, creándose estructuras con matrices o secciones jerarquizadas, y asignándose pesos a los diversos riesgos y a las matrices o secciones de las mismas.

La necesidad de obtener una valoración del resumen global del escenario de riesgos ha sido considerada un reto desde los comienzos de los análisis de riesgos (Taroun 2014), debido a la dificultad de resumir con un simple número una situación que está compuesta por numerosos riesgos que pueden ser de distinto tipo.

Paradójicamente, la literatura científica está generalmente más orientada a los aspectos de identificación y evaluación de los riesgos que a la obtención de un resumen de los mismos (Métayer and Hirsch 2008), salvo cuando acomete el estudio de la contingencia para hacer frente al coste que producirán los riesgos al materializarse.

La difundida utilización del indicador NPR ha conducido de forma natural a utilizar como indicador del nivel de riesgo global la suma aritmética o ponderada de los valores NPR (Project Management Institute 2013). Esta suma es, precisamente, la suma de los productos del impacto por la probabilidad para todos los riesgos evaluados (SPIP).

Esta suma proporciona un valor estático del riesgo total existente y, aunque no específicamente citada en la literatura como un método con nombre propio, aparece frecuentemente en muchas publicaciones, ya sea por mencionarla como un método para resumir el riesgo global, o por utilizarla implícitamente en los cálculos realizados dentro del trabajo de investigación que estén difundiendo (Amade et al. 2013; Barraza 2011; Liu et al. 2013; Van Niekerk and Bekker 2014; OpRisk Advisory and Towers Perrin 2010; Salah and Moselhi 2015; Tanner and Hingorani 2015).

Hay dos formas fundamentales de emplear el valor SPIP: directamente, como indicador del riesgo global, o como promedio, significando en este caso el valor medio de los valores NPR (Taroun 2014).

En el primer caso la suma proporciona un valor que depende del número de eventos de riesgo evaluados (NER). Para poder dar a este resultado un sentido práctico, resulta necesario calibrar o tarar el sistema. Esto significa, en función del número NER, definir una tabla de valoración que dé sentido a los valores SPIP, esto es, definir una escala que establezca una relación entre el valor SPIP y la severidad que se considera que tendría un escenario con ese valor. Evidentemente, si se introducen nuevos riesgos, se precisa recalibrar el sistema.

Otra manera diferente de utilizar el valor SPIP es la de considerar el cociente SPIP/NER, esto es su promedio (Abdelghany and Ezeldin 2010). Este valor coincide con la media de los valores NPR. Esta forma de utilización solventa la dependencia del número de riesgos NER. Una posible variante es utilizar su media cuadrática (Abdelghany and Ezeldin 2010).

Los artículos estudiados destacan la necesidad del uso de indicadores de riesgo (Hamid and Kehinde 2017; Renault and Agumba 2016; Tanner and Hingorani 2015; Tóth and Sebestyén 2014) y de valoraciones globales para la toma de decisiones (Murakami et al. 2018). Otros trabajos manifiestan la escasez de literatura en escenarios complejos y la dificultad en las empresas para aplicar los sofisticados métodos de la literatura científica (Bromiley et al. 2015; Deng and Smyth 2013; Serpella et al. 2014).

3.1.2. Nuevas técnicas de estimación del riesgo

La complejidad creciente de los escenarios de riesgo ha exigido el uso de indicadores adicionales para mejorar la valoración de los riesgos, y es posible encontrar en la literatura muchos métodos recomendando indicadores cada vez más sofisticados, de propósito general o específicos ligados a aspectos concretos del tipo de proyecto o negocio (CEB Risk Management Leadership Council 2013; Curtis and Carey 2012; ISO 2009b; Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas 2012; Øien 2001).

La incertidumbre y la subjetividad son dos aspectos inherentes a la evaluación de riesgos que condicionan y lastran sus resultados (Diab et al. 2017; Moselhi and Deb 1993; Nicol and Chadès 2017; Samantra et al. 2017b). Es posible reducir estos indeseables efectos mediante la técnica de desglosar los riesgos, en aplicación del principio sucesivo (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004), o cabe aplicar nuevas metodologías como los sistemas difusos o «*fuzzy*» (Cheng and Lu 2015; Elbarkouky et al. 2016; KarimiAzari et al. 2011; Orojloo et al. 2018; Samantra et al. 2017a; Wu et al. 2017), de análisis de redes neuronales o «ANN» (Akinsola 1997; Lam and Siwingwa 2017; Lhee 2014) y probabilísticos (Rosenberg and Schuermann 2006; Salah and Moselhi 2015; World Economic Forum 2018).

La técnica de regresión múltiple utiliza datos históricos para elaborar modelos predictivos y, aunque aún está poco extendida en la literatura consultada, se pueden encontrar muchas propuestas, principalmente orientadas al cálculo de la contingencia (Bello and Odusami 2013; Cook 2006; Lam and Siwingwa 2017; Lhee 2014; De Marco et al.

2016b; Thal Jr et al. 2010; Thomas 2010). El inconveniente más frecuente es la carencia de suficientes datos históricos y que los modelos elaborados sólo son aplicables en contextos muy concretos.

3.1.3. Cálculo de la contingencia

La estimación del coste previsible de los riesgos se hace frecuentemente sin apoyarse en un estudio formal de riesgos, y responde más a criterios estratégicos o basados en la intuición (Amade et al. 2013; Bouayed 2016; Cook 2006), lo cual puede favorecer que el coste real de los riesgos que finalmente acontezcan desborde la contingencia prevista (Lam and Siwingwa 2017; Touran and Liu 2015).

En la literatura se citan nuevas metodologías para estimar la desviación previsible del coste total del proyecto (Jung et al. 2016; Love et al. 2015; Pawan and Lorterapong 2016; Polat 2012; Sadeghi et al. 2010; Turskis et al. 2012), y proponen métodos «ágiles» (Hobbs and Petit 2016) y de regresión múltiple (De Marco et al. 2016b; Thal Jr et al. 2010). Pero comportan una complejidad, capacitación y exigencia de tiempo que, normalmente, no son adecuadas para la práctica habitual de las empresas (Bello and Odusami 2008; Daston 1988; Deng and Smyth 2013; Hamid and Kehinde 2017; Kwak and Ingall 2007; Mishra and Mishra 2016; Zou et al. 2010). Prueba de ello es que la estimación de la contingencia como un porcentaje del importe del proyecto según la experiencia y la intuición sigue siendo muy utilizada en muchas empresas constructoras (Amade et al. 2013; Bouayed 2016; Cook 2006).

Las publicaciones académicas recomiendan que el cálculo de la contingencia sea un resultado del estudio de riesgos realizado (Diab et al. 2017; Mak and Picken 2000), pero, incluso realizando un estudio de riesgos y utilizando rigurosamente el método SPIP, persiste el inconveniente de que este valor tiene poca fiabilidad, como se verá en el apartado 3.2.2 «Uso del método SPIP para indicar el nivel de riesgo» y se aborda en profundidad en el apartado 4.2 «Método de resumen SPIP».

La utilización de métodos probabilísticos, en particular la simulación de Monte Carlo, empieza a introducirse en las empresas, pero con mucha dificultad. Planteado inicialmente como una técnica difícil reservada para proyectos de gran tamaño y complejos (ISO 2009b; Project Management Institute 2017b), ha recibido muchas críticas incluso entre los académicos debido a su alta sensibilidad ante la definición de la correlación y las probabilidades (Dikmen et al. 2004; Touran 1993), su limitación ante eventos de riesgo no previstos (Berner et al. 2017) y las consecuencias de su uso por parte de técnicos que no han sido debidamente entrenados (Hubbard and Evans 2014).

3.1.4. Comunicación del riesgo

La amplia casuística y la diversidad obligan a los gerentes de riesgos a diseñar complejos cuadros de mando con diversos indicadores, a priorizar los riesgos, y a buscar la

forma más eficiente de informar al Comité de Dirección de sus empresas (AMRAE 2013; ANRA 2011; EcoDa/IFC 2015; EY 2013; Hoyt and Liebenberg 2011; Zurich Insurance Group 2015).

Sin embargo, un riesgo necesita ser medido para ser comprendido (Babatola 2004; Ernevad 2014; Pont-Sorribes et al. 2009; Tarantino-Curseri 2017; The Institute of Risk Management 2011, 2012; The Joint Forum 2003), y los sistemas de información de riesgos complicados o no cuantitativos son difíciles de manejar y no siempre proporcionan la información que necesitan los directivos para sus decisiones (FERMA 2016).

Las consecuencias de la materialización de un riesgo son, en primera instancia, un sobrecoste o un retraso; pero el impacto también puede ser de reputación, seguridad, calidad, salud, medio ambiente o cualquier combinación de los anteriores, y el número de riesgos a considerar puede ser muy alto. Para un proyecto de construcción cabría distinguir hasta 12 orígenes del riesgo (Sanchez-Cazorla et al. 2016), como el país, la financiación, la logística, etc., pudiendo contemplarse en cada uno de ellos hasta 10 aspectos (por ejemplo, para el origen de riesgo país, cabe considerar los aspectos político, económico, de seguridad, climatológico, salud, etc.) (Mishra and Mishra 2016; Nevada Department of Transportation 2012; Vegas-Fernández 2017c). Para cada aspecto se podrían plantear hasta 10 preguntas relativas al riesgo, cada una con varias posibles respuestas (Vegas-Fernández 2017b), lo que significaría potencialmente 33.600 riesgos considerando 4 posibles respuestas y los 7 tipos de impacto antes indicados (coste, plazo, reputación, etc.), aunque en la práctica resultan bastantes menos.

La comunicación de la situación de riesgo a la dirección de la empresa, esencial para que ésta la contraste con su apetito de riesgo (AIRMIC/ALARM/IRM 2010; Al- Bahar and Crandall 1990; CEB Risk Management Leadership Council 2015; Steinberg et al. 2004a), exige que la información comunicada sea clara, objetiva y fácilmente comprensible, lo cual no siempre es fácil debido al gran volumen de datos, la subjetividad y las presiones internas, y resumir la situación de riesgo total supone una dificultad adicional.

El coste podría ser un excelente indicador de propósito general, pero la experiencia indica que muchas veces no es posible estimarlo, como por ejemplo el caso de riesgos de reputación, de relación con el cliente, o, incluso, algunos riesgos técnicos en obras lineales; además, incluso cuando se puede estimar este coste, es preciso compararlo con el presupuesto del proyecto para darle un sentido relativo.

En estas condiciones, se precisa un indicador resumen para conocer cuál es el riesgo conjunto (Cioffi and Khamooshi 2009), y los métodos más utilizados (ver el apartado 3.1.1), fundamentalmente de tipo agregado o acumulativo (Asadi and Eswara Rao 2018; Beasley et al. 2010; Gul and Ak 2018; Tanner and Hingorani 2015), presentan inconvenientes que se explicarán en el siguiente apartado y que pueden comprometer la visión del riesgo global.

Las metodologías actuales podrían ser mejoradas con un indicador simple que cuantificara el riesgo global del proyecto bajo cualquier circunstancia (ISO, 2018), un indicador para obtener una idea del nivel de riesgo (Mantovani et al. 2014; Nieto-Morote and Ruz-Vila 2011; Tanner and Hingorani 2015) y poder compararlo con el apetito de riesgo definido.

Sería deseable poder resumir un escenario de riesgo mediante su impacto y probabilidad global, junto con su nivel de riesgo, y poder resumir la situación de riesgo del conjunto de proyectos de un país, continente o empresa, con independencia del tipo de proyecto o actividad (AIRMIC/ALARM/IRM 2010; Al- Bahar and Crandall 1990; Beasley et al. 2010; Steinberg et al. 2004b). Sin embargo, las técnicas actuales no proporcionan una solución eficiente para ello (Carpio de los Pinos and González García 2017; Deng and Smyth 2013; Dikmen et al. 2004; Elbarkouky et al. 2016; Rodney et al. 2015).

3.2. Dificultades básicas

Se revisan en este apartado las limitaciones y carencias más evidentes encontradas en la práctica habitual del control y gestión de riesgos, derivadas del uso del indicador NPR (impacto por probabilidad), del uso de la suma SPIP para valorar el riesgo de un proyecto, de la imposibilidad de conocer el impacto y probabilidad resultante para un conjunto de riesgos, y del frecuente desbordamiento de la contingencia calculada con la suma SPIP.

3.2.1. Uso del indicador NPR

Este indicador, que corresponde al producto del impacto por la probabilidad, no es lineal ni intuitivo.

No es intuitivo porque, sin conocer los valores de impacto y probabilidad y sin ver la tabla de definiciones, un valor de 50 parecería corresponder a un riesgo medio y uno de 25 a un riesgo bajo. Sin embargo, no es así, puesto que el valor 50 se podría obtener con un impacto de 71 y una probabilidad del 71% y, de igual forma, un valor de 25 podría corresponder a un impacto de 50 con una probabilidad del 50%. Esta percepción no intuitiva tiene su causa en su falta de linealidad y dificulta la comprensión de la severidad del NPR, pudiendo inducir a error, como se ha visto antes y se ha explicado en el apartado 1.3.1.3 Linealidad.

Se muestra en la Figura 3.3 un ejemplo de evaluación de 10 escalones usando el indicador NPR para asignar el nivel de riesgo, con un valor mínimo de 1 y máximo de 100. NPR varía a lo largo de la diagonal según la secuencia 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, que es exponencial.

En la figura se han sombreado las casillas con un color que evoluciona desde el verde hasta el rojo para representar la variación tradicional de la intensidad del riesgo. Resulta fácil comprobar la discrepancia entre lo que los colores parecen indicar y los valores NPR de las celdas.

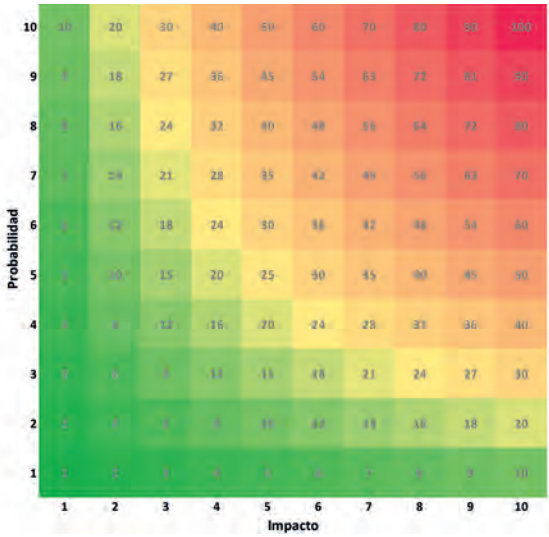

Figura 3.3. Mapa de calor con 10 escalones de asignación

Un segundo inconveniente es que los valores del NPR dependen de las escalas de asignación de impacto y probabilidad elegidas. En los ejemplos anteriormente mostrados sus valores podían variar de 1 a 9 (Figura 3.1) o de 1 a 100 (Figura 3.3), pero no todos los valores intermedios son posibles. La distribución de resultados no es una distribución continua de números reales, ni siquiera cualquier número entero intermedio, sino que es una distribución de tipo binomial, dependiente de las escalas de asignación elegidas. Esto significa que, entre todos los posibles valores comprendidos en el rango teórico de salida del NPR, sólo parte de ellos son realmente factibles, en función de las escalas de asignación (Figura 3.4).

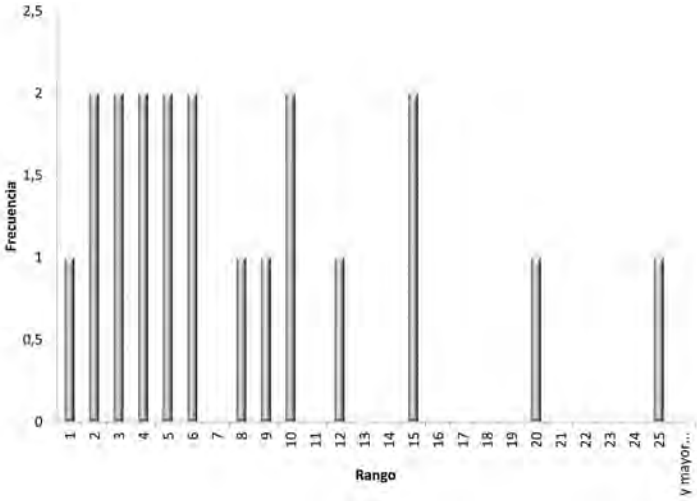

Figura 3.4. Histograma de posibles valores NPR con escalas de 5 escalones

El indicador NPR se estudia a fondo en posteriores apartados, pero su comportamiento no lineal resulta poco intuitivo, y puede inducir a un grave error en la percepción de la intensidad del riesgo, lo cual resulta indeseable.

3.2.2. Uso del método SPIP para indicar el nivel de riesgo global

Se ha explicado anteriormente que hay dos modos básicos de utilizar como indicador del nivel de riesgo global la suma de los productos de impacto por probabilidad para todos los eventos de riesgo, SPIP: dividiendo el valor SPIP por el número de eventos de riesgo (NER) (Taroun 2014), lo que proporciona la media de los valores NPR, y considerando su suma como un valor acumulado de riesgo (Project Management Institute 2013; Tanner and Hingorani 2015), siendo este segundo el más extendido (Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social 1993; Van Niekerk and Bekker 2014; Salah and Moselhi 2015).

Dado que no es posible que, simultáneamente, todos los eventos de riesgo comporten un riesgo elevado, cuando el número NER sea alto el valor SPIP (o su media) no se podrá alcanzar nunca el valor máximo teóricamente posible. El uso del SPIP rebaja el valor de conjunto diluyendo el efecto de los riesgos más elevados, por lo que su resultado es engañoso, como se demuestra con casos reales en el CAPÍTULO 8.

La comprensión del valor obtenido para el SPIP como suma es compleja, porque depende de las escalas numéricas utilizadas para valorar el impacto y la probabilidad, del sistema de ponderación, del número de eventos de riesgo identificados y de los criterios de apetito de riesgo establecidos. En estudios realizados en diversas empresas (construcción, ingeniería y proyectos informáticos) se constató que el valor SPIP para un nivel de riesgo bajo en un proyecto podía ser 3 sobre 10, 6 sobre 16, 35 sobre 100, 25 sobre 100 o 100 sobre 200. Incluso, en una misma empresa, es imprescindible tener a la vista una tabla que explique claramente las valoraciones para poder comprender el significado cuando las cifras son superiores a las antes indicadas. Para que este sistema sea viable es necesario definir un escenario de riesgos con un número NER determinado y el sistema de ponderación, de modo que el valor máximo valor posible esté prefijado y sea posible definir una escala de interpretación de la severidad del riesgo conjunto.

En algunas de las empresas estudiadas se vio un sistema calibrado para un conjunto de riesgos previamente definido, asignando pesos para lograr que el valor máximo de la suma ponderada (suma de productos de NPR por su peso) fuera 100 o un cierto máximo controlado. En otra empresa la escala era diferente, de modo que de 0 a 100 era riesgo bajo, de 100 a 150 riesgo medio, de 150 a 200 riesgo alto y 200 o más riesgo muy alto. Este método requiere su calibración y tiene limitaciones, como se verá posteriormente.

A primera vista, una primera limitación impuesta por este método es que no se puede añadir fácilmente nuevos riesgos. Ello obligaría a recalibrar todo el sistema de valo-

ración, modificando la definición de la escala de interpretación del resultado SPIP, o modificando el sistema de ponderación con un nuevo reparto de pesos para que el máximo valor posible para el SPIP siguiera siendo el mismo.

Otra segunda limitación es que ningún componente individual puede ser un factor crítico de riesgo a evitar («línea roja») debido a que la importancia individual se diluye en el conjunto. En una de las empresas estudiadas, que utilizaba este método para valorar el riesgo global de los países en los que operaba, se comprobó que, cuando se produjo la crisis del ébola, no le resultó posible introducir de forma efectiva ese nuevo riesgo en el sistema, para que el riesgo global de países como Sierra Leona o Congo resultara excluyentemente alto. La combinación del inconveniente anterior y de éste (introducir un nuevo riesgo que tenga una relevancia singular) supone una complicación casi insalvable. En el apartado 5.4.2 «Resultado de la integración» se confirma la importancia de este aspecto.

La práctica SPIP está muy generalizada, como ya se ha dicho, y demuestra que el proceso de evaluación y comunicación de los riesgos de proyectos debe mejorar en empresas de muchos sectores, tal como indican algunos estudios (Van Niekerk and Bekker 2014; Zou et al. 2010). La razón principal para cuestionar su uso es que el valor SPIP, si bien se usa como un valor estático (resultado de una fórmula que no tiene en cuenta aspectos aleatorios) obtenido como una suma de productos según la regla de utilidad esperada de Neumann y Morgenstern (Neumann and Morgenstern 1944), corresponde al valor medio esperado de una supuesta distribución Normal del valor del riesgo global, lo cual requeriría la aplicabilidad del teorema del Límite Central (Amade et al. 2013; Diekmann 1983; Raftery 1994); pero este teorema no es aplicable en la mayor parte de los proyectos, como se verá en los apartados 3.6 «Teorema del Límite Central», y 3.7 «Aspectos que condicionan el valor esperado», porque se no cumplen las premisas básicas que requiere el teorema. Además, el valor SPIP no considera la distribución probabilística de los valores NPR y, por todo ello, no proporciona un resultado en el que se pueda confiar y no es adecuado para estimar el riesgo global del proyecto (Vegas-Fernández and Rodríguez-López 2018).

3.2.3. Uso del método SPIP para estimar la contingencia

El hecho de que el valor SPIP sea el valor medio ponderado de una distribución adquiere una relevancia trascendental cuando el impacto considerado es el coste del riesgo y lo que se pretende obtener con dicha suma de valores ponderados NPR es el coste del riesgo total de un proyecto. La razón para ello es que el coste así calculado, al ser un valor medio, será superado en un gran número de ocasiones (aproximadamente, la mitad de las veces).

El uso de la suma de productos está muy extendido porque es sencillo y es el sistema tradicionalmente propuesto (Hollmann 2009; Imbeah and Guikema 2009; Schuyler 2001), pero posiblemente las empresas que lo usan no son conscientes de que el valor así calculado puede ser insuficiente (alrededor del 50% de las veces) y desconocen qué valor podría

alcanzar realmente el coste del riesgo, lo cual exige un estudio en profundidad y demanda una solución para aumentar la seguridad de las empresas. El PMBOK® ha suprimido la recomendación de uso del SPIP en su versión 6 (Project Management Institute 2017a).

Idénticas consideraciones serían aplicables cuando el impacto fuera otra magnitud acumulativa (por ejemplo, tiempo, refiriéndose a retraso de actividades en el camino crítico).

3.2.4. Imposibilidad de obtener el impacto y probabilidad equivalentes

La incapacidad de obtener el impacto y la probabilidad correspondientes a un conjunto de riesgos se ha acreditado tanto en la revisión de la literatura científica, como en las entrevistas mantenidas con las empresas. Esta carencia impide describir el riesgo resultante para un conjunto de riesgos como un evento de riesgo con su impacto y probabilidad, lo cual incumple la premisa básica acerca de cómo debe definirse un riesgo (ver el apartado 3.1 «Práctica habitual»).

La utilización de un único indicador de riesgo unidimensional no es deseable y, de hecho, prácticamente todas las empresas estudiadas y la mayor parte de la literatura usa dos o más indicadores (Szymański 2017; Taebi 2017; Wu et al. 2017). Por otra parte, desde el punto de vista de lograr calcular el riesgo resultante para niveles de agrupación más elevados (por ejemplo, el riesgo de una matriz partiendo de sus riesgos identificados o el riesgo de un proyecto partiendo del riesgo de sus matrices), parece muy deseable conocer en cada nivel de agregación cuál es el impacto y la probabilidad para poder tener una mejor visibilidad de la situación.

3.3. Uso de escalas

La utilización de escalas de Likert es la práctica habitual para la evaluación cualitativa de los riesgos (Dumbrava 2013; International SOS 2017; Treacy and Carey 2000; Yildiz et al. 2014). Su uso resulta casi imprescindible, salvo cuando se dispone de una forma de estimación directa de los impactos de los riesgos y de una forma objetiva (normalmente estadística) de estimar la probabilidad de ocurrencia.

La concepción de estas escalas está ligada a la medición de la actitud (ver el apartado 3.5 «Actitud ante el riesgo»), definiendo un rango de posibles respuestas y asumiendo una distribución de tipo Normal de las mismas (Likert 1932) (ver el apartado 3.3.2).

Las respuestas son elementos de una lista y pueden constar de conceptos o de números, si bien en el segundo caso tiene que haber una correspondencia entre los números y los conceptos previamente definidos. La utilización de las escalas en formato numérico posibilita un tratamiento analítico de las respuestas, en forma de valoración semicuantitativa (ISO 2009b). Este tratamiento abre nuevas posibilidades, pero introduce una gran dependencia en cuanto a la forma de definir las escalas, que conviene conocer.

En el apartado 3.2.1 «Uso del indicador NPR» se hizo una pequeña introducción acerca de la forma de definir las escalas y de sus repercusiones. Ahora se va a profundizar y se va a hacer la distinción entre las escalas de asignación y las escalas de interpretación, causa básica de algunos errores de concepto frecuentes en las empresas.

3.3.1. Influencia del número de escalones

El esquema tradicional de un mapa de calor, usando escalas para la valoración del impacto y la probabilidad, es semejante al que muestra la Figura 3.5:

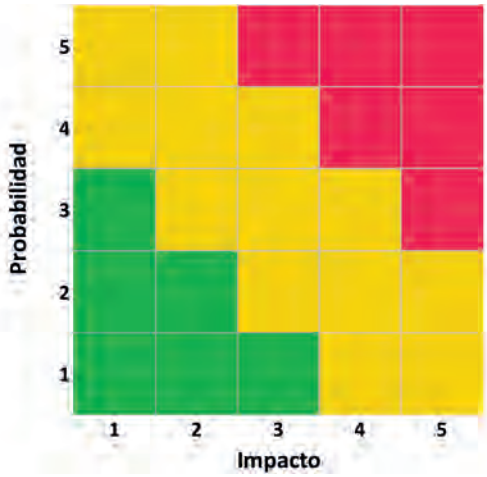

Figura 3.5. Mapa de calor tradicional cuadrado

Se trata de un esquema de 5 x 5 en cuanto a la asignación del impacto y la probabilidad (escalones de asignación). Si bien este esquema es el más extendido, puede utilizarse un número diferente de filas y columnas e, incluso, no coincidir el número de filas con el número de columnas. En cambio, en cuanto a la interpretación o valoración de la severidad de los resultados, el mapa anterior es un esquema de 3 niveles: alto, medio y bajo.

La decisión de la empresa en cuanto a apetito de riesgo se plasma en la definición de estos niveles, que pueden ser 2, 3, 4, 5 o incluso más (aunque no es habitual). Pueden ser o no simétricos con respecto a la diagonal, y su tamaño puede ser o no homogéneo. Sin embargo, no hay relación entre el número de niveles y el número de escalones de definición utilizados para asignar el impacto y la probabilidad, aunque, dada la bajísima precisión que supone utilizar intervalos tan amplios, pueden surgir condicionamientos evidentes ya analizados anteriormente; tampoco puede haber más niveles que el producto de número de escalones para el impacto por el de escalones para la probabilidad.

Utilizando 10 escalones de asignación y manteniendo el mismo número de niveles de severidad, 3, el resultado sería el de la Figura 3.6:

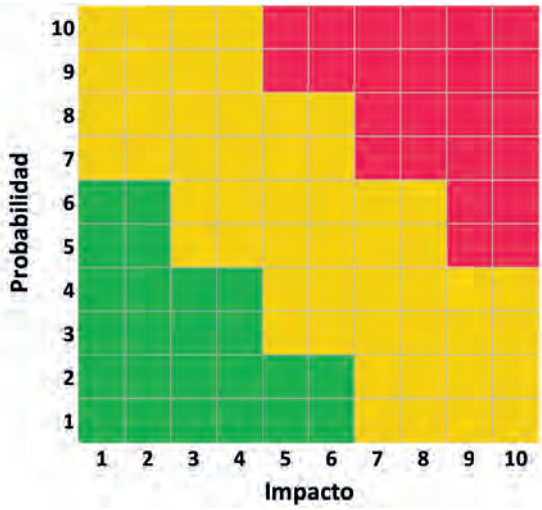

Figura 3.6. Mapa de calor con 10 escalones de asignación

Este mapa es básicamente idéntico al anterior, pero se puede comprobar que el mayor número de escalones de evaluación aporta una mayor resolución gráfica (celdas de cuadrícula más pequeñas), lo cual posibilitaría una definición más precisa de los niveles de severidad del riesgo. Si no se utilizaran escalas de Likert y se pudiera valorar el impacto y la probabilidad con números reales, desaparecería el concepto de escalones de asignación y se trabajaría en el ámbito de los números reales, a efectos de considerar un número infinito de posibles niveles de riesgo comprendidos entre 0 y 100, como muestra la Figura 3.7.

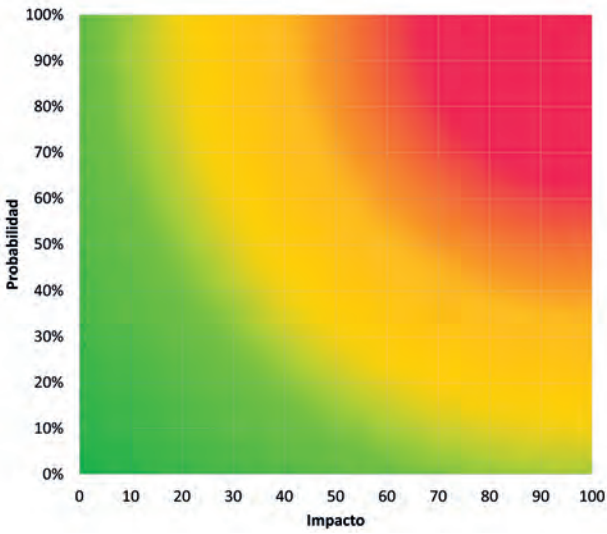

Figura 3.7. Diagrama de Farmer con asignación de números reales

Comparando la figura anterior con la Figura 3.1. Mapa de calor básico, que mostraba el resultado de utilizar 3 escalones de asignación, puede apreciarse la falta de precisión que introducen las escalas con pocos escalones. Por ejemplo, un riesgo definido con escalas de 3 escalones que tuviera un impacto de 2 y una probabilidad de 1 podría verse en la Figura 3.7 como un riesgo con impacto 34 y probabilidad 0%, o como un riesgo con impacto 66 y probabilidad 33%, alternativas muy diferentes; la primera representa un riesgo muy bajo, mientras que la segunda supone un riesgo medio.

Se diferencian a continuación las escalas de asignación y las escalas de interpretación.

3.3.2. Escalas de asignación

El evaluador utiliza las escalas de asignación para definir cada uno de los parámetros que identifican un riesgo, apoyándose en una lista de posibles valores predefinidos, como alternativa a introducir directamente un valor numérico. La razón básica para usar escalas es que el evaluador no sabe valorar cuantitativamente el impacto y la probabilidad.

Como ayuda al evaluador para que comprenda mejor el significado de cada elemento de la escala, es posible elaborar tablas de puntuación que expliquen conceptualmente la intensidad del impacto o la frecuencia para la probabilidad correspondiente a cada uno de los posibles escalones (International SOS 2017; Schneider et al. 2008). Estas tablas a veces contienen como ejemplo valores cuantitativos que puedan servir de orientación al evaluador para poder expresar de forma más precisa su intuición, actitud o conocimiento del riesgo (Curtis and Carey 2012; Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social 1993).

3.3.2.1. Problemas detectados

En algunas empresas estudiadas, en su intento por ayudar a los evaluadores, elaboran escalas de valoración con una descripción cuantitativa del impacto y la probabilidad para que el evaluador, conociendo la magnitud del impacto o el valor de la probabilidad, seleccione el escalón adecuado de la escala de asignación (Métayer and Hirsch 2008).

Conviene tener en cuenta que el evaluador no conoce, en general, la magnitud de los parámetros, dado que, si fuera así, podría indicar directamente el impacto y la probabilidad sin utilizar escalas de Likert. Esto resta sentido al uso de dichas escalas de valoración.

En cuanto al impacto en términos de coste, el evaluador puede tener una idea clara del daño que un riesgo podría ocasionar, pero no ser capaz de valorarlo económicamente (por ejemplo, el impacto debido a que un edificio se incendie es claro, pero la valoración de la reparación sólo puede hacerla un experto).

Cuando se cuantifica la escala de asignación de probabilidad, además de la dificultad ya señalada del desconocimiento por parte del evaluador de la probabilidad numérica de que suceda el evento, suele surgir la complicación de que se propone una tabla de asignación no lineal, como la mostrada en la Tabla 3.1 (West et al. 2016):

Rango de probabilidad	Asignación escala
0% - 10%	Muy baja
10% - 20%	Baja
20% - 40%	Media
40% - 60%	Alta
60% - 100%	Muy alta

Tabla 3.1. Tabla de asignación de probabilidades

Esta práctica presenta varios inconvenientes que se describen a continuación.

Su falta de linealidad dificulta su comprensión y uso por parte del evaluador (ver 1.3.1.3 «Linealidad»), favoreciendo una incorrecta interpretación. Por ejemplo, un evaluador que perciba una probabilidad como «media» en el sentido de igual probabilidad de suceder que de no suceder, podrá consignarla como «alta» si ha comprendido bien las directrices de uso de la tabla, o como «media» si no las ha comprendido, en cuyo caso ocasionaría una infravaloración del valor esperado del riesgo o de la oportunidad.

Un ejemplo servirá para ilustrar las consecuencias. En el caso de un riesgo con un impacto de 100.000 € y una probabilidad estimada como «media» una asignación tradicional propondría un valor del 50% para la probabilidad, con lo que el valor esperado sería el producto 100.000 x 50% = 50.000 €. Sin embargo, con la escala no lineal de la tabla anterior, la evaluación «media» se podría traducir en una probabilidad entre el 20% y el 40%, lo que conduciría a un valor esperado entre 20.000 y 40.000 €, que infravaloraría el riesgo real.

El uso de escalas no lineales obliga a usar diferentes escalas para los riesgos y las oportunidades, dado que, si bien una probabilidad del 30% podría aceptarse como «media» para una consecuencia negativa, no lo sería para una oportunidad.

Las escalas de asignación deben utilizarse exclusivamente para que el evaluador describa adecuadamente el evento de riesgo u oportunidad, y no debe confundirse esta valoración de cada una de las variables con la posterior calificación o valoración del riesgo u oportunidad. Por ejemplo, una probabilidad de un 80% que, sin duda, es alta, no tiene por qué comportar un riesgo alto, puesto que el impacto podría ser muy bajo.

Otra cuestión relativa a la definición de las escalas de asignación es si debe utilizarse un número de escalones pares o impares. La razón de esta controversia, que se ha

constatado en las empresas estudiadas, es el pensamiento de que un número impar puede inducir al evaluador a seleccionar preferentemente la alternativa intermedia.

Se ha realizado un estudio en una empresa sobre 1.400 evaluaciones, distribuidas en 7 matrices distintas, en la que los evaluadores debían elegir entre «bajo», «medio» y «alto». Los resultados muestran que, incluso con sólo 3 posibilidades, no hay una clara inclinación a elegir la valoración media, como se aprecia en la Figura 3.8.

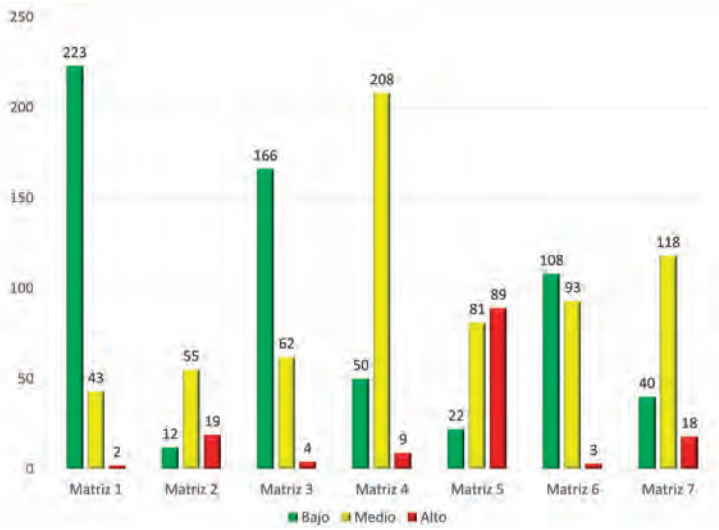

Figura 3.8. Distribución de respuestas con escalas de 3 niveles

En las entrevistas mantenidas con evaluadores se ha comprobado que hay una cierta inclinación a no elegir las evaluaciones extremas cuando hay 5 escalones, lo cual será tenido en cuenta en el apartado siguiente.

3.3.2.2. Asignación numérica

La utilización de escalas de Likert representa una ayuda y facilita la valoración cualitativa de los riesgos, pero es muy frecuente realizar una valoración semicuantitativa convirtiendo las etiquetas de asignación en números, de modo que sea posible calcular el valor NPR (ISO 2009b). Para ello hay que hacer una transformación de etiquetas a números, lo cual plantea algunos interrogantes que, cuando se resuelven incorrectamente, conducen a una infravaloración de los riesgos.

Recordando la Figura 3.1. Mapa de calor básico, la división en 3 escalones del mapa de calor plantea una posible duda ante el significado de la evaluación. Por ejemplo, un riesgo con impacto 3 y probabilidad 2 tendría un NPR de 6. Tomando como referencia una escala normalizada de 0 a 100, parece claro que la probabilidad sería el 50%, pero

cabría dudar si el impacto es 100 (límite superior del escalón de evaluación) o es 83,3 (punto medio del escalón de evaluación). Por otra parte, un riesgo con impacto 1 y con probabilidad 3, podría en una escala de 0 a 100 considerarse como un riesgo de impacto 16,7 y probabilidad 83,3% o como un riesgo de impacto 33,3 y probabilidad 100%. La cuestión es si el evaluador piensa en términos de los extremos de los intervalos de evaluación o de los puntos medios.

Aplicando esta reflexión sobre los restantes mapas de calor presentados anteriormente, se demuestra que la precisión de la evaluación tiene una incertidumbre numérica de 0,5 dividido por el número de escalones de la escala utilizada (en una de 3 escalones sería el 17,6%, en una de 4 escalones el 12,5% y en una de 5 escalones el 10%). A la vista de este análisis y teniendo en cuenta lo explicado en el apartado anterior, parece recomendable utilizar escalas de 5 escalones (una de 7 sería más adecuada para evitar el efecto de rechazo de los extremos y mejorar la precisión, pero se percibiría como más complicada).

Según lo anterior, una posible conversión numérica de las escalas, utilizando los valores medios de cada escalón, salvo el último en el que se usan los máximos, sería la siguiente:

Impacto		Probabilidad	
Etiqueta	Valor	Etiqueta	Valor
Muy bajo	10%	Muy baja	10%
Bajo	30%	Baja	30%
Medio	50%	Media	50%
Alto	70%	Alta	70%
Muy alto	100%	Muy alta	100%

Tabla 3.2. Tabla de conversión numérica de escalas de asignación

La elección del valor 100% para la máxima probabilidad implica una certeza, pero debe interpretarse como una forma de no rebajar innecesariamente el riesgo del conjunto.

3.3.3. Escalas de interpretación

Una vez evaluados cualitativamente los riesgos y realizados los cálculos semicuantitativos correspondientes, se obtienen las valoraciones de cada riesgo y de su conjunto. Según lo presentado hasta ahora, esos valores serían NPR para los riesgos y SPIP para el conjunto.

La interpretación o valoración de los resultados debe hacerse en coherencia con el apetito de riesgo de la empresa, comparándolos con los niveles de severidad del riesgo definidos en la misma. Esta definición puede ser sencilla, limitándose a establecer

un umbral máximo, o puede definir varios tramos numéricos de riesgo. También puede variar con el tiempo. Para ello puede definirse una escala que permita «interpretar» los valores obtenidos. Esta escala puede ser lineal, fácilmente comprensible como la mostrada en la Tabla 3.3, o no lineal, y no tiene por qué coincidir con las escalas de asignación usadas para valorar el impacto y la probabilidad.

Rango de valores	Interpretación
0 – 20	Muy bajo
20 - 40	Bajo
40 - 60	Medio
60 - 80	Alto
80 - 100	Muy alto

Tabla 3.3. Tabla de interpretación de los resultados del nivel de riesgo

3.4. Literatura consultada

La revisión de la documentación publicada es una fuente de información inagotable e imprescindible, sin perjuicio de contrastarla con las prácticas habituales de las empresas.

Al adentrarse en el estudio de la gestión de riesgos corporativos o de proyectos es obligado conocer la documentación emitida sobre esta materia por entidades de prestigio reconocidas internacionalmente. También es preciso considerar la normativa aplicable, si bien en este caso se tienen en cuenta las referencias principales que abordan la gestión de riesgos (no las normas que indican que hay que considerar los riesgos, pero remiten a otras normas para saber cómo hacerlo).

En la siguiente tabla se relacionan las principales instituciones cuyas publicaciones se han considerado.

Institución	Acrónimo
Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission	COSO
Federation of European Risk Management Associations	FERMA
Institute and Faculty of Actuaries	IFoA
Institution of Civil Engineers	ICE
International Organization for Standardization	ISO
Project Management Institute	PMI
The Institute of Internal Auditors	IIA
The Institute of Risk Management	IRM

Tabla 3.4. Instituciones de prestigio que emiten documentación

Por otro lado, numerosos autores han publicado estudios en los que recopilan las prácticas habituales relativas a la gestión de riesgos y las nuevas metodologías que recoge la literatura científica (Dikmen et al. 2004; Hamid and Kehinde 2017; Hruškovič 2011; Huidobro et al. 2009; Taroun 2014). Sin embargo, el alcance del presente estudio y los objetivos establecidos han exigido una revisión más exhaustiva de la literatura, y se ha realizado una búsqueda sistemática utilizando palabras clave y accediendo a distintas fuentes.

Se han considerado las fuentes Web of Science, Scopus, ScienceDirect, ResearchGate ASCE, Willey, Elsevier y Google Scholar. Las palabras clave y expresiones de búsqueda han sido varias, orientadas a los objetivos perseguidos: «integrated risk rating», «integrated risk indicator», «project risk rate», «project overall risk», «construction project risk contingency calculation», etc. Con estos parámetros de búsqueda, usando las cadenas total o parcialmente en función del buscador, se obtuvieron 1.700 referencias de artículos académicos, libros, tesis y procedimientos de conferencias.

Tras un análisis detallado de los resultados se seleccionaron 480 referencias que, una vez analizadas y filtradas, constituyen el catálogo de 290 referencias con el que se ha trabajado en esta investigación. De ellas, se han seleccionado las 272 referencias más relevantes (en lo sucesivo, «literatura consultada»). Las únicas páginas Web consideradas son las pertenecientes a entidades de prestigio, como universidades, instituciones, etc. (por ejemplo, FERMA).

No se ha puesto un límite a la antigüedad de las publicaciones pues, si bien es cierto que en los artículos de revistas académicas la novedad es un factor que añade valor, en los libros, así como en las normas vigentes, la fecha de publicación puede ser sólo ilustrativa.

En cuanto a la naturaleza de los documentos, en la Figura 3.9 se muestra su distribución, sin desglosar si los artículos pertenecen a revistas indexadas ni si las tesis son doctorales o de Máster, aunque esta relevante distinción sí se tiene en cuenta posteriormente a efectos de diferenciar su influencia o importancia.

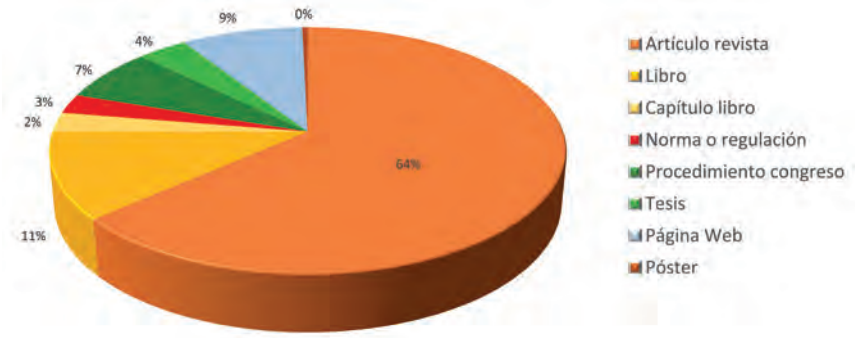

Figura 3.9. Distribución de los tipos de publicación de la literatura consultada

3.4.1. Ponderación de la literatura consultada

En la consideración de la literatura consultada como fuente de información y referencia es conveniente dosificar su importancia individual, de forma que, aunque todos los trabajos son valiosos, cabe asignarles una ponderación que varíe en función de unos criterios establecidos previamente para destacar su distinta relevancia (Fernández Sánchez 2010; Leceta Ostolaza 2014; Pérez Soriano 2014).

Se han considerado para ello los siguientes 4 factores: el tipo de publicación, la fecha de publicación, el país concreto en el que se centra el trabajo y la actividad específica a la que se refiere el trabajo.

3.4.1.1. Ponderación en función del tipo de publicación

Se ha diseñado un doble sistema de asignación de pesos en función del tipo de publicación que se muestra en la Figura 3.9, con un valor máximo posible de 6: un peso básico que es el mínimo a aplicar según cada tipo, y un complemento en función de parámetros adicionales que se detallan posteriormente. Se describen primero los criterios utilizados para las asignaciones básicas.

Se ha considerado que una norma o regulación, tanto por la solvencia de quien la emite como por ser de obligado cumplimiento, debe tener la puntuación máxima (6 puntos).

Un libro publicado, además de las revisiones que ha sufrido por parte de la editorial, garantiza mediante su publicación impresa un cierto número de lecturas, generalmente suficientemente elevado como para justificar el gasto editorial (5 puntos).

Una publicación proveniente de una conferencia tiene garantizado un proceso de selección que posibilitó que el autor expusiera su ponencia y una difusión que es resultado de la conferencia en sí más la posterior edición y publicación por el medio que sea de dicha ponencia (3 puntos).

Un artículo publicado en una revista no indexada cuenta con la aprobación del editor y responde al interés general de la revista o del número publicado. El rigor para aprobar la publicación puede ser muy variable (2 puntos).

Una tesis de máster cuenta con la aprobación de su director o supervisor y responde al interés del autor por conseguir un título académico. El rigor para aprobar la publicación puede ser muy variable (2 puntos).

Una página Web genérica puede admitir la subida de contenidos sin ningún control (1 punto). En la literatura consultada no se ha incluido ninguna referencia de este tipo. A un póster se le asigna la misma puntuación que a las páginas Web genéricas (1 punto).

Una revista indexada de alto impacto exige una revisión anónima de los artículos por dos o tres revisores, exige unos estándares de calidad, rigor, originalidad y aportación efectiva muy elevados, y tiene un impacto que se mide regularmente. Por ello, a esta categoría se le añaden 2 puntos más el 50% del impacto máximo de la revista medido en el último trimestre de 2018 en las listas de Incites Journal Citation Report o de Scopus. La consideración del 50% del impacto responde al hecho de que éste corresponde a la revista y no al artículo (Brito and Rodríguez-Navarro 2018).

Una tesis doctoral no sólo requiere un trabajo estructurado, tutelado y aprobado, sino que muchas universidades, como, por ejemplo, la Universidad Politécnica de Madrid, exigen la garantía adicional de haber realizado publicaciones en revistas de alto impacto, congresos y otras aportaciones. Por ello se le añaden 4 puntos.

Hay páginas Web cuyo contenido está gestionado por una universidad o una institución de prestigio. En muchas ocasiones, además, es la propia entidad la que firma el trabajo publicado. En estos casos se le añade 1 punto.

Los posibles pesos resultantes se resumen en la Figura 3.10.

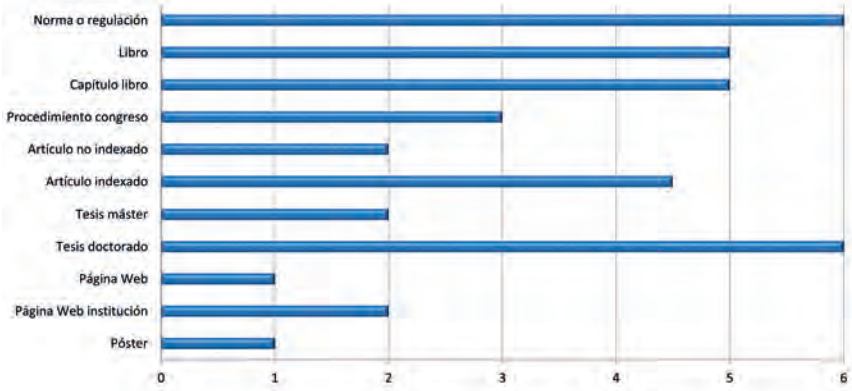

Figura 3.10. Puntuación máxima de los tipos de publicación

3.4.1.2. Ponderación según la fecha de publicación

La novedad y la actualidad son cualidades positivas y se ha considerado la aplicación de un peso adicional de +0,5 a los trabajos publicados después de 2009.

Se ha descartado la posibilidad de penalizar los trabajos más antiguos pues si, en determinados artículos, su antigüedad puede conllevar algún tipo de obsolescencia (en función de la materia abordada), en la normativa vigente y en otras publicaciones, particularmente en los libros, los hallazgos y conclusiones pueden seguir siendo tan vigentes como cuando se publicaron, sobre todo en trabajos matemáticos.

3.4.1.3. Ponderación por ceñirse a un país específico

Algunos de los trabajos analizados están centrados en las condiciones y experiencias de un país concreto, lo cual, en algunos casos, puede ser causa de que las premisas o las conclusiones sean menos aplicables en otros países. Por ese motivo, a estas publicaciones se les aplica una reducción mediante un peso de -0,5.

3.4.1.4. Ponderación por ceñirse a una actividad específica

Algunos de los trabajos analizados están orientados a una actividad específica o a una especialidad para la cual buscan y aportan una solución (por ejemplo, «inundaciones en zonas urbanas» o «minas de carbón»). Estos trabajos, aunque sin duda son valiosos, pueden resultar menos aplicables en otros campos y, por ese motivo se les aplica una reducción mediante un peso de -0,5.

3.4.1.5. Ponderación final

El resultado de aplicar todos los coeficientes de ponderación anteriormente explicados proporciona una ponderación final para cada una de las publicaciones contempladas en la literatura consultada. La composición de la ponderación total se logra mediante la suma de todos los componentes definidos.

Su distribución temporal se recoge en la Figura 3.11, en la cual se muestra el histograma correspondiente al número de referencias (recuento) y a la suma de los valores ponderados de las referencias correspondientes a cada año.

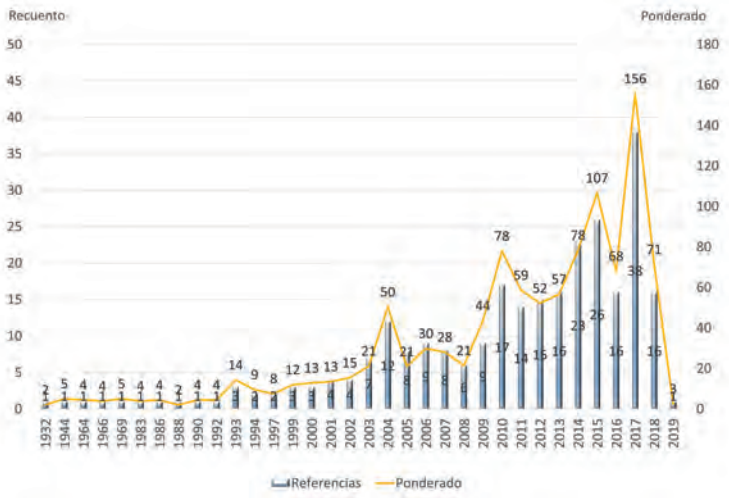

Figura 3.11. Distribución temporal del número de referencias y valores ponderados

Estos coeficientes se van a utilizar para valorar la relevancia relativa de los resultados de búsqueda de diversos conceptos en la literatura consultada. Para el total de las 272 referencias consideradas el máximo número de referencias que recogen un mismo concepto es 220 y su recuento ponderado 857. Se define el índice de importancia relativa (IIR) como el cociente entre la suma ponderada de los documentos que recogen un concepto de búsqueda dado y el máximo 857, expresado en porcentaje. El máximo, 100%, corresponde al concepto de «toma de decisiones».

3.5. Actitud ante el riesgo

Como se ha dicho anteriormente, el riesgo está asociado a la incertidumbre y condiciona la consecución de objetivos y la toma de decisiones. En ausencia de indicadores cuantitativos automáticos, las actitudes personales, con toda su subjetividad, prejuicios, sesgos, intereses y limitaciones, desempeñan un papel fundamental, que no es posible ignorar.

3.5.1. Subjetividad

La información disponible para su valoración es parcial y subjetiva (Al- Bahar and Crandall 1990; Vilajoana-Alejandre and Rom-Rodríguez 2017) y las personas que deben procesarla tienen su propia visión resultado de su experiencia y su actitud personal ante el riesgo. Además, influyen la cultura de la empresa (Liu et al. 2015), las presiones internas, los intereses personales o estratégicos, la ingente cantidad de información y el reducido tiempo disponible (Hillson and Murray-Webster 2004; Ingram and Thompson 2012).

La importancia de la subjetividad es tal que, en la literatura consultada, la mitad de los documentos la citan como un problema, con un índice de importancia relativa IIR del 64%. Sin embargo, la práctica tradicional de la gestión de los riesgos y de la toma de decisiones ha ido ligada a la intuición y a la improvisación. Muchos directivos defienden hoy en día una toma de decisiones basada en su experiencia e intuición (según se ha constatado en las entrevistas), y todavía muchas empresas determinan la contingencia en los proyectos que acometen asignando una cantidad en forma de un porcentaje basado en experiencias pasadas y en la intuición (Beeston 1986; Creedy et al. 2010; Panthi et al. 2009; Xie et al. 2012). Sin embargo, se ha demostrado que hay una disociación entre las experiencias negativas y la percepción del riesgo (De-Frutos-Torres and Marcos-Santos 2017).

La subjetividad altera el juicio debido a fallos durante el proceso cognitivo y a motivaciones que hacen preferible un resultado a otro; los métodos de análisis de decisiones y de riesgos ayudan a mejorar este juicio y la toma de decisiones (Montibeller and von Winterfeldt 2015). La discretización pormenorizada de los riesgos resta importancia a cada evaluación individual y garantiza un resultado de conjunto más preciso y fiable (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004).

3.5.2. Aversión al riesgo

Un riesgo surge asociado a una oportunidad. La consecución de un objetivo entraña siempre un riesgo pues, de otro modo, todos podrían alcanzarlo y ya no sería una oportunidad. Este planteamiento da origen a las teorías de la utilidad esperada y de aversión al riesgo (Chicaíza et al. 2011; Levin 2006; Universidad Autónoma de Madrid 2013).

El valor esperado de un evento sujeto a incertidumbre es el producto de la utilidad u que se puede obtener por la probabilidad *p* de que ello suceda (Rubbini 2005; Schuyler 2001). Por ejemplo, si la utilidad es 1.000 y la probabilidad es 50%, el valor esperado o esperanza matemática sería 500.

Un jugador podría plantear tres diferentes actitudes ante un juego como el del ejemplo (Han et al. 2005; Raftery 1994): el jugador reacio o adverso al juego podría aceptar sólo 300 y renunciar al juego; el jugador propenso al juego podría no aceptar 600 y preferir el juego; el jugador neutro vería equivalentes las alternativas de jugar o de aceptar 500 y evitar el juego.

Estas actitudes son fruto de las diferentes personalidades y no de diferentes percepciones de una misma realidad que, en este caso, es objetiva.

La aversión al riesgo ha sido abordada por muchos autores (Chicaíza et al. 2011; Kranton 2005; Sarmiento and Vélez 2007; Torres 2015) siguiendo la formulación inicial de Pratt y Arrow (Pratt 1964) que define la aversión absoluta al riesgo A(x) para una función de utilidad u(x), donde x simboliza la cantidad objetiva del bien recibido:

$$A(x) = \frac{-u''(x)}{u'(x)} \qquad [3\text{-}1]$$

Comparando dos actitudes distintas A_1 (x) y A_2 (x), la segunda es más adversa al riesgo para una cantidad de bien recibido x cuando se cumpla que A_1 (x) < A_2 (x).

Se pueden mostrar gráficamente las tres actitudes anteriores analizando la utilidad marginal, que será decreciente para el reacio, creciente para el propenso y constante para el neutro (Figura 3.12).

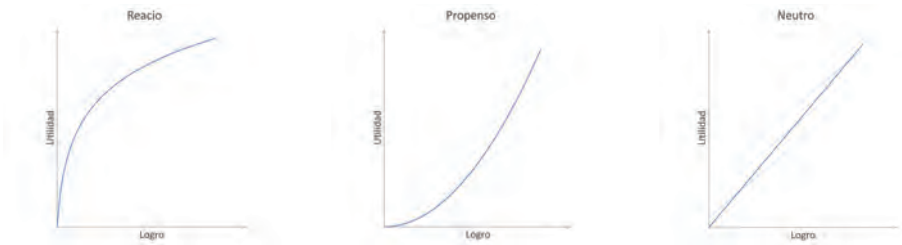

Figura 3.12. Utilidad marginal en función de la actitud

Si se toma como función de utilidad el producto del impacto del riesgo *i* por su probabilidad *p,* NPR, expresado respecto al valor del impacto *i,* para el caso particular en que la probabilidad sea el impacto dividido por 100 ($p = i/100$), se podría calcular su primera y su segunda derivada y obtener su función de aversión absoluta (fórmulas 1 y 2 en Fórmulas 3.5.2 Aversión al riesgo).

En el apartado 6.1.5.6 «Aversión al riesgo» se retoma esta idea para comparar la aversión al riesgo del NPR con la del nuevo indicador propuesto.

3.5.3. Apetito de riesgo

El «apetito de riesgo» (del inglés, *«Risk apetite»),* que también hubiera podido ser traducido como «apetencia de riesgo», es el «grado de incertidumbre que una entidad está dispuesta a aceptar, con miras a una recompensa» (Project Management Institute 2017a). La norma ISO 73:2009 lo define como «cantidad y tipo de riesgo que una organización está dispuesta a perseguir o a retener» (ISO 2009a).

La relación entre la estrategia de las empresas y su apetito de riesgo es evidente. Sin embargo, en la práctica, la definición del apetito de riesgo es difícil y pocas logran hacerlo, limitándose a definir las llamadas «líneas rojas» (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad 2019), que constituyen límites conceptuales para el riesgo que la empresa está dispuesta a asumir (por ejemplo, un flujo de caja negativo, un proveedor o subcontratista que figure en listas oficiales de sanciones financieras y comerciales o la carencia del derecho de rescisión del contrato en caso de impago).

El número de líneas rojas definidas en las empresas entrevistadas es muy reducido, no más de 10 o 20. Por definición son excluyentes, lo cual significa descartar cualquier posible recompensa que conlleven esos riesgos y renunciar al proyecto u operación. Esta visión resulta ciertamente limitada porque la mayor parte de los proyectos comportan riesgos que, no rebasando las líneas rojas definidas, tienen un nivel de incertidumbre y de posible pérdida económica que hay que valorar y comparar con la expectativa del beneficio esperado.

En varias reuniones mantenidas en Londres con empresas de diversos sectores se destacó que es fundamental que la toma de decisiones esté alineada con el apetito de riesgo, y que el riesgo finalmente aceptado no debe ser inferior al que la empresa está dispuesta a aceptar para lograr sus objetivos, pero tampoco superior al máximo que es capaz de soportar sin comprometer su estabilidad (CEB Risk Management Leadership Council 2015). Esto exige definir el apetito de riesgo de una manera clara y comprensible, y comunicarlo a la organización para asegurar que las operaciones estén en coherencia con la estrategia de riesgo definida, de modo que, en cada caso, se pueda comprobar si la situación está o no dentro del margen aceptable.

La dificultad, sin embargo, radica en que una definición efectiva del apetito de riesgo necesita usar indicadores cuantitativos (Everson et al. 2017), tanto para los riesgos

individuales como para el riesgo global del proyecto u operación considerada. Los indicadores cuantitativos hacen posible una comparación inmediata, y en ausencia de ellos sólo es posible hacer indicaciones que están sujetas tanto a su interpretación como a la valoración cualitativa subjetiva de cada situación.

3.6. Teorema del Límite Central

El teorema del Límite Central establece que la suma de un gran número de funciones de distribución independientes da como resultado una distribución que se aproxima a una de tipo Normal, con independencia del tipo de función de distribución de densidad de los sumandos, siempre y cuando ninguna de ellas contribuya de forma significativa al total (Diekmann 1983; Raftery 1994; Schuyler 2001).

Las condiciones que impone este teorema son varias: 1, debe haber un número suficientemente elevado de sumandos; 2, no puede haber una interdependencia o correlación entre las funciones de distribución de los sumandos; 3, ninguno de los sumandos debe contribuir singularmente al total de la suma.

Teniendo en cuenta este teorema se puede hacer uso de la regla de la utilidad esperada de Neumann y Morgenstern (Neumann and Morgenstern 1944) para obtener la utilidad total de una serie de sucesos independientes como suma de sus distribuciones de utilidad y considerar que este resultado será una distribución normal (Goodpasture 2004).

La aplicación práctica de estos postulados en el análisis de riesgos es calcular el riesgo total como la suma de los valores esperados para todos los riesgos, esto es, la suma de los productos del impacto i por la probabilidad p para cada riesgo (SPIP), pudiendo ser el impacto un valor según una escala de Likert o un coste (Project Management Institute 2013). Matemáticamente puede escribirse el sumatorio descrito como:

$$SPIP = \sum_1^n (i \times p) \qquad [3\text{-}2]$$

La suma SPIP es el valor medio de una distribución que es aproximadamente Normal cuando hay un número *n* de eventos independientes suficientemente grande y ninguno predomina significativamente. El incumplimiento de las premisas indicadas anteriormente invalidaría este significado. El uso de ponderaciones no modifica lo expuesto.

3.7. Aspectos que condicionan el valor esperado

El valor esperado para un riesgo es el producto del valor del impacto si ocurre por la probabilidad de que suceda (Alonso 2005; Borysiewicz et al. 2015; Hollmann 2009; Meli 1999; Métayer and Hirsch 2008; Raftery 1994; Taleb 2010). Este valor es el anteriormente definido número de prioridad del riesgo NPR (ISO, 2009b).

El valor esperado EV para un conjunto de riesgos correspondiente a un proyecto o a un escenario de riesgo corporativo viene dado por la ecuación [3-4], y corresponde a la suma SPIP (Barraza 2011; Barraza and Bueno 2007; Goodpasture 2004; Liu et al. 2013; Molenaar 2005; Nassar 2002; Raftery 1994; Schuyler 2001).

La práctica habitual de la gestión de riesgos en las empresas ha incorporado los enfoques anteriores hasta el punto de que se han convertido en un estándar, como se ha explicado anteriormente. Sin embargo, no siempre se tienen en cuenta los condicionantes que aplican a los valores NPR y SPIP ni el hecho de usar de forma estática o determinista valores cuya génesis es probabilística (se usa en adelante el término «determinista» para referirse al uso de un valor determinado por una fórmula sin tener en cuenta aspectos aleatorios).

Para obtener una mejor perspectiva acerca de estas cuestiones, en los próximos apartados se analizan algunos aspectos relevantes y tipologías comunes observados en los escenarios de riesgo habituales que son determinantes para la obtención de las conclusiones presentadas.

3.7.1. Número de riesgos identificados

Un mapa de riesgos puede definir hasta 500 riesgos (Meulbroek 2002; Timurlenk and Kaptan 2012; Zacharias et al. 2008). Una descomposición del mapa de riesgo en matrices, con hasta 12 matrices que podrían constar de una media de 7 capítulos definiendo 44 riesgos de media en cada matriz, arrojaría un total de 528 riesgos (Jayasudha and Vidivelli 2016; Renault and Agumba 2016; Vegas-Fernández 2017b).

El máximo número de riesgos que se ha encontrado durante las entrevistas mantenidas con empresas ha sido de 500 en plataformas petrolíferas situadas en el mar, pero el número de riesgos habitual NER es mucho menor, con valores entre 10 y 100 (Banaitiene 2012; Cioffi and Khamooshi 2009; Molenaar 2005; Nassar 2002; Nomura 2003; Polat 2012; Thal Jr et al. 2010) o, incluso, de sólo 4 (Liu et al. 2015). En algunas empresas de sectores tan diferentes como la tecnología informática, educación, tecnología médica y servicios financieros, se ha comprobado que gestionan una media de 20 riesgos (entre 5 y 25).

Cuando se intenta valorar económicamente los riesgos identificados, el número de riesgos que finalmente se considera es bastante menor. Ello es debido, por un lado, a la dificultad de valorar económicamente las consecuencias de que suceda un riesgo (típicamente en riesgos de reputación, pero también, muchas veces, en riesgos técnicos); por otro lado, hay un cierto convencimiento, sobre todo en las empresas de construcción, de que el número de riesgos que realmente deciden el resultado del proyecto es, incluso, menor que 10. En las empresas constructoras, por ejemplo, el número de riesgos habitual no excede de 100 y la media es 50.

Este número reducido de riesgos parece distanciar los escenarios habituales de la situación de «un gran número riesgos» que requería la aplicabilidad del teorema del

Límite Central. En el apartado 4.2 «Método de resumen SPIP» se estudian en profundidad las posibles consecuencias.

3.7.2. Enfoque probabilístico

Un riesgo con un impacto de 100 y una probabilidad del 50% se consideraría tradicionalmente como un riesgo de valor 50, porque el valor esperado para él es 0 x 0,5 + 100 x 0,5 = 50 (Goodpasture 2004). Sin embargo, este valor es más una referencia para propósitos de ordenación y filtrado que un valor cuantitativo (Project Management Institute 2017b), y sólo debería contemplarse en el contexto de un gran número de transacciones iguales (Raftery 1994). Los únicos resultados realmente posibles en este ejemplo son 0 y 100. La probabilidad de sobrepasar el valor esperado en este caso es del 50%, y el coste real del riesgo podría ser 100, el doble del esperado.

Mediante un ejemplo se va a explicar más detalladamente esta aparente paradoja. Se considera para ello un proyecto con dos riesgos independientes, A y B, teniendo ambos un mismo impacto de 100 y una probabilidad del 50%. El cálculo SPIP propondría un valor esperado determinista EV de 100 *(= 100 x 50% + 100 x 50%)*. Los posibles valores, en función de que sucedan o no estos riesgos, se detallan en la Tabla 3.5:

Riesgo esperado EV	Posibilidades		Impacto suceso	Probabilidad suceso	Probabilidad acumulada
	Riesgo A	Riesgo B			
100	sí	sí	200	25%	100%
	sí	no	100	25%	75%
	no	sí	100	25%	50%
	no	no	0	25%	25%

Tabla 3.5. Sucesos posibles con 2 eventos de riesgo

Los posibles sucesos son igualmente probables y se han ordenado según su impacto total, en orden descendente. La probabilidad acumulada se obtiene de abajo arriba según el orden creciente del impacto de cada posible suceso, sumando las probabilidades individuales de cada suceso, que se suponen independientes. Puede comprobarse que hay una probabilidad del 25% de sobrepasar el valor esperado EV y obtener un impacto de 200, el doble que el esperado. La notación EV y SPIP alude a un mismo valor y su diferencia es sólo semántica.

3.7.3. Correlación

Los eventos de riesgo no siempre son independientes como exige la aplicabilidad del teorema del Límite Central, y, frecuentemente, hay algún tipo de interacción o correla-

ción entre ellos (Baccarini and Love 2014; Dikmen et al. 2006; Gandhi et al. 2012; Mikes 2009; NASA 2011; Virine 2013; Zabel et al. 2015). Pese a la importancia de este hecho, la dificultad para estimar las correlaciones reales e introducirlas en un modelo de cálculo ha determinado que, frecuentemente, sea un aspecto olvidado, tanto en la literatura académica como en las empresas (Dikmen et al. 2004; Rezaie et al. 2007; Taroun 2014). Pese a todo, en la literatura consultada este aspecto alcanza un índice IIR del 32%.

La correlación entre dos riesgos puede definirse mediante un coeficiente de 0 a +1 cuando es positiva, y de 0 a -1 cuando es negativa (Salah and Moselhi 2015; Steinberg et al. 2004b; Touran and Wiser 1992), pero su cálculo requeriría un análisis profundo de la situación, un modelo predictivo o el uso de datos históricos para poder hacer un análisis estadístico.

La correlación puede afectar a varios eventos de riesgo, de modo que, en el conjunto de un escenario de riesgo, cabría expresar que hay un alto o bajo nivel o grado de correlación en función de que la correlación afecte a más o menos riesgos y de que los coeficientes sean más o menos elevados (Konduru et al. 2018).

El efecto de la correlación es muy influyente cuando se estima el riesgo total. Sin embargo, aunque altera el resultado de la suma probabilística, puede dejar inalterado el valor SPIP. Para comprobarlo, se aplica una correlación de +1 al ejemplo tratado en el apartado anterior:

Riesgo esperado EV	Posibilidades		Impacto suceso	Probabilidad suceso	Probabilidad acumulada
	Riesgo A	Riesgo B			
100	sí	sí	200	50%	100%
	no	no	0	50%	50%

Tabla 3.6. Sucesos posibles con 2 eventos de riesgo y correlación +1

Puede verse que, al aplicar la correlación, sólo hay dos posibles sucesos y que el riesgo esperado sigue siendo 100 (correspondiente a la media de los sucesos), pero ahora la probabilidad de sobrepasar el valor EV es del 50% en lugar del 25%. En el apartado 4.2 «Método de resumen SPIP» se profundiza en este aspecto utilizando modelos aleatorios a los que se aplica la simulación de Monte Carlo.

3.7.4. Efecto Pareto

El principio de Pareto, también conocido como la regla del 20/80, establece que, de forma general y para un amplio número de elementos integrantes de un grupo, aproximadamente el 80% de las consecuencias proviene del 20% de los elementos. En un contexto de eventos de riesgo esto supone considerar aproximadamente que el 20% de los eventos tiene tanta importancia como el 80% restante.

La presunción de un escenario de riesgos homogéneo donde todos los riesgos contribuyen de una forma razonablemente parecida al resultado final, tal y como exige la aplicabilidad del teorema del Límite Central, no suele cumplirse. Si bien la literatura consultada no presta una gran importancia al efecto Pareto (el índice IIR es sólo 9%, y suelen tratarlo con otra finalidad), hay algunos trabajos que sí lo consideran (Bello and Odusami 2008; Ergin 2005; Neumann and Morgenstern 1944) y los profesionales entrevistados tienden a pensar que el número de riesgos que realmente deciden el resultado del proyecto es una pequeña parte del total. En el CAPÍTULO 8 «CASOS DE ESTUDIO» se comprueba la presencia efectiva de este efecto en los proyectos reales.

Su influencia, al igual que ocurre con la correlación, altera el resultado de la suma probabilística, aunque el valor determinista SPIP no se altera.

Para comprobarlo se va a utilizar el ejemplo del apartado 3.7.2 «Enfoque probabilístico» modificando el coste de los eventos de riesgo, de modo que el impacto del riesgo A pasa a ser 198 y el impacto del riesgo B pasa a ser 2, manteniéndose en ambos una probabilidad del 50%. El valor esperado EV sigue siendo 100, esto es, 198 x 50% + 2 x 50%. Los sucesos posibles, sin considerar correlación entre los eventos, son:

Riesgo esperado EV	Posibilidades		Impacto suceso	Probabilidad suceso	Probabilidad acumulada
	Riesgo A	Riesgo B			
100	sí	sí	200	25%	100%
	sí	no	198	25%	75%
	no	sí	2	25%	50%
	no	no	0	25%	25%

Tabla 3.7. Sucesos posibles en escenario con 2 eventos de riesgo con efecto Pareto

Aunque el valor determinista no se ha alterado, ahora hay una probabilidad del 50% de superarlo, y el percentil 75 es 198 cuando en el escenario original era sólo 100, lo cual indica un claro empeoramiento de la situación.

Este sencillo ejemplo demuestra que el cálculo SPIP no tiene en cuenta la distribución probabilística de los posibles valores esperados para los eventos (el impacto esperado *i* x *p*), y únicamente considera su media, como se comprueba en la Tabla 3.8.

Propiedad	Original sin Pareto	Con Pareto
EV	100	100
Media	50	50
Desviación típica	0	69

Tabla 3.8. Comparativa de escenarios con 2 eventos de riesgo al aplicar el efecto Pareto

3.7.5. Nivel de confianza

La gestión de la incertidumbre o ausencia de certeza es un reto que preocupa a las empresas y que mueve a muchos investigadores a buscar soluciones (el índice IIR es 65%), y es consustancial al análisis de riesgos.

Una de las técnicas probabilísticas más populares es la simulación de Monte Carlo, y para su utilización es imprescindible la definición del nivel de confianza o percentil para el cual se van a escoger los resultados. En los ejemplos anteriores se podía ver cómo la elección del percentil cambiaba dramáticamente el resultado final. Cuando en apartados posteriores se muestren distribuciones probabilísticas se verá claramente que variaciones en la distribución de los valores esperados que mantienen el valor de la media, pueden alterar sustancialmente el valor de los percentiles altos.

Desde un punto de vista más práctico, la elección del nivel de confianza define el porcentaje de error que se está dispuesto a admitir. Una definición de la contingencia para un proyecto, por ejemplo, con un nivel de confianza del 50%, aunque presupone un valor medio, significa que 1 de cada 2 veces será insuficiente (desbordamiento del 50%). Esta consideración llevaría a incrementar sustancialmente el nivel de confianza, pero esta decisión significaría aumentar también significativamente el valor a considerar, lo cual puede ir en contra de los intereses estratégicos concretos ligados al caso (por ejemplo, en una oferta).

El estudio de la literatura consultada (IIR 16%) propone o usa niveles de confianza comprendidos entre el 80% y el 99%, con un valor medio de 93%, correspondiendo los valores más altos a los sectores de biomedicina y financiero (Álvarez 2001; Mikulecky 2004; Šimundić 2008; Xie et al. 2012). Descartando estos sectores, los niveles de confianza no superan el 95% y la media de todos los estudiados es el 92% (ANSI/ASIS/RIMS 2015; Baccarini 2005; Bakhshi and Touran 2012; Barraza 2011; CEB Risk Management Leadership Council 2013; Cioffi and Khamooshi 2009; Han et al. 2005; Lam and Siwingwa 2017; Lhee et al. 2012; De Marco et al. 2016b; Molenaar 2005; Salah and Moselhi 2015).

Considerando sólo los artículos destinados al sector de la construcción la media es el 90%, pero en algunas de las constructoras entrevistadas se ha observado que usan percentiles inferiores. Por ejemplo, dos de las mayores empresas constructoras españolas usan los percentiles 80 y 85, respectivamente.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto se ha optado por adoptar como percentil de referencia el valor 85 (para un nivel de confianza del 85%), con la seguridad de que, de esta forma, las conclusiones no podrán ser calificadas de alarmistas y serán suficientemente aproximadas.

Según se explicó en el apartado 1.3.3 «Alcance y limitaciones del estudio y los resultados» este nivel de confianza es insuficiente para sectores como el de biomedicina

o financiero, que deberán usar valores más altos. En cambio, puede resultar muy elevado para las aseguradoras, que, debido a su gran volumen, pueden trabajar con un nivel de confianza mucho más reducido, llegando incluso al 50% desde un punto de vista teórico.

3.8. Resumen del capítulo

En este capítulo se han presentado las prácticas de gestión de riesgos más habituales, así como las nuevas propuestas que parten desde la literatura académica, aunque las empresas suelen estar distanciadas de estas novedades, sobre todo cuando son técnicas sofisticadas cuya aplicación requiere mucho tiempo y un alto nivel de conocimientos.

Se han descrito las dificultades prácticas derivadas del uso del indicador NPR y del sistema SPIP de resumen de escenarios de riesgo detectadas a través del análisis realizado, así como la imposibilidad conocer el impacto y probabilidad correspondiente a un conjunto de riesgos, constatada tras la revisión de la literatura y las entrevistas con las empresas.

Se ha abordado en profundidad la práctica del uso de escalas, explicando sus limitaciones, y se ha planteado la diferencia entre las escalas de asignación y las de interpretación, analizando las consecuencias de confundir ambas.

Se ha presentado la colección de documentos que constituyen la literatura consultada, explicando el sistema utilizado para la ponderación de los resultados de búsqueda que proporciona una mejor valoración de la información obtenida de ella, y definiendo el índice IIR o índice de importancia relativa.

Se ha analizado la actitud ante el riesgo desde un punto de vista práctico y desde un punto de vista teórico, resaltando la importancia de la subjetividad y de la definición del apetito de riesgo, y revisando la teoría de aversión absoluta de Pratt y Arrow.

Se ha presentado la regla de utilidad esperada de Neumann y Morgenstern para comprender mejor el concepto de valor esperado para un conjunto de sucesos independientes.

Se ha presentado el teorema del Límite Central, base necesaria para la aplicación de la regla de utilidad esperada y del sistema SPIP, y sus requerimientos, que podrían no verse satisfechos en los proyectos y escenarios más comunes.

Se ha presentado el enfoque probabilístico del análisis de riesgos, frente al determinista tradicional, y se han analizado los factores que ejercen una influencia dominante en el resultado probabilístico, como son el número de eventos de riesgo NER, la correlación existente, el efecto Pareto y la elección del percentil para establecer el nivel de confianza.

A la vista de los resultados del análisis de estos factores se obtiene la conclusión de que los proyectos y escenarios de riesgo no suelen cumplir los requisitos que exige la aplicabilidad del teorema del Límite Central, lo cual compromete la fiabilidad del método SPIP, tanto para obtener el resumen del riesgo como para calcular del coste del riesgo de un escenario. No obstante, en capítulos posteriores se demostrará con proyectos reales la veracidad de esta conclusión.

4. INDICADOR NPR Y MÉTODO SPIP

En capítulos anteriores se han planteado dudas acerca de la idoneidad y las limitaciones del uso del indicador «Número de prioridad del riesgo» NPR como expresión del nivel de riesgo y del uso de la suma del NPR de los riesgos de un escenario, método SPIP, para resumir el nivel de riesgo del conjunto. Aunque en el apartado 3.2 «Dificultades básicas» se han presentado algunos de los inconvenientes, fundamentalmente desde un punto de vista práctico, la gran aceptación universal y uso de ambos exige su estudio en profundidad para concretar las dificultades y buscar posibles soluciones, de modo que se pueda lograr un dictamen concluyente sobre su idoneidad para la evaluación de riesgos. No se cuestiona en este estudio la precisión de las valoraciones del impacto y probabilidad que definen los eventos de riesgo, que se aceptan como dato de partida.

4.1. Número de prioridad del riesgo (NPR)

En este apartado se analiza el NPR, valor determinista del producto del impacto por la probabilidad. Es un indicador numérico cuantitativo (ANSI/ASIS/RIMS 2015; Carpio de los Pinos and González García 2017; Project Management Institute 2013) resultado de un análisis semicuantitativo del nivel de riesgo (ISO, 2009b), que resulta muy fácil de usar al ser un simple producto que da como resultado un número.

Para estudiar este indicador se usan en los ejemplos escalas de 0 a 100 para el impacto y de 0 a 100% para la probabilidad.

A lo largo del análisis se presta una atención destacada a los eventos de riesgos con igual impacto y probabilidad situados en la «diagonal» (definida anteriormente como la línea que une el punto del mapa de calor con mínimo impacto y probabilidad con el punto con máximo impacto y probabilidad). Ello es debido a que la experiencia con las empresas estudiadas ha demostrado que los evaluadores tienen una cierta propensión a igualar la valoración del impacto y la de la probabilidad (esto es, impacto bajo y probabilidad baja o impacto alto y probabilidad alta en lugar de impacto bajo y probabilidad alta o impacto alto y probabilidad baja). Además, el resultado de múltiples eventos de riesgo, cuando son independientes, tiende a igualar la media de los impactos y de las probabilidades, lo cual también ocurre cuando se consideran los riesgos de múltiples proyectos.

4.1.1. Análisis tridimensional

El indicador NPR es una función de 2 variables NPR *(i, p)* que admite una representación tridimensional cuya superficie se muestra en la Figura 4.1:

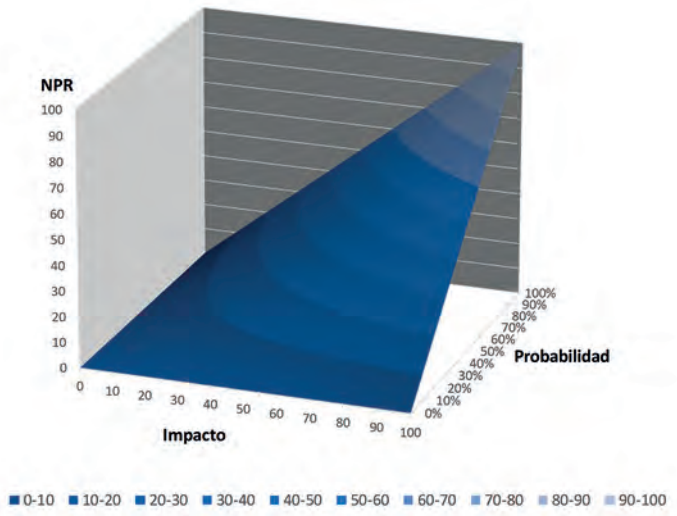

Figura 4.1. Representación 3D del NPR

Para examinar la superficie, se va a estudiar su intersección con los planos verticales de sus límites exteriores. Cortando primeramente con dos planos verticales según el eje p ($i = 0$) y el eje i ($p = 0$), respectivamente, se obtienen como intersección dos rectas situadas en el plano horizontal inferior y, por tanto, con un valor NPR=0 para todos sus puntos (Figura 4.2):

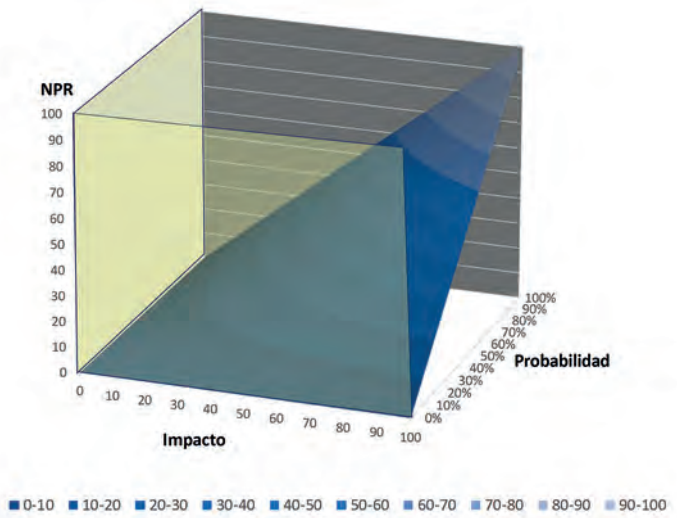

Figura 4.2. Superficie NPR cortada con planos verticales i=0, p=0

Las rectas de intersección son NPR *(0, p)* = 0, y NPR *(i, 0%)* = 0, lo cual era de esperar, dado que no hay riesgo cuando el impacto o la probabilidad son nulos.

Cortando la superficie con dos planos verticales cumpliendo *i* = 100 y p = 100%, respectivamente, se obtienen dos rectas en esos planos laterales, como muestra la Figura 4.3.

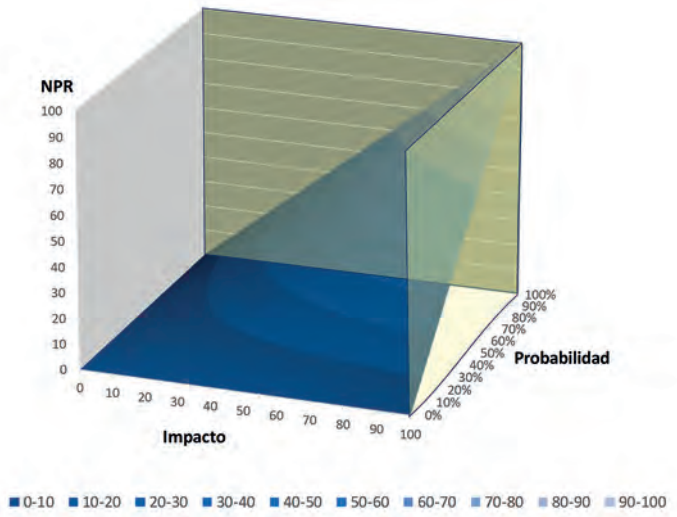

Figura 4.3. Superficie NPR cortada con planos verticales i=100, p=100%

Pueden formularse estas rectas haciendo *i* = 100 y obteniendo NPR *(100, p)* = 100 x *p*, y haciendo *p* = 100% y obteniendo NPR *(i, 100%)* = *i,* respectivamente.

Este comportamiento lineal de 0 a 100 es intuitivo fácil de comprender, pero corresponde a una situación muy extrema. Es fácil ver, sin embargo, que se cumple para cualquier plano vertical paralelo a los anteriores que su intersección con la superficie es una línea recta. Puede consultarse la formulación de estas intersecciones en las fórmulas 3 y 4 en el apartado «Fórmulas 4.1.1 Análisis tridimensional» del anexo 1 «Formulación matemática».

Este comportamiento lineal es adecuado e intuitivo, pero, en general, cuando se comparan dos eventos de riesgo, tanto sus impactos como sus probabilidades serán diferentes, es decir, variará tanto el impacto como la probabilidad.

Una aproximación para estudiar esta situación más normal podría ser cortar la superficie con un plano vertical según la «diagonal» (definida anteriormente como la línea que une el punto del mapa con mínimo impacto y probabilidad con el punto con máximo impacto y probabilidad), como muestra la Figura 4.4. En este caso la intersección ya no es una recta sino una curva parabólica. Puede consultarse la formulación de la intersección en la fórmula 5 del apartado «Fórmulas 4.1.1 Análisis tridimensional» del anexo 1 «Formulación matemática», que muestra una expresión exponencial.

Esta fórmula expresa la «percepción exponencial» de la variación de NPR en función del impacto al desplazarse por el centro del mapa de calor según la diagonal.

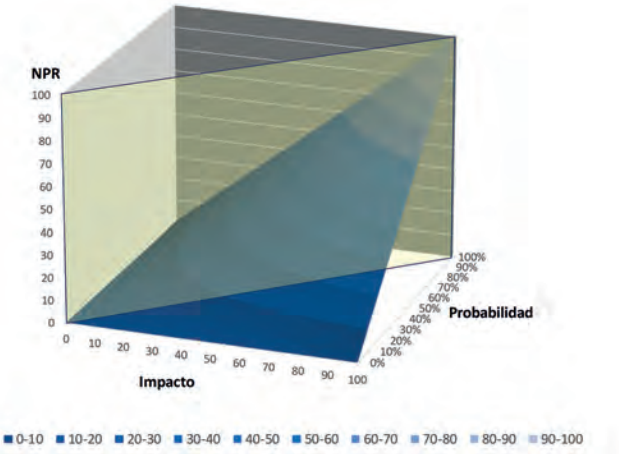

Figura 4.4. Superficie NPR cortada con un plano vertical según la diagonal

Desde el punto de vista matemático la solución es correcta, dado que al aumentar tanto el impacto como la probabilidad el resultado aumenta cuadráticamente, pero se verá posteriormente que ésta es la razón del aspecto más negativo del comportamiento de este indicador. Esta experiencia de aumento de NPR en función del impacto cuando el riesgo aumenta siguiendo la línea diagonal será llamada en adelante «percepción exponencial».

El estudio de las curvas de nivel de la intensidad de riesgo NPR, analizando su forma y su espaciamiento horizontal, se puede hacer cortando la superficie tridimensional del NPR con planos horizontales equidistantes (Figura 4 5) y proyectando el resultado sobre el plano horizontal inferior.

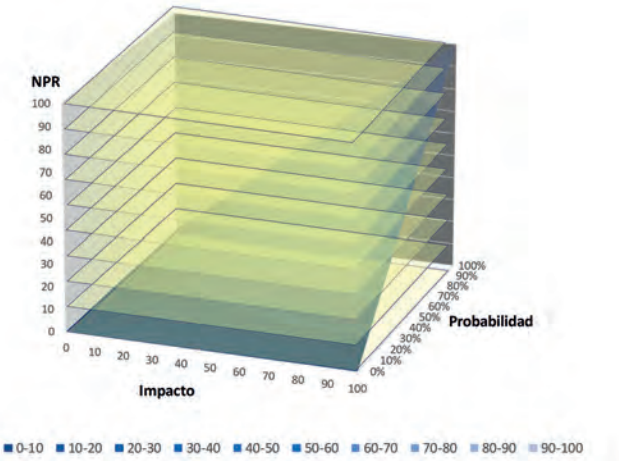

Figura 4.5. Superficie NPR cortada con planos horizontales equiespaciados

El resultado de esta proyección horizontal es una distribución de curvas en las que los puntos de cada una tienen un mismo NPR, que corresponde al valor NPR del plano horizontal con el que se ha obtenido la intersección. El dibujo de estas curvas en un mapa bidimensional, teniendo como ejes el impacto y la probabilidad, constituye las curvas de nivel de NPR en un «mapa de calor» o diagrama de Farmer.

4.1.2. Análisis bidimensional del NPR

La ecuación de las curvas resultantes de la proyección horizontal es:

$$p = NPR \times \frac{1}{i} \qquad [4.1]$$

Siendo i el impacto y p la probabilidad, lo cual define una ecuación hiperbólica.

Su dibujo en un diagrama de Farmer cumple con la tercera funcionalidad identificada en el apartado 3.1.1 «Visión general» (Figura 3.1, «Mapa de calor básico») relativa a hacer visibles en el gráfico los niveles de gravedad del riesgo, de modo que al situar los eventos de riesgo sobre el mapa, sea posible ver cuál es su nivel de riesgo (Figura 4.6).

El estudio funcional del comportamiento del indicador NPR resulta más sencillo utilizando este mapa de dos dimensiones que el anterior tridimensional, y se lleva a cabo a continuación para analizar sus fortalezas y debilidades.

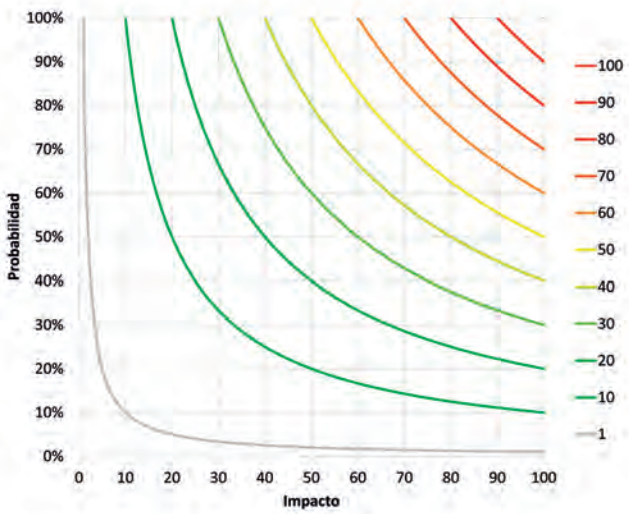

Figura 4.6. Curvas de nivel NPR

4.1.2.1. No lineal

El indicador NPR no tiene un comportamiento lineal, salvo cuando varía únicamente una de sus dos variables (el impacto o la probabilidad), lo que origina una «percepción exponencial» que resulta máxima a lo largo de la diagonal (ver fórmula [4-3]). En esas condiciones, el valor de NPR en función del impacto es:

i	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
NPR	0	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100

Tabla 4.1. Valores de NPR cuando $p = i / 100$

Cuando se conoce únicamente el valor de NPR, pero no el impacto y la probabilidad (es el caso, por ejemplo, de manejar sólo una lista ordenada de riesgos indicando su NPR), cabría considerar un evento de riesgo equivalente situado en la diagonal, con un impacto del producto de 10 por la raíz cuadrada de NPR. Por ejemplo, un valor NPR de 64 puede verse como un evento cuyo impacto es 80 y su probabilidad 80%.

Este aspecto constituye aparentemente una de las ventajas del NPR (aunque requiera el uso de una raíz cuadrada), pero es necesario recordar que, pese a verse como un indicador cuantitativo numérico, el producto del impacto por la probabilidad es, en realidad, un valor que sólo debería contemplarse en el contexto de un gran número de eventos iguales (Raftery 1994). El enfoque probabilístico explicado en el apartado 3.7.2 «Enfoque probabilístico» conduciría, como mínimo, a ver la probabilidad como una distribución de Bernoulli, y a considerar el producto como una distribución de probabilidad. El uso de NPR como valor estático determinista tiene sentido únicamente a título indicativo para labores de filtrado y ordenación de los eventos de riesgo (Goodpasture 2004) y, precisamente para esa labor, resulta una dificultad su comportamiento exponencial (Figura 4.7).

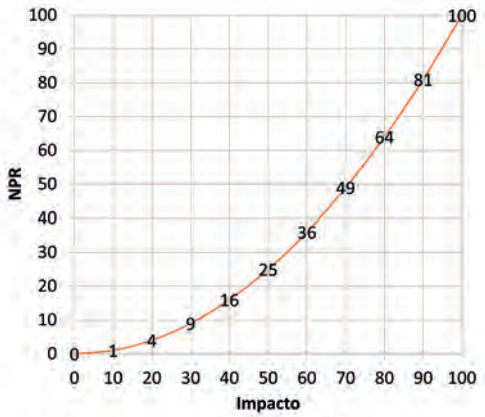

Figura 4.7. Variación de NPR con el impacto cuando $p = i / 100$

Un comportamiento lineal facilitaría una mejor comprensión del indicador (Ghazali et al. 2013; Siegler and Opfer 2003) y evitaría posibles errores y otros inconvenientes.

4.1.2.2. No intuitivo

El indicador NPR no resulta intuitivo. Esto significa que, siendo un indicador del nivel de riesgo, su valor debería «dar una idea» del nivel de riesgo y, sin embargo, la interpretación del significado de un valor como, por ejemplo, 50, podría resultar confusa e inducir a error.

Para comprender mejor lo anteriormente explicado, se utiliza un ejemplo real, el de una empresa en la que utilizan para definir el nivel de riesgo aceptable un indicador cuya génesis corresponde al NPR.

Según los parámetros definidos había 3 grupos de severidad de riesgo: A) 0–35 riesgo bajo; B) 35–55 riesgo medio; C) 55–100 riesgo alto. Consecuente con esa definición, la respuesta al riesgo era: A) aceptarlo; B) hacer un análisis justificativo; C) rechazarlo.

En la Figura 4.8 se representan gráficamente estos niveles de riesgo sombreando las áreas correspondientes a cada nivel con los colores verde, amarillo y rojo. Puede comprobarse que la zona de nivel bajo (color verde) abarca la mayor parte del diagrama de Farmer y que las zonas correspondientes a un riesgo medio o alto son muy reducidas. A la vista de la imagen, habría que suponer que el apetito de riesgo de esa empresa era muy alto o que quizá la interpretación que hacían del significado de los valores numéricos del NPR no fuera correcta.

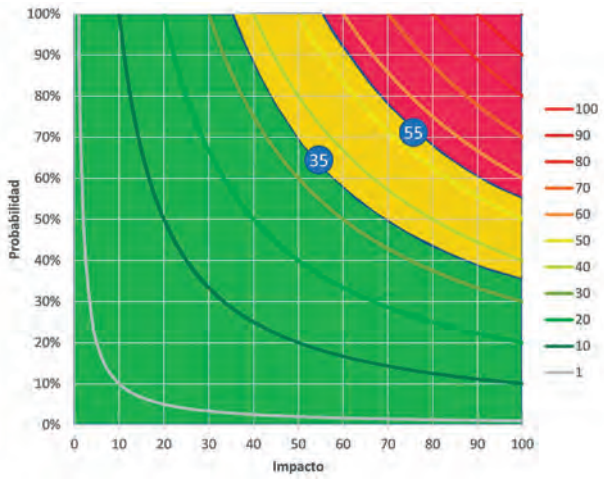

Figura 4.8. Definición gráfica de los niveles de riesgo

Como se ve en la figura, un NPR de 35 puede corresponder a un riesgo con impacto 60 y probabilidad 60% o, incluso, a un impacto de 90 con una probabilidad del 40%.

Las siguientes tablas ayudan a comprender mejor lo ya expuesto en cuanto a la falta de linealidad del NPR y su alejamiento de lo que la intuición pudiera anticipar. La primera tabla presenta una relación de valores NPR en sucesión lineal, y propone una posible asignación de severidad de riesgo de forma meramente intuitiva (Tabla 4.2).

NPR	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Severidad	Baja				Media				Alta		

Tabla 4.2. Percepción intuitiva típica del riesgo

Los colores indican 3 zonas de severidad del riesgo (0-30-70-100). La intuición plantearía que 50 es el doble de 25 y la mitad de 100, por ejemplo.

Sin embargo, teniendo en cuenta el significado del NPR y considerando, para simplificar, eventos de riesgo con igual impacto y probabilidad ($p = i / 100$), se puede comprobar que no es así, como muestra la Tabla 4.3.

NPR	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Impacto	0	32	45	55	63	71	77	84	89	95	100
Probabilidad	0%	32%	45%	55%	63%	71%	77%	84%	89%	95%	100%

Tabla 4.3. Asignación del nivel de riesgo según su impacto y probabilidad

Las zonas de severidad de riesgo 0-30-70-100 corresponden ahora a los valores de impacto y probabilidad. Esta definición del nivel de riesgo es mucho más realista, y su contraste con lo que el indicador NPR pudiera hacer pensar se comprueba sombreando en la Figura 4.7 las distintas zonas de riesgo, admitiendo las definiciones para la severidad del riesgo definidas en la tabla anterior. La Figura 4.9 muestra el resultado, donde pueden apreciarse las consecuencias de la falta de linealidad del NPR.

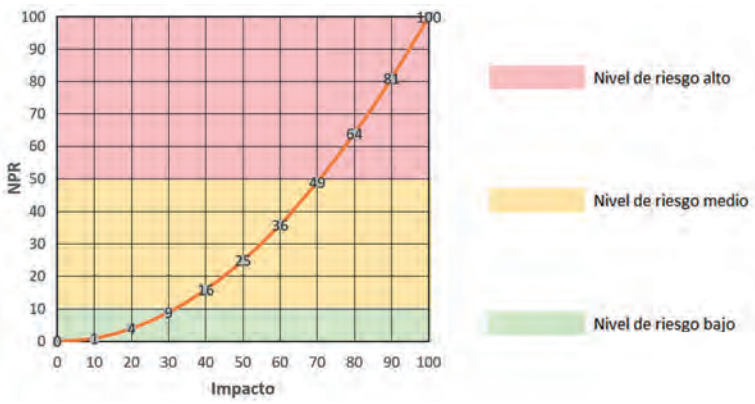

Figura 4.9. Definición gráfica de los niveles de riesgo en una escala NPR / impacto

4.1.2.3. Necesidad de uso de una tabla o gráfica

Según se ha visto anteriormente, el uso del NPR, al igual que ocurre con otros indicadores que se definen en base a una tabla (ver el apartado 3.1.1 «Visión general»), requiere para su comprensión y utilización disponer de una tabla o gráfico explicativo como la Figura 4.6. En dicho apartado y apartados posteriores se ha explicado la fuerte dependencia que hay entre la definición de escalas de asignación de impacto y probabilidad, el método o algoritmo de valoración del riesgo y la definición de los niveles de severidad. El indicador NPR aporta un cálculo automático de la valoración (el producto del impacto por la probabilidad), pero sigue siendo dependiente de una tabla o ayuda para comprender cuál es la severidad que representa su valor.

Las tablas y figuras anteriores son un ejemplo de ello, al igual que la figura 11.5 del PMBOK (Project Management Institute 2017a) o la clásica de COSO (Steinberg et al. 2004b) que es un ejemplo típico de definición de niveles de severidad, pero siempre en un marco teórico que prescinde de la forma concreta de poder hacerlo (Figura 4.10).

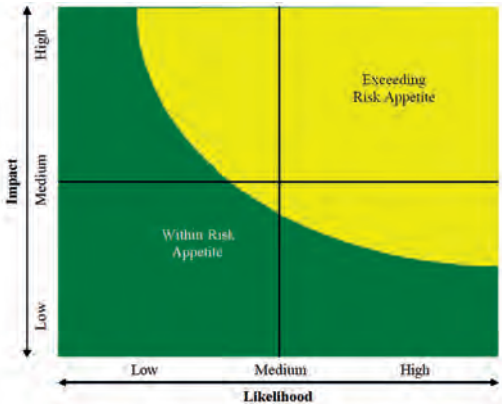

Figura 4.10. Ejemplo de definición gráfica de COSO de los niveles de riesgo

4.1.2.4. Mala cobertura del diagrama de Farmer

La Figura 4.6 «Curvas de nivel NPR» muestra claramente que en la mitad inferior izquierda del mapa de calor sólo hay 2 curvas de nivel: la de valor 10 y la de 20 (la de valor 1 se dibuja expresamente para resaltar el contraste de la falta de linealidad). Esto significa que, en esa zona (medio mapa), los valores de NPR son menores que 20. Las restantes curvas, de la 30 a la 100, quedan dentro de la otra mitad (superior derecha).

Como consecuencia, en la zona de menor riesgo, discretos cambios en la valoración del riesgo conducirán a cambios insignificantes en el valor NPR, por lo que este indicador es poco sensible, precisamente en la zona en la que debería serlo más porque se encuentran los riesgos admisibles (los eventos de riesgo situados en la otra mitad son más propicios a exceder el apetito de riesgo y quedar fuera del área de riesgo admisible).

Las curvas están claramente separadas en la mitad inferior izquierda y cada vez más juntas en la otra mitad. Ello es consecuencia del comportamiento exponencial (la «percepción exponencial» citada en el apartado 4.1.1 «Análisis tridimensional») y contribuye a ocasionar una cierta incomodidad en el uso de estas curvas de nivel, forzando su dependencia de la visualización directa de una gráfica que represente una definición de las mismas.

4.1.2.5. Mal comportamiento en la combinación de riesgos

Considerando el objetivo de lograr resumir un escenario de eventos de riesgo mediante un único evento equivalente con su propio impacto y probabilidad, se va a examinar el comportamiento del indicador de riesgo NPR comenzando con escenarios simples. Para ello se consideran 2 eventos de riesgo E_1 y E_2 en 4 situaciones paradigmáticas distintas según estén alineados con la diagonal del mapa de calor, en una paralela a ella o en una perpendicular.

En cada uno de los casos analizados se obtiene la media NPR_m de sus valores NPR y se compara con el NPR que se obtendría a partir del impacto y probabilidad medios I_m y P_m obtenidos en cada caso a partir de los impactos y probabilidades individuales.

A) Eventos alineados con la diagonal

Se consideran los valores NPR 80 y 10. Considerando una media aritmética, el valor medio esperable es (80 + 10) / 2 = 45. Sus impactos y probabilidades serán, respectivamente, $I_1 = 89$, $P_1 = 89\%$, $I_2 = 32$ y $P_2 = 32\%$ (Figura 4.11).

Sin embargo, los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 61$ y $P_m = 61\%$, a los cuales correspondería un NPR de $37 \neq 45$.

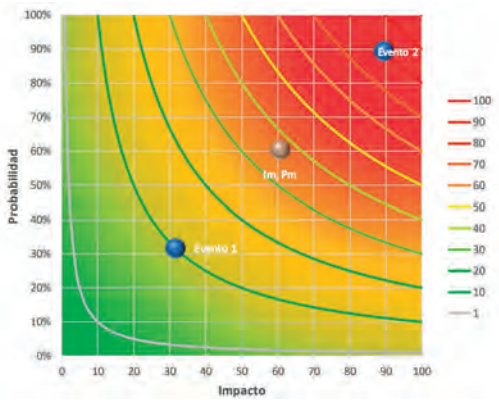

Figura 4.11. Ejemplo con eventos sobre la diagonal

B) Eventos alineados paralelamente a la diagonal

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 32$, $P_1 = 10\%$, $I_2 = 80$ y $P_2 = 30\%$, cuyos NPR son $NPR_1 = 3$ y $NPR_2 = 24$, siendo su media $NPR_m = 14$ (Figura 4.12).

Sin embargo, los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 56$ y $P_m = 20\%$, a los cuales correspondería un NPR de $11 \neq 14$.

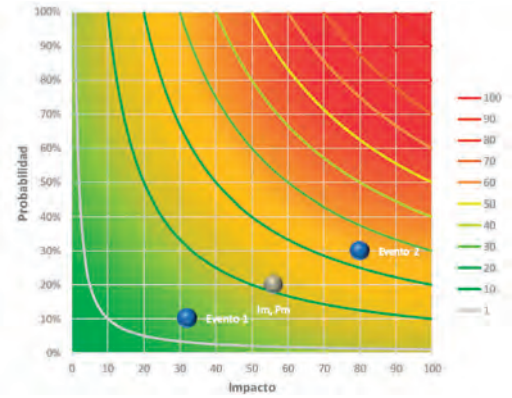

Figura 4.12. Ejemplo con puntos paralelos a la diagonal

C) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 60$, $P_1 = 30\%$, $I_2 = 90$ y $P_2 = 10\%$, cuyos NPR son $NPR_1 = 18$ y $NPR_2 = 9$, siendo su media $NPR_m = 14$ (Figura 4.13).

Sin embargo, los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 75$ y $P_m = 20\%$, a los cuales correspondería un NPR de $15 \approx 14$.

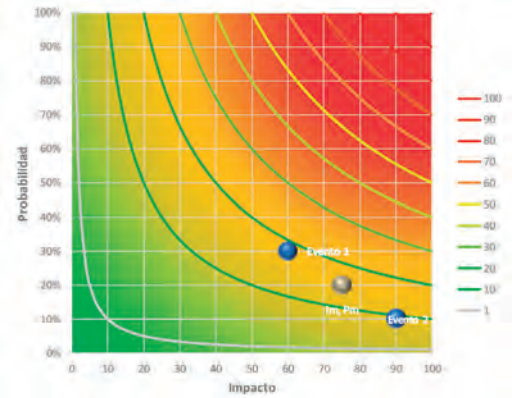

Figura 4.13. Ejemplo con puntos perpendiculares a la diagonal

D) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal y a ambos lados de ella

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 20$, $P_1 = 80\%$, $I_2 = 60$ y $P_2 = 30\%$, cuyos NPR son $NPR_1 = 16$ y $NPR_2 = 18$, siendo su media $NPR_m = 17$ (Figura 4.14).

Sin embargo, los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 40$ y $P_m = 55\%$, a los cuales correspondería un NPR de $22 \neq 17$.

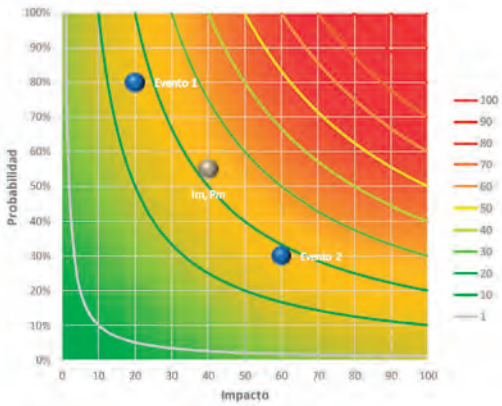

Figura 4.14. Ejemplo con puntos perpendiculares a la diagonal a ambos lados de ella

Los resultados de estos ejemplos tan simples (A, B, C y D) no son satisfactorios y evidencian, por un lado, que el indicador NPR no es muy adecuado para poder calcular resúmenes, debido a su carácter «exponencial», y, por otro, que el cálculo de la media aritmética de los impactos y probabilidades podría no ser un buen método para intentar resumir un escenario.

Se han realizado pruebas adicionales con estos mismos ejemplos obteniendo medias ponderadas. Se ha usado como factor de ponderación la probabilidad para el impacto, el impacto para la probabilidad y NPR para sí mismo. También se ha probado a usar como único factor de ponderación el NPR. Los resultados mejoran ligeramente, pero distan de ser satisfactorios.

4.1.3. Indicador alternativo raíz de NPR

En una de las empresas estudiadas se ha encontrado una variante del indicador NPR que es su raíz cuadrada, que se llamará en adelante NPR_{mod}. Cuando la probabilidad *p* se formula como un valor < 1, siendo i el impacto, se obtiene NPR_{mod} como la raíz cuadrada de *i* x *p*:

$$NPR_{mod} = 10 \times \sqrt{i \times p} \qquad [4\text{-}2]$$

Se analizan a continuación sus ventajas e inconvenientes.

Su superficie tridimensional cortada con un plano vertical según la diagonal genera una línea recta, a diferencia de lo que ocurría con el NPR. La representación de las líneas de nivel en un diagrama de Farmer presenta curvas equiespaciadas a lo largo de la diagonal y con una propiedad muy interesante: sus valores coinciden con los de las coordenadas de los puntos en los que están sus vértices. Así, por ejemplo, la curva de nivel 30 pasa por el punto de impacto 30 y probabilidad 30%.

Este indicador mantiene algunas de las propiedades del NPR, como son la simetría y el formato hiperbólico de las curvas, y pierde el carácter exponencial, lo cual le confiere la deseada propiedad de linealidad. Sin embargo, surgen otros inconvenientes que se intuyen al contemplar la superficie tridimensional y estudiar sus curvas de nivel en la Figura 4.15.

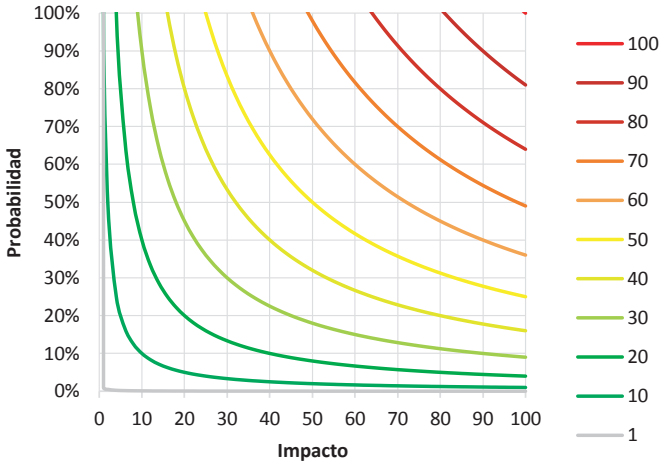

Figura 4.15. Curvas de nivel NPR_{mod}

En los extremos inferior derecho y superior izquierdo de la figura (correspondientes a un impacto máximo con muy baja probabilidad, y a un impacto mínimo con muy alta probabilidad, respectivamente) se observa una concentración de las curvas de nivel; se produce un rápido crecimiento inicial del nivel de riesgo, alcanzándose un valor de NPR_{mod} de 30 cuando el impacto es máximo y la probabilidad es menor del 10%, o cuando el impacto es menor que 10 y la probabilidad es máxima.

Este comportamiento podría considerarse admisible para el caso de un impacto $i = 100$ y una probabilidad del 10%, en función del apetito de riesgo de la empresa. Sin embargo, resulta completamente indeseable que con un impacto $i < 10$ se obtengan valores NPR_{mod} mayores de 30 cuando la probabilidad es muy alta.

Se confirma este comportamiento al aplicar cortes con planos verticales pasando por sus límites exteriores, cumpliendo $i = 100$ o $p = 100\%$. La intersección no es una línea recta, como muestra la Figura 4.16, y presenta un rápido crecimiento inicial que es la razón del problema descrito.

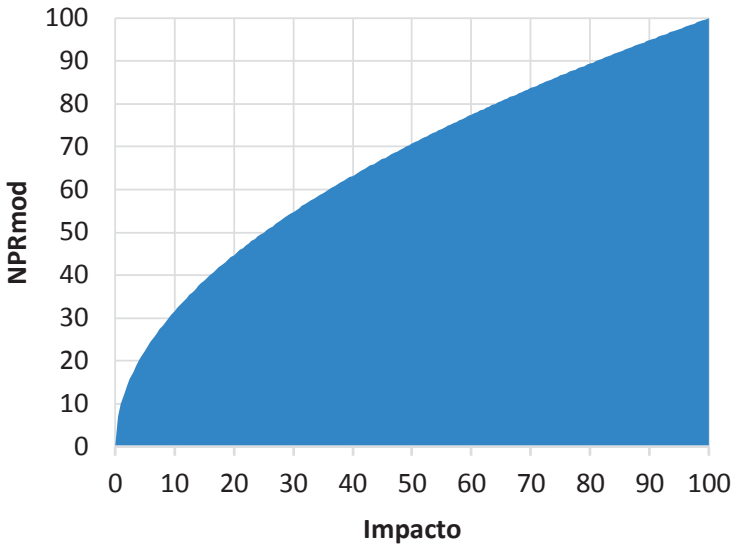

Figura 4.16. Intersección del NPR_{mod} con el plano vertical $p = 100\%$

Las razones anteriores han llevado a desestimar este indicador pese a sus restantes buenas cualidades.

4.2. Método de resumen SPIP

El resumen SPIP se ha definido anteriormente como la suma de los valores del producto del impacto por la probabilidad para todos los eventos de riesgo del escenario considerado, según expresa la fórmula [3-4], y responde al valor de la regla de la utilidad esperada de Neumann y Morgenstern (Neumann and Morgenstern 1944). Esto significa la suma de los valores NPR de todos los eventos de riesgo. Su naturaleza depende de la de los NPR sumados que, a su vez, depende del tipo de impacto considerado. Por ello puede ser un indicador cuantitativo del nivel de riesgo, la medida del riesgo mediante su coste, el retraso que originaría (plazo) o cualquier otro indicador físico numérico medible susceptible de acumularse.

Su valor corresponde a la media de una distribución Normal, suponiendo que sea aplicable el teorema del Límite Central (apartado 3.6 «Teorema del Límite Central»). Sin embargo, se ha visto en el apartado 3.7 «Aspectos que condicionan el valor esperado» que las tipologías más habituales de los escenarios de estudio de riesgos en proyectos y empresas de la mayor parte de las industrias no satisfacen los requisitos que impone el citado teorema para su aplicabilidad, lo cual cuestiona el resultado SPIP y plantea dudas acerca de cuál será la distribución probabilística del valor esperado al que corresponde la suma SPIP, cuál es la probabilidad de que el resultado real supere la previsión SPIP, y en qué cuantía podría verse superado dicho resultado. El PMBOK®, que en

su versión 5 planteaba el valor SPIP como valor monetario esperado, ha eliminado esta definición en su versión 6 (PMI 2013, 2017a).

El resultado SPIP corresponde al valor medio de una distribución probabilística. Cuando esta distribución es Normal la media y la mediana coinciden; si el coeficiente de variación (cociente entre la desviación típica y la media) es reducido, cabe afirmar que el valor SPIP, aunque se verá superado en la realidad el 50% de las ocasiones, sólo se verá rebasado en un pequeño porcentaje asumible. Sin embargo, se va a demostrar que, debido a no cumplir los requisitos que exige el teorema del Límite Central, la distribución de salida no es Normal, el coeficiente de variación aumenta y el percentil 85 se aleja de la media; la media y la mediana no coincidirán y, por eso, se indica que el valor SPIP se verá desbordado «aproximadamente» en un 50% de las ocasiones.

El desbordamiento de la contingencia es una de las mayores preocupaciones de los directores de proyecto y de riesgos, y destaca en la literatura consultada (índice IIR del 41%), en la que los autores intentan encontrar soluciones para esta situación (Amusan et al. 2013; Ford 2002; McCowan and Mohamed 2007; Platon and Constantinescu 2014; Rodrigues-da-Silva and Crispim 2014; Touran 2003; Touran and Wiser 1992; Venkatraman and Ramasamy 2017; Wang et al. 2004; Wang and Fang 2017; Zavadskas et al. 2010). Por otra parte, incluso cuando el impacto es sólo un indicador del nivel de riesgo y el SPIP proporciona la valoración global del mismo, una imprecisión o error en la estimación final puede conducir a una comparación errónea del riesgo de varios escenarios y a una toma de decisiones incorrecta (Batanero 2006; International SOS 2016; Sobotka 2017; Taebi 2017; Zio 2018).

Se acomete a continuación el análisis de los resultados que proporciona la suma SPIP. Para ello se van a utilizar modelos aleatorios analizándolos mediante la simulación de Monte Carlo.

4.2.1. Técnica de simulación de Monte Carlo

La técnica de Monte Carlo se refleja en la literatura consultada (Grundke 2010; Taroun 2014) con un IIR del 39%. Esta técnica posibilitaría el cálculo probabilístico directo del coste o nivel de riesgo sin necesidad de recurrir a la suma determinista SPIP. Sin embargo, hay una gran disparidad acerca de la oportunidad de su uso y no ha logrado aún imponerse como una práctica extendida en las empresas, especialmente en las constructoras. Si bien hay muchos autores partidarios (Grundke 2010; Stewart and Deng 2015), su IIR es sólo del 11% y, en muchas ocasiones, no usan este tipo de simulación para la obtención del riesgo global, sino para otros fines diferentes como, por ejemplo, la estimación del coste total de un proyecto o la estimación de la probabilidad basada en datos históricos (Günhan and Arditi 2007).

Es algo mayor el número de autores que ponen objeciones a su uso (IIR del 13%), indicando que su uso es reducido en las empresas constructoras (Hamid and Kehinde 2017;

Mishra and Mishra 2016), que su uso está orientado a proyectos «excepcionalmente críticos» (Project Management Institute 2017b) e, incluso, que su uso con una incorrecta parametrización (en referencia al establecimiento de las funciones de distribución y a las correlaciones) puede conducir a resultados erróneos (Touran and Wiser 1992; Williams 2017). La siguiente tabla muestra la estadística relativa a la postura de los autores de la literatura consultada sobre el uso de la simulación de Monte Carlo (Tabla 4.4).

Tipo de referencia	Cita	Recomienda	Critica	No cita	Total
Libro	3	2	2	24	31
Capítulo libro	1	1	1	4	7
Artículo de revista	22	13	22	116	173
Norma o regulación		1	1	5	7
Póster				1	1
Procedimiento conferencia	1	3	3	12	19
Tesis	1	2	1	6	10
Página Web	1	2		21	24
Recuento total	29	24	30	189	272
Total ponderado	125	91	115	738	1.068
IIR	15%	11%	13%	86%	—

Tabla 4.4. Uso de la simulación de Monte Carlo según la literatura consultada

En el presente trabajo se ha utilizado la simulación de Monte Carlo para obtener los posibles resultados de un escenario de riesgo definido mediante una valoración previa del impacto y la probabilidad de cada riesgo. Ambos valores se aceptan como ciertos, sin valorar su posible incertidumbre o error de estimación, y únicamente se aplica una función de distribución de Bernoulli a la probabilidad, de modo que, cuando el evento sucede, se obtiene el impacto previsto para él, calculándose en cada simulación la suma de los impactos resultantes.

La utilización de la simulación de Monte Carlo mediante un programa informático adecuado hace posible definir una correlación entre los eventos de riesgo, aunque una incorrecta definición puede alterar sustancialmente los resultados, como se verá en apartados posteriores. En un proyecto real es posible estudiar y definir esta correlación, mediante la aplicación de un coeficiente entre -1 y +1 a los eventos correlacionados, pero en el uso de modelos generados aleatoriamente tiene poco sentido introducir una correlación aleatoria y es más eficiente estudiar el comportamiento con una correlación uniforme entre todos los elementos con una intensidad variable. A estos efectos, se consideran tres situaciones: la ausencia de correlación, una correlación «ligera» (con un coeficiente de +0,4 entre todos los eventos), y una correlación «fuerte» o «intensa» (con un coeficiente de +0,7).

Otro aspecto determinante es la elección del percentil para la selección del resultado. En el apartado 3.7.5 «Nivel de confianza» se explicaron las razones para adoptar como nivel de confianza el 85%, de modo que todos los valores calculados se refieren a este percentil.

Para la aplicación de la simulación de Monte Carlo se ha empleado la aplicación @Risk, de Palisade Corporation. Con esta aplicación, de uso sencillo, aunque de posibilidades muy sofisticadas, se han podido analizar modelos aleatorios y casos reales para calcular los valores esperables con el citado nivel de confianza, y estudiar el perfil de las distribuciones probabilísticas de salida, habiéndose comprobado que no son distribuciones de tipo Normal, como afirman muchos autores, sino discontinuas (binomial), Beta o Kumaraswamy.

4.2.2. Método de análisis

Para estudiar las consecuencias de utilizar el método SPIP se utilizan escenarios aleatorios. Se definen «modelos» con un número dado de eventos de riesgo NER comprendido entre 4 y 500 (ver el apartado 3.7.1) y, para cada modelo, se definen los escenarios asignando aleatoriamente un impacto comprendido entre 0 y 1.000 y una probabilidad entre 0 y 100%.

En cada escenario así definido para un modelo se calcula el valor esperado EV con el método SPIP, y se analiza mediante la simulación de Monte Carlo para obtener el percentil 85 de la distribución de salida (ver el apartado 3.7.5 «Nivel de confianza»). Se acepta como valor del riesgo real RV (con el nivel de confianza citado) el impacto cuya probabilidad de no ser superado es el 85% (la probabilidad de que el impacto real sea mayor que RV es el 15%).

Los valores EV y RV dependen de los valores aleatorios del impacto y la probabilidad del escenario, pero su cociente RV/EV es un coeficiente mayor que 1 cuyo significado es la relación entre el impacto esperable con un nivel de confianza del 85% y el valor determinista SPIP, y, por tanto, indica el porcentaje de desbordamiento esperable para el valor EV (SPIP).

Cambiando los valores aleatorios en un modelo se obtiene un nuevo escenario para el cual se puede calcular su nuevo valor RV/EV, y este proceso se ha repetido miles de veces en cada modelo elaborando para ello un programa VBA Excel y combinándolo con @Risk. El resultado es una distribución de valores RV/EV que caracteriza ese modelo y que, una vez analizada, posibilita elegir un valor representativo, para el cual se elige el percentil 85, que se denomina R_{85}.

El significado del valor R_{85} para cada modelo es el factor por el que habría que multiplicar la suma SPIP calculada en cualquier posible escenario con un número NER igual al del modelo para tener un 85% de confianza de que no será sobrepasada.

El proceso se ha realizado con varios modelos, y cada uno se caracteriza con su número NER.

En el apartado «Análisis 4.2.2 Método de análisis» del anexo 2 «Análisis» se muestra un ejemplo con 4 eventos de riesgo con el cual se explica en detalle el método de cálculo realizado de forma manual.

De acuerdo con el nivel de confianza definido del 85% se acepta como valor del impacto real RV (con el nivel de confianza citado) el impacto del suceso cuya probabilidad acumulada es mayor o igual que el 85%. En este caso, corresponde al evento 10, cuyo impacto es RV = 442.

Según lo anterior, se obtiene que RV/EV = 442 / 326 = 1,36.

Esta relación es el coeficiente por el que habría que multiplicar EV en este caso para obtener un nivel de confianza del 85%. Puede comprobarse en el ejemplo que al valor esperado EV le corresponde una probabilidad acumulada del 58,7%, lo que indica que ese valor esperado, que corresponde al cálculo SPIP, se verá superado en este ejemplo en un 41,3% de las ocasiones.

El estudio de este caso mediante la simulación de Monte Carlo conduciría a un idéntico resultado, como puede verse en la Figura 4 17 (el percentil 85 tiene un valor de 442). En la misma puede comprobarse que la distribución de salida es binomial, lo cual es coherente con los resultados del análisis manual realizado, pero completamente alejado de la expectativa de una distribución continua Normal.

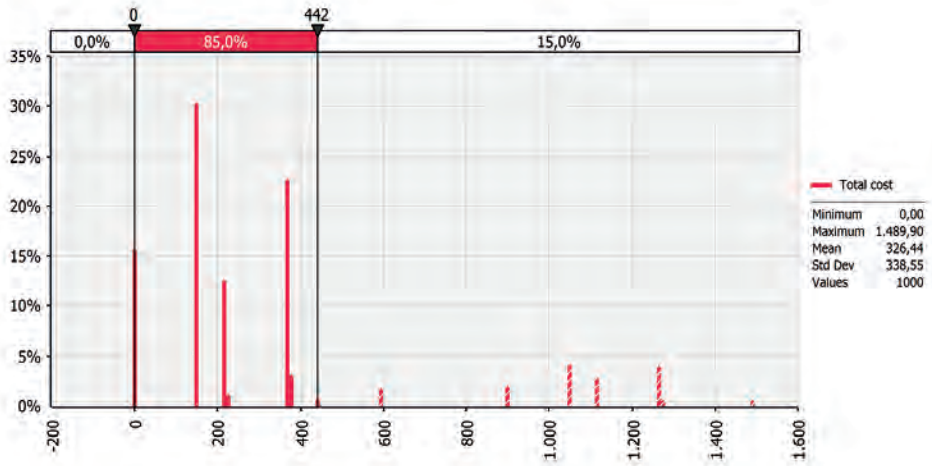

Figura 4.17. Simulación de Monte Carlo para 4 eventos sin correlación

Se confirma también que la media es 326, el mínimo 0 y el máximo 1.490.

Utilizando la simulación de Monte Carlo puede aplicarse un cierto grado de correlación entre los 4 eventos de riesgo de este ejemplo (ver el apartado 4.2.1 «Técnica de simulación de Monte Carlo»), lo cual, como se ha indicado anteriormente, empeora los resultados. Para el ejemplo anterior la simulación de Monte Carlo es la mostrada en la Figura 4 18. En la misma puede comprobarse que, con correlación, la media se mantiene en 326, pero el valor RV aumenta, pasando a ser 592, con lo que el cociente RV/EV es 1,81 en lugar de 1,36.

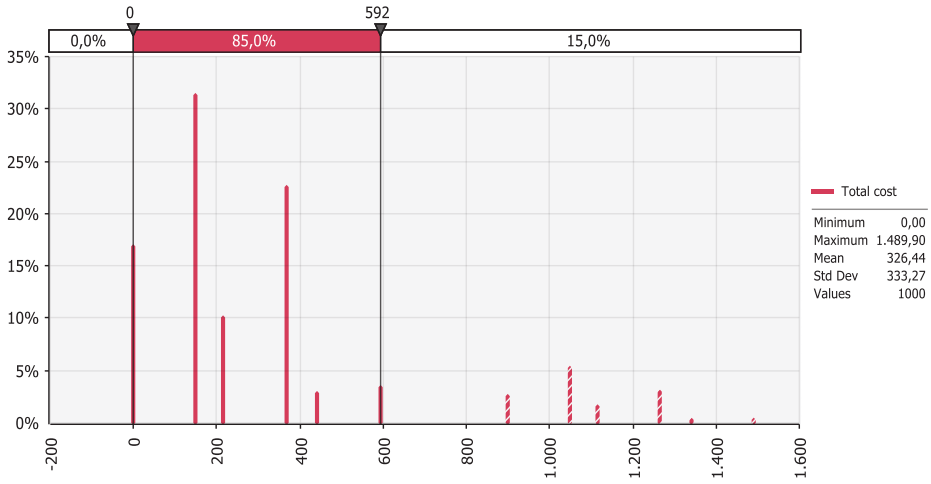

Figura 4.18. Simulación de Monte Carlo para 4 eventos con correlación

Adicionalmente sería posible introducir una simulación del efecto Pareto (no se hace con este ejemplo por tener sólo 4 riesgos) que, como luego se verá, también aumenta el valor RV y, por tanto, el cociente RV/EV. Para hacerlo, se forzaría un mayor impacto en un 20% de los eventos del escenario del caso, de manera que su importancia en el conjunto representase un 80% del total.

El estudio realizado para este ejemplo podría repetirse variando aleatoriamente los valores de impacto (de 0 a 1.000) y probabilidad (de 0 a 100%) de los eventos de riesgo del modelo, en este caso de 4 eventos, y se podría estudiar la distribución de los valores que puede tomar el cociente RV/EV, prescindiendo de los valores absolutos de EV y RV que carecerían de importancia. El resultado para 1.000 casos generados aleatoriamente sin considerar correlación entre los eventos de riesgo se muestra en la Figura 4 19 (con 10.000 casos los resultados para el percentil 85 son prácticamente iguales, por lo que se simula sólo 1.000).

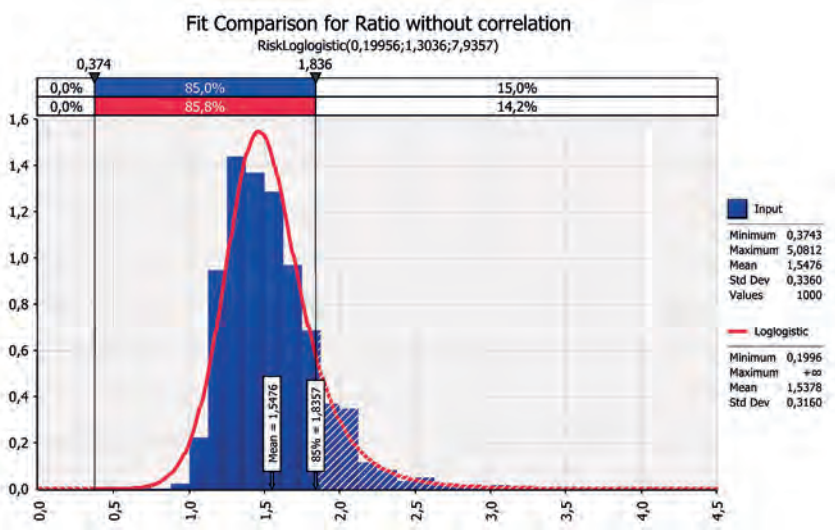

Figura 4.19. Valores RV/EV para 4 eventos sin correlación

En la misma, el cociente RV/EV, en función de cuál de los 1.000 casos se considere, oscila entre 0,37 y 5,08. La media es 1,55, la mediana 1,50, y la moda 1,61. Sin embargo, atendiendo al mismo criterio de asegurar con un nivel de confianza adecuado que se escoge un valor fiable, se debería elegir el percentil 85, que es 1,84, al cual se ha llamado R_{85}.

Cuando se considera la correlación entre los eventos de riesgo, como se explicó anteriormente, se obtienen valores más altos. La Figura 4.20 muestra el estudio de los valores RV/EV obtenidos cuando se considera una correlación uniforme de +0,4.

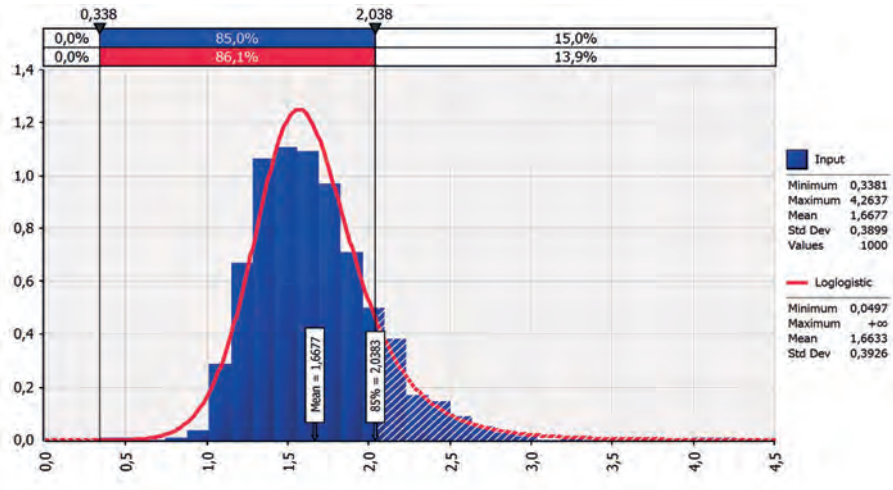

Figura 4.20. Valores RV/EV para 4 eventos con correlación +0,4

En este caso se han generado 1.000 simulaciones y el percentil 85 arroja un valor de 2,04 (el máximo es algo menor que antes, 4,26, aunque con 10.000 simulaciones se igualan).

La introducción adicional del efecto Pareto aumenta aún más el valor del cociente RV/EV. Manteniendo la misma correlación definida anteriormente, se fuerza el efecto Pareto en la generación de impactos aleatorios en los eventos de riesgo del modelo con dos niveles de intensidad: aumentando el máximo impacto en el 20% de los eventos hasta 25.000 (efecto ligero) o hasta 100.000 (efecto intenso). Los resultados después de 1.000 simulaciones son más altos, en función de cuánto se fuerce dicho efecto, obteniéndose un R_{85} de 2,23 con un efecto Pareto ligero y 2,98 con un efector Pareto intenso.

Anteriormente se ha mostrado que las distribuciones de salida de RV en las simulaciones del modelo de 4 eventos de riesgo son binomiales (Figura 4.17 y Figura 4.18) y que el perfil de las distribuciones del cociente RV/EV es Loglogistic. En el apartado 4.2.3 se muestran las distribuciones de los impactos resultantes de los sucesos obtenidos en la simulación para los escenarios (la distribución de la que se extrae el valor RV) y el perfil de las distribuciones de los valores RV/EV en cada modelo, de las cuales se obtiene R_{85}.

En la siguiente tabla se resumen, por razones de claridad, los valores que se han presentado para el ejemplo propuesto con un modelo de 4 eventos de riesgo (Tabla 4.5).

	Ejemplo			Modelo
	EV	RV	RV/EV	R_{85}
Sin correlación	326	442	1,36	1,84
Con correlación	326	592	1,81	2,04
Correlación y Pareto ligero	—	—	—	2,23
Correlación y Pareto intenso	—	—	—	2,98

Tabla 4.5. Resumen para el modelo con 4 eventos de riesgo

La tabla ilustra la influencia de la correlación y del efecto Pareto para aumentar el impacto real RV y, por tanto, el valor RV/EV y el valor R_{85}.

4.2.3. Modelos aleatorios

Los estudios que se van a presentar corresponden a modelos con un número de eventos de riesgo NER comprendido entre 4 y 500, en coherencia con lo expuesto en el apartado 3.7.1 «Número de riesgos identificados». Se consideran los casos de

correlación ligera y correlación intensa (ver el apartado 4.2.1 «Técnica de simulación de Monte Carlo») y los dos niveles definidos de presencia del efecto Pareto (ligero e intenso).

Para una mejor comprensión de los resultados se van a presentar separadamente según los efectos aplicados para el análisis.

4.2.3.1. Sin correlación ni efecto Pareto

Primeramente, se muestran los resultados obtenidos sin considerar correlación entre los eventos ni aplicar el efecto Pareto (Tabla 4.6).

	Número de eventos NER del modelo						
	4	10	19	50	100	300	500
R_{85}	1,84	1,42	1,27	1,16	1,11	1,07	1,05
Mínimo	0,51	1,05	1,12	1,09	1,07	1,05	1,04
Máximo	5,46	1,96	1,47	1,24	1,14	1,08	1,06

Tabla 4.6. Valores R_{85} sin correlación ni efecto Pareto

Puede comprobarse que, según aumenta el valor NER, aumenta también R_{85}, pero su crecimiento se atenúa progresivamente. El rango de posibles valores se reduce según aumenta NER.

En el apartado 4.2.2 «Método de análisis» se mostró con un ejemplo de 4 eventos de riesgo la distribución de los posibles resultados de salida del escenario y del cociente RV/EV del conjunto de simulaciones del modelo. Se muestran a continuación algunos ejemplos de las distribuciones que se obtienen con otros modelos de mayor tamaño.

Las distribuciones del impacto RV resultante obtenidas con el modelo de 10 eventos siguen siendo en cada caso binomiales y no una distribución continua de tipo Normal, como se afirma frecuentemente. La distribución de salida de los cocientes RV/EV para el conjunto de todos los casos simulados es de tipo Pearson.

Cuando el número de eventos del modelo NER aumenta, la distribución de salida de RV/EV tiende a ser normal. Con modelos de 50 eventos la distribución es Lognormal. Esto no significa, sin embargo, que la distribución de los impactos RV resultantes evolucione de igual forma, como se muestra en los apartados 4.2.3.3, 8.2.3 y 8.2.4.

Pueden consultarse las figuras correspondientes con los análisis de simulación de Monte Carlo en el apartado «Figuras 4.2.3.1 Sin correlación ni efecto Pareto» del anexo 3 «Figuras complementarias».

4.2.3.2. Con correlación, sin efecto Pareto

La Tabla 4.7 recoge los resultados del análisis aplicando los dos niveles de correlación definidos.

	Número de eventos NER del modelo							
	4	10	19	30	50	100	300	500
Correlación +0,4	2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41
Correlación +0,7	2,20	1,87	1,74	1,70	1,66	1,61	1,59	1,57

Tabla 4.7. Valores R_{85} con correlación sin efecto Pareto

La correlación entre los eventos de riesgo aumenta notablemente el valor R_{85}. En el apartado «Figuras 4.2.3.2 Con correlación, sin efecto Pareto» del anexo 3 «Figuras complementarias» se muestra una figura correspondiente a la distribución RV/EV para el modelo con un número de riesgos NER 50 y con una correlación uniforme de +0,4. Comparándola con la obtenida para el mismo número de eventos en el caso anterior (sin correlación) se puede comprobar que la distribución es Gamma, está situada más a la derecha (mayores valores) y las colas son más largas.

Posiblemente una correlación uniforme de +0,7 sea excesiva en la mayor parte de los casos. Cuando se analicen los casos reales y se estudien las correlaciones reales se tendrá un punto adicional de comparación.

4.2.3.3. Con correlación y efecto Pareto

Esta es la situación más habitual en los proyectos y, también, la más desfavorable. Se consideran los dos grados de intensidad del efecto Pareto definidos en el apartado 4.2.2 «Método de análisis», y se comparan los resultados con los obtenidos cuando no se presenta este efecto. En todos los casos se considera una correlación ligera (+0,4).

	Número de eventos NER del modelo							
Efecto Pareto	4	10	19	30	50	100	300	500
Ninguno	2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41
Ligero	2,23	1,81	1,66	1,55	1,52	1,47	1,42	1,41
Intenso	2,98	2,48	1,82	1,79	1,66	1,54	1,49	1,45

Tabla 4.8. Valores R_{85} con correlación +0,4

Puede comprobarse la gran influencia del efecto Pareto, particularmente cuando el número de eventos de riesgo NER del modelo es menor que 100.

En el apartado «Figuras 4.2.3.3 Con correlación y efecto Pareto» del anexo 3 «Figuras complementarias» puede apreciarse la adversa repercusión de la intensidad del efecto Pareto y los resultados RV del análisis de Monte Carlo correspondientes a ejemplos elegidos aleatoriamente, habiéndose considerado en todos los casos una correlación uniforme de +0,4 y el efecto de Pareto ligero.

Para 19 eventos aún no se obtiene una distribución continua para el valor RV, con 30 eventos se obtiene una distribución RV que puede ser Beta o Kumaraswamy, con 50 eventos la distribución RV también es Beta o Kumaraswamy, con 100 eventos la distribución RV es Kumaraswamy, con 300 eventos la distribución RV es Beta, y con 500 eventos la distribución RV es Beta.

Las figuras muestran ejemplos de la distribución de salida del impacto RV en ejemplos con un número de eventos de riesgo comprendido entre 19 y 500. Se ha podido confirmar que con 19 eventos de riesgo aún no se logra obtener una distribución continua, y que, cuando aumenta el número NER, incluso hasta 500, la distribución no llega a ser Normal sino Beta o Kumaraswamy.

La desviación típica es elevada, del orden del 50% de la media, lo cual es la razón de que el percentil 85 se aleje tanto de la media y que, por tanto, el valor SPIP que corresponde a la media no aporte la suficiente seguridad para su utilización como contingencia.

4.3. Resumen del capítulo

En este capítulo se han analizado en profundidad los inconvenientes derivados del uso del producto del impacto por la probabilidad (NPR) como indicador de riesgo, y de la suma de los productos NPR como resumen de un escenario de riesgo (SPIP), ya sea como indicador genérico o como coste del riesgo para calcular la contingencia.

Se ha analizado geométricamente el indicador NPR y se han explicado las causas de su comportamiento, que se aleja del que sería deseable debido a su falta de linealidad (percepción exponencial), a sus valores poco intuitivos que pueden inducir a engaño, a la necesidad de apoyarse en una tabla o gráfica para entender el significado de la escala que asigna la severidad del riesgo, a la falta de homogeneidad en la cobertura del diagrama de Farmer que provoca una baja sensibilidad en su mitad inferior izquierda, y, finalmente, a su reducida aptitud para facilitar el cálculo del riesgo conjunto de dos o más eventos.

Se ha considerado un indicador alternativo, el NPR_{mod}, que es el producto de 10 por la raíz cuadrada del NPR, pero, pese a sus buenas cualidades, se ha debido descartar debido a que produce valores NPR_{mod} mayores de 30 con impactos menores que 10.

También se ha confirmado, desde un punto de vista probabilístico, que la suma SPIP produce resultados que no tienen en cuenta la distribución probabilística de los sumandos, que dicha suma se verá sobrepasada en la realidad alrededor del 50% de las veces, y que el exceso sobre el previsto estará comprendido entre un 40% y un 200%, lo cual, cuando se trata de costes, resulta ciertamente grave. Ello es debido a que no se cumplen las premisas que requiere la aplicabilidad del teorema del Límite Central, según el cual la distribución del SPIP debiera ser de tipo Normal, con un coeficiente de variación reducido; por el contrario, se obtienen distribuciones discontinuas (binomial), Beta o Kumaraswamy. El relativamente reducido número de eventos de riesgo, la correlación entre los eventos y el efecto Pareto provocan que el teorema del Límite Central no sea aplicable y que, para obtener un nivel de confianza del 85%, sea preciso multiplicar los valores SPIP por un coeficiente no menor de 1,4 que podría llegar a ser de 3,0.

Este comportamiento unido a lo mostrado en el apartado 3.7 «Aspectos que condicionan el valor esperado» del capítulo anterior, determinan que dos proyectos podrían tener un mismo valor SPIP, pero su valor RV/EV podría ser muy diferente, lo cual invalida este método para medir el nivel de riesgo de los proyectos. Por otra parte, usar su resultado para estimar la contingencia de los mismos determina que ésta se vería sobrepasada la mitad de las veces y la cuantía del desbordamiento podría no ser asumible por el proyecto o por la empresa.

5. MEJORA DE PRÁCTICAS ACTUALES

En capítulos anteriores se ha explicado que la función de control y gestión de riesgos en las empresas ha crecido muy rápidamente debido a los fuertes cambios en el contexto mundial (Boin and Hart 2003; Grishunin and Suloeva 2016; Walch and Wörz 2012) y al propio contexto de actuación de las empresas. También se han descrito las prácticas más habituales y se han explicado las limitaciones e inconvenientes derivados de su uso.

De todo lo visto anteriormente se obtiene como conclusión que existe una necesidad real de mejora para posibilitar que el control y gestión de riesgos aporte a las empresas la información y la operativa que éstas necesitan para mejorar su toma de decisiones y su competitividad, así como para disminuir el riesgo al que se ven expuestas en el ejercicio de sus actividades (Pilone and Demichela 2018; Serpell et al. 2015).

La experiencia y el estudio del *modus operandi* de las empresas en su actividad de identificación, análisis, evaluación, tratamiento y seguimiento de los riesgos (ISO, 2018; Project Management Institute 2017b; Steinberg et al. 2004b) han permitido identificar una serie de parámetros comunes que revelan la calidad, precisión, detalle, posibilidades y carencias de la metodología utilizada en estas empresas (Tabla 5.1).

Identificación del riesgo
Estructuración de los riesgos identificados (mediante matrices o similar)
Posibilidad de añadir riesgos no incluidos en la plantilla
Valoración cualitativa de cada riesgo
Asignación de impacto y probabilidad a cada riesgo
Valoración cuantitativa del riesgo (nivel de riesgo) (indicadores específicos o algoritmos)
Valoración cualitativa del riesgo de cada matriz
Valoración del impacto y probabilidad de cada matriz
Valoración cuantitativa del riesgo global de cada matriz (nivel de riesgo)
Valoración cualitativa del nivel de riesgo total del proyecto
Valoración del impacto y probabilidad del proyecto
Valoración cuantitativa del nivel de riesgo total del proyecto
Valoración cuantitativa del nivel de riesgo de grupos de proyectos

Tabla 5.1. Parámetros comunes en el control y gestión de riesgos

Estos parámetros constituyen una primera aproximación a la elaboración de una lista de requisitos imprescindibles para una correcta práctica.

En los apartados siguientes se redefinen estos parámetros de una forma más científica aplicando la metodología descrita en el apartado 1.3.2 «Marco metodológico»

para añadir, modificar o eliminar algunos de ellos, lo cual va a permitir disponer de una lista consensuada y fiable de parámetros de mejora. Estos parámetros iniciales constituyen una orientación para facilitar la búsqueda de parámetros en algunas de las técnicas seguidas, y en ningún caso constituyen una limitación que condicione los resultados.

En coherencia con los planteamientos de Aven (2018) y Taroun (2014), se siguen tres líneas investigadoras diferentes que aportan la visión académica y la visión de la experiencia profesional que, completadas con la experiencia profesional del autor y convenientemente integradas, permiten la obtención de una lista consensuada y fiable de parámetros de mejora. Estas tres líneas, que se han explicado en el apartado 1.3.2, se desarrollan a continuación.

5.1. Revisión de la literatura académica

En el apartado 3.4 «Literatura consultada» se describió la base de datos documental elaborada a partir de las publicaciones científicas seleccionadas consistente en 272 referencias, así como las diversas tipologías consideradas y la manera de valorar su importancia mediante la definición del índice de importancia relativa (IIR).

Teniendo como objetivo la obtención de parámetros de mejora, se ha realizado un análisis crítico de esta documentación buscando tanto los conceptos recogidos en la Tabla 5.1 como cualquier otro específico que apareciera repetidamente y fuera indicativo de una cualidad o práctica de gestión de riesgos citada, utilizada, sugerida, criticada o deseada.

Los conceptos localizados se reducen al nivel de sintagmas mediante «palabras clave» (Buzan 2004) y, de este modo, es posible elaborar un listado de 42 parámetros identificados a los que se les asocia su importancia ponderada obtenida en función de sus apariciones en la literatura consultada y de los coeficientes de ponderación de las publicaciones en las que aparecen, como se explicó en el apartado 3.4.1 «Ponderación de la literatura consultada». El resultado, ordenado por el valor de su importancia, se recoge en la Tabla 3.7.

Número	Concepto	Valor	% acumulado
1	Toma decisiones	857	8%
2	Importancia	665	14%
3	Incertidumbre	556	20%
4	Subjetividad	549	25%
5	Cuantificar	533	30%
6	Sistema	430	38%
7	Imp + Prob	420	42%
8	KRI	415	46%

Número	Concepto	Valor	% acumulado
9	Valor final	379	50%
10	Desbordamiento	356	53%
11	Prejuicios	352	56%
12	Carencias ERM	329	59%
13	Probabilístico	322	62%
14	Comparar	288	65%
15	Contingencia	279	68%
16	Correlación	278	70%
17	Estrategia (integración)	259	73%
18	Riesgo global	226	75%
19	Mitigación	219	77%
20	Actitud	199	79%
21	NPR	179	81%
22	Valor esperado	169	82%
23	Mapa I / P	153	84%
24	Métodos difusos (Fuzzy)	143	85%
25	Nivel confianza	136	86%
26	Simplicidad	134	88%
27	Informes claros	134	89%
28	Evolución	131	90%
29	Mapa riesgos	130	91%
30	Apetito riesgo	112	92%
31	Escalas lineal/no lineal	109	93%
32	SPIP	104	94%
33	Monte Carlo	91	95%
34	Pareto	78	96%
35	Operaciones (integración)	78	97%
36	Más indicadores	73	97%
37	PERT	72	98%
38	ANN	64	99%
39	Regresión múltiple	58	99%
40	Silos	46	100%
41	Líneas rojas	32	100%
42	3 líneas defensa	17	100%

Tabla 5.2. Parámetros relevantes según la literatura consultada

En la columna «% acumulado» se calcula el porcentaje acumulado que supone la suma de valores hasta cada concepto. Puede comprobarse que no se cumple la regla de Pareto, dado que el 20% de los 42 parámetros (8) sólo acumula un 46% del total. El 80% del valor acumulado se alcanza con 21 parámetros (50% de los parámetros).

Resulta llamativo que los conceptos correspondientes a las técnicas más avanzadas, como son los métodos difusos *(fuzzy),* Monte Carlo, redes neuronales *ANN* y métodos de regresión múltiple, se encuentren en el grupo de los 21 últimos conceptos que acumulan el 20% marginal de la valoración.

También es de destacar la escasa relevancia que tiene en la literatura el método SPIP, que es el más utilizado en todas las empresas estudiadas.

El concepto de líneas rojas, siendo algo que casi todas las empresas manejan, aunque su definición sea mejorable, ocupa el penúltimo lugar.

En último lugar figura el concepto de las 3 líneas de defensa, que aparece tan sólo en 4 de las publicaciones de la literatura consultada, siendo una de ellas la del Instituto de Auditores Internos, que ha sido expresamente buscada para este fin (The Institute of Internal Auditors 2013). Se ha constatado que en la literatura no académica relativa a los riesgos de las tecnologías informáticas *(ciberriesgos),* publicada por empresas e instituciones, sí aparecen abundantes citas relativas a este concepto. Estas referencias no han sido incluidas en la base de datos documental de la literatura consultada.

Una vez más resulta conveniente recordar el gran alejamiento que hay entre las publicaciones académicas y las prácticas empresariales (Bromiley et al. 2015).

La Figura 5.1 muestra la tabla anterior presentando el diagrama de Pareto, pudiendo apreciarse gráficamente la importancia ponderada de cada concepto.

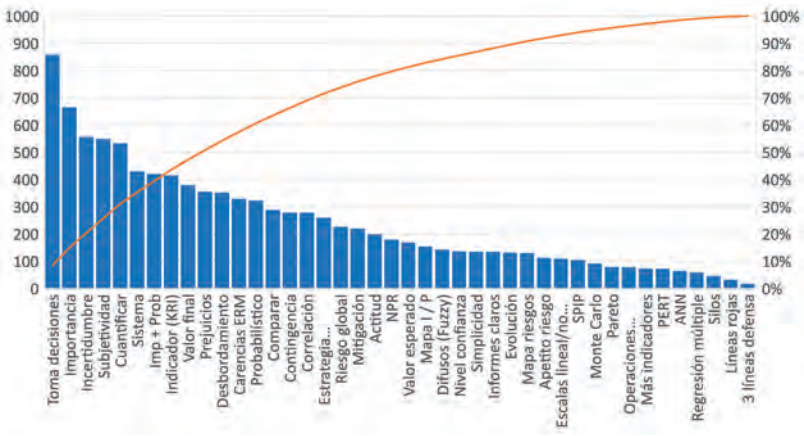

Figura 5.1. Parámetros de mejora según la literatura consultada

Es conveniente aclarar el uso que se hace en la literatura consultada del término «valor esperado» *(«expected value»)* porque hay bastantes discrepancias que pueden conducir a error. La American Association of Cost Engineers define el «valor esperado» como el «producto de la probabilidad de ocurrencia por el impacto» (Hollmann 2009), que sería el NPR, pero también usa esa expresión para designar el «resultado medio total», que sería el valor de la suma SPIP.

El concepto de valor esperado se refiere a veces a la suma para todos los eventos de riesgo y, a veces, a un único evento o distribución. La literatura consultada muestra 41 referencias que contemplan este término (IIR del 20%), pero con significados muy diversos.

En 14 referencias es simplemente una definición matemática: la media de la distribución de probabilidad, la media del resultado del producto del impacto por la probabilidad de cada evento, la media, moda o mediana para previsiones o presupuestos, la media ponderada de una probabilidad, y la suma para todos los eventos del producto de su probabilidad por su impacto. En 7 referencias se refiere a un método matemático para estimar el coste. En 9 referencias es un concepto relacionado con las teorías de la utilidad. Finalmente, en 11 referencias se refiere al coste de la contingencia.

Estas razones prueban la ambigüedad de este término y recomiendan un uso limitado del mismo, siempre referido a un contexto concreto. En el presente trabajo la expresión «valor esperado» se ha definido en los apartados 3.5.2 «Aversión al riesgo» y 3.7 «Aspectos que condicionan el valor esperado» (Raftery 1994; Schuyler 2001).

Esta visión académica aporta una importante visión de lo que podría ser un control y gestión de riesgos idóneo, pero constituye una visión parcial que debe ser complementada con la visión que aporta la experiencia profesional, según recogen los siguientes apartados.

5.2. Sesión de tormenta de ideas

La sesión de tormenta de ideas se celebró Madrid en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, con el asunto «Dificultades que se experimentan en la práctica diaria de evaluación de los riesgos de los proyectos y de comunicación de su situación global en cuanto a riesgo de cara a una eficaz toma de decisiones». El objetivo establecido en la misma fue la identificación de los problemas que condicionan esta práctica y la obtención y análisis de las ideas que pudieran suponer una mejora real sobre la situación actual.

El resultado esperado era identificar propuestas concretas, debidamente analizadas, que permitieran una mejora efectiva de las prácticas actuales, bien mediante la resolución de las dificultades planteadas o bien mediante un enfoque diferente de la forma de actuación que proporcionara los resultados deseados.

La selección de candidatos se realizó buscando personas con alto perfil en los campos de toma de decisiones (perfil directivo) y análisis de riesgos en empresas multinacio-

nales de diverso tamaño en los sectores de construcción, petrolero, logística, tecnologías de la información (TI) y educación, con objeto de lograr un ambiente pluridisciplinar que aportara una mayor diversidad y riqueza.

Se cursaron 27 invitaciones, bien solicitando la asistencia de personas concretas o bien dejando a la empresa la elección del asistente, y, finalmente, asistieron 9 personas de empresas cuyo perfil se resume en la Figura 5.2.

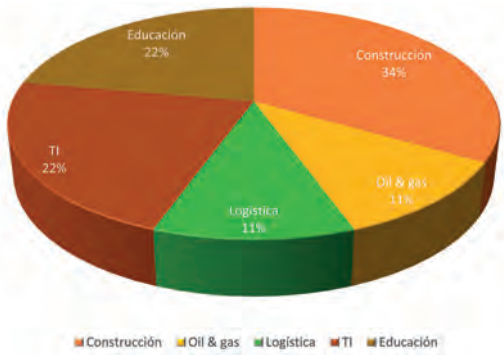

Figura 5.2. Perfil de asistentes a la sesión de tormenta de ideas

Al comienzo de la sesión se partió del hecho de que los proyectos superan el coste previsto, y se resaltó que la situación es incluso más complicada porque han cambiado los escenarios y hay riesgos más amplios. La sesión se desarrolló según la agenda prevista, y se estructuró en tres periodos de 20 minutos correspondientes a tres bloques de análisis con preguntas planteadas que facilitaran la exposición de ideas. Estos bloques se resumen en la Tabla 5.3.

Marco 1: decisión (contexto operativo o de dirección)	
Decisiones que cabe tomar	¿Cómo podríamos decidir?
	¿Qué necesitamos (saber)?
	¿Cómo definir el apetito (apetencia) de riesgo?
	¿Cómo establecer un criterio?
	¿Cómo comparar el riesgo real con la apetencia?
	¿Cómo comunicar el criterio?
Marco 2: comunicación (contexto de informar sobre el estudio de riesgos)	
Comunicación bidireccional	¿Cómo comunicarlo?
	¿Cómo podríamos ser breves y objetivos? (un dato concreto)
	¿Cómo ser aséptico y objetivo? (como el locutor de los telediarios)
	¿Cómo lograr que el que decide se entere?

Marco 3: análisis (contexto de estudio de riesgos)	
Qué va a pasar	¿Qué estudiar?
	~~¿Cómo?~~ No entremos en metodología, sino en concepto
	¿Cómo eliminar la subjetividad?
	¿Cómo medir el impacto?
	¿Cómo medir la probabilidad?
	¿Cómo valorar el efecto de las medidas mitigadoras?
	¿Cómo expresarlo?

Tabla 5.3. Marcos de análisis en la tormenta de ideas

Los marcos anteriores fueron la guía para establecer la dinámica de la sesión y distribuir los tiempos de intervención. Las preguntas se plantearon como indicativas del tema, pero no limitativas a efectos de posibles ideas, de modo que no era preciso seguirlas ni contestarlas tal cual estaban planteadas, y los participantes pudieron introducir libremente cualquier idea o explicar cualquier experiencia que considerasen oportuna.

Los asistentes presentaron sus ideas, siguiendo los bloques establecidos, y pasando paulatinamente desde el primero al tercero. Las ideas se expusieron entremezcladas con la descripción de las prácticas actuales de cada empresa. Se estableció como contexto el hecho de la subjetividad y los intereses, tanto personales como de empresa, que pueden dar lugar a valoraciones poco objetivas.

La Figura 5.3 nuestra la pizarra utilizada durante la sesión de tormenta de ideas, que recoge la mayor parte de las ideas expuestas, aunque algunos de los detalles o ideas adicionales sólo fueron anotados en papel.

La secuencialidad que muestra la pizarra, de arriba abajo y de izquierda a derecha, no corresponde exactamente al orden de exposición real debido a que la dinámica de la sesión condujo a sugerir ideas para los bloques 2 y 3 sin haber concluido las del bloque 1, y a que el reducido espacio disponible obligó a escribir ideas en la parte superior de la pizarra (a la izquierda del monitor) una vez se hubo rellenado la pizarra hasta la parte inferior.

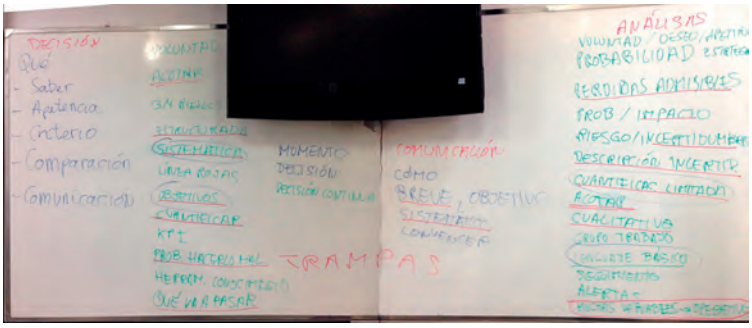

Figura 5.3. Panel de trabajo de la sesión de tormenta de ideas

Resulta reveladora la aparición de la palabra «TRAMPAS» en el centro de la pizarra, que refleja la realidad vivida en las empresas relativa a intereses y prejuicios.

Se puede resumir el esquema general de las ideas aportadas mediante un mapa mental (Buzan 2004) que facilita la organización de las ideas expresadas, y que se muestra en la Figura 5.4.

Figura 5.4. Mapa mental de ideas presentadas

Para elaborar un resumen cuantitativo se parte de los conceptos o ideas básicas expuestas, descartando aspectos generales como, por ejemplo, «cultura», y se considera el número de personas que lo refrendaron (1 a 9) y la recurrencia en su aparición durante la sesión.

Número	Concepto	Valor	% acumulado
1	Objetividad	36	11%
2	Toma de decisiones	36	21%
3	Homogeneidad	32	31%
4	Sistema analítico	24	38%
5	Indicador riesgo (KRI)	24	45%
6	Riesgos no cuantificables	23	52%
7	Comparaciones	16	56%
8	Clarificar	16	61%
9	Evolución	16	66%
10	Apetito de riesgo	15	70%
11	Costes	15	75%
12	Integración con estrategia	14	79%

Número	Concepto	Valor	% acumulado
13	Simplicidad	14	83%
14	Cualificación alternativa	14	87%
15	Sistema estructurado	12	91%
16	Impacto y probabilidad cualitativos	12	94%
17	Limitar alcance	7	96%
18	No equivocarse	4	97%
19	Incertidumbre	4	99%
20	Personal operativo	2	99%
21	Predicción	1	99%
22	Informes	1	100%
23	Múltiples variables	1	100%

Tabla 5.4. Parámetros relevantes según la tormenta de ideas

No se cumple la regla de Pareto dado que el 20% de los 23 parámetros sólo acumula un 45% del total. El 80% del valor acumulado se alcanza con 12 parámetros (50% de los parámetros). Puede verse en la Figura 5.5 que los 6 primeros conceptos aparecen claramente destacados del resto, lo cual subraya su importancia; los últimos 6 tienen una importancia claramente inferior a la de los restantes conceptos.

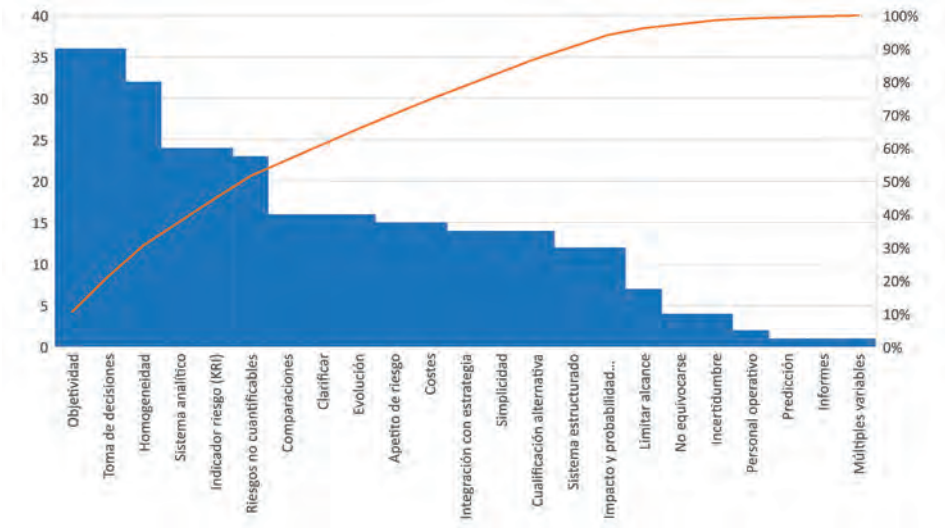

Figura 5.5. Parámetros de mejora según la tormenta de ideas

5.3. Entrevistas estructuradas

La obtención de información directa de los profesionales es una fuente inapreciable de conocimiento para conocer sus preocupaciones y sus necesidades (Rani 2017), y se han mantenido entrevistas presenciales de una hora y media con 21 profesionales de diversos sectores, con predominancia del sector de la construcción.

Se utilizó como apoyo un cuestionario estructurado que ayudara a identificar detalles relativos a la operativa actual de identificación y gestión de riesgos en entornos complejos.

Una vez completado, se utilizó este mismo cuestionario como base para conocer los deseos de mejora de los entrevistados. Para ello, debían responder para cada aspecto a la pregunta: «¿Consideras interesante esta característica para la evaluación de riesgos de proyectos?». Las posibles respuestas eran: 0 No, 1 neutro, 2 conveniente, 3 imprescindible.

Se les permitió añadir aspectos adicionales lo cual sirvió para incorporar detalles de mejora deseada que no recogía el cuestionario, y para aportar una información complementaria que ha resultado muy útil para hacer la interpretación semántica posterior requerida para la integración de resultados.

A cada concepto de mejora identificado se le ha asignado la suma de las valoraciones de los 21 entrevistados y se muestra el conjunto ordenado en la Tabla 5.5.

Núm.	Clave	Concepto	Valor	% acum.
1	J	Valoración cualitativa del nivel de riesgo total del proyecto	63	3%
2	N	Definición líneas rojas	63	5%
3	Q	Uso de un sistema informatizado	63	8%
4	Val-1	Expresión de los valores de impacto y probabilidad mediante escalas	63	10%
5	Res-4	Debe obtenerse un resultado numérico para el riesgo del proyecto	63	13%
6	D	Valoración cualitativa de cada riesgo	62	15%
7	E	Asignación de impacto y probabilidad a cada riesgo	62	18%
8	L	Valoración cuantitativa del nivel de riesgo total del proyecto	62	20%
9	Org-6	Posibilidad de añadir riesgos particulares de cada proyecto	61	23%
10	P	Definición apetito de riesgo	60	25%
11	Val-3	Indicación del tipo de riesgo (coste, plazo, calidad, reputación seguridad, etc.)	60	27%
12	Res-3	Debe obtenerse un resultado numérico para cada matriz	60	30%
13	Otr-2	Escalas lineales para valoración e interpretación riesgos	60	32%

Núm.	Clave	Concepto	Valor	% acum.
14	F	Valoración cuantitativa de cada riesgo (nivel de riesgo)	59	35%
15	Mit-1	Debe valorarse el efecto de las acciones de minoración o mitigación propuestas	59	37%
16	R	Monitorización evolución riesgos	58	39%
17	Res-1	Debe obtenerse un resultado numérico para cada riesgo evaluado	58	42%
18	Cos-2	Debe distinguirse el coste posible, el probable y el mitigado	58	44%
19	Cos-6	El coste total previsto es la suma de productos de coste x probabilidad	58	46%
20	Otr-1	Hay que considerar el concepto de línea roja (condición de riesgo excluyente)	58	49%
21	Org-3	Organización de los riesgos en las matrices mediante capítulos	57	51%
22	Val-4	Valoración separada de cada tipo de riesgo	57	53%
23	Cos-1	Es preciso calcular el coste asociado a los riesgos	57	55%
24	A	Uso de una plantilla para evaluar riesgos	56	58%
25	B	Estructuración de los riesgos identificados (mediante matrices o similar)	56	60%
26	Val-2	Necesidad de mayor objetivación en las valoraciones	56	62%
27	Org-2	Uso de matrices para organizar los riesgos	55	64%
28	Pes-1	Uso de pesos para diferenciar la importancia de los diversos riesgos	55	67%
29	Mit-2	Estimación separada del efecto de mitigación para impacto y probabilidad	55	69%
30	Org-1	Organización jerárquica de los riesgos	54	71%
31	X-4	Visión de la evolución temporal	53	73%
32	T	Toma de decisiones (integrado con)	53	75%
33	Res-2	Debe obtenerse un resultado numérico para cada grupo de riesgos (capítulos)	49	77%
34	Cos-5	Mitigación del coste coherente con el efecto de las medidas mitigadoras	49	79%
35	Pes-2	Los pesos de cada riesgo deben referirse a la unidad organizativa donde estén	47	81%
36	Org-4	Uso de un cuestionario de riesgos único para todos los proyectos	46	83%
37	I	Valoración cuantitativa del riesgo global de cada matriz (nivel de riesgo)	45	85%
38	K	Valoración del impacto y probabilidad global del proyecto	45	87%
39	Cos-4	Se debe desglosar el coste de la medida mitigadora	45	88%

Núm.	Clave	Concepto	Valor	% acum.
40	Pes-3	Cada unidad organizativa debe tener un peso propio	44	90%
41	M	Valoración cuantitativa del nivel de riesgo de grupos de proyectos	42	92%
42	G	Valoración cualitativa del riesgo global de cada matriz	37	93%
43	C	Posibilidad de añadir riesgos no incluidos en la plantilla	34	95%
44	H	Valoración del impacto y probabilidad de cada matriz	34	96%
45	X-3	Uso de gráficos (mapas de calor)	31	97%
46	Org-5	Uso de un cuestionario con preguntas y respuestas para ser seleccionadas	30	98%
47	Cos-3	Uso de métodos probabilísticos, como Monte Carlo, para calcular el coste total	13	99%
48	X-2	Uso de otros indicadores (velocidad, vulnerabilidad, etc.)	10	99%
49	O	Uso de un sistema objetivo (cerrado)	9	100%
50	X-1	Uso de Monte Carlo	6	100%

Tabla 5.5. Parámetros relevantes según las entrevistas estructuradas

La clave identifica la sección del formulario donde se contiene la pregunta. Las claves de una sola letra y las claves X-n corresponden a conceptos no disponible inicialmente en el cuestionario, que fueron incorporados en el transcurso de las entrevistas.

Al igual que sucedía en los resultados proporcionados por los métodos anteriores, tampoco aquí se cumple la regla de Pareto y el 20% de los 50 parámetros sólo acumula un 25% del total. El 80% del valor acumulado se alcanza con 35 parámetros (70% de los parámetros), consecuencia del perfil tan plano que muestra el histograma de la Figura 5.6.

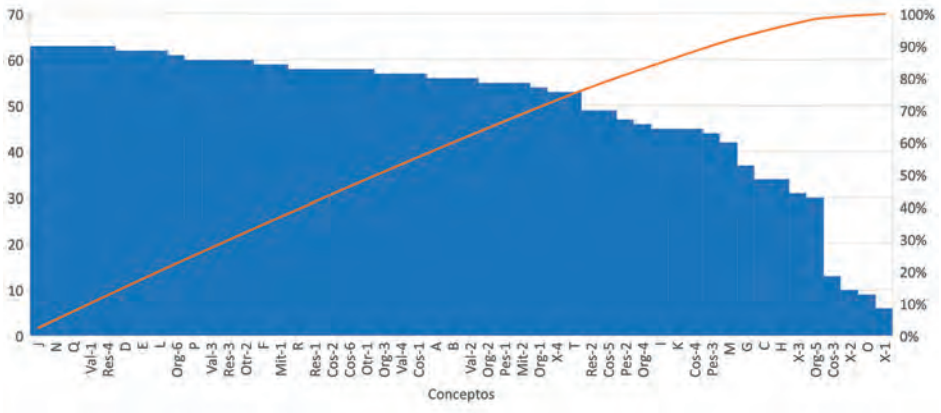

Figura 5.6. Parámetros de mejora según las entrevistas estructuradas

5.4. Integración de resultados

Mediante los tres métodos anteriores se han obtenido tres listas de parámetros de mejora, que, siendo muy reveladoras, no aportan por sí solas la necesaria solidez científica. Para lograr la fiabilidad requerida, es preciso integrar las tres listas en una lista única (Figura 5.7), cuya prioridad esté sustentada por los resultados obtenidos en las listas individuales, según se adelantó en el apartado 1.3.2 «Marco metodológico» y en consonancia con trabajos anteriores que han usado esta metodología (Fernández Sánchez 2010; Hruškovič 2011).

Figura 5.7. Integración de parámetros de mejora

5.4.1. Descripción de las fases de actuación

La primera fase, ya detallada, es la fase de identificación de parámetros, de forma independiente y mediante métodos distintos. El resultado obtenido son las listas presentadas en la Tabla 5.2, Tabla 5.4 y Tabla 5.5 correspondientes a la revisión de la literatura académica, tormenta de ideas y entrevistas estructuradas, respectivamente.

Para poder integrar las listas individuales en una lista única, es preciso normalizarlas previamente. Esto comporta dos operaciones: ajustar sus valores máximos, de modo que el valor para el parámetro más destacado en cada una sea 100, y asignar un peso a cada lista.

El valor máximo para los parámetros obtenidos mediante revisión de la literatura académica es de 857 (Tabla 5.2); el valor máximo mediante la tormenta de ideas es de 36 (Tabla 5.4); para las entrevistas estructuradas el valor máximo es 63 (Tabla 5.5). Según esto, a los valores de estas tablas se les aplica un factor normalizador $100/V_{mi}$, siendo V_{mi} el valor máximo previo de cada tabla *i*.

Para ponderar la importancia de cada método se ha considerado un peso de 1,1 para la revisión de la literatura, un peso de 1,0 para la tormenta de ideas, y un peso de 1,2 para los resultados de las entrevistas. El criterio seguido para ello es que se dedicó mucho más tiempo en total a las entrevistas que a la tormenta de ideas y, al ser conversaciones individuales, cada entrevistado pudo expresarse con total libertad y sin limitación de tiempo. A la literatura se le da un peso intermedio, pese a su indudable valor académico, debido al reconocido distanciamiento entre las publicaciones y las prácticas habituales de las empresas (Deng and Smyth 2013; Taroun 2014; Thamhain 2013).

Como consecuencia de este paso, los máximos pasan a ser 110, 100 y 120 respectivamente para la revisión de la literatura, la tormenta de ideas y las entrevistas estructuradas.

La diferente formulación de los conceptos en cada una de estas tres fuentes de estudio, consecuencia de su diferente génesis, dificulta su consolidación directa en una tabla única. Ello obliga a realizar primero un análisis semántico de los conceptos enunciados en cada una y, luego, a establecer las correspondencias entre los conceptos de cada tabla y los equivalentes presentes en las otras dos tablas. Para ello se define una correlación formal entre ellos, lo cual posibilitará que la expresión de una idea, formulada también en otras fuentes, aunque de forma diferente, se vea reforzada.

Para materializar ese refuerzo, para cada parámetro de una tabla *i* se obtiene en cada una de las otras tablas *j* la suma de las puntuaciones correspondientes a los parámetros que se han correlacionado con él, se divide por un factor R_{ij}, y se suma al valor previamente existente en la tabla *i* para ese parámetro. El valor R_{ij} es un coeficiente reductor para limitar el valor máximo añadido a cada tabla por la aportación de los conceptos relacionados en otra tabla, de modo que no se exceda un porcentaje dado. La forma de calcular R_{ij} es comparar el máximo valor añadido para cualquier concepto desde otra tabla *j* con el máximo valor previo de la tabla i receptora, y asegurar que su cociente no sobrepasa el valor indicado en la Tabla 5.5.

	Origen		
Destino	**Revisión de literatura**	**Tormenta de ideas**	**Entrevistas**
Revisión de literatura	—	10%	12%
Tormenta de ideas	10%	—	12%
Entrevistas	15%	10%	—

Tabla 5.6. Límites de refuerzo de fuentes

Aplicando el método explicado se obtienen las valoraciones definitivas para los conceptos procedentes de cada una de las tres fuentes, y se obtiene una lista única de conceptos semánticos homogeneizados cuya valoración es la suma, para cada concepto, de las puntuaciones de los conceptos semánticamente análogos en cada

fuente. Tras este proceso se han obtenido 66 resultados o parámetros básicos de mejora.

En la Figura 5.8 se muestra un resumen del esquema general descrito anteriormente.

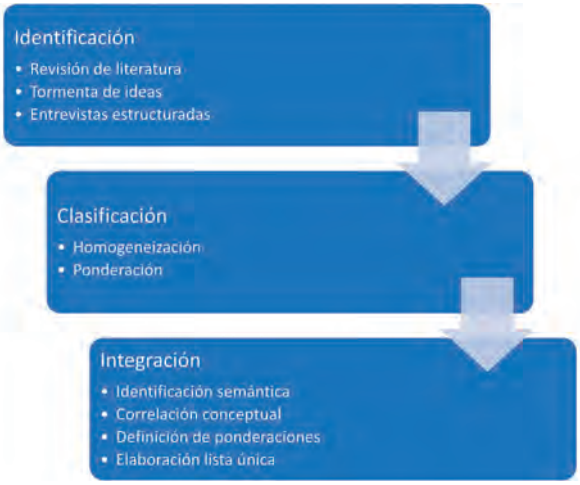

Figura 5.8. Esquema general del proceso de obtención de parámetros de mejora

5.4.2. Resultado de la integración

Partiendo de las tablas elaboradas según el apartado anterior, una vez homogeneizadas semántica y numéricamente, se obtiene una lista de 66 parámetros que cuenta como soporte investigativo con los tres métodos independientes de obtención de listas parciales, de las cuales se han considerado el 100% de sus parámetros, y con la experiencia profesional del autor, que ha servido para clarificar y contrastar los resultados integrados (Tabla 5.7).

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado
1	Toma de decisiones	351	4%
2	Valoración cuantitativa riesgo proyecto	336	8%
3	Necesidad de objetivar	307	11%
4	Necesidad de cuantificar (riesgos, grupos y matrices)	297	15%
5	Uso de un indicador de riesgo (KRI)	293	18%
6	Sistema informatizado	285	21%
7	Valoración cualitativa proyecto	270	24%

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado
8	Homogeneidad	269	27%
9	Uso de plantillas de evaluación de riesgos	267	30%
10	Importancia del análisis de riesgos	267	33%
11	Valoración cualitativa de cada riesgo	256	36%
12	Cuestionario único para todos los proyectos	252	39%
13	Impacto y probabilidad global del proyecto	246	42%
14	Comparaciones	237	44%
15	Asignación de impacto y probabilidad a cada riesgo	231	47%
16	Coste posible, probable y mitigado	227	49%
17	Cálculo del coste de los riesgos	227	52%
18	Cuantificación riesgo grupo de proyectos	220	54%
19	Integración con estrategia	217	57%
20	Consideración de diferentes tipos de riesgo	203	59%
21	Apetito de riesgo y líneas rojas	192	61%
22	Uso de escalas lineales para impacto y probabilidad	187	63%
23	Sistema estructurado de riesgos	182	65%
24	Coste riesgo como suma de I x P (SPIP)	181	67%
25	Simplicidad	180	69%
26	Evolución de los riesgos	180	71%
27	Valoración efectos de mitigación	154	73%
28	Uso de gráficos (mapas de calor)	151	75%
29	Valor esperado I x P (NPR)	143	76%
30	Incertidumbre	125	78%
31	Desbordamiento coste	120	79%
32	Sistema abierto a nuevos riesgos	118	81%
33	Valoración separada de cada tipo de riesgo	113	82%
34	Uso de pesos para riesgos	112	83%
35	Mitigación independiente para impacto y probabilidad	108	84%
36	Coste mitigado coherente con mitigación	107	86%
37	Pesos riesgos relativos a su unidad organizativa	94	87%

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado
38	Desglose coste mitigación	91	88%
39	Cada unidad organizativa debe tener un peso propio	88	89%
40	Consideración de métodos probabilísticos	84	90%
41	No equivocarse	82	90%
42	Clarificación	81	91%
43	Valoración cualitativa del riesgo global de cada matriz	81	92%
44	Valoración del impacto y probabilidad de cada matriz	75	93%
45	Riesgos no cuantificables	70	94%
46	Cuestionario evaluación con preguntas y respuestas prefijadas	67	95%
47	Carencias ERM	60	95%
48	Cualificación alternativa	45	96%
49	Uso de un sistema objetivo (cerrado)	37	96%
50	Correlación entre riesgos	36	97%
51	Uso de indicadores adicionales	33	97%
52	Influencia riesgos globales	30	97%
53	Actitud	30	98%
54	Uso de Monte Carlo	29	98%
55	Informes claros	27	98%
56	Limitar el alcance	25	99%
57	Predicción	21	99%
58	Métodos difusos *(Fuzzy)*	21	99%
59	Nivel de confianza	20	99%
60	Integración con operaciones	17	99%
61	PERT	10	100%
62	Pareto	10	100%
63	Redes neuronales *(ANN)*	9	100%
64	Regresión múltiple	8	100%
65	Existencia de silos	6	100%
66	3 líneas de defensa	3	100%

Tabla 5.7. Lista de 66 parámetros de mejora

La Figura 5.9 muestra gráficamente los 66 parámetros en un diagrama de Pareto.

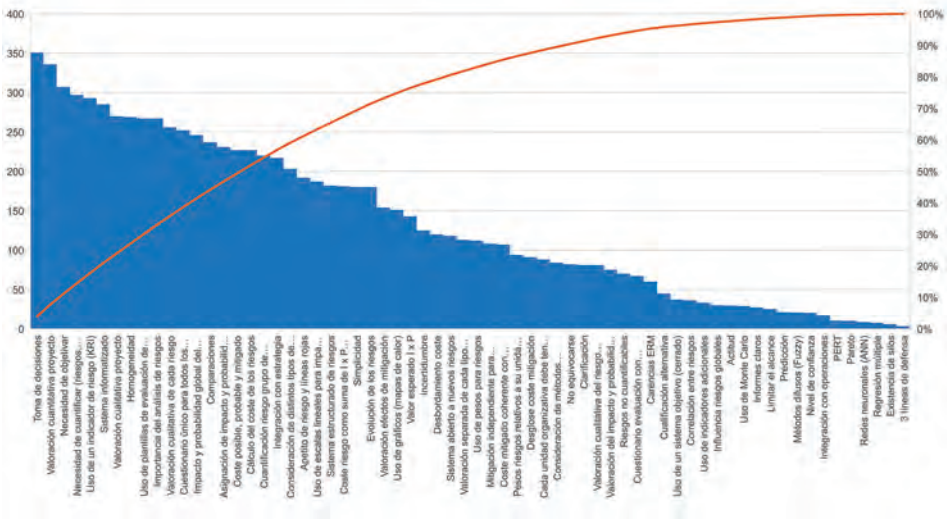

Figura 5.9. Diagrama de Pareto de los 66 parámetros de mejora

Puede comprobarse que no se cumple la regla de Pareto dado que el 20% de los 66 parámetros sólo acumula un 42% del total. El 80% del valor acumulado se alcanza con 32 parámetros (48% de los parámetros), como muestra la figura anterior.

5.5. Discusión de resultados

En los apartados anteriores se han presentado los resultados de las propuestas de mejora, tanto de forma separada para cada uno de los métodos de investigación seguidos, como para la visión resultante de su integración. Se ha confirmado que estos resultados no satisfacen la expectativa de cumplimiento de la regla de Pareto planteada por algunos autores, según la cual el 20% de los indicadores representaría el 80% de la relevancia (Fernández-Sánchez and Rodríguez-López 2010; Fernández Sánchez 2010; Leceta Ostolaza 2014; Pérez Soriano 2014). Por ello, en el presente trabajo se ha considerado el 100% de los resultados parciales para realizar la integración, y se ha añadido una supervisión experta para realizar el análisis semántico necesario para esa integración, todo lo cual ha permitido mejorar los trabajos anteriores.

La consideración de los primeros 32 parámetros (48%) aportaría un 80% del resultado total, pero se han considerado los 50 primeros (76%), con lo que se ha alcanzado el 97% de la representatividad como clave para el fin buscado de definir los requisitos de mejora del control y gestión de riesgos (con la salvedad de los parámetros 24 y 29). Los restantes 16 parámetros (3% del resultado) serían, en principio, prescindibles.

Es pertinente recordar que, debido a la génesis de estos parámetros, algunos de ellos, lejos de constituir parámetros de mejora, sólo son un reflejo de las prácticas actuales, con las dificultades que conllevan. Es el caso de los parámetros 24, «Coste riesgo como suma de *I* x *P* (SPIP)», y 29, «Valor esperado *I* x *P* (NPR)», cuyos inconvenientes de uso ya se han explicado. Por otra parte, los situados en las últimas posiciones, más que como requisitos de mejora deberían considerarse como prácticas o sugerencias poco aceptadas.

El análisis de los 10 parámetros de mejora más relevantes es significativo para comprender el alcance de los resultados, y confirma la coherencia entre ellos.

El aspecto más valorado es la «Toma de decisiones» y destaca la relevancia del papel de la gestión de riesgos en las empresas. Es el más valorado en la revisión de la literatura académica (su IIR es 100%) y el segundo en la tormenta de ideas. En las entrevistas ocupa el lugar 13 (de 66).

El segundo aspecto más valorado es la «Valoración cuantitativa riesgo proyecto». Es una demanda que ha destacado en cada una de las tres fuentes de estudio, y proviene de la falta de conocimiento del nivel de riesgo global de los proyectos cuando, para el análisis, se ha identificado un gran número de eventos de riesgo (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004). Está asociado a la toma de decisiones y subraya la relevancia del papel de la gestión de riesgos en las empresas.

La «Necesidad de objetivar», en tercer lugar, demanda un sistema que con el que reducir la subjetividad, los prejuicios e, incluso, las decisiones basadas únicamente en la experiencia.

La «Necesidad de cuantificar (riesgos, grupos y matrices)», en cuarto lugar, es indicativa de la necesidad de poder tratar analíticamente la información para estudiar cuantitativamente el detalle de la situación de los riesgos del proyecto y poder hacer comparaciones.

El quinto requisito «Uso de un indicador de riesgo (KRI)» evidencia la necesidad de un indicador genérico aplicable a cualquier tipo de riesgo y de proyecto, y demuestra la carencia de un indicador aplicable en todos los casos, indispensable para los estudios analíticos y las comparaciones que precisa un sistema de toma de decisiones.

El sexto parámetro demanda un «Sistema informatizado», que es básico para lograr la homogeneidad, fiabilidad y la visión analítica de la gestión de riesgos que piden los parámetros anteriores. La automatización contribuye a evitar los resúmenes subjetivos, que muchas veces están sujetos a conflictos de intereses.

El séptimo parámetro de mejora es la «Valoración cualitativa proyecto» y su presencia entre los más relevantes responde a la constatación de la dificultad de cuantificar mu-

chos de los riesgos identificados, y a la necesidad de tener una visión objetiva, aunque sólo sea cualitativa, del nivel de riesgo del conjunto del proyecto.

Los parámetros octavo y noveno están relacionados: «Homogeneidad» y «Uso de plantillas». El uso de plantillas de evaluación de riesgos facilita una mayor homogeneidad y la comparación de proyectos diferentes; además constituye una valiosa ayuda para la evaluación evitando que, por olvido o por falta de experiencia, se puedan omitir riesgos significativos.

El décimo parámetro, «Importancia del análisis de riesgos», más que como una directriz, debe ser interpretado como una llamada de atención relativa al papel que el control y gestión de riesgos debe tener en las empresas.

Estos 10 requisitos, junto con los 40 restantes para completar el 97% de la relevancia total, son los parámetros de mejora que posibilitarían definir un sistema de riesgos para satisfacer las necesidades expuestas, dando solución a las carencias actuales. Se confirman aspectos que se han expuesto anteriormente, como disponer del impacto y probabilidad global del proyecto (13), cuantificación del riesgo de un grupo de proyectos (18), integración con la estrategia de la empresa (19), apetito de riesgo y líneas rojas (21), uso de escalas lineales (22), simplicidad (25), valoración de los efectos de la mitigación (27) y el desbordamiento de la contingencia (31). También aparecen algunos conceptos nuevos, como el uso de un cuestionario único para todos los proyectos (12), el detalle del coste posible, probable y mitigado (16), evolución de los riesgos (26) y valoración de los efectos de la mitigación (27).

Los resultados obtenidos confirman la propuesta preliminar de parámetros hecha en la Tabla 5 1, correspondiente al estudio realizado en varias empresas, a entrevistas no estructuradas con profesionales y a la experiencia personal del autor.

El estudio de los parámetros situados en la cola demuestra la escasa aceptación de las propuestas de uso de métodos difusos *(Fuzzy)*, de redes neuronales *(ANN)*, regresión múltiple y predictivos. El concepto de las 3 líneas de defensa (The Institute of Internal Auditors 2013) es el menos valorado y no se aprecia correlación alguna entre él y los conceptos de integración con la estrategia o de la importancia de la gestión de riesgos.

Se aprecia la escasa relevancia del uso de la simulación de Monte Carlo (puesto 54) y de la consideración de la correlación entre eventos de riesgo (puesto 50), parámetros que están interrelacionados, dado que una buena modelización de la correlación es esencial para que el método de Monte Carlo proporcione resultados válidos.

El uso de métodos objetivos figura en el puesto 49, pero estos métodos sólo son aplicables a casos particulares, como se explicó en el apartado 3.1.1 «Visión general».

En el siguiente apartado se propone un nuevo indicador y un nuevo método de estimación del riesgo global que dan solución a la mayor parte de los parámetros básicos de mejora planteados.

5.6. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha descrito el trabajo realizado para lograr definir los parámetros de mejora que deberían posibilitar la definición de un sistema idóneo para perfeccionar las prácticas actuales de control y gestión de riesgos. Para ello se han seguido tres métodos diferentes e independientes: revisión de la literatura académica, sesión de tormenta de ideas y entrevistas estructuradas.

La elección de estos tres sistemas ha posibilitado consolidar los puntos de vista académicos y profesionales, lo cual dota a los resultados obtenidos de una calidad relevante.

Se ha aplicado un análisis semántico a las listas de parámetros obtenidas con cada uno de los métodos como paso previo imprescindible para lograr su integración. De hecho, a diferencia de otros trabajos de investigación similares, cuyos resultados son listas de conceptos fácilmente integrables, los resultados aportados por cada uno de los tres métodos son listas de pensamientos, criterios, percepciones o ideas, a veces formulados mediante expresiones o frases. Esta forma de definición de los parámetros en cada una de las tres listas es la causa de que no se puedan integrar directamente, dado que una misma idea puede estar formulada de forma diferente en cada una de las listas obtenidas a través de los diversos métodos.

El resultado obtenido es una lista de 66 parámetros de mejora priorizada según su relevancia. Es de destacar que la lista confirma los parámetros definidos al comienzo del capítulo fruto del estudio de la función de control y gestión de riesgos en las empresas. Por otra parte, relega la mayor parte de propuestas académicas a los últimos puestos de la lista, por ser demasiado sofisticadas o lejanas a las empresas, lo cual ya se había adelantado anteriormente.

6. NUEVO INDICADOR DE RIESGO GLOBAL

La necesidad de disponer de un nuevo indicador cuantitativo genérico figura en quinto lugar en la lista de parámetros de mejora, según se ha visto en el apartado 5.4.2 «Resultado de la integración», y es la base para poder hacer la valoración cuantitativa del riesgo del proyecto (parámetro 2º) y elaborar un sistema analítico (parámetro 4º) que permita una buena toma de decisiones (parámetro 1º).

La idea inicial que constituye la base del presente trabajo fue presentada en el congreso anual del Project Management Institute, capítulo de Valencia, en el año 2015 (Vegas-Fernández 2015).

6.1. Factor de Visibilidad

La literatura consultada dedica numerosas páginas a la idea de definir un nuevo indicador de riesgo (IIR 48%). La definición de un nuevo indicador es compleja y se han tenido en cuenta anteriores trabajos para buscar un indicador único, sencillo, lineal e intuitivo que facilite la comunicación de una situación de riesgo (Babatola 2004; Beasley et al. 2010; Cretu et al. 2011; Lundy 2012; Pont-Sorribes et al. 2009). Además, debe cumplir los requisitos definidos en el apartado 1.3.1 «Requisitos previos para los objetivos», siendo el primero de ellos la simplicidad (parámetro 25 de la lista de parámetros de mejora).

La simplicidad impone el contexto para encontrar una solución adecuada, y esto significa partir de la definición del impacto y la probabilidad (Project Management Institute 2017a), sin que importe si su definición es meramente cualitativa, mediante escalas de Likert, o si es cuantitativa.

La utilización de estas dos variables proporciona varias ventajas. La primera es que, al ser los requisitos básicos para la evaluación de un riesgo, casi todas las empresas disponen de esa información. La segunda es que, por el motivo anterior, si el nuevo indicador es una función del impacto y la probabilidad, no se precisará ninguna evaluación complementaria ni trabajo adicional para valorar el riesgo con el nuevo indicador. La tercera ventaja es que, al utilizar el impacto y la probabilidad como variables básicas, es posible seguir utilizando los mapas de calor (diagramas de Farmer) a los que están acostumbrados la mayor parte de profesionales que evalúan riesgos.

Para la concepción del indicador buscado se ha utilizado la técnica de pensamiento visual *(«visual thinking»)*, muy popular hoy en día, aunque sus principios son muy antiguos (Arnheim 1969). El análisis se realiza en dos dimensiones, mucho más intuitivo, visual y asequible que con tres dimensiones, y se parte de las figuras bidimensionales de los apartados 4.1.2 «Análisis bidimensional del NPR» y 4.1.3 «Indicador alternativo raíz de NPR» que representan las curvas de nivel de igual riesgo con cada uno de los respectivos indicadores (Figura 6.1).

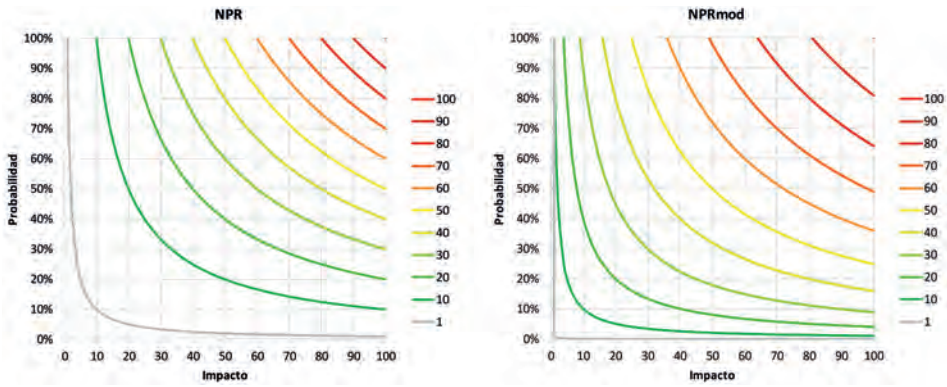

Figura 6.1. Curvas de referencia para NPR y NPR_{mod}

6.1.1. Premisas iniciales

El estudio comparado de las dos gráficas de la figura anterior muestra una mejor cobertura del mapa con las curvas de NPRmod; sin embargo, el comportamiento de las curvas de NPR en los límites superior y derecho es más adecuado (ver el apartado 4.1.3 «Indicador alternativo raíz de NPR"). Para aunar las ventajas de ambos indicadores y eliminar los inconvenientes se podría pensar en curvas de un perfil idéntico situadas de forma equiespaciada en el mapa para posibilitar un comportamiento lineal a lo largo de la diagonal (ver la definición de «diagonal» en el apartado 3.1.1 «Visión general»). Además, se debería cumplir que el valor de una curva que pase por un punto del mapa con igual impacto y probabilidad (por ejemplo, 40 y 40%) corresponda al valor del impacto en ese punto.

Hay dos aspectos básicos iniciales que cabe discutir, y son la simetría de las curvas y la conveniencia de que el nivel de riesgo tienda o no a cero cuando el impacto sea alto y la probabilidad tienda a cero.

Se ha visto anteriormente que los mapas de calor pueden expresar niveles de severidad o gravedad en forma no simétrica (Figura 3.2. Mapa de calor modificado), y esto posibilitaría un nivel con impacto alto y probabilidad baja diferente del obtenido con impacto bajo y probabilidad alta. Sin embargo, una definición de curvas de nivel de riesgo no simétricas, además de ser muy poco intuitiva, debería estar ligada al apetito de riesgo de cada empresa, y es difícil de expresar si no se ha definido previamente cuál es el indicador para medir el riesgo. Estas razones aconsejan empezar con una definición de curvas simétricas, de forma que el nivel de riesgo que marque el valor del indicador en los bordes inferior e izquierdo del mapa de calor (probabilidad o impacto nulos, respectivamente) sea el mismo.

Por otra parte, en la práctica habitual cuando se usan escalas de Likert, si la probabilidad es cero no se considera que haya riesgo, y, si no es cero, el valor mínimo puede ser del 20%, 25% o más en función del número de escalones que tenga la escala utilizada (ver el apartado 3.3 «Uso de escalas»). Por ello, el deseo de que el nivel de riesgo tienda

a cero cuando el impacto sea alto y la probabilidad tienda a cero es más un concepto teórico que una posibilidad práctica y bastará con que el indicador proporcione un valor muy reducido.

6.1.2. Estudio visual

Según lo anterior, la presentación gráfica de los niveles de severidad o gravedad del riesgo podría ser la mostrada anteriormente en la Figura 3.7, con una variación continua del nivel de riesgo de izquierda a derecha y de abajo arriba en línea con la diagonal.

Una primera aproximación a lo que podrían ser las curvas de nivel de riesgo se muestra en la Figura 6.2, y sería la de líneas rectas perpendiculares a la diagonal.

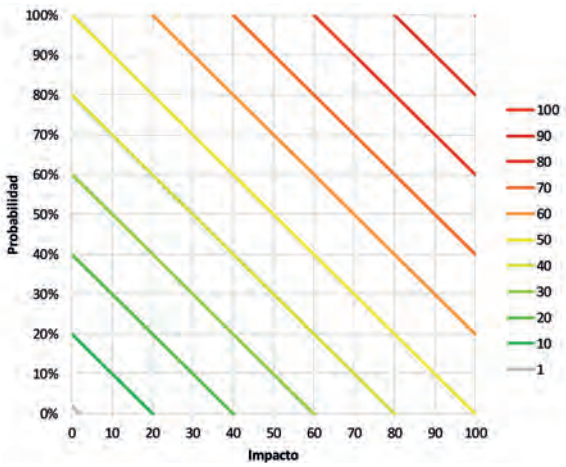

Figura 6.2. Aproximación con líneas rectas

Aparentemente se cumplen los requisitos contemplados en 1.3.1 «Requisitos previos para los objetivos» y se solucionan los inconvenientes planteados en 4.1.2 «Análisis bidimensional del NPR» relativos a su fácil comprensión, equiespaciado, cobertura uniforme del diagrama de Farmer y linealidad a lo largo de la diagonal. Esta aproximación logra que los valores de las curvas de nivel (rectas, en este caso) coincidan con el valor del impacto del punto de la recta en el que se igualan impacto y probabilidad. Sin embargo, esta solución presenta agravado el comportamiento no deseado expuesto en el apartado 4.1.3 «Indicador alternativo raíz de NPR» de que el riesgo no es nulo a lo largo del eje impacto = 0, un valor de 50 si la probabilidad es cercana al 100%.

Para superar este obstáculo es preciso dar curvatura a las líneas de nivel de riesgo. Este enfoque da lugar a curvas más atractivas que se adaptan mejor a la representación gráfica tradicional del apetito de riesgo (Steinberg et al. 2004b) y están en consonancia con las propuestas de otros autores (Al- Bahar and Crandall 1990; Karakhan and Gambatese 2017). En la Figura 6.3 se muestran dos propuestas con diferente curvatura.

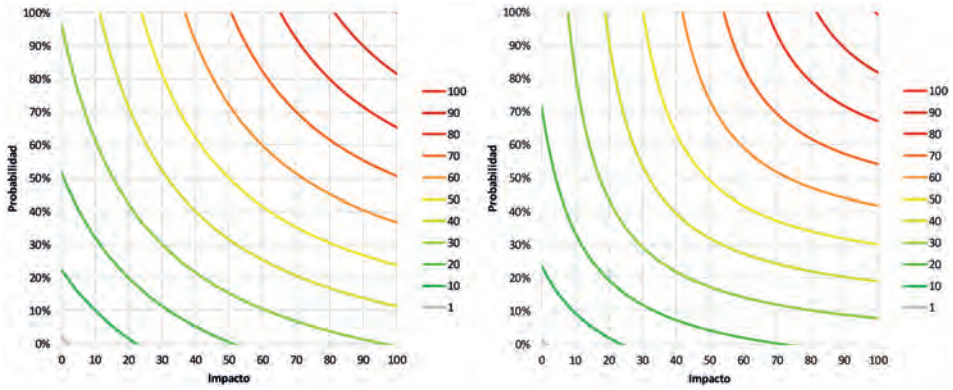

Figura 6.3. Aproximación con curvas 1 y 2

Las curvas presentadas en la figura anterior conservan las ventajas explicadas para el caso de líneas rectas, y mejoran su comportamiento en los ejes impacto = 0 y probabilidad = 0.

No obstante, no es suficiente, como puede observarse en la figura. Las curvas de la gráfica izquierda proponen un nivel de riesgo mayor de 30 cuando el impacto es 0 y la probabilidad es 100%. Las curvas de la gráfica derecha presentan una mayor curvatura, pero persiste el comportamiento no deseado y, cua ndo el impacto es cero, en función de la probabilidad, el nivel de riesgo es mayor de 20. Se precisa forzar aún más la curvatura y, para mantener las ventajas obtenidas con las curvas anteriores y solucionar el inconveniente que presentan junto a los ejes, el diseño debe ser como el de las curvas de la Figura 6.4.

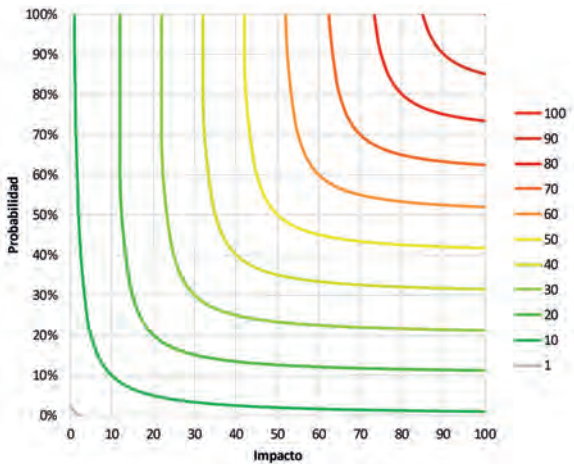

Figura 6.4. Aproximación final con curvas

Se acepta este diseño como óptimo y se acomete su formulación matemática.

6.1.3. Definición matemática de las curvas de nivel

Las curvas de la Figura 6.4 son hiperbólicas. Su definición, por tanto, debe ajustarse al perfil de una ecuación y = *F/x*, siendo *F* una constante. La diferencia básica con respecto al indicador NPR es que, en aquél, *F* es la variable NPR, que proporciona una curvatura diferente a cada curva.

La definición de las ecuaciones que generan las curvas mostradas en la Figura 6.4 se recoge con todo el detalle en el apartado «Formulas 6.1.3 Definición matemática de las curvas de nivel» del anexo 3.

Se define como factor de visibilidad del riesgo o «Factor de Visibilidad» (Fv) al valor del nivel de riesgo de cada curva. El Factor de Visibilidad de cada curva coincide con el del impacto de su vértice y representa su nivel de riesgo, de forma que resulta muy sencillo identificarlo visualmente. El nombre elegido proviene del deseo de que su uso facilite una rápida percepción del nivel de riesgo, de acuerdo con una imagen visual que corresponde a la Figura 6.5:

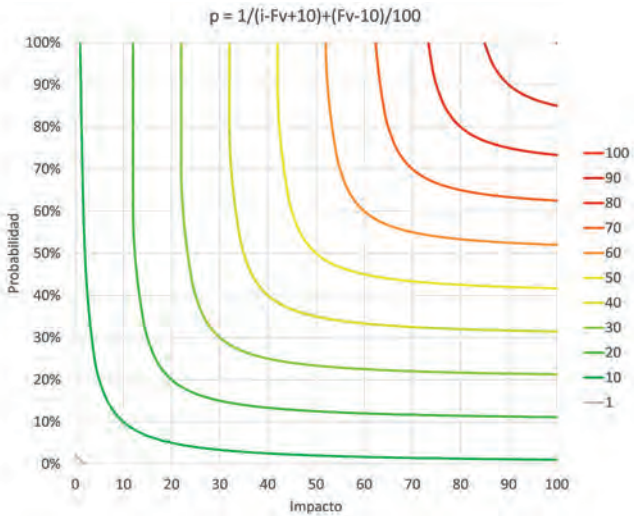

Figura 6.5. Curvas de nivel del Factor de Visibilidad Fv

En la figura anterior se muestra la curva de nivel Fv = 1 de modo testimonial para su comparación con la de igual valor del NPR. La curva Fv = 100 solo muestra el punto de coordenadas *i* = 100 y *p* = 100% que aparece en la esquina superior derecha del mapa.

6.1.4. Formulación del Factor de Visibilidad

La formulación del Factor de Visibilidad es el resultado de la resolución de la ecuación de las curvas de nivel mostradas anteriormente. Puede consultarse en detalle su desarrollo

en el apartado "Fórmulas 6.1.4 Formulación del Factor de Visibilidad" del anexo 3, siendo la expresión final la fórmula [6-1], fácilmente programable en Excel como una función.

$$Fv = \frac{100p+20+i-\sqrt{10000p^2+i^2-200pi+400}}{2} \qquad [6\text{-}1]$$

En anteriormente citado apartado del anexo 3 se definen adicionalmente algunas ecuaciones que resultarán necesarias cuando se formule el resumen de escenarios de eventos en el apartado 6.2.2. Estas ecuaciones permiten la obtención del impacto o de la probabilidad en función del Factor de Visibilidad Fv y de la otra variable. Resolviendo [6-6] se tiene:

No es posible establecer una relación directa entre este nuevo parámetro, Fv, y el factor de riesgo tradicional NPR porque siempre será preciso disponer como dato adicional de uno de los dos valores, el impacto o la probabilidad. Sin embargo, como estimación, es posible establecer una relación entre ambos introduciendo una simplificación cuando no se disponga de esos detalles y únicamente se tenga el valor NPR. Para ello, se puede asumir como punto representativo de la curva NPR aquél para el cual se cumple que $p = \frac{i}{100}$, que es el situado en la diagonal del gráfico. En estas condiciones y partiendo de la ecuación [6-1] se tendría:

$$Fv = 10\sqrt{NPR} \qquad [6\text{-}2]$$

6.1.5. Verificación del comportamiento del Factor de Visibilidad

Al igual que se hizo anteriormente con el indicador NPR, se va a examinar el nuevo indicador Fv para confirmar sus fortalezas y descubrir sus debilidades, de modo que se pueda confirmar en qué medida cumple con los requisitos contemplados en 1.3.1 «Requisitos previos para los objetivos» y se solucionan los inconvenientes planteados en 4.1.2 «Análisis bidimensional del NPR». Básicamente las comprobaciones se refieren a los aspectos que recoge la Tabla 6.1 y se seguirán los mismos pasos utilizados anteriormente para el estudio del indicador NPR.

Simplicidad
Obtenible a partir del impacto y probabilidad definidos
Comportamiento lineal
Percepción intuitiva
Necesidad de uso de una tabla o gráfico
Cobertura del diagrama de Farmer
Comportamiento en la combinación

Tabla 6.1. Comprobaciones para confirmar la efectividad del indicador Fv

La simplicidad y la obtención del Factor de Visibilidad a partir del impacto y la probabilidad están garantizadas, y la aparente complejidad de la fórmula no se considera un

obstáculo en un entorno digital. Debido a ello, cuando el evaluador valore el impacto y la probabilidad, ya sea con escalas de Likert de etiquetas (bajo, medio, alto, etc.) o numéricas (1,2,3, etc.) obtendrá inmediatamente el valor Fv correspondiente, tanto si utiliza una aplicación informática sofisticada como si emplea una simple hoja de cálculo.

6.1.5.1. Análisis tridimensional

El indicador Fv es una función de 2 variables Fv(i,p) y se representa en la Figura 6.6:

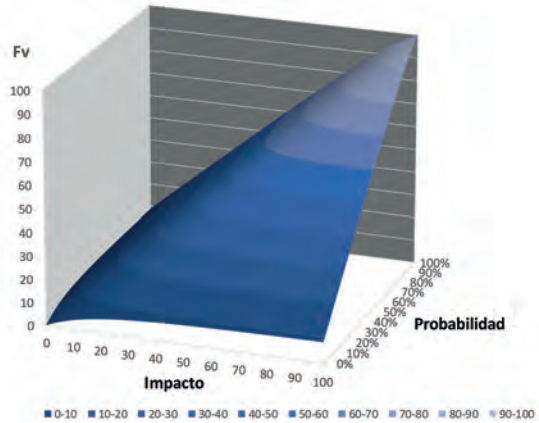

Figura 6.6. Representación 3D de Fv

Puede apreciarse que la intersección de la superficie con los planos verticales según el eje p (*i*=0) o el eje i (*p*=0), respectivamente, no genera rectas con valor Fv = 0, sino una curva creciente con un valor máximo de 9,01. En la Figura 4.2 se muestra la sección para el plano vertical según el eje i (*p* = 0). Para el plano con *i* = 0 la figura sería idéntica.

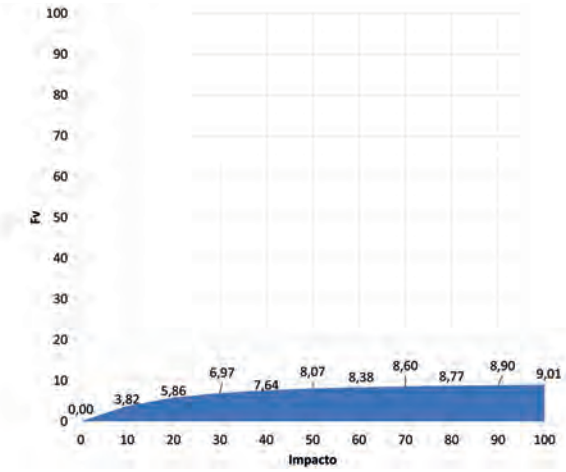

Figura 6.7. Intersección de Fv con el plano vertical p=0%

Cortando la superficie con dos planos verticales cumpliendo *i*=100 y *p*=100%, respectivamente, la intersección es aproximadamente recta, aunque no parte de cero sino del valor 9,01 correspondiente al valor Fv cuando *p* = 0% o cuando *i* = 0. La intersección de la superficie con un plano vertical según la «diagonal» (definida anteriormente) es una línea recta, como cabía anticipar a la vista de las curvas de nivel.

Se cumplen las condiciones exigidas de linealidad, aunque no que el valor Fv sea cero cuando el impacto o la probabilidad son cero. Tampoco es deseable que, cuando el impacto sea 100 y la probabilidad 0% o cuando la probabilidad sea 100% y el impacto 0, el valor Fv no sea 0 sino 9,01. En la práctica esto no supone ninguna limitación, según se ha explicado en el apartado 6.1.1. Por otra parte, al usar escalas de Likert, si el impacto o la probabilidad son cero la evaluación es que no hay riesgo.

6.1.5.2. Comportamiento lineal

El indicador Fv, a diferencia del NPR, tiene un comportamiento lineal debido a su diseño. Cuando el impacto y la probabilidad son iguales, su comportamiento es matemáticamente perfecto (Tabla 6.2):

i	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fv	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Tabla 6.2. Valores de Fv cuando p=i/100

La situación de impacto y probabilidad parecidos es muy habitual, por dos motivos (ver 4.1): primero, los evaluadores tienen una cierta predisposición a igualar las valoraciones de impacto y probabilidad, como se ha comprobado tras estudiar cientos de evaluaciones en una empresa constructora; segundo, considerando que el objetivo final es conocer el riesgo total del proyecto, o el de múltiples proyectos, la experiencia al integrar analíticamente los riesgos muestra también que el impacto y la probabilidad globales tienden a parecerse.

En cualquier otra situación el comportamiento es aproximadamente lineal, con las salvedades anteriormente comentadas.

6.1.5.3. Percepción intuitiva

Debido a su linealidad numérica, valores de Fv como 20, 50 y 80 corresponden a evaluaciones cualitativas de bajo, medio y alto, y sus impactos y probabilidades podrían ser 20 y 20%, 50 y 50% y 80 y 80% respectivamente (Tabla 6.3).

Fv	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Severidad	Baja				Media				Alta		

Tabla 6.3. Percepción intuitiva del riesgo

Un valor Fv de 50 es el doble que 25 y la mitad que 100, por ejemplo, y resulta inmediato intuir sus respectivas severidades en un mapa de calor sin necesidad de hacer raíces cuadradas como ocurre con el indicador NPR. Esta visión intuitiva hace posible mostrar las curvas de nivel de riesgo en un mapa de calor coherentemente con una gradación continua del nivel de severidad del riesgo (Figura 6.8).

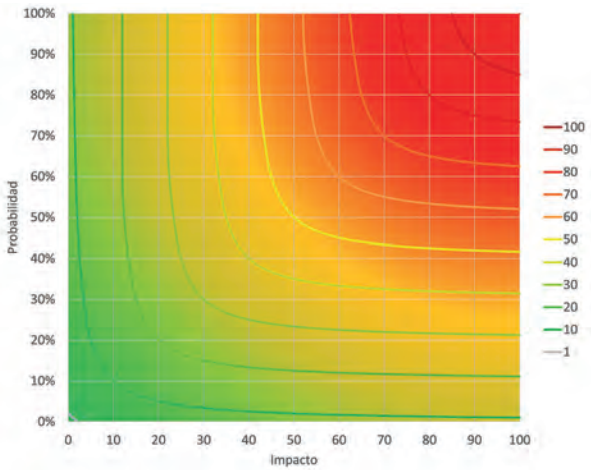

Figura 6.8. Representación gráfica del Factor de Visibilidad

La concepción intuitiva de una partición de la escala de 0 a 100 en bajo, medio y alto (o cualquier otra subdivisión más precisa) se ajusta perfectamente a los resultados que proporciona el Fv. No hay que confundir, sin embargo, esta definición «técnica» del nivel de riesgo con el apetito de riesgo. La propiedad de linealidad del indicador Fv posibilita comparar fácilmente riesgos diferentes, a diferencia del NPR, pero mediante la definición del apetito de riesgo se podrán establecer adicionalmente los umbrales para los niveles de severidad, de modo que se podría definir, por ejemplo, que un Fv mayor que 40 comporta un riesgo alto.

6.1.5.4. No necesidad de uso de una tabla o gráfica

Según se ha explicado anteriormente, el indicador Fv proporciona valores cuya ubicación en el diagrama de Farmer es inmediata (considerando un riesgo equivalente). El diseño de un crecimiento numérico constante del nivel de riesgo en el mapa de calor, de izquierda a derecha y de abajo arriba, con curvas de nivel idénticas y equiespaciadas, posibilita una inmediata interpretación del nivel de riesgo, a diferencia del NPR, sin perjuicio de una posible definición del apetito de riesgo que puede corregir la interpretación posterior de los valores, incluso en una forma no lineal, si se desea.

6.1.5.5. Cobertura del diagrama de Farmer

La Figura 6.5 demuestra claramente que las curvas de nivel del indicador Fv están uniformemente repartidas en todo el mapa, de modo que su sensibilidad, a diferencia del NPR, es idéntica en todas las zonas del diagrama de Farmer.

6.1.5.6. Aversión al riesgo

En el apartado 3.5.2 «Aversión al riesgo»se explicó la función de aversión absoluta al riesgo de Pratt y Arrow [3-1] y se vio que para el indicador NPR su valor es menor que cero cuando se considera su evolución a lo largo de la diagonal. Calculando la aversión absoluta al riesgo para Fv en las mismas condiciones (ver el apartado «Fórmulas 6.1.5.6 Aversión al riesgo» del anexo 1), se demuestra que la aversión absoluta de Fv es igual a cero y, por tanto, mayor que la del NPR.

Esto demuestra matemáticamente la percepción intuitiva y visual de que el Factor de Visibilidad Fv proporciona una valoración neutra del riesgo, más conservadora que el NPR, con unos valores absolutos más altos que el NPR para un mismo nivel de riesgo (a un NPR de 5, 10, 50 o 90 le corresponderían valores Fv de 22, 32, 71 o 95, respectivamente).

Es posible comprobar gráficamente esta propiedad comparando las curvas de nivel de ambos indicadores. En la Figura 6.9 se superponen las curvas correspondientes a ambos, dibujando con trazo discontinuo las correspondientes al indicador NPR (las curvas NPR = 1 y Fv = 10 coinciden).

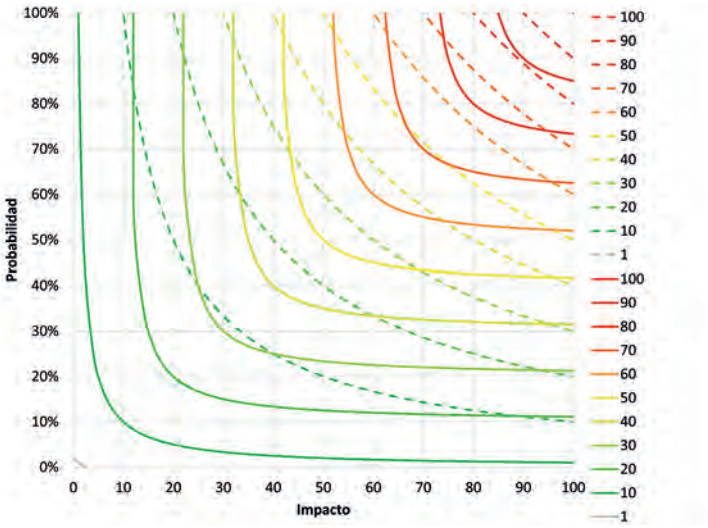

Figura 6.9. Comparación de las curvas de nivel de Fv y NPR

6.1.5.7. Comportamiento en la combinación de riesgos

Para verificar el comportamiento del indicador Fv se utilizan los mismos escenarios con los que se analizó el comportamiento del NPR en el apartado 4.1.2.5. En cada caso se obtiene la media Fvm de sus valores Fv y se compara con el Fv que se obtiene a partir del impacto y probabilidad medios Im y Pm calculados a partir de los impactos y probabilidades individuales. Se muestran también los valores obtenidos para el indicador NPR en el apartado 4.1.2.5, para facilitar su comparación.

A) Eventos alineados con la diagonal

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 32$, $P_1 = 32\%$, $I_2 = 89$ y $P_2 = 89\%$, cuyos valores Fv son 32 y 89, respectivamente, siendo su media $Fv_m = 61$. Los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 61$ y $P_m = 61\%$, a los cuales corresponde un Fv de 61, que coincide con Fv_m, como muestra la Tabla 6.4.

	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv
Evento 1	32	32%	10	32
Evento 2	89	89%	80	89
Medias I_m, P_m, Fv_m, NPR_m	61	61%	45	61
Usando I_m, P_m			37	61

Tabla 6.4. Combinación eventos alineados con la diagonal

B) Eventos alineados paralelamente a la diagonal

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 32$, $P_1 = 10\%$, $I_2 = 80$ y $P_2 = 30\%$, cuyos valores Fv son 16 y 38, respectivamente, siendo su media Fvm = 27. Los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 56$ y $P_m = 20\%$, a los cuales corresponde un Fv de 27, que coincide con Fv_m, como muestra la Tabla 6.5.

	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv
Evento 1	32	10%	3	16
Evento 2	80	30%	24	38
Medias I_m, P_m, Fv_m, NPR_m	56	20%	14	27
Usando I_m, P_m			11	27

Tabla 6.5. Combinación eventos paralelos a la diagonal

C) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 60$, $P_1 = 30\%$, $I_2 = 90$ y $P_2 = 10\%$, cuyos valores Fv son 37 y 19, respectivamente, siendo su media $Fv_m = 28$. Los

valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 75$ y $P_m = 20\%$, a los cuales corresponde un Fv de 28, que coincide con Fvm, como muestra la Tabla 6.6.

	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv
Evento 1	60	30%	18	37
Evento 2	90	10%	9	19
Medias I_m, P_m, Fv_m, NPR_m	75	20%	14	28
Usando I_m, P_m			15	28

Tabla 6.6. Combinación eventos perpendiculares a la diagonal

D) Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal y a ambos lados de ella

Se consideran dos eventos con impactos y probabilidades $I_1 = 20$, $P_1 = 80\%$, $I_2 = 60$ y $P_2 = 30\%$, cuyos valores Fv son 28 y 37, respectivamente, siendo su media $Fv_m = 33$. En este caso, sin embargo, los valores medios de los impactos y probabilidades individuales son $I_m = 40$ y $P_m = 55\%$, a los cuales correspondería un Fv de 45, que no coincide con el valor medio de los valores Fv que se obtienen a partir de los eventos individuales, que es $Fv_m = 33$.

Esta discrepancia entre los valores para el Fv medio según la forma en que se obtengan es claramente inadecuada y se procede a recalcular las medias utilizando medias ponderadas. Para ello se aplica la probabilidad como coeficiente de ponderación para el impacto, el impacto para la probabilidad y Fv para sí mismo. Los valores resultantes son $Fv_{mp} = 33$, $I_{mp} = 31$ y $P_{mp} = 43\%$, y el valor Fv correspondiente a I_{mp} y P_{mp} sería $35 \neq 33$.

Los resultados mejoran sustancialmente los obtenidos con el NPR en el apartado 4.1.2.5, pero no son totalmente satisfactorios. En la Tabla 6.7 se resumen los valores obtenidos y se recopilan los cálculos para el NPR.

	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv
Evento 1	20	80%	16	28
Evento 2	60	30%	18	37
Medias I_m, P_m, Fv_m, NPR_m	40	55%	17	33
Usando I_m, P_m			22	45
Medias ponderadas	31	43%	17	33
Usando I_m, P_m			13	35

Tabla 6.7. Combinación eventos perpendiculares a la diagonal y a ambos lados de ella

Las comprobaciones realizadas demuestran que Fv es más adecuado que NPR para la combinación de eventos de riesgo, y que la utilización de medias ponderadas mejora

los resultados de la combinación de riesgos. Sin embargo, el cuarto caso analizado evidencia la posibilidad de obtener valores erróneos, lo cual demanda un método de combinación de riesgos más fiable que posibilite obtener un valor total del riesgo resultante.

6.1.6. Situación con eventos de baja probabilidad

En apartados anteriores se ha planteado la premisa de que el Factor de Visibilidad, como también ocurre con el NPR y con el NPR_{mod}, debe proporcionar unos valores muy reducidos cuando el impacto o la probabilidad sean nulos. Este comportamiento se debe fundamentalmente al requisito de simetría pedido para las curvas de nivel y al hecho de que, cuando el impacto es cero, no es aceptable que el nivel de riesgo sea mayor que cero, independientemente del valor de la probabilidad.

Sin embargo, queda la duda de si un evento de alto riesgo y muy baja probabilidad debe o no tener un nivel de riesgo casi nulo. Evidentemente, más que una cuestión matemática y de diseño, es una cuestión ligada al apetito de riesgo. En el caso de industrias cuyos eventos de riesgo tengan sistemáticamente probabilidades muy bajas, por ejemplo, menores del 0,1%, cabría estudiar si el Factor de Visibilidad resulta adecuado o si se debiera optar por otra solución más apropiada a las circunstancias (caso, por ejemplo, del sector asegurador). En las restantes industrias la probabilidad no será sistemáticamente baja, pero sí puede haber eventos de alto impacto y baja probabilidad cuyo tratamiento se estudia en el próximo apartado.

6.1.6.1. Alternativas estudiadas para eventos con baja probabilidad

Para encontrar una solución a la situación planteada se ha recurrido de nuevo a la técnica del pensamiento visual para definir curvas de nivel no simétricas que, manteniendo las restantes ventajas del Factor de Visibilidad, satisfagan esta nueva expectativa.

Las nuevas curvas de nivel deben tomar su valor del punto de la diagonal por el que pasan, deben cubrir el mapa de calor uniformemente, y no deben asignar un nivel de riesgo significativo a los puntos del eje de probabilidades (impacto = 0).

Para ello se ha partido de la versión más general de la ecuación de las curvas de nivel del apartado «Fórmulas 6.1.4 Formulación del Factor de Visibilidad» del anexo 1, y se han seguido dos líneas de investigación siguiendo un método inductivo. La primera es mantener la fórmula original y utilizar los parámetros F, C, K_1 y K_2 para cambiar la curvatura de las curvas abriéndolas hacia el eje de abscisas. La segunda línea es modificar la fórmula original añadiendo otros elementos. El desarrollo matemático se recoge en detalle en el apartado «Fórmulas 6.1.6.1 Alternativas estudiadas» del anexo 1.

Comenzando por la primera línea de investigación, se han encontrado dos aproximaciones, llamadas versiones «F» y «K», que satisfacen los requisitos. Las curvas resultantes para la versión F son simétricas, toman su valor del punto de la diagonal por el que pasan, tienen una menor curvatura que las de la versión K, y consiguen antes que ésta un aumento del nivel de riesgo a lo largo del eje de abscisas (Figura 6.10).

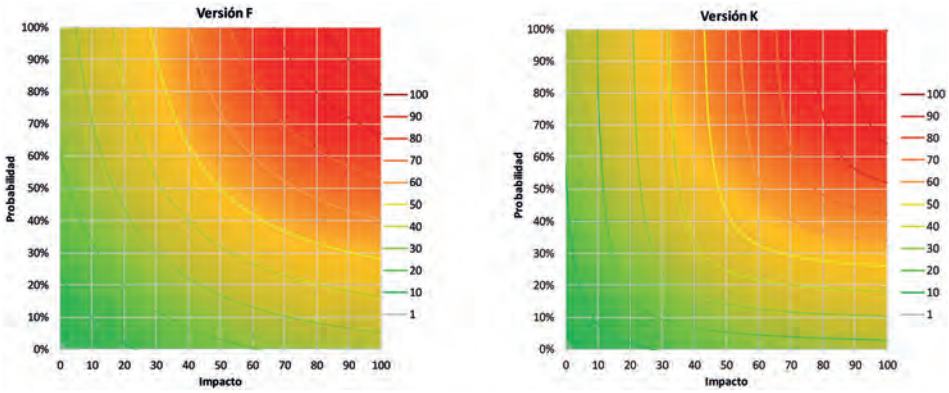

Figura 6.10. Versiones alternativas F y K

Las curvas de la versión K son más parecidas a las del Factor de Visibilidad y no son simétricas. Puede verse en la figura que con la versión F se alcanza un valor de 25 cuando el impacto es 100 y la probabilidad cero, mientras que con la K el valor no llega a 20. Sin embargo, luego crece más lentamente que la K cuando aumenta la probabilidad.

La versión K es menos atractiva visualmente y menos simétrica. Las curvas tienden a pasar cerca del punto de la diagonal que les da su valor, pero no lo logran exactamente. Por otra parte, proponen un nivel de riesgo de 90 cuando el impacto es 100 y la probabilidad del 65%.

El comportamiento de ambas versiones a lo largo del eje de ordenadas (impacto cero) es más favorable para la versión K, dado que la versión F alcanza un nivel de riesgo de 25 cuando la probabilidad es del 100% mientras que la versión K sólo llega a 11 en esa situación.

Al no conseguirse una aparente plena satisfacción se emprende la segunda línea de investigación buscando una mayor flexión de las curvas para acercarlas al eje de abscisas. Para ello se modifica la ecuación [6-4] introduciendo un nuevo coeficiente α y se definen dos nuevas versiones Alpha 1 y Alpha 2 que son el resultado de un proceso iterativo con comparación visual para obtener las curvas deseadas. Sus ecuaciones están recogidas en el apartado «Fórmulas 6.1.6.1 Alternativas estudiadas» del anexo 1.

Con las nuevas fórmulas se obtienen las curvas de nivel mostradas en la Figura 6.11 para las versiones Alpha 1 y Alpha 2, respectivamente.

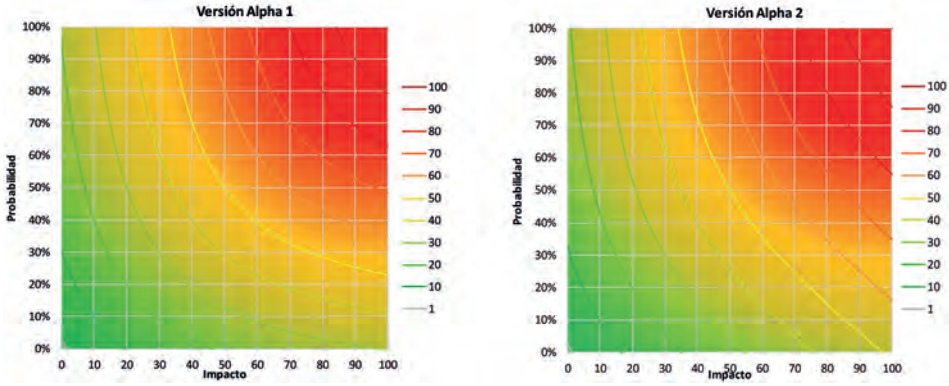

Figura 6.11. Versiones alternativas Alpha 1 y Alpha 2

El diseño de estas curvas posibilita que tomen su valor del punto de la diagonal por el que pasan y que no propongan un nivel de riesgo superior a 20 cuando el impacto es cero.

La verdadera diferencia entre ambas se manifiesta en la proximidad al eje de abscisas, con valores de intensidad de riesgo hasta 30 para Alpha 1 y hasta 52 para Alpha 2.

6.1.6.2. Formulación del indicador con eventos de baja probabilidad

La formulación de los indicadores correspondientes a las alternativas F y K es la misma hecha para el Factor de Visibilidad dado que sus curvas de nivel utilizan la misma fórmula, dando a las constantes F, C, K_1 y K_2 sus valores correspondientes. Puede consultarse su detalle en el apartado «Fórmulas 6.1.6.2 Formulación» del anexo 1.

6.1.6.3. Análisis de las alternativas

La inspección visual de las cuatro alternativas presentadas acaba conduciendo a una cuestión de preferencias, más ligadas al apetito de riesgo que a criterios objetivos que ayuden a decidir cuál es la más indicada. Todas ellas se apartan (lógicamente) del mapa de curvas que presenta el Factor de Visibilidad y, en esa misma medida, resultan menos convenientes al perder alguna de las propiedades de éste; en particular, la simetría y la percepción intuitiva al acercarse al eje de abscisas.

Para obtener datos de comparación objetivos se han realizado pruebas con modelos de simulación aleatoria calculando el resumen del escenario con cada una de las cuatro alternativas presentadas y con el Factor de Visibilidad (para el cálculo del resumen se ha utilizado el método de resumen que se presenta en el apartado 6.2). El resultado, como cabía prever, es que los 5 indicadores proponen resultados muy similares, dado que, con un gran número de simulaciones aleatorias, los eventos acaban repartiéndo-

se por igual por todo el diagrama de Farmer y los valores medios respectivos tienden a ser iguales.

Se han realizado pruebas adicionales forzando la generación de eventos aleatorios situados en la zona inferior del mapa de riesgos. Para las pruebas se ha utilizado un modelo con 100 eventos y se han generado 20.000 escenarios aleatorios según 3 hipótesis que definen el nivel de forzado de eventos de baja probabilidad: bajo, medio y alto.

Para ello se obliga a que un cierto porcentaje de los eventos tenga un impacto más elevado y, al mismo tiempo se fuerza que la probabilidad no exceda de un límite determinado. Variando el número de eventos forzados se logra un mayor o menor impacto de conjunto, que es lo que se quiere observar. La definición de hipótesis se recoge en la Tabla 6.8.

Hipótesis	Intensidad de forzado	Definición
A	Baja	10 con impacto 60-100 y probabilidad < 25%
		10 con impacto 30-100 y probabilidad < 25%
		80 con impacto 0-100 y probabilidad 0-100%
B	Media	10 con impacto 60-100 y probabilidad < 25%
		10 con impacto 30-100 y probabilidad < 25%
		10 con impacto 0-100 y probabilidad < 50%
		70 con impacto 0-100 y probabilidad < 70%
C	Alta	10 con impacto 60-100 y probabilidad < 25%
		10 con impacto 30-100 y probabilidad < 25%
		10 con impacto 0-100 y probabilidad < 50%
		70 con impacto 0-100 y probabilidad <25%

Tabla 6.8. Definición de modelos para las pruebas de esfuerzo

Los resultados obtenidos medios y máximos se muestran en la Tabla 6.9.

Prueba	Forzado		Básico	F	K	Alpha 1	Alpha 2
A	Bajo	Fv_{max}	70	70	73	70	70
		Fv medio	60	61	63	61	62
B	Medio	Fv_{max}	55	57	65	59	62
		Fv medio	48	50	56	52	55
C	Alto	Fv_{max}	35	40	46	44	52
		Fv medio	29	36	38	39	47

Tabla 6.9. Comparativa de resultados con eventos de baja probabilidad

Con una intensidad de forzado baja, habiendo forzado sólo un 20% de los eventos, los valores obtenidos son, lógicamente, más altos, puesto que hay más eventos situados en la mitad superior del mapa de calor. En estas condiciones todos los indicadores producen valores similares, tanto en sus valores máximos como en la media obtenida.

Cuando la intensidad de forzado es media se aprecian mayores diferencias, sobre todo en los valores máximos, siendo la alternativa K la más sensible, tanto en sus valores máximos como en la media obtenida.

Cuando la intensidad de forzado es muy alta (90% de los eventos con probabilidad menor del 25%) la alternativa *Alpha* 2 es la más indicada.

6.1.7. Conclusión y límites

Se ha presentado un nuevo indicador de riesgos, el Factor de Visibilidad, que cumple con las expectativas definidas. Es simple, se obtiene a partir de las definiciones realizadas para el impacto y la probabilidad, es lineal, intuitivo, no requiere una tabla o gráfico para comprender su significado, cubre uniformemente el diagrama de Farmer y mejora las capacidades del indicador NPR respecto a la combinación de eventos de riesgo.

Se ha confirmado también que el intento de obtener el impacto y probabilidad resumen de un escenario mediante el cálculo de sus valores medios no es fiable. Este aspecto no constituye una limitación o defecto del Factor de Visibilidad, el cual mejora los resultados del NPR en este sentido, pero debe ser tenido en cuenta a efectos de encontrar una solución apropiada para resumir escenarios de riesgo, lo cual se acomete en el siguiente apartado.

El Factor de Visibilidad proporciona una solución eficiente aplicable en cualquier entorno y con cualquier tipo de riesgo, lo que lo convierte en un indicador genérico de aplicabilidad universal.

Se ha estudiado el caso particular de eventos de riesgo con baja probabilidad y se concluye que el Factor de Visibilidad es perfectamente aplicable siempre que la circunstancia de baja probabilidad no sea definitoria del escenario. En caso contrario, se han propuesto indicadores alternativos que son completamente compatibles con el método de resumen que se define a continuación, recomendándose la alternativa K para los escenarios en los que haya una presencia muy significativa de eventos con baja probabilidad y alto impacto, y la alternativa *Alpha* 2 para escenarios en los que todos los riesgos tengan una probabilidad inferior al 25%.

6.2. Método de resumen de riesgos

En el apartado 5.4.2 «Resultado de la integración» se indicó que el parámetro de mejora 13 (de un total de 66) era conocer el impacto y probabilidad global del proyec-

to. Este requisito alude a una obtención automática partiendo de las definiciones de impacto y probabilidad de los eventos de riesgo identificados, y no a una estimación directa subjetiva que pudiera incorporar algún sesgo.

En el apartado 6.1 se comprobó que el Factor de Visibilidad parece más adecuado que el NPR para obtener un valor combinado que resuma el riesgo de un escenario, pero se encontraron pequeños desajustes que demuestran que la obtención de los valores medios de los impactos y probabilidades no es un sistema fiable. Para comprobarlo, se revisa el cuarto escenario utilizado en 4.1.2.5 y 6.1.5.6, cuyos datos recoge la Tabla 6.7, y se muestra gráficamente en la Figura 6.12.

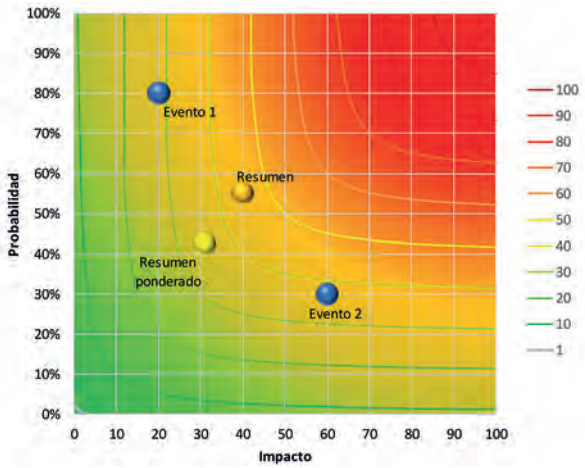

Figura 6.12. Eventos alineados perpendicularmente a la diagonal y a ambos lados de ella

El valor Fv del resumen obtenido con las medias de los impactos y probabilidades es 45, cuando el Fv de los eventos individuales es 28 y 37 respectivamente, lo cual propondría un valor medio de 33. Se ha visto que utilizando las medias ponderadas la situación mejora, y el Fv resultante es 35, que se acerca al objetivo buscado. Sin embargo, la media ponderada de los valores Fv de los eventos es 33, y parecería razonable que el valor Fv del evento de riesgo propuesto como resumen coincidiera con esa media ponderada.

Se propone a continuación un método que, pese a su aparente sencillez, aporta la estabilidad y robustez necesaria y proporciona la solución buscada.

6.2.1. Descripción del método de resumen de riesgos

Los estudios anteriores demuestran la inestabilidad de los valores medios obtenidos para el impacto y la probabilidad. Por ello se decide tomar como referencia el Factor de Visibilidad Fv y su valor medio calculado para todos los riesgos identificados en el escenario.

El objetivo es definir un impacto y probabilidad equivalentes para representar efectivamente el escenario de riesgos y calcular su Factor de Visibilidad. El método de cálculo se realiza en varios pasos.

6.2.1.1. Paso 1: cálculo de los valores medios

Se calculan los valores medios I_m, P_m y Fv_m correspondientes a la nube de puntos que compone el escenario. Estos valores medios corresponden a la media ponderada de cada uno, usando como ponderación el posible peso que se hubiese definido para los riesgos.

El valor Fvm se considera válido como representante del nivel de riesgo global del escenario y se toma como referencia para los siguientes pasos de cálculo.

6.2.1.2. Paso 2: obtención del punto de Ajuste I

El punto de ajuste I es un punto de riesgo virtual que, estando en la curva Fv_m, tiene como valor de impacto el impacto medio calculado anteriormente I_m.

Este enfoque prioriza el valor del impacto medio obtenido I_m, y se calcula para ello el valor de la probabilidad Pa que satisfaga la condición $Fv(I_m, P_a) = Fv_m$. Se obtiene así el punto Ajuste I (I_m, P_a).

6.2.1.3. Paso 3: obtención del punto Ajuste P

El punto de ajuste P es un punto de riesgo virtual que, estando en la curva Fv_m, tiene como valor de probabilidad la probabilidad media calculada anteriormente P_m.

Este caso prioriza el valor de la probabilidad media obtenida P_m, y se calcula el valor del impacto la que satisfaga la condición $Fv(I_a, P_m) = Fv_m$. Se obtiene así el punto Ajuste P (I_a, P_m).

6.2.1.4. Paso 4: obtención de las medias de los puntos Ajuste I y Ajuste P

Los puntos obtenidos anteriormente, Ajuste I y Ajuste P, no coincidirán, en general, pero estarán situados en una curva de igual valor Fv, concretamente en la curva de valor Fv_m.

Como no hay más datos disponibles, una aproximación razonable sería buscar un punto intermedio entre ellos dentro de esta curva, siempre que no estén muy separados. Se han realizado miles de simulaciones de escenarios posibles para confirmar que la distancia entre estos dos puntos es reducida, lo cual garantiza la fiabilidad del método.

Se calculan los valores medios I_{ma} y P_{ma} correspondientes a los impactos y probabilidades de los puntos de ajuste, esto es, la media de I_m y de I_a, y la media de P_a y P_m. De esta manera se calcula un punto que tiene como impacto I_{ma} y como probabilidad P_{ma}, y se calcula su Factor de Visibilidad correspondiente Fv_a.

6.2.1.5. Paso 5 final: aplicación de una corrección a los valores anteriores

Este nuevo punto estará, en general, fuera de la curva $Fv = Fv_m$, debido a que $Fv_a \neq Fv_m$.

Se comprueba, sin embargo, que la diferencia es muy pequeña; de modo que se aplica a los valores de impacto Ima y probabilidad P_{ma} una corrección $\delta = Fv_m/Fv_a$, obteniéndose los valores definitivos I_f y P_f, con los que se recalcula el valor de Fv que, ahora sí, coincide con el propuesto Fv_m.

6.2.2. Formulación del método de resumen de riesgos

En el apartado «Fórmulas 6.2.2 Formulación del método de resumen de riesgos» del anexo 1 se describe detalladamente la formulación que debe utilizarse en cada uno de los pasos. Esta formulación se puede programar fácilmente mediante una macro en Excel.

Se propone a continuación un con 10 eventos de riesgo, definiendo los eventos con valores aleatorios de 0 a 100 para los impactos y de 0 a 100% para las probabilidades. Se ha forzado de forma muy ligera el efecto Pareto obligando en los eventos 8 al 10 a que el impacto sea mayor que 50 y la probabilidad mayor que 50%. Se han asignado aleatoriamente pesos entre 1 y 5 a los eventos de riesgo. El escenario está definido en la Tabla 6.10.

Evento	Impacto	Probabilidad	Peso	Fv
1	7	19%	2	11
2	11	8%	5	9
3	81	95%	3	86
4	47	57%	2	51
5	19	7%	5	11
6	22	54%	5	29
7	55	4%	4	12
8	65	65%	5	65
9	72	63%	4	67
10	73	69%	2	71

Tabla 6.10. Escenario de estudio con 10 riesgos aleatorios

La aplicación de las fórmulas definidas en el apartado anterior genera los siguientes valores:

Fv_m	I_m	P_m	I_a	PI_a	I_{ma}	P_{ma}	Fv_a	δ	I_f	P_f	Fv_f
38	43	41%	36	35%	39	38%	39	0,987	39	37%	38

Tabla 6.11. Cálculo del resumen de riesgos para el escenario de ejemplo

Gráficamente, puede comprobarse el proceso en la Figura 6.13:

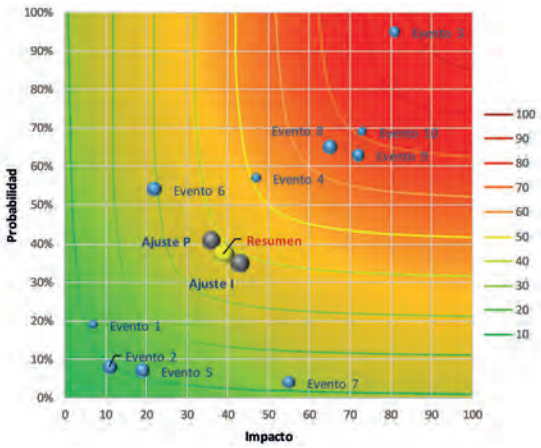

Figura 6.13. Resumen del escenario de estudio con 10 riesgos aleatorios

Este método también resuelve eficazmente los escenarios sencillos analizados previamente en los apartados 4.1.2.5 y 6.1.5.6, como puede comprobarse en la Tabla 6.12.

Escenario	Fv_m	I_m	P_m	I_a	P_a	I_{ma}	P_{ma}	Fv_a	δ	I_f	P_f	Fv_f
1	61	61	61%	61	61%	61	61%	61	1,00000	61	61%	61
2	27	56	20%	52	20%	54	20%	27	0,99967	54	20%	27
3	28	75	20%	65	20%	70	20%	28	0,99936	70	20%	28
4	33	40	55%	26	28%	33	42%	36	0,89838	30	37%	33

Tabla 6.12. Cálculo del resumen de riesgos para los escenarios simples

Es fácil comprobar que puede haber alguna diferencia entre el valor final Fvf y el inicial Fvm, pero es sumamente pequeña y generalmente puede despreciarse. En los ejemplos anteriores, la mínima precisión es del 99,75858%, correspondiente al escenario 4.

6.2.3. Conclusión del método de resumen de riesgos

El método presentado logra resumir los riesgos de un escenario y obtener un impacto y una probabilidad correspondiente al conjunto, además de su Factor de Visibilidad

global. Es preciso destacar, sin embargo, que el método presentado es un simple modelo matemático que no tiene en cuenta el hecho de que la media, incluso ponderada, sea representativa o no del escenario de riesgos, y, sin embargo, la representatividad es un requisito irrenunciable.

El elemento clave o pilar del método de cálculo presentado es la media aritmética (ponderada) de los Factores de Visibilidad de todos los eventos de riesgo identificados, pero se verá a continuación que esta media no es representativa desde el punto de vista de control y gestión de riesgos. Sin embargo, este hecho no invalida el método de resumen presentado sino, únicamente, la utilización de la media ponderada como algoritmo para calcular el Factor de Visibilidad resumen del escenario.

En los apartados siguientes se enfocará esta situación desde el punto de vista de la gestión de riesgos para encontrar un algoritmo de ponderación más adecuado para obtener el Factor de Visibilidad resumen y dar pleno sentido al método matemático propuesto.

6.3. Sistema de ponderación

La obtención de un resumen representativo del escenario global no se puede lograr mediante la media aritmética de los eventos individuales. En este apartado se profundiza en este concepto, que requiere un análisis científico detallado.

6.3.1. Estudio exploratorio

Evidentemente una primera mejora (que menciona y contempla el método presentado en el apartado anterior) es utilizar una ponderación diferente para los diversos eventos, pero se ha dejado claro que no es suficiente, y es preciso valorar otras opciones distintas.

6.3.1.1. Consideraciones conceptuales

Se propone un ejemplo para explicar el significado del valor medio en el contexto de los riesgos: un análisis de sangre completo con 30 parámetros. ¿Cuántos parámetros debería tener mal un análisis para considerarse un mal resultado? ¿Debería tener mal la mayor parte de los 30 parámetros? Esta interpretación sería irreal y completamente incorrecta. Un análisis con 5 parámetros mal (o, incluso, menos) indica que hay una situación que solucionar que incluso puede ser grave.

En esencia, la cuestión a resolver radica en la forma de combinar las valoraciones de los riesgos evaluados. Según se ha visto en el apartado 3.7.1 «Número de riesgos identificados» un escenario de riesgos puede constar de un número de eventos de

riesgo NER entre 4 y 500, y no es esperable que la mayor parte de ellos presente un riesgo elevado; incluso puede ocurrir que sólo unos cuantos manifiesten un riesgo considerable, aunque ello no suponga, en modo alguno, que la situación global no pueda ser de muy alto riesgo. Se estudian a continuación varios posibles sistemas de ponderación, prestando una particular atención a la ponderación cuadrática, en línea con trabajos anteriores de otros autores (Abdelghany and Ezeldin 2010; Royer 2000).

6.3.1.2. Influencia de la ponderación

A la vista de las consideraciones conceptuales hay que descartar cualquier idea de promedio y buscar otras alternativas. Para ello se va a utilizar un ejemplo con un escenario compuesto por 5 eventos de riesgo y se van a considerar las 5 situaciones que describe la Tabla 6.13, presentando como referencia inicial la media aritmética de cada escenario para futuras comparaciones. Se indica también cuál es la evaluación del riesgo global que podría hacer un analista en cada escenario, y se incluye en la columna de la derecha.

Escenario	Eventos					Media	Riesgo global
	1	2	3	4	5		
A	100	100	100	100	100	100	Muy alto
B	1	1	1	1	1	1	Muy bajo
C	1	1	1	1	100	21	Muy alto
D	1	1	1	100	100	41	Muy alto
E	20	30	10	100	100	52	Muy alto

Tabla 6.13. Resumen de riesgos con media aritmética

El análisis de los valores medios evidencia que sólo resultan válidos para las situaciones A y B; el resultado de las situaciones C y D sería claramente incorrecto, y cabría la duda de si el resultado para la situación E podría ser o no aceptable.

La situación D es un caso típico de situación de riesgo: de 5 eventos, sólo 2 presentan un altísimo riesgo. Como se indicó anteriormente, no cabe esperar que simultáneamente todos los eventos posibles presenten un alto riesgo; pero una situación como la D es de alto riesgo, y únicamente con una consideración orientada a los valores medios se puede pensar siquiera que ese resultado (41 en este caso) sea aceptable como resumen.

La situación C es paradigmática y muestra cómo el valor promedio diluye el riesgo identificado y enmascara la situación global. La situación E es más compleja, dado que se muestra sensibilidad en los cinco eventos; pero, en esencia, es la misma que la situación D.

Se muestra, a continuación, el resultado de aplicar medias cuadráticas (raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores):

Escenario	Eventos					Media
	1	2	3	4	5	
A	100	100	100	100	100	100
B	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	100	45
D	1	1	1	100	100	63
E	20	30	10	100	100	65

Tabla 6.14. Resumen de riesgos con media cuadrática

Los resultados son mejores y muestran una mayor sensibilidad, pero tampoco resultan aceptables porque no expresan adecuadamente la situación del riesgo global.

El siguiente sistema de obtención de la media es calcular la suma de los cuadrados de los valores dividida por la suma de los valores. Esto es equivalente a ponderar cada elemento consigo mismo y obtener la media ponderada (en adelante, método «*autoponderado*»). Con él los resultados son:

Escenario	Eventos					Media
	1	2	3	4	5	
A	100	100	100	100	100	100
B	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	100	96
D	1	1	1	100	100	99
E	20	30	10	100	100	82

Tabla 6.15. Resumen de riesgos «*autoponderado*»

Estos últimos resultados se acercan mucho más a la valoración global que se quiere obtener, y se adopta este método como idea inicial para estimar los valores medios.

6.3.1.3. Pesos y ponderaciones

No todos los eventos de riesgo son iguales y, en el caso de un conjunto de ellos, convendrá distinguir cuáles, en caso de presentarse, serían más dañinos y cuáles menos. Es necesario compaginar este enfoque de diferenciar la importancia con la propia evaluación del riesgo del evento en cuanto a su impacto y probabilidad, la cual se realiza posteriormente en cada proyecto o situación, y por eso es conveniente hacer algunas reflexiones aclaratorias.

La evaluación de un riesgo comporta la valoración de la probabilidad estimada de que acontezca el riesgo estudiado (que es totalmente independiente de su importancia) y del impacto que produciría en el conjunto su materialización (Cioffi and Khamooshi 2009; Dziadosz and Rejment 2015; Taleb 2010; Whittaker 2015).

Rigurosamente hablando, el impacto probable asignado a un evento y su peso en el conjunto podrían ser un mismo concepto (incluso hay quien piensa que debería serlo). La discusión sobre si tiene sentido asignar un impacto muy alto a un evento con poco peso o un impacto muy bajo a un evento con mucho peso es una cuestión que se ha suscitado recurrentemente en las entrevistas mantenidas con profesionales que evalúan riesgos y que revela una cierta confusión acerca de esta cuestión.

La persona que evalúa un riesgo introduce cierta subjetividad en su valoración (Emovon et al. 2015; Pinto et al. 2011; Zhang et al. 2006), y, si bien tiene conciencia de la potencialidad dañina del riesgo (impacto), no siempre tiene la suficiente visión del conjunto del escenario (por ejemplo, el proyecto) para conocer su importancia relativa (peso). La definición de los pesos, en cambio, la realiza un equipo experto antes de que comience la evaluación de los riesgos, como se ha comprobado en las empresas estudiadas, asignando los pesos en función del tipo de proyecto y de su experiencia, con independencia de si, posteriormente, la evaluación de los eventos de mayor peso revelará o no un riesgo real para el proyecto.

El impacto probable real de un evento concreto en un escenario depende de las circunstancias concretas del proyecto o escenario evaluado, y éste es el motivo por el cual el impacto y el peso no tienen por qué estar necesariamente relacionados.

En la práctica deben separarse ambos conceptos (impacto y peso) de forma que un equipo establezca los pesos de los diversos eventos posibles dentro de un escenario (diseño del sistema), y otro valore el impacto y la probabilidad de cada evento, en el caso de que se presente. De esta forma se laminan las subjetividades y se obtienen resultados más estables.

Es preciso aclarar que los pesos son relativos a los eventos dentro de un conjunto. Este conjunto puede ser la totalidad del escenario o únicamente una matriz o un subconjunto de eventos, de modo que lo que se regula es la importancia relativa del evento en su esfera de actuación o influencia. En el caso de uso de grupos de eventos cabe, además, la posibilidad de ponderar la importancia relativa de cada grupo con respecto a los demás grupos, asignando un peso a cada grupo. Éste es el caso cuando se definen matrices en un mapa de riesgos o capítulos dentro de una matriz (Asadi and Eswara Rao 2018).

Hay un caso singular que también será preciso contemplar, que es aquél en el que un determinado evento es absolutamente clave para el conjunto (evento líder), de manera que cuando su evaluación es de alto riesgo determina esa condición de severidad para el escenario global. Sin embargo, esto no aplicará cuando su riesgo sea

bajo: es decir, si este evento presenta un riesgo bajo no determinará que el conjunto del escenario tenga un riesgo bajo. La denominación común de este tipo de eventos en las empresas es «línea roja» (Babatola 2004; Ministerio de Economía, Industria y Competitividad 2019).

La utilización de pesos posibilita obtener un resultado para el riesgo global del escenario que tenga en cuenta la importancia relativa que la organización concede a cada riesgo (Nicol and Chadès 2017).

El método de resumen de riesgos a definir debe contemplar de forma independiente ambos conceptos (impacto probable y peso) y tendrá en cuenta cuanto se ha expuesto hasta ahora.

6.3.1.4. Influencia del Factor de Visibilidad

Un análisis comparado de la actuación de los pesos y del Factor de Visibilidad puede aportar una visión complementaria que ayude a encontrar una manera eficiente de combinar riesgos.

El siguiente ejemplo plantea un caso de análisis comparando el papel del peso y del Factor de Visibilidad (Tabla 6.16). El evento 1 corresponde a la situación dental y el evento 2 a la situación coronaria.

Evento	Impacto	Probabilidad	Peso	Fv
1	80	90%	1	84
2	90	10%	10	19

Tabla 6.16. Comparación entre la función del peso y del Fv

En la tabla anterior se recogen dos eventos de riesgo cuya evaluación de impacto es parecida, y se calcula su Factor de Visibilidad. El valor Fv es función exclusiva del impacto y la probabilidad y, por tanto, independiente del peso.

El evento 2 tiene un mayor impacto, y su peso es muy superior al del evento 1. Este hecho impulsaría a querer potenciar el resultado del evento 2 en un posible resumen del escenario si no se tuviera en cuenta el Factor de Visibilidad. Pero, dada la baja probabilidad del evento 2, su Fv será bajo cualquiera que sea su impacto, lo cual evidencia, al compararlo con el Fv del evento 1, que su importancia es muy reducida en el caso de la evaluación que muestra el ejemplo. De este modo, el Factor de Visibilidad aporta un criterio de asignación de importancia a los riesgos evaluados que es independiente del peso de cada uno.

Sin embargo, aunque la situación de riesgo que presenta el evento 1 es muy superior a la del evento 2 debido a sus diferentes probabilidades, como se comprueba al com-

parar sus valores Fv, su peso relativo es 10 veces menor, y esta definición previa reduce significativamente la importancia que se le concede en el escenario.

La conclusión es que, con un sistema definido que concede mucha mayor importancia al evento 2 que al 1, y ante una valoración de los riesgos que detecta un riesgo muy alto en el evento 1, aunque no en el evento 2, es preciso disponer de un método de resumen que considere todos los elementos y no diluya la importancia del riesgo detectado en el evento 1 debido a un mayor temor a la posible manifestación de un riesgo relevante en el evento 2.

De este ejemplo se puede concluir que el Factor de Visibilidad Fv podrá y deberá ser tenido en cuenta para combinar los eventos, no sólo como valor intrínseco sino como posible componente del valor de ponderación.

6.3.2. Análisis del método de ponderación

Para encontrar un sistema óptimo se ha seguido un método inductivo utilizando el ejemplo con 10 eventos de riesgo descrito en la Tabla 6.10 del apartado 6.2.2 «Formulación del método de resumen de riesgos». Se han estudiado múltiples posibilidades combinando las alternativas estudiadas en el apartado 6.3.1.2, y se presentan a continuación las propuestas más significativas.

6.3.2.1. Primera aproximación: media ponderada

Se considera como primera aproximación y referencia base para el cálculo del resumen la media ponderada de los eventos individuales realizada en el apartado 6.2.3, ponderado cada evento con su peso respectivo. El resultado obtenido para el resumen es:

Impacto	Probabilidad	Fv
39	37%	38

Tabla 6.17. Resumen del escenario con media ponderada aritmética

Esta aproximación no es la deseada, pero constituye la referencia inicial.

6.3.2.2. Segunda aproximación: autoponderada

La siguiente propuesta es una aproximación a una formulación cuadrática. Descartando la media cuadrática (a la vista de los resultados del apartado 6.3.1.2 «Influencia de la ponderación»), se aborda la formulación *autoponderada* introducida en ese apartado. Para ello, se obtienen las medias ponderadas de impacto, probabilidad y Fv usando como factor de ponderación el producto de la ponderación real por ellos mismos.

Llamando I_j, P_j, Fv_j, D_j a los valores individuales de impacto, probabilidad, Fv y peso, respectivamente, se tiene para los n eventos de riesgo considerados:

$$I_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j^2 \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} I_j \times D_j} \quad P_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_j^2 \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} P_j \times D_j} \quad Fv_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} Fv_j^2 \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} Fv_j \times D_j} \qquad [6\text{-}10]$$

Con esta formulación se obtiene el siguiente resultado para el resumen:

Impacto	Probabilidad	Fv
57	60%	58

Tabla 6.18. Resumen del escenario con media autoponderada

Este resumen muestra una mayor sensibilidad hacia los riesgos severos que el correspondiente a la media ponderada simple, pero sigue sin parecer representativo. Puede verse gráficamente en la Figura 6.14.

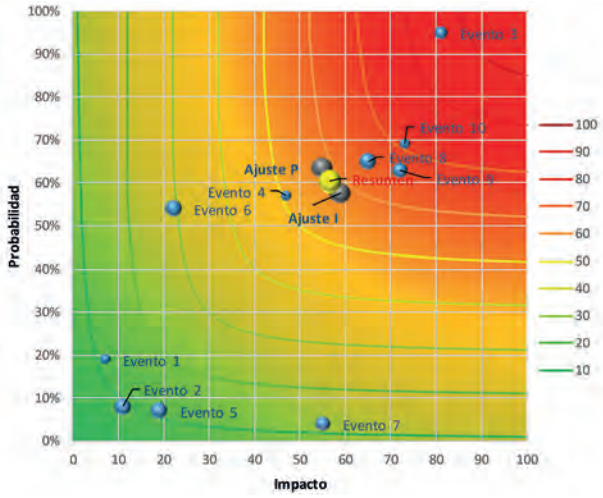

Figura 6.14. Resumen del escenario con media autoponderada

6.3.2.3. Tercera aproximación: I + P + Fv

Esta propuesta potencia la importancia relativa del impacto y la probabilidad. Para ello utiliza como factor de ponderación el producto del peso por el otro componente que define el riesgo (la probabilidad para el caso del impacto y el impacto para el caso de la probabilidad).

El Factor de Visibilidad debe ponderarse de alguna manera, dado que, si no, su resultado medio sería el de la media ponderada aritmética, que es 38. Por analogía, se

aplica como factor de ponderación el producto del peso por sí mismo, al igual que en la aproximación de *autoponderación*.

La formulación correspondiente de las medias para el impacto, la probabilidad y Fv es:

$$I_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j \times P_j \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} P_j \times D_j} \quad P_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j \times P_j \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} I_j \times D_j} \quad Fv_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} Fv_j{}^2 \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} Fv_j \times D_j} \quad [6\text{-}11]$$

Con esta formulación se obtiene el siguiente resultado para el resumen:

Impacto	Probabilidad	Fv
61	56%	58

Tabla 6.19. Resumen del escenario con media ponderada con I+P+Fv

En este caso el valor Fv del resumen coincide con el calculado en la aproximación anterior *(autoponderación)* puesto que la manera de calcularlo es la misma, aunque se aprecian pequeñas variaciones en la definición del impacto y la probabilidad del resumen, que se deben a los diferentes valores que toman los puntos de ajuste I y P.

Los resultados se muestran gráficamente en la Figura 6.15.

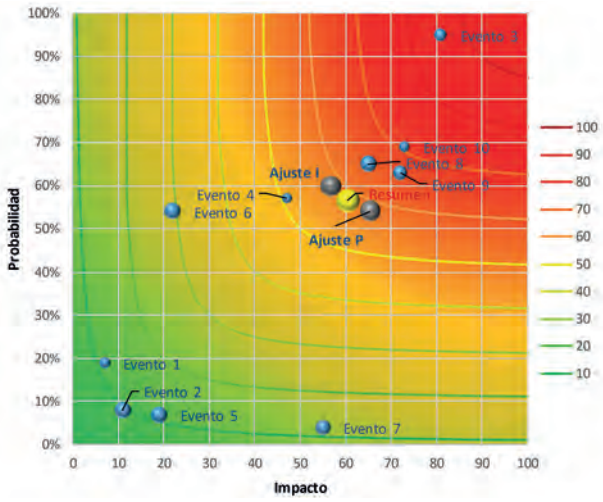

Figura 6.15. Resumen del escenario con media ponderada con I+P+Fv

6.3.2.4. Cuarta aproximación: cuadrática con Factor de Visibilidad

En la aproximación anterior se contempló la alternativa de usar el Factor de Visibilidad como factor de ponderación. En esta aproximación se sigue esa línea, pero, teniendo

en cuenta que así se volvería a obtener el mismo valor que antes para el Fv del resumen, se plantea la combinación con métodos cuadráticos.

Para ello, se da un paso más de los dados anteriormente por otros autores que utilizan una media cuadrática (Abdelghany and Ezeldin 2010; Royer 2000) y se introduce un concepto más agresivo que potencia la influencia del Factor de Visibilidad y del peso D_j de los eventos del escenario: el cuadrado del producto del peso Dj por el Factor de Visibilidad Fv_j. Esto supone utilizar un nuevo peso D'_j definido como:

$$D'_j = \left(Fv_j \times D_j\right)^2 \qquad [6\text{-}12]$$

Con este nuevo peso se simplifica la formulación y se obtienen fórmulas completamente similares a las del apartado 6.2.2 "Formulación del método de resumen de riesgos" [6-25] y [6-26].

$$I_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j \times D'_j}{\sum_{j=1}^{n} D'_j} \quad P_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_j \times D'_j}{\sum_{j=1}^{n} D'_j} \quad Fv_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} Fv_j \times D'_j}{\sum_{j=1}^{n} D'_j} \qquad [6\text{-}13]$$

Con esta formulación se obtiene el siguiente resultado para el resumen:

Impacto	Probabilidad	Fv
65	67%	66

Tabla 6.20. Resumen del escenario con media ponderada con Fv

Puede verse gráficamente en la Figura 6.16.

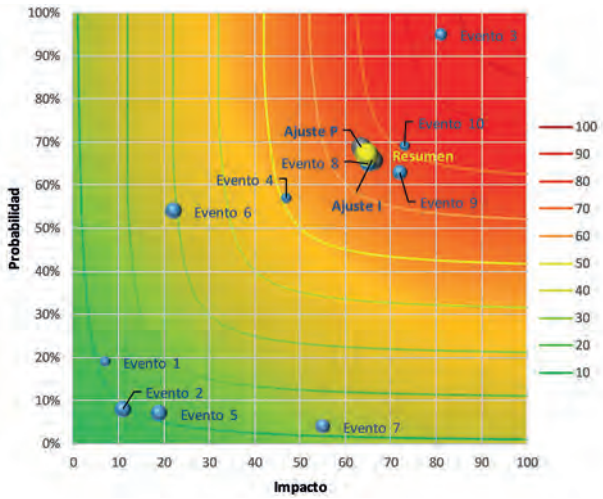

Figura 6.16. Resumen del escenario con media ponderada cuadráticamente con Fv

Este resumen es el que muestra la mayor sensibilidad hacia los riesgos severos de todos los resúmenes anteriormente obtenidos con las demás aproximaciones.

Hay que tener en cuenta que se está buscando un equilibrio entre considerar el conjunto de riesgos que componen el escenario y considerar cuáles son los riesgos más severos. De igual manera que se ha descartado la media, hay que descartar el simple posible algoritmo de tomar exclusivamente el valor Fv máximo de todos los riesgos presentes en el escenario.

6.3.2.5. Comparación de resultados

Aunque en las aproximaciones anteriores se han explicado los resultados obtenidos, resulta útil presentar un resumen comparado para tener una visión de conjunto.

En la Tabla 6.21 se presentan los resultados propuestos para el impacto, probabilidad y Fv resumen del escenario con la media aritmética y las distintas aproximaciones.

Aproximación	Impacto	Probabilidad	Fv
1 Media ponderada simple	39	37%	38
2 *Autoponderación*	57	60%	58
3 Ponderación con I + P + Fv	61	56%	58
4 Ponderación cuadrática con Fv	65	67%	66

Tabla 6.21. Comparativa del resumen del escenario con diferentes aproximaciones

En la Figura 6.17 se pueden comparar gráficamente los resúmenes del escenario propuestos según las distintas aproximaciones analizadas.

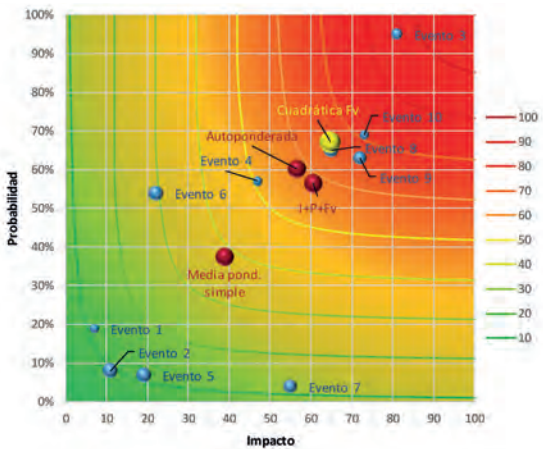

Figura 6.17. Comparación del resumen del escenario con diferentes aproximaciones

A la vista de los resultados se concluye que la solución de ponderación cuadrática basada en el Factor de Visibilidad es la más adecuada. Para comprobarlo, se revisan a continuación los 5 escenarios límite propuestos en el apartado 6.3.1.2 «Influencia de la ponderación».

6.3.3. Comprobaciones con los escenarios A-E

En este apartado se comprueba la forma en la que cada una de las 4 aproximaciones descritas en el apartado anterior resuelve los casos paradigmáticos A-E planteados en el apartado 6.3.1.2 «Influencia de la ponderación», eligiendo, por simplicidad, eventos de riesgo situados en la diagonal (igual impacto y probabilidad) cuyos valores Fv coincidan con los valores de los riesgos presentados en dicho apartado.

Para los escenarios A y B, con 5 eventos de riesgo idénticos de valor 1 o 100, el resultado es unánime, y es el correcto con cualquiera de las aproximaciones. Para los escenarios C, D y E las comprobaciones proporcionan resultados diferentes que se detallan a continuación.

6.3.3.1. Escenario C

El escenario de partida y sus resultados se describen en la Tabla 6.22.

Evento	I	P	Fv	Peso
1	1	1%	1	1
2	1	1%	1	1
3	1	1%	1	1
4	1	1%	1	1
5	100	100%	100	1

Aproximación	I	P	Fv
Promedio simple	21	21%	21
Autoponderación	96	96%	96
I + P + Fv	96	96%	96
Cuadrática Fv	100	100%	100

Tabla 6.22. Escenario C

En este escenario la aproximación 1 no da un resultado adecuado, como cabía esperar. Para estudiar la sensibilidad, se altera alguno de los eventos no significativos (el evento 3), de modo que siga manteniendo un bajo Factor de Visibilidad Fv. El resultado del cambio es:

Evento	I	P	Fv	Peso
1	1	1%	1	1
2	1	1%	1	1
3	70	1%	10	1
4	1	1%	1	1
5	100	100%	100	1

Aproximación	I	P	Fv
Promedio simple	29	19%	23
Autoponderación	86	96%	90
I + P + Fv	101	84%	89
Cuadrática Fv	99	99%	99

Tabla 6.23. Escenario C modificado

Las aproximaciones 2 y 3 demuestran más sensibilidad ante un cambio insignificante, lo cual no es deseable (un cambio insignificante no debe alterar el resultado). La aproximación 3, además, provoca una singularidad en el método de combinación y propone un impacto de 101 para el resultado, que no es admisible.

6.3.3.2. Escenario D

El escenario D se define en la Tabla 6.24 y refuerza el escenario anterior.

Evento	I	P	Fv	Peso
1	1	1%	1	1
2	1	1%	1	1
3	1	1%	1	1
4	100	100%	100	1
5	100	100%	100	1

Aproximación	I	P	Fv
Promedio simple	41	41%	41
Autoponderación	99	99%	99
I + P + Fv	99	99%	99
Cuadrática Fv	100	100%	100

Tabla 6.24. Escenario D

Son de aplicación los mismos comentarios hechos anteriormente.

6.3.3.3. Escenario E

El escenario E corresponde a una situación más real con 5 eventos significativos.

Evento	I	P	Fv	Peso
1	20	20%	20	1
2	30	30%	30	1
3	10	10%	10	1
4	100	100%	100	1
5	100	100%	100	1

Aproximación	I	P	Fv
Promedio simple	52	52%	52
Autoponderación	82	82%	82
I + P + Fv	82	82%	82
Cuadrática Fv	95	95%	95

Tabla 6.25. Escenario E

En este escenario la mayor presencia de los eventos 1, 2 y 3 reduce el riesgo global en las aproximaciones 2 y 3, mientras que la 4 mantiene un valor alto más acorde a lo esperable. La modificación de la posición de los puntos 1, 2 y 3, manteniendo sus valores Fv (desplazamiento en su curva Fv) produce cambios en los resultados, afectando de forma apreciable a las aproximaciones 1, 2 y 3, y no afectando a la aproximación 4 (Tabla 6.26).

Evento	I	P	Fv	Peso
1	70	12%	20	1
2	22	60%	30	1
3	30	3%	10	1
4	100	100%	100	1
5	100	100%	100	1

Aproximación	I	P	Fv
Promedio simple	55	49%	52
Autoponderación	80	85%	82
I + P + Fv	76	95%	82
Cuadrática Fv	95	95%	95

Tabla 6.26. Escenario E modificado

Mediante simulaciones complementarias se ha confirmado que la aproximación 3 (ponderación con I + P + Fv) comporta una inestabilidad en los pasos 2 y 3 del método de resumen de riesgos (obtención de Ia y Pa), lo cual obliga a descartarla. Los resultados presentados confirman la idoneidad de la aproximación 4, ponderación cuadrática basada en el Factor de Visibilidad, como se adelantaba en el apartado 6.3.2.5 «Comparación de resultados» y se ratifica como solución para el método de resumen.

6.3.4. Análisis de sensibilidad

En el apartado 6.3.1.2 «Influencia de la ponderación» se mostraron varios métodos para obtener el valor resumen del riesgo variando la forma de calcular la media. Se añade el resultado que aporta el nuevo método definido en el apartado 6.3.2.4 (ponderación cuadrática basada en el Factor de Visibilidad) y se comparan los resultados en la Tabla 6.27.

Escenario	Eventos					Media			Fv
	1	2	3	4	5	Aritmética	Cuadrática	Autoponderada	cuadrática
A	100	100	100	100	100	100	100	100	100
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	100	21	45	96	100
D	1	1	1	100	100	41	63	99	100
E	20	30	10	100	100	52	65	82	95

Tabla 6.27. Resumen de riesgo Fv con diversos métodos

La media *autoponderada,* debido al comportamiento de la ponderación cuadrática definida, puede bajar el valor de Fv resumen calculado cuando aumenta el valor Fv de alguno de los sucesos de bajo riesgo. Este efecto también ocurre con el método propuesto, aunque mucho más levemente, y es un primer inconveniente: una vez detectados unos eventos de riesgo alto que generan el resultado esperado, un aumento de riesgo en uno de los eventos de muy bajo riesgo produce un efecto contrario al efecto esperado: baja el riesgo global.

Cabe enfocar esta paradoja matemática desde el punto de vista conceptual. Un escenario en el que hay unos pocos eventos con muy alto riesgo y los restantes son de muy bajo riesgo constituye un escenario de muy alto riesgo. Sin embargo, un escenario con unos eventos de muy alto riesgo, otros de riesgo alto y otros de riesgo medio, sin perjuicio de la presencia de otros con muy bajo riesgo, constituye un escenario cuyo riesgo global no es máximo.

Para valorar numéricamente cómo influyen estos aspectos se utiliza una simulación con un escenario de 10 riesgos en una situación con un evento de riesgo muy alto (90, 90%) y los restantes 9 eventos con un riesgo mínimo (10, 10%). En la Tabla 6.28 se muestra cómo varía el Factor de Visibilidad Fv cuando uno de los eventos con riesgo mínimo aumenta paulatinamente su riesgo hasta llegar al máximo:

Fv punto variable	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Fv global	82	80	78	76	76	76	78	82	86

Tabla 6.28. Efecto del aumento de riesgo de un evento de riesgo mínimo (caso 1)

Se repite ahora el ensayo partiendo de una situación con dos puntos de riesgo muy alto (90, 90%) y los restantes con un riesgo mínimo:

Fv punto variable	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Fv global	86	85	84	83	82	82	83	85	88

Tabla 6.29. Efecto del aumento de riesgo de un evento de riesgo mínimo (caso 2)

Los resultados acusan la irregularidad descrita de un descenso del riesgo global al aumentar el riesgo local de un punto de muy bajo riesgo. Esta disminución no es grande y se corrige, como cabía esperar, cuando el riesgo del punto se acerca a la media de riesgo global previo, pero resulta preciso estudiar las consecuencias y el alcance de este comportamiento.

6.3.4.1. Presencia de eventos de poco riesgo

Se analiza a continuación el comportamiento de la formulación propuesta, teniendo en cuenta lo planteado en el apartado anterior, cuando el escenario consta de numerosos eventos de riesgo y sólo unos pocos suponen un riesgo relevante.

El escenario va a constar de 100 puntos definidos aleatoriamente de la siguiente manera: 5 eventos con peso 5 y Fv entre 80 y 100, y 95 eventos con peso 1 y Fv entre 0 y 10.

Para llevar a cabo el estudio se realiza una simulación de 1.000 casos aleatorios diferentes. El resultado obtenido como promedio es:

I	P	Fv
84	84%	84

Tabla 6.30. Promedios para el resumen de 100 eventos con 95 de bajo riesgo

En la Figura 6.18 se muestra gráficamente el escenario para una de las simulaciones aleatorias realizadas.

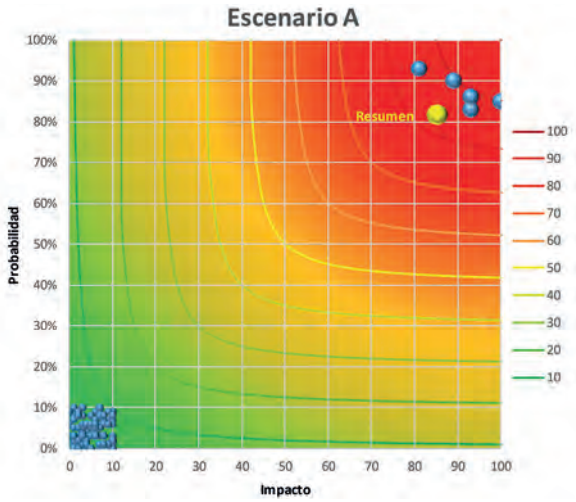

Figura 6.18. Simulación con 5 eventos de alto riesgo y 95 eventos con Fv < 10

Efectivamente el sistema reconoce adecuadamente la situación de riesgo «muy alto» en base a los 5 eventos que la definen, «despreciando» los 95 eventos restantes (que, simplemente, hacen descender la media de 90, valor promedio de los 5 eventos de riesgo muy alto, a 84).

Se estudia a continuación lo que sucede cuando la nube de los 95 puntos aumenta paulatinamente su importancia, según los escenarios definidos en la Tabla 6.31:

Escenario	Situación de la nube de 95 puntos adicionales
A	Eventos de riesgo muy bajo con Fv entre 0 y 20
B	Eventos de riesgo bajo con Fv entre 20 y 40
C	Eventos de riesgo medio con Fv entre 40 y 60
D	Eventos de riesgo alto con Fv entre 60 y 80

Tabla 6.31. Definición de escenarios de simulación

Los resultados promedio tras la generación de 1.000 simulaciones para cada escenario cumpliendo las anteriores condiciones son (Tabla 6.32):

Escenario	I	P	Fv
A	74	75%	74
B	50	50%	50
C	56	56%	56
D	71	71%	71

Tabla 6.32. Sensibilidad al aumento del riesgo de los eventos de bajo riesgo

Las siguientes figuras muestran un ejemplo de cada uno de los anteriores escenarios:

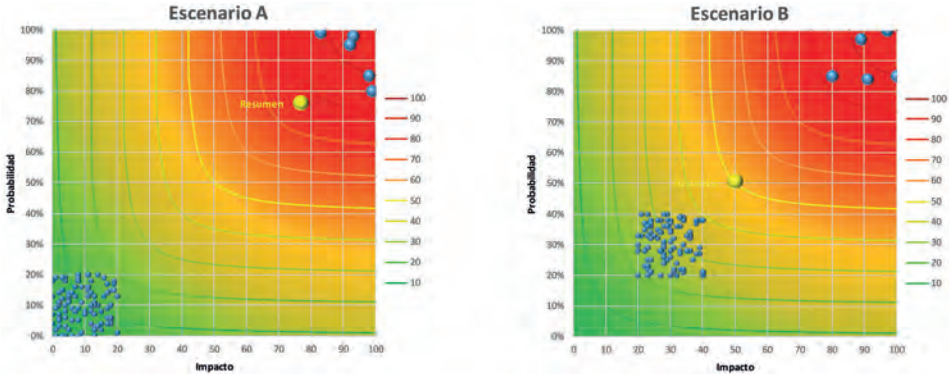

Figura 6.19. Ejemplos para los escenarios A y B

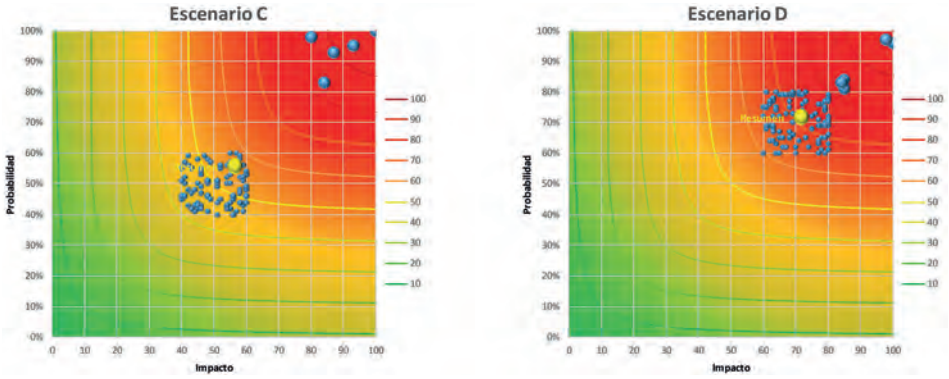

Figura 6.20. Ejemplos para los escenarios C y D

Se puede comprobar que el punto resumen se desplaza hacia la nube de puntos de menor riesgo, de modo que en la situación A (nube de puntos con riesgo 0-20 muy bajo) muestra una cierta sensibilidad, en la situación B (nube de puntos con riesgo 20-40 bajo) se ve claramente afectado y en las situaciones C y D (nube de puntos con riesgo 40-60 medio y 60-80 alto, respectivamente) se integra con la nube.

Este comportamiento, que en primera instancia pudiese percibirse como no deseable, es lógico y coherente con el diseño del sistema que busca identificar «situaciones de

riesgo». Cuando el sistema detecta unos puntos de alto riesgo claramente separados del resto, identifica el conjunto como una situación de alto riesgo. Cuando el sistema detecta unos puntos de alto riesgo que coexisten con otros puntos que también presentan una condición de riesgo a tener en cuenta (medio a alto), identifica el conjunto como lo que es, un conjunto con eventos con mayor o menor riesgo. Es conveniente, no obstante, resaltar que estas situaciones tan límite no se presentan en los proyectos reales y constituyen únicamente simulaciones para el análisis en laboratorio.

6.3.4.2. Sensibilidad al aumento de riesgo de los eventos extremos

Para este estudio se utiliza el modelo del apartado anterior considerando únicamente el caso de referencia (Escenario 0: nube de puntos de menor riesgo con Fv entre 0 y 10) y la variante A (nube de puntos de menor riesgo con Fv entre 0 y 20). Se analiza qué ocurre cuando los 5 puntos de mayor riesgo pasan de tener un Fv entre 80 y 100 a tenerlo entre 90 y 100.

Lo que se busca con esta prueba es comprobar en qué medida el valor resumen refleja el aumento medio de 5 unidades en el valor de Fv (de una media de 90 a una de 95). Se puede ver gráficamente un ejemplo de cada escenario en la Figura 6.21.

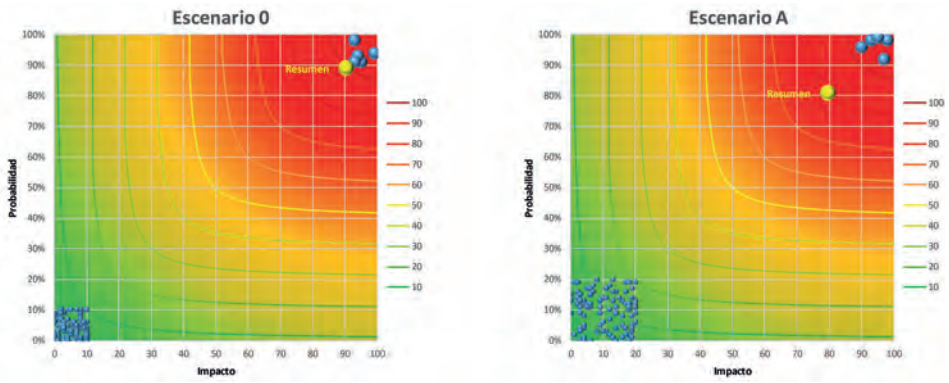

Figura 6.21. Ejemplos para los escenarios 0 y A

Los resultados promedio, tras la generación de 1.000 simulaciones para cada escenario cumpliendo las anteriores condiciones, se muestran en la Tabla 6.33.

Escenario	I	P	Fv
0 inicial	84	84%	84
0 aumentado	90	90%	90
A inicial	74	75%	74
A aumentado	80	80%	80

Tabla 6.33. Sensibilidad al aumento del riesgo de los eventos de alto riesgo

El comportamiento es claramente adecuado y demuestra la debida sensibilidad. Se comprueba que el aumento de riesgo de los 5 eventos con más riesgo, pasando de un riesgo medio Fv = 90 a un riesgo medio Fv = 95 (consecuencia de la aleatoriedad de los valores entre 80 y 100 inicialmente y entre 90 y 100 en este caso), se refleja adecuadamente en el punto resumen, cuyo valor Fv aumenta en 6 unidades en ambos escenarios.

6.3.4.3. Tratamiento de los escenarios de mitigación

Hay una situación singular que es particularmente sensible a los efectos analizados en los apartados precedentes: es el caso de la mitigación de los riesgos de un escenario.

Partiendo de un escenario dado de riesgos, la consideración de las medidas de mitigación debe comportar una disminución sensible del riesgo del conjunto. Aplicando la metodología propuesta se obtienen resultados adecuados que muestran fielmente la nueva situación de menor riesgo.

Sin embargo, hay ocasiones en las que el resultado de aplicar las medidas de mitigación sólo logra una disminución muy ligera del riesgo del escenario. En estos casos, la metodología de resumen propuesta, aplicada a los escenarios de antes y después de la mitigación, puede llegar a mostrar una situación ligeramente peor después de la mitigación (valor Fv más alto), fruto de cuanto se ha expuesto en el apartado anterior.

Esta situación no se ha observado en los proyectos reales analizados, y se ha presentado muy raramente en las simulaciones realizadas. En los casos en los que se ha producido este efecto se han confirmado unas condiciones del escenario y de la mitigación aplicada peculiares y, en cualquier caso, y es lo esencial, las diferencias son pequeñas.

Se muestra a continuación un ejemplo con 6 eventos de riesgo y sus parámetros iniciales y los mitigados. Sólo se mitigan dos eventos, el primero casi totalmente y el segundo sólo ligeramente (en la Tabla 6.34 se usa la abreviatura «mit» para expresar «mitigado»):

	Inicial			Mitigado			
Evento	I	P	Fv	I_{mit}	P_{mit}	Fv_{mit}	Peso
1	50	50%	50	10	10%	10	3
2	50	70%	56	30	42%	34	3
3	50	50%	50	50	50%	50	3
4	50	90%	58	50	90%	58	3
5	30	50%	36	30	50%	36	3
6	70	90%	76	70	90%	76	5

Tabla 6.34. Ejemplo de efectos de la mitigación

Los valores de resumen para ambos escenarios son:

Escenario	I	P	Fv
Inicial	60	77%	65
Mitigado	61	80%	66

Tabla 6.35. Análisis del efecto de una mitigación ligera

El análisis de la situación es que el sistema percibe, básicamente, que de los seis eventos que componen el escenario, hay uno (el 1) que desaparece literalmente del escenario y otro (el 2) que pierde algo de influencia. Esto conforma un nuevo escenario en el que se perciben 5 puntos (2 al 6), uno de los cuales (el 6) tiene simultáneamente el mayor riesgo (76) y el mayor peso (5). La desaparición del punto 1, cuyo riesgo estaba en la media del escenario (Fv = 50), determina que aumente el valor del resultado final.

Este comportamiento no es deseable por motivos fundamentalmente estéticos, dado que numéricamente las diferencias son muy pequeñas y desde luego no son relevantes.

La solución de esta singularidad es muy sencilla, bastando con introducir un punto de control en el paso 1 del método de resumen descrito en el apartado 6.2 para limitar el valor del valor Fv resultante de modo que no supere el valor Fv0 que había antes de aplicar las medidas de mitigación. Matemáticamente puede formularse este concepto según la siguiente ecuación que propone el valor mínimo entre la media ponderada de valores Fv después de aplicar la mitigación y el valor original Fv0:

$$Fv_m = mínimo\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} Fv_j \times D\prime_j}{\sum_{j=1}^{n} D\prime_j}; Fv_o\right) \qquad [6\text{-}14]$$

6.3.4.4. Nuevo evento de riesgo crítico o «línea roja»

Uno de los requisitos que tiene que cumplir el nuevo sistema es su sensibilidad ante la irrupción de un nuevo evento de riesgo que resulte crítico, o bien la constatación de un alto nivel de riesgo en un evento que constituya una línea roja (parámetro 21 de la lista de parámetros de mejora). Para examinar este aspecto se utiliza de nuevo un escenario de 100 eventos de riesgo asignándoles impactos y probabilidades aleatorios entre 0 y 60, y dando a todos los eventos un mismo peso de 5. Eligiendo una simulación al azar se obtienen unos valores de resumen de I = 37, P =35% y Fv = 36.

En estas condiciones se introduce un nuevo evento con un impacto de 100 y una probabilidad del 100% y un peso de 10. Este cambio produce un aumento del Fv global elevándolo a 58, lo cual muestra definitivamente la sensibilidad del método, pero no aportaría todavía el valor final deseado en caso de que este nuevo evento se

considerase crítico o supusiese una «línea roja». Teniendo en cuenta lo explicado en el apartado 6.3.1.3 «Pesos y ponderaciones» se aumenta el peso del nuevo evento destacándolo hasta 100. De esta manera el Fv resultante pasa a ser 99, como muestra la Figura 6.22.

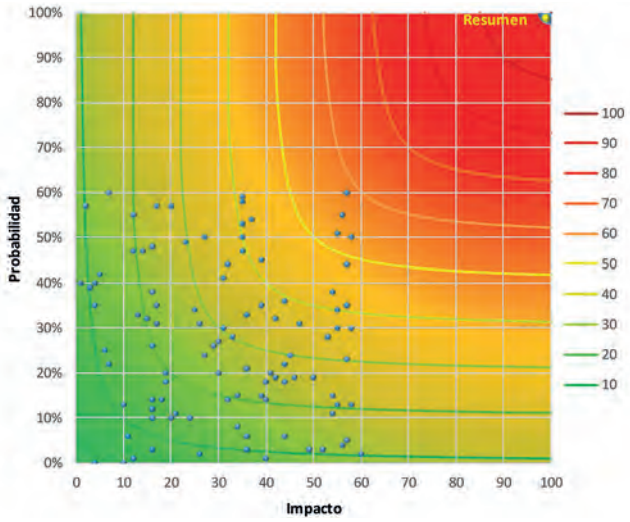

Figura 6.22. Riesgo crítico emergente

La figura anterior muestra gráficamente cómo el uso combinado del peso y del Factor de Visibilidad hace posible que cualquier evento individual aumente drásticamente el nivel de riesgo global, cuando es preciso, por muchos eventos de riesgo que compongan el escenario.

El uso de este peso en el conjunto del sistema disminuye la influencia de los demás, y debe estar condicionado a que el Fv del evento sea superior a uno dado (según el apetito de riesgo). De esta forma, cuando su evaluación de riesgo sea de «muy bajo», no condicionará a la baja el resultado global de la evaluación del escenario.

Esta operativa descrita para el peso de los eventos críticos resulta muy fácil de automatizar, tanto en una aplicación informática que facilite el uso del sistema, como en una simple hoja de cálculo, y se ha probado y calibrado en los prototipos instalados en una empresa constructora internacional.

6.3.5. Propuesta final

A la vista de los resultados presentados se acepta como propuesta final de resumen el método detallado en el apartado 6.2 «Método de resumen de riesgos» utilizando el sistema de ponderación definido en el apartado 6.3.2.4 «Cuarta aproximación: cuadrática con Factor de Visibilidad».

La formulación detallada en el apartado 6.2.2 «Formulación del método de resumen de riesgos» es completamente válida sustituyendo las fórmulas [6-25] y [6-26] por las fórmulas [6-35] que utilizan la ponderación cuadrática basada en el Factor de Visibilidad que se ha definido en la fórmula [6-34] del apartado 6.3.2.4.

Se ha demostrado que la ponderación cuadrática propuesta, que combina el peso asignado al evento con el Factor de Visibilidad, se adapta perfectamente a las situaciones de riesgo definidas por un evento líder, en caso de haberlo; en caso contrario evalúa el conjunto desde un punto de vista conservador orientado a la detección de una condición global de riesgo.

Este enfoque se aparta de los tradicionales, tanto de media aritmética como de acumulación de riesgo, que no son capaces de llegar hasta el nivel de fiabilidad y precisión que se consigue con el método presentado.

Se concluye que la novedosa forma de ponderar reúne todas las cualidades y cumple todas las condiciones, y se integra perfectamente en el método de resumen de riesgos propuesto en el apartado 6.2.

La solución aportada representa un gran avance que puede ser muy útil en las empresas para la gestión de riesgos y la toma de decisiones, debido a que proporciona una forma de resumir cualquier escenario de riesgo mediante un impacto y probabilidad equivalentes y el Factor de Visibilidad del conjunto. Esto permite comparar fácilmente distintos escenarios, como son los proyectos, para decidir cuáles comportan un mayor riesgo. Mediante el uso de un factor de ponderación adecuado es posible resumir escenarios con múltiples proyectos para conocer su riesgo global; en este caso, por ejemplo, el peso de cada proyecto podría ser su importe de venta. Esta facilidad, unida al carácter recursivo del método, permite obtener resúmenes de riesgo para conjuntos de proyectos en cada país, para conjuntos de países de áreas geográficas, para las diferentes actividades llevadas a cabo por la empresa o para el conjunto de la empresa. De igual forma se podría abordar el resumen de los riesgos corporativos, diferenciando las distintas naturalezas de riesgos o sus orígenes. Esta flexibilidad y simplicidad de uso permite realizar estudios analíticos de los riesgos existentes y compararlos con los correspondientes a otras situaciones posibles, como pueden ser las mitigadas, lo que constituye la base de un sistema analítico enfocado a la toma de decisiones.

6.4. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha presentado un nuevo indicador de riesgo, el Factor de Visibilidad, y un método para resumir escenarios que posibilita definir la situación global de un escenario de eventos de riesgo como un único evento de riesgo resumen que es representativo del escenario y tiene un impacto, probabilidad y Factor de Visibilidad propios. Este método de resumen aprovecha las ventajas del nuevo indicador Fv y

utiliza un sencillo algoritmo para lograr la combinación, apoyado en un novedoso sistema de ponderación basado en el Factor de Visibilidad.

La propuesta conjunta satisface plenamente los parámetros de mejora definidos en el capítulo anterior, dado que conforma un sistema que facilita el tratamiento analítico de las evaluaciones de riesgos, incluso aunque se hubieran hecho sólo cualitativamente. Esto permite estructurar el mapa de riesgos como se desee (plantillas con organización jerárquica en subcapítulos, capítulos y matrices), utilizando pesos para diferenciar la importancia de los grupos de eventos de riesgos considerados (subcapítulos, capítulos, matrices, proyectos, etc.) y pudiéndose definir líneas rojas. Con independencia de posibilitar el análisis detallado, facilita un resumen del escenario considerado mediante su Factor de Visibilidad Fv y presenta como resultado un evento de riesgo equivalente al riesgo global del proyecto o escenario con su impacto y su probabilidad.

También satisface las condiciones impuestas para el indicador con las que se ha medido la efectividad de otros indicadores estudiados: simplicidad, obtenible a partir del impacto y probabilidad definidos, comportamiento lineal, percepción intuitiva, sin necesidad de uso de una tabla o gráfico, buena cobertura del diagrama de Farmer y capacidad de combinar eventos de riesgo para obtener un resumen del escenario.

El indicador de riesgo, Factor de Visibilidad, es de aplicabilidad universal y, únicamente, se exceptúa la situación en la que la mayor parte de los eventos de riesgo presentan una probabilidad muy baja, situación para la cual también se han propuesto indicadores alternativos que se basan en la definición general del Factor de Visibilidad y que facilitan el tratamiento de estos escenarios singulares.

El método de resumen de riesgos soporta la recursividad, de modo que se puede expresar, por ejemplo, el riesgo del conjunto de proyectos de un país, actividad o de una empresa utilizando los resultados parciales previos. Dado que el método no impone ningún tipo de restricción, es posible hacer estudios analíticos seleccionando determinados tipos de riesgo o tipos de proyecto en combinación con un filtro por país, actividad, empresa o fecha, de modo que se pueden hacer estudios parciales de detalle y obtener una visión integrada posteriormente.

El pilar conceptual es el Factor de Visibilidad Fv, que con su formulación y comportamiento posibilita las otras dos partes que componen el conjunto del método.

7. COSTE DEL RIESGO DE UN PROYECTO

La estimación del coste que los riesgos identificados podrían ocasionar al normal desarrollo de los proyectos es un motivo de gran preocupación para las empresas. La investigación realizada lo ha puesto de manifiesto al situar el interés por el cálculo de estos costes en el puesto 16 de la lista de 66 parámetros de mejora, con la demanda añadida de desglosar el coste posible, el probable y el mitigado. En la literatura consultada la preocupación por el desbordamiento de la contingencia tiene un índice IIR del 41%.

La mayor parte de los estudios académicos revisados se centran en reducir la incertidumbre aportando métodos sofisticados que, como se ha indicado anteriormente, no siempre están al alcance de las empresas. Sin embargo, no cuestionan el método de obtención del coste mediante la suma de los productos del coste posible correspondiente a cada riesgo por la probabilidad de que suceda (método SPIP).

En el apartado 4.2 «Método de resumen SPIP» se ha demostrado que el método SPIP es inadecuado porque el valor que proporciona se verá superado en la práctica el 50% de las veces, por meras cuestiones de cálculo matemático y estadístico, y que la cuantía del desbordamiento de la contingencia así calculada, en función del número de riesgos que compongan el coste total, puede oscilar entre el 41% y el 198%. Quizás por este motivo el PMI ha suprimido en su versión 6 del PMBOK (Project Management Institute 2017a) la definición de valor monetario esperado que se ajusta al valor SPIP y que anteriormente aparecía en el apartado 11.4.2.2 de su versión 5 (Project Management Institute 2013).

En el capítulo anterior se ha presentado el Factor de Visibilidad, un nuevo indicador genérico del nivel de riesgo, y un método basado en él para calcular el nivel de riesgo global de un escenario. Sin embargo, esta solución no es válida para la estimación del coste global del riesgo de un escenario, porque, por definición, la solución no es acumulativa y está orientada a definir el nivel de riesgo. Por ello es preciso encontrar una alternativa diferente.

7.1. Aproximación mediante regresión no lineal

En el apartado 3.7 «Aspectos que condicionan el valor esperado» se presentaron diversos aspectos que condicionan el resultado final desde un punto de vista probabilístico: el número de eventos NER, la correlación y el efecto Pareto.

En la Tabla 4.8 se definieron los percentiles 85 (R_{85}) del cociente RV/EV que expresa la relación entre el valor RV del coste que tiene una probabilidad del 85% de no ser rebasado y el valor medio EV, que es el valor esperado con el método SPIP. En esa tabla se supone una correlación uniforme entre todos los eventos de riesgo de +0,4.

El enfoque que se propone es considerar ese cociente como un coeficiente de seguridad E_f que, de ser aplicado al valor SPIP, proporcionaría un coste del riesgo que tendría una probabilidad del 85% de no ser sobrepasado. Para ello bastaría con definir o tabular una función E_f con la que obtener el coeficiente adecuado para cada escenario o situación.

Una primera aproximación al problema radica en simplificarlo y considerar por separado los aspectos que condicionan el resultado final. Si se excluye el efecto de Pareto y se mantiene la correlación de +0,4 se pueden utilizar los resultados R_{85} obtenidos en la Tabla 4.7 del apartado 4.2.3 «Modelos aleatorios» para estas condiciones, que se copian a continuación en la Tabla 7.1.

Número de eventos NER del modelo							
4	10	19	30	50	100	300	500
2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41

Tabla 7.1. Valores R_{85} con correlación +0,4 y sin efecto Pareto

Los valores de la tabla indican que el valor R_{85} disminuye con el número de eventos NER, como ya se adelantó en los apartados anteriores.

Al prescindir de la correlación y del efecto Pareto como variables es posible pensar en una función de una variable que relacione el valor de R_{85} con NER. Dibujando una gráfica con los valores anteriores se percibe una curva de tipo logarítmico. Sin embargo, cuando se intenta un ajuste mediante el método de mínimos cuadrados se comprueba que una función hiperbólica y = 1/x proporciona un mejor resultado. Definiendo E_f como la ecuación que proporciona el valor R_{85} en función de NER, se puede escribir (siendo *a* y *b* constantes):

$$E_f = \frac{a}{NER} + b \qquad [7\text{-}1]$$

Esta función proporcionaría el coeficiente de seguridad a aplicar al valor SPIP de un proyecto o escenario, en función de su NER, para alcanzar un nivel de confianza del 85%.

Con una combinación del método de aproximaciones sucesivas y el ajuste por mínimos cuadrados se calculan los valores a y b, con lo que la ecuación anterior resulta:

$$E_f = \frac{2{,}4141}{NER} + 1{,}4165 \qquad [7\text{-}2]$$

La siguiente figura (Figura 7.1) muestra el perfecto ajuste logrado y cómo el ajuste logarítmico es peor. La función [7-2] proporciona una manera rápida de calcular Ef que complementa y mejora la Tabla 7.1. Sin embargo, sólo considera una variable y eso resulta una limitación porque no considera la distribución probabilística de los costes de los riesgos.

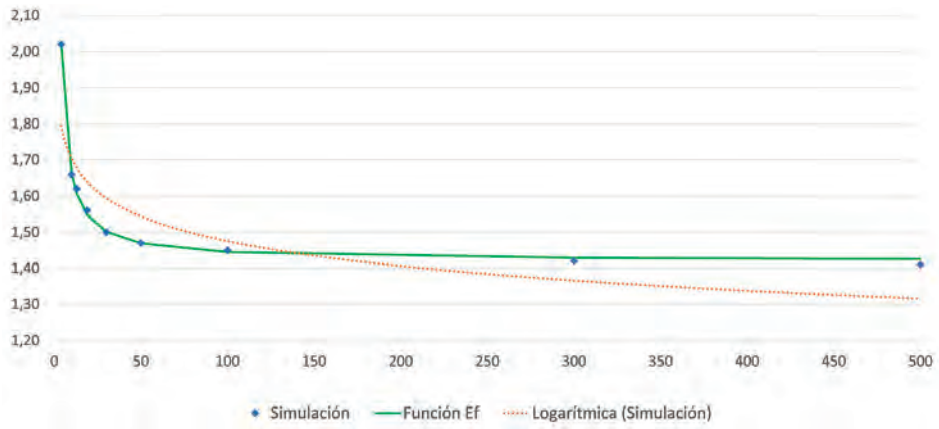

Figura 7.1. Función de ajuste para E_f

Utilizando los resultados de la Tabla 4.8 se podrían obtener fórmulas alternativas para considerar el efecto Pareto, pero las comprobaciones con proyectos reales del siguiente apartado recomiendan seguir otra línea de investigación.

7.1.1. Comprobación con proyectos reales

Se ha aplicado la función obtenida a varios proyectos reales de construcción que se presentan en el CAPÍTULO 8 «Casos de estudio» para comprobar su eficacia. En cada proyecto se ha calculado su coste del riesgo esperado EV, se ha realizado un análisis con la simulación de Monte Carlo para calcular su percentil 85, RV, y se ha obtenido el cociente RV/EV considerando una correlación uniforme de +0,4 entre todos los eventos.

En la siguiente tabla se muestran el número de eventos de riesgo NER y los valores EV, RV y RV/EV (Tabla 7.2) y se comparan con los valores E_f que se proporciona la fórmula [7-2] en función del número NER.

Proyecto	NER	EV	RV	RV/EV	E_f
1	13	15,5	25,6	1,65	1,60
2	21	4,8	9,3	1,93	1,53
3	51	247,1	325,3	1,32	1,46
4	51	103,4	174,0	1,68	1,46

Tabla 7.2. Estudio de costes de proyectos reales con correlación +0,4

En la siguiente figura se superponen en la gráfica de la función de ajuste los valores RV/EV obtenidos para los cuatro proyectos mediante la simulación de Monte Carlo (Figura 7.2). Se comprueba que el ajuste para los proyectos no es excesivamente correcto. Para el proyecto 1 se ajusta muy bien y para el 2 se queda muy corta (1,53 en lugar de 1,93). Los proyectos 3 y 4

tienen un mismo NER por lo que la fórmula da un único valor de 1,46, pero los valores reales obtenidos con la simulación de Monte Carlo son 1,32 y 1,68 respectivamente.

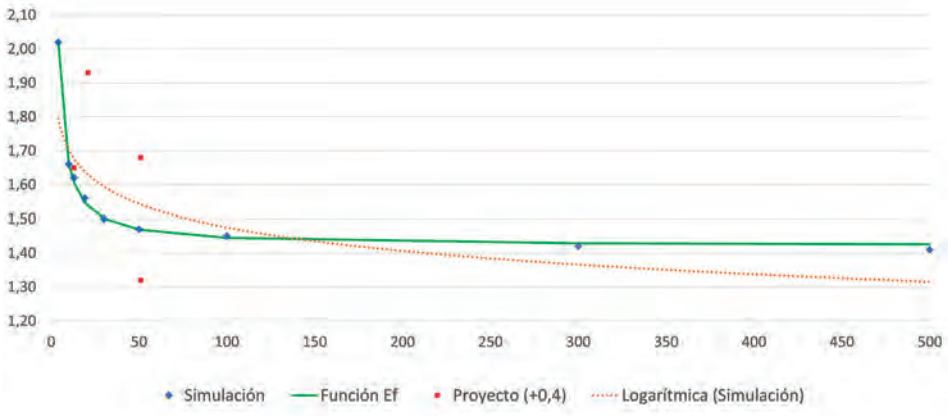

Figura 7.2. Función de ajuste para E_f comparada con proyectos reales

Los resultados anteriores demuestran que, además del número de eventos de riesgo NER, hay más parámetros que influyen en el valor RV/EV, como se había adelantado anteriormente. La función E_f propuesta es el resultado correspondiente a miles de simulaciones con modelos aleatorios y, dado que cada proyecto es diferente (Zacharias et al. 2008), no cabe esperar que cada proyecto concreto se ajuste al valor que propone dicha función E_f. La función presentada supone un gran avance para el cálculo del coste de los riesgos y reduce la probabilidad de que la contingencia se vea desbordada, pero resulta deseable disponer de una función que considere las propiedades probabilísticas de cada proyecto concreto y proporcione una solución más precisa.

7.2. Fórmula multivariable

Para tener en cuenta todas las variables que definen la distribución probabilística de los costes de los riesgos de un escenario se debería disponer de una versión modificada de la fórmula [7-2] que, además de la variable NER, considerara otras variables adicionales.

Entre los muchos parámetros que caracterizan un proyecto concreto, hay uno que no se puede modelizar fácilmente, y es la correlación entre los eventos de riesgo. La razón es que la definición de la correlación exige un conocimiento profundo del proyecto y una investigación para detectar qué eventos están relacionados entre sí y la intensidad de esta relación. Esta dificultad es conocida desde hace mucho tiempo (Touran and Wiser 1992) y ha llevado a que sea muy frecuente ignorar la correlación y prescindir de ella en los cálculos, lo cual devalúa el análisis de Monte Carlo.

La consideración de la correlación como una variable más a considerar en la fórmula buscada supondría una complejidad que escapa del alcance de este trabajo, y se ha optado por considerar una correlación uniforme de +0,4, lo cual no debe verse como una limitación sino como una aproximación (Rezaie et al. 2007).

Para estudiar la influencia de los diversos parámetros que pueden condicionar el valor RV/EV se han utilizado los mismos cuatro proyectos del apartado anterior, y se han obtenido los valores correspondientes a sus variables estadísticas y a posibles cocientes entre ellas, buscando algún tipo de correlación entre ellos y el cociente RV/EV.

		Proyectos			
Parám.	Descripción	#1	#2	#3	#4
1	Media coste posible	2.029	867	7.868	4.655
2	Media coste probable	1.192	229	4.845	2.028
3	Desviación típica coste posible *(DT_b)*	3.179	835	14.847	10.051
4	Desviación típica coste probable *(DT_a)*	1.694	217	11.520	5.235
5	Coste total posible	26.377	18.201	401.264	237.399
6	Coste total esperado (EV)	15.499	4.802	247.077	103.409
7	(3) / (1)	1,57	0,96	1,89	2,16
8	(4) / (2)	1,42	0,95	2,38	2,58
9	(3) / (5)	12,1%	4,6%	3,7%	4,2%
10	(4) / (6)	10,9%	4,5%	4,7%	5,1%
11	NER	13	21	51	51
12	Núm. eventos 80% coste probable (N_{80})	4	9	9	6
13	(11) / (12)	3,25	2,33	5,67	8,50
14	Núm. eventos 90% coste probable (N_{90})	7	12	15	11
15	(11) / (14)	1,86	1,75	3,40	4,64
16	RV/EV correlación 0,4	1,65	1,93	1,32	1,68
17	E_f	1,60	1,53	1,46	1,46
18	(16) – (17)	0,05	0,40	-0,14	0,22
19	(16) / (17)	1,03	1,26	0,90	1,15

Tabla 7.3. Parámetros estadísticos de los 4 proyectos reales considerados

En la Tabla 7.3 se recogen todos los parámetros considerados, donde «media coste posible» es el valor medio de los costes posibles individuales (coste si sucede) y «media coste probable» es la media de los costes probables NPR (producto del coste por la probabilidad). Las desviaciones típicas DT_a y DT_b corresponden a

las distribuciones de los costes probables y posibles, respectivamente. El «coste total posible» es la suma de los costes posibles individuales. El coste total esperado es el valor SPIP. El número de eventos de riesgo es NER, pero se distingue el número de eventos que totalizan el 80% del coste probable (N_{80}) y el 90% del coste probable (N_{90}).

No se ha planteado directamente un análisis de regresión multivariable, sino que se ha optado por hacer estudios de correlación parciales entre los parámetros. El resultado de este estudio ha sido la elección de cuatro parámetros: DT_a, DT_b, N_{90}, y *NER*.

Partiendo de la fórmula [7-2] y considerando cómo influyen las 4 variables seleccionadas se propone una fórmula modificada cuyo perfil es [7-3], siendo a, b, c y d constantes a definir:

$$E'_f = \frac{a}{NER} + b + \left(\frac{DT_b}{DT_a} - c\right) \times \frac{NER}{d \times N_{90}} \qquad [7\text{-}3]$$

A continuación, se ha realizado un proceso iterativo para definir las constantes mediante un análisis de regresión múltiple buscando un ajuste por mínimos cuadrados a la diferencia entre RV/EV y el resultado de la nueva fórmula. El resultado es la fórmula [7-4]:

$$E'_f = \frac{2{,}4141}{NER} + 1{,}4165 + \left(\frac{DT_b}{DT_a} - 1{,}7\right) \times \frac{NER}{10 \times N_{90}} \qquad [7\text{-}4]$$

Aplicando esta fórmula en los proyectos utilizados para su definición se obtienen valores óptimos, con una desviación máxima del 7%, y se muestran en la Tabla 7.4.

Proyecto	NER	RV/EV	E'f	Diferencia
1	13	1,65	1,63	-0,9%
2	21	1,93	1,91	-1,2%
3	51	1,32	1,32	+0,3%
4	51	1,68	1,57	-6,8%

Tabla 7.4. Resultados de E'_f para los proyectos reales considerados

Se han hecho comprobaciones con proyectos adicionales no utilizados para la definición de la fórmula, obteniéndose muy buenos resultados. Como ejemplo se muestra el recogido en el apartado 8.2.5 «Caso 5: proyecto con 19 eventos de

riesgo y 6 oportunidades». Se ha realizado la simulación de Monte Carlo (Figura 7.3) y se ha obtenido el valor RV de 23.437 (miles de euros); el método SPIP propone un valor de 13.454, por lo que RV/EV es 1,74. El valor E'_f obtenido con sus parámetros estadísticos es 1,76, lo cual significa una gran precisión, con una desviación del 1,2%.

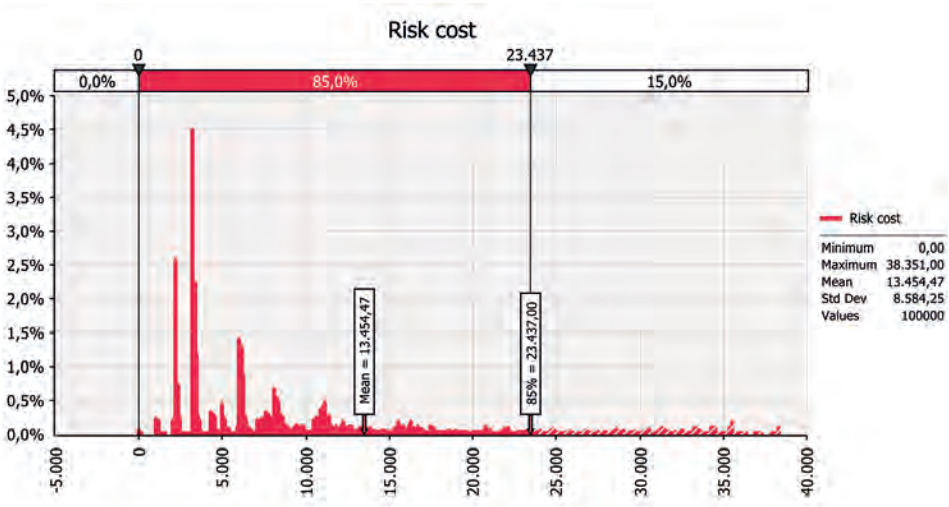

Figura 7.3. Simulación para proyecto real de 19 eventos con correlación +0,4

En la Tabla 7.5 puede consultarse el detalle de los parámetros usados en el estudio.

NER	DT_a	DT_b	N_{90}	E'_f	RV/EV	Diferencia
19	694	1.901	9	1,76	1,74	+1,2%

Tabla 7.5. Resultados de E'_f para un nuevo proyecto real

Se ha realizado una comparación adicional entre los valores que proporciona E'_f y los valores R_{85} obtenidos en los modelos de simulación del apartado 4.2.3.3 «Con correlación y efecto Pareto». Para ello se ha calculado el valor de E'f en cada simulación de cada modelo y se ha seleccionado el percentil 85. Las diferencias se han calculado en cada simulación, y se muestra el valor «Dif.» correspondiente al percentil 85 de las mismas en la Tabla 7.6.

		NER							
Efecto Pareto	Parámetro	4	10	19	30	50	100	300	500
Ninguno	R_{85}	2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41
	E'_f	2,13	1,67	1,53	1,48	1,43	1,39	1,37	1,36
	Dif.	27%	9%	2%	1%	-2%	-2%	-3%	-3%
Ligero	R_{85}	2,23	1,81	1,66	1,55	1,52	1,47	1,41	1,41
	E'_f	2,41	1,87	1,69	1,58	1,51	1,46	1,42	1,41
	Dif.	36%	10%	5%	3%	0%	0%	1%	0%
Intenso	R_{85}	2,98	2,48	1,82	1,79	1,66	1,54	1,49	1,45
	E'_f	3,38	2,64	1,86	1,91	1,78	1,65	1,53	1,49
	Dif.	115%	26%	3%	1%	1%	1%	1%	1%

Tabla 7.6. Resultados de E'_f con los modelos de simulación con correlación +0,4

Puede comprobarse la alta fiabilidad de los resultados, con desviaciones inferiores al 5% cuando NER es mayor que 10. En el caso de modelos con pocos eventos de riesgo las diferencias son mayores. Es destacable la escasa diferencia que hay entre los valores medios E'_f y R_{85}.

El caso de 4 eventos demuestra que, con tan pocos eventos de riesgo, no es posible predecir con certeza el coste total, dado que la distribución de los costes puede variar mucho, como se aprecia comprobando la variación de E'_f según la intensidad del efecto Pareto; con valores de coste razonablemente uniformes se obtendrían coeficientes de seguridad E'_f entre 2,13 y 2,41, lo cual hay que considerar una primera aproximación.

Con 10 eventos de riesgo la variabilidad del efecto Pareto desestabiliza menos los resultados, y cuando la distribución de los costes es relativamente homogénea, se puede obtener una aproximación muy buena, con desviaciones inferiores al 10%.

7.2.1. Conclusión de la fórmula multivariable

La fórmula E'_f presentada aporta un coeficiente de seguridad que, aplicado al valor SPIP utilizado comúnmente para calcular la contingencia de los proyectos, proporciona una seguridad del 85% de que el valor resultante no se verá rebasado en el transcurso del proyecto. El resultado que proporciona, a efectos prácticos, es equivalente al que se obtendría mediante la simulación de Monte Carlo, siempre que en ésta se eligiera el percentil 85 y se modelizara una correlación uniforme global de +0,4.

En el caso de proyectos en los que únicamente se haya identificado el coste en un número muy reducido de eventos de riesgo (menos de 10) es preciso examinar la com-

posición del coste total y usar la fórmula con precaución. Si hubiera uno o dos eventos cuyo coste determinara absolutamente el coste total, habría que considerar el valor que proporciona la fórmula E'_f como una mera aproximación, y tener en cuenta cuanto se expuso en el apartado 3.7.2 «Enfoque probabilístico».

7.3. Resumen del capítulo

En este capítulo se ha buscado una solución para la falta de seguridad que supone utilizar el método SPIP (suma de los productos del coste por la probabilidad de cada riesgo) para obtener el coste total del riesgo de un escenario. Este método se utiliza muy frecuentemente en las empresas para determinar la contingencia de los proyectos, y constituye una mejora del método tradicional de asignar un porcentaje en función de experiencias previas con proyectos similares, pero favorece que se produzca un desbordamiento de la contingencia.

En el CAPÍTULO 4 se demostró la falta de fiabilidad del método SPIP, que proporciona un valor que será sobrepasado en el 50% de las ocasiones, pudiendo producirse un desbordamiento para la contingencia que resulte inadmisible para los proyectos. En el CAPÍTULO 6 se explicó que Factor de Visibilidad y el método de resumen de riesgos no están concebidos para totalizar el coste total del riesgo del escenario y que se precisaba otra solución.

La solución propuesta se ha definido buscando la manera menos intrusiva en el trabajo de los profesionales y, por ello, se ha concebido un coeficiente de seguridad que, aplicado al resultado SPIP, proporciona un nivel de confianza del 85%.

El coeficiente de seguridad se ha definido, en primera aproximación, como una función del número de riesgos identificados con coste (NER) y proporciona un valor razonablemente aceptable obtenido mediante una regresión no lineal utilizando los resultados de los modelos de simulación con una correlación uniforme de +0,4.

Para lograr una mejor aproximación se ha elaborado una fórmula más compleja que considera las propiedades probabilísticas de la distribución de los costes de los riesgos del proyecto. Para ello se han detectado las variables más influyentes utilizando los datos de varios proyectos reales, se ha aplicado la técnica de regresión múltiple, y se ha definido una función multivariable que se ha contrastado con los modelos de simulación y con otros proyectos. Con esta fórmula se obtiene una aproximación muy buena al resultado que proporciona el análisis de Monte Carlo, y se evitan los resultados erróneos que produce esta técnica cuando no se considera la correlación o se elige un percentil inadecuado.

8. CASOS DE ESTUDIO

En la investigación realizada se han analizado muchos casos reales de empresas. Estos casos se refieren a riesgos corporativos y a proyectos de empresas de los sectores de construcción, ingeniería, tecnologías de la información, tecnología médica y energías renovables. El estudio y análisis de estos casos es una fuente inapreciable de información que ayuda a comprender mejor el contexto del trabajo realizado y de las conclusiones obtenidas.

Los casos contenidos en este capítulo ilustran prácticas habituales que, fruto de la investigación realizada, se han probado perjudiciales para las empresas estudiadas, y revelan, por tanto, debilidades de las mismas; por este motivo no se pueden identificar los casos ni las empresas que los han facilitado.

Según lo anterior y para anonimizar la información que se muestra, se han omitido los nombres de los proyectos, la denominación de los riesgos identificados y las cifras exactas de venta, cuando aplica. También se han alterado ligeramente los valores de impacto y probabilidad de los riesgos para que, sin perder la representatividad, no resulte posible identificarlo ni asociarlo con ningún proyecto o empresa real. Adicionalmente, para homogeneizar y facilitar las comparaciones, se han normalizado los valores de impacto y probabilidad a escalas 0-100.

A pesar de estos cambios, todos los casos que se exponen mantienen su interés y representan fielmente una situación real.

8.1. Resumen de riesgos

Se presentan primeramente casos que ilustran las ventajas que aporta la aplicación del Factor de Visibilidad y del método de resumen de riesgos para conocer el riesgo global. Se describe cada caso, se muestra la valoración que estaba haciendo la empresa, y se compara con los nuevos resultados obtenidos con la metodología propuesta.

8.1.1. Caso 1: riesgo corporativo

Corresponde a un estudio de los riesgos corporativos de una empresa. Para ello, la compañía dispone de una plantilla con más de 100 riesgos organizados jerárquicamente en 4 capítulos. Los riesgos se evalúan asignándoles un impacto y una probabilidad que se obtienen mediante un sistema de encuestas con escalas de 4 niveles (valores de 1 a 4). La exposición que supone cada riesgo se valora en la empresa con el indicador NPR_{mod} (ver el apartado 4.1.3).

Al no disponer la empresa de un sistema para resumir los riesgos, elaboran un informe de más de 50 páginas y analizan los riesgos por capítulos o bien ordenándolos en orden decreciente según su exposición (valor NPR_{mod}). La imagen del conjunto se recoge en la Figura 8.1.

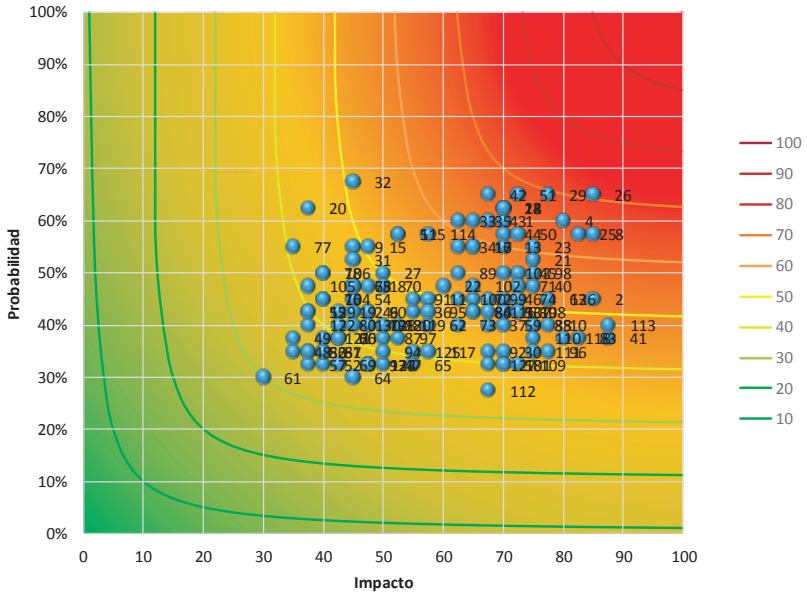

Figura 8.1. Conjunto de riesgos corporativos

Es evidente la dificultad, tanto para comprender la situación de riesgo global como para hacer un posible seguimiento de su evolución en el tiempo. Así mismo, resultaría complicado analizar el posible resultado de aplicar medidas de mitigación.

La aplicación de las propuestas hechas en el presente trabajo permite un análisis más razonable de la información de riesgos, posibilitando su tratamiento analítico y conocer si la situación global evoluciona favorable o desfavorablemente.

El resultado obtenido, una vez normalizados a 100 los valores de impacto y probabilidad, se presenta en la Tabla 8.1, donde se muestra el resumen por capítulos y el riesgo total; de esta forma puede apreciarse fácilmente que los riesgos estratégicos son los más destacables.

Tipo	I	P	Fv
1. Estratégicos	62	52%	56
2. Operativos	60	48%	52
3. Cumplimiento	57	43%	47
4. Financieros	57	40%	45
Resumen	59	47%	51

Tabla 8.1. Resumen de riesgos corporativos

La Figura 8.2 ofrece una visión gráfica de la situación por capítulos con el resumen global. Este resumen posibilita una rápida comprensión de la situación general, ayudando a concentrar la atención en los capítulos que tienen un mayor riesgo para su posterior análisis.

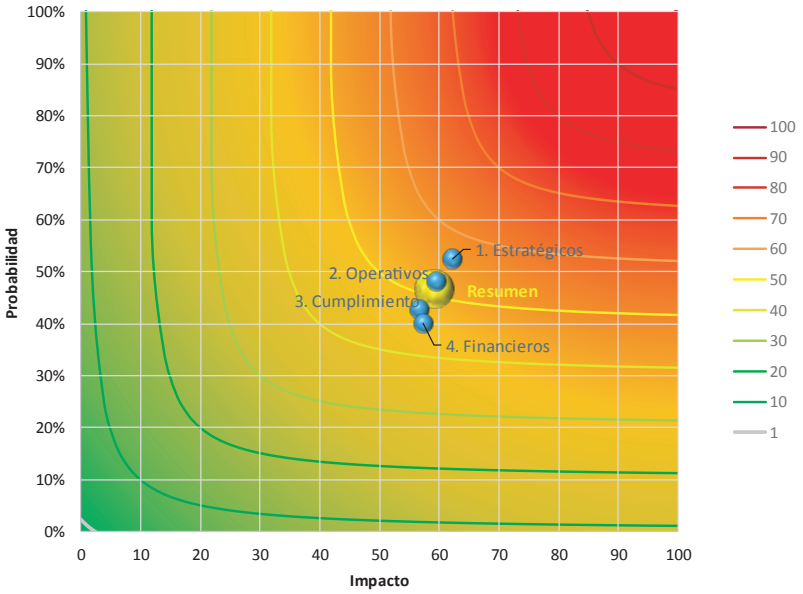

Figura 8.2. Resumen de riesgos corporativos

El sistema propuesto, al disponer de un método de resumen con capacidad recursiva, posibilita agrupar los riesgos con el nivel de detalle que se desee.

8.1.2. Caso 2: riesgo de un país

Corresponde a la visión corporativa del riesgo que comporta trabajar en un determinado país. Para ello, la compañía dispone de una plantilla con una lista de cerca de 100 riesgos organizados jerárquicamente en capítulos que son evaluados periódicamente para una lista dada de países de interés.

Cada riesgo tiene asociado un peso relativo al total, de modo que la suma de pesos es 100. Cada riesgo recibe una valoración de 0 a 100 que corresponde a un indicador NPR elaborado externamente, sin que se evalúe separadamente el impacto y la probabilidad. La valoración global del país se obtiene mediante la media ponderada de los riesgos, sin distinguir los capítulos definidos, cuya valoración se obtiene separadamente con el mismo procedimiento.

En este caso, al no disponerse de una evaluación separada para el impacto y la probabilidad, puede utilizarse la fórmula [6-13] para obtener el Factor de Visibilidad, asumiendo en cada riesgo la hipótesis de que el impacto y la probabilidad son iguales ($p = i/100$).

Se elige como ejemplo de análisis la valoración de un país asiático, que era de 28 (sobre 100), por lo cual este país estaba considerado por la empresa como de riesgo bajo. Este valor medio obtenido por la empresa diluye los riesgos extremos cuando, como en este caso, hay grandes diferencias entre ellos, como se puede comprobar en la Figura 8.3.

El resultado obtenido con el Factor de Visibilidad y el método propuesto para resumir los escenarios de riesgo se presenta en la Figura 8.3, mostrando los riesgos agrupados por cada uno de los capítulos (bolas azules) y el resumen del país (bola amarilla).

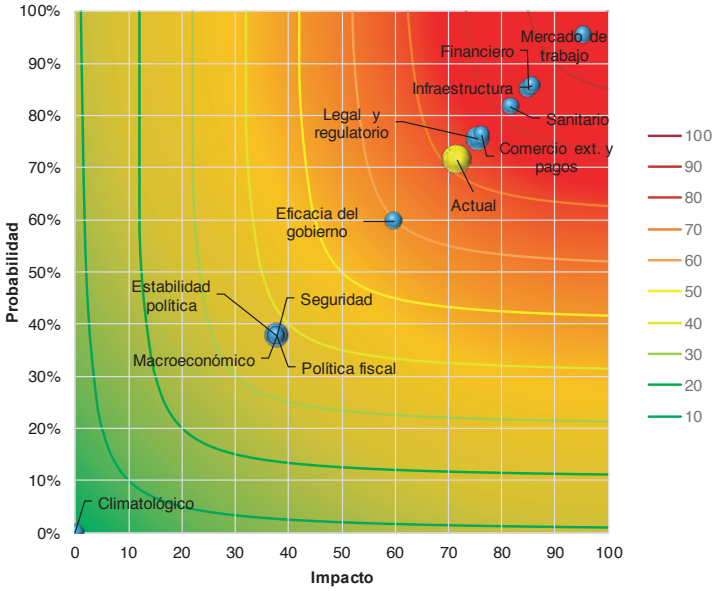

Figura 8.3. Mapa de riesgos para un país

La visibilidad que aporta el método de resumen basado en el Factor de Visibilidad permite ver inmediatamente que el riesgo no es bajo, y facilita la identificación de los capítulos que presentan un riesgo más alto, aportando un resumen que, en este caso, es 72, lo cual configura el país como de riesgo alto o muy alto. La confusión debida al uso del NPR junto con el método de la media ponderada, que lamina los riesgos extremos, condujo a esta empresa a infravalorar el riesgo real.

8.1.3. Caso 3: proyecto tecnológico

Se presenta el caso de un proyecto de implantación de tecnología con una duración prevista de 8 meses. Durante este tiempo se elaboraron siete informes de riesgo en los cuales se identificaban los riesgos, y se les asignaba un impacto de 1 a 10 y una probabilidad expresada en %. La exposición considerada es el producto NPR, como se detalla en la Tabla 8.2.

En cada informe obtenían el riesgo global como la media de los valores NPR, y lo valoraban de acuerdo con la siguiente escala: 0-30 bajo, 40-60 medio y 70-100 alto (se han multiplicado los impactos por 10). Según la empresa el riesgo era medio con tendencia a la baja.

El número de riesgos y su identidad variaban en cada punto de control, pero, por simplicidad, se presentan en la Tabla 8.2 numerándolos del 1 al 8 en todos los controles, sin que su numeración en cada control identifique un mismo riesgo.

En la tabla se ha calculado el valor Fv para cada uno de los riesgos utilizando sus definiciones de impacto y probabilidad, y se compara con el NPR. En las dos columnas de la derecha se muestran el NPR medio obtenido en cada control y los valores de impacto, probabilidad y Fv correspondientes a cada uno de los controles obtenidos con el método propuesto, situándose en la misma fila los valores de NPR y Fv para facilitar su comparación.

		Riesgos								Media NPR	Fv
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Control 1										42	65
	Impacto	50	90	80	80	70	90	70			77
	Probabilidad	10%	60%	60%	60%	60%	50%	70%			59%
	NPR	5	54	48	48	42	45	49			
	Fv	18	67	66	66	64	58	70			
Control 2										41	67
	Impacto	50	90	80	80	70	90	70			75
	Probabilidad	10%	40%	80%	60%	60%	50%	70%			62%
	NPR	5	36	64	48	42	45	49			
	Fv	18	48	80	66	64	58	70			
Control 3										50	76
	Impacto	80	80	90	80	80	80	90			79
	Probabilidad	90%	90%	90%	20%	50%	30%	50%			74%
	NPR	72	72	81	16	40	24	45			
	Fv	84	84	90	28	57	38	58			

		Riesgos								Media NPR	Fv
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Control 4										41	71
	Impacto	80	90	80	70	80	80				77
	Probabilidad	40%	80%	30%	40%	90%	20%				67%
	NPR	32	72	24	28	72	16				
	Fv	48	84	38	47	84	28				
Control 5										38	64
	Impacto	80	90	80	70	70					79
	Probabilidad	40%	80%	30%	40%	50%					58%
	NPR	32	72	24	28	35					
	Fv	48	84	38	47	56					
Control 6										30	48
	Impacto	80	90	80	70	70					78
	Probabilidad	30%	50%	30%	40%	40%					40%
	NPR	24	45	24	28	28					
	Fv	38	58	38	47	47					
Control 7										35	61
	Impacto	80	80	70	70	70	90	50	40		62
	Probabilidad	30%	30%	20%	30%	100%	70%	70%	70%		61%
	NPR	24	24	14	21	70	63	35	28		
	Fv	38	38	28	38	77	76	56	47		

Tabla 8.2. Evolución de los riesgos del proyecto

Comparando la evolución del NPR y del Fv se comprueba que el riesgo era más alto de lo que pensaba la empresa, lo cual se aprecia mejor en la Figura 8.4.

La incorrecta percepción del nivel de riesgo es debida a usar el promedio de NPR como indicador global, con lo cual se diluyen los riesgos más severos, y a que la utilización del indicador NPR, que es poco intuitivo, pudo contribuir a su infravaloración.

El valor mínimo del NPR medio es 30 en el punto de control 6, con impacto 78, probabilidad 40% y Fv 48, que son propios de un riesgo medio. En los restantes puntos de control el riesgo era mayor, alcanzando el máximo en el control 3, con un Fv de 76 (Figura 8.4).

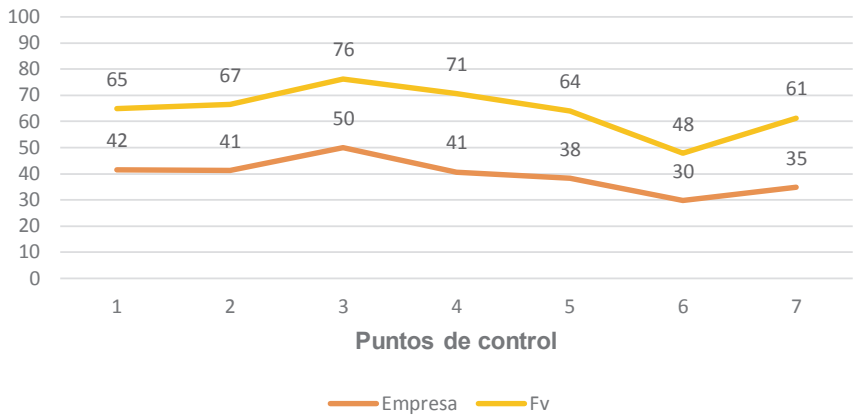

Figura 8.4. Evolución del riesgo del proyecto

El detalle del punto de control 3 y el análisis de la evolución del impacto y la probabilidad del resumen del proyecto confirman un alto riesgo (Figura 8.5). El proyecto fracasó.

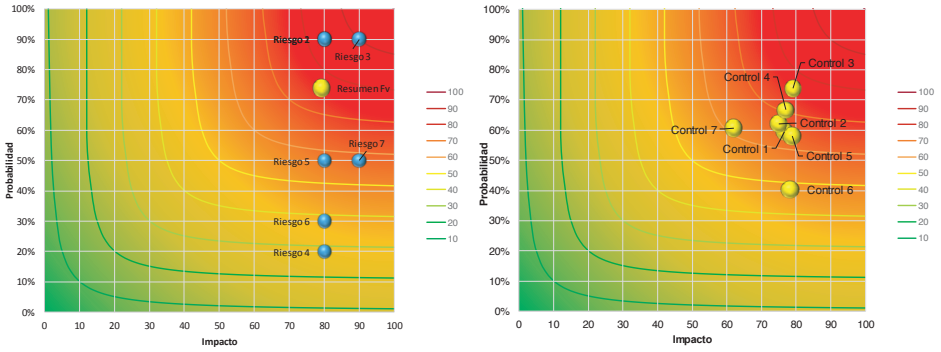

Figura 8.5. Situación del proyecto en el control 3 y evolución global

8.1.4. Caso 4: proyecto de construcción

Este caso corresponde a un proyecto con un importe superior a los 200 millones de euros en el cual se han identificado 35 riesgos organizados en 8 capítulos.

La empresa evalúa los riesgos asignándoles un impacto y una probabilidad de 1 a 5, y calcula su nivel de riesgo con el indicador NPR, pero no calcula el nivel de riesgo global.

El promedio de NPR es 47 antes de la mitigación y 19 tras la mitigación (normalizados a 100). El proyecto era considerado como de riesgo medio y, una vez mitigado, como de riesgo bajo.

En la Tabla 8.3 se muestran las evaluaciones normalizadas a 100, antes y después de considerar la mitigación. Se incluye para cada riesgo identificado su valor Fv y el indicador NPR considerado por la empresa.

	Riesgo inicial				Riesgo mitigado			
Capítulo	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv	Impacto	Probabilidad	NPR	Fv
1	70	50%	35	56	30	30%	9	30
	10	30%	3	16	10	30%	3	16
	50	30%	15	36	30	30%	9	30
2	50	50%	25	50	30	30%	9	30
	95	50%	48	58	50	10%	5	18
	70	50%	35	56	30	30%	9	30
	95	70%	67	76	50	50%	25	50
	70	70%	49	70	30	30%	9	30
	70	70%	49	70	30	30%	9	30
	70	70%	49	70	30	30%	9	30
	95	95%	90	95	50	50%	25	50
	95	95%	90	95	50	50%	25	50
	50	50%	25	50	10	50%	5	18
	70	70%	49	70	30	30%	9	30
	50	50%	25	50	30	30%	9	30
	50	50%	25	50	30	30%	9	30
	50	50%	25	50	30	30%	9	30
3	70	70%	49	70	30	30%	9	30
	30	50%	15	36	30	30%	9	30
	50	70%	35	56	30	30%	9	30
	50	50%	25	50	30	30%	9	30
	10	10%	1	10	10	10%	1	10
	30	70%	21	38	10	30%	3	16
	30	70%	21	38	0	0%	0	0
4	70	95%	67	76	50	70%	35	56
	70	95%	67	76	95	95%	90	95
	70	95%	67	76	30	70%	21	38
5	70	50%	35	56	30	30%	9	30
6	30	50%	15	36	10	30%	3	16
7	50	95%	48	58	30	50%	15	36
	50	30%	15	36	10	10%	1	10
	50	50%	25	50	10	30%	3	16
8	30	30%	9	30	10	30%	3	16
	50	50%	25	50	30	30%	9	30

Tabla 8.3. Evaluación de los riesgos del proyecto

Con el método Fv se comprueba que el resumen del proyecto es 61 antes de mitigar y 54 después de mitigar, lo cual muestra que la empresa infravalora su nivel de riesgo como se demuestra en la Tabla 8.4, que recoge los resúmenes de riesgo para cada capítulo y para el total del proyecto. Puede comprobarse también que los efectos de la mitigación prevista no son tan efectivos como la empresa preveía pues, si bien se reduce el nivel general de riesgo, no se reduce el riesgo del capítulo 4, que pasa a ser determinante en la situación global de riesgo mitigado del proyecto.

	Riesgo inicial			Riesgo mitigado		
	Impacto	Probabilidad	Fv	Impacto	Probabilidad	Fv
Capítulo 1	59	43%	48	27	30%	28
Capítulo 2	75	70%	72	39	39%	39
Capítulo 3	50	61%	54	28	29%	29
Capítulo 4	70	95%	76	74	80%	76
Capítulo 5	70	50%	56	30	30%	30
Capítulo 6	30	50%	36	10	30%	16
Capítulo 7	47	59%	51	26	44%	31
Capítulo 8	45	45%	45	25	29%	27
Global	59	63%	61	51	57%	54

Tabla 8.4. Resumen de riesgos del proyecto con el método Fv

Con la representación gráfica se puede apreciar mejor el efecto de la mitigación, constatándose lo expuesto en el párrafo anterior (Figura 8.6).

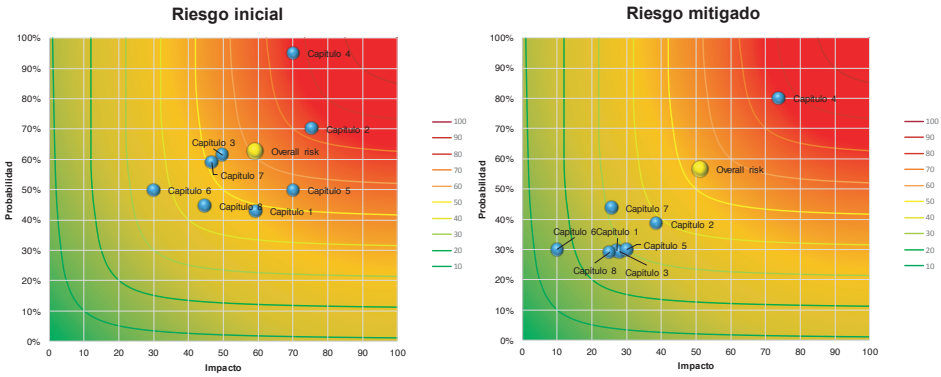

Figura 8.6. Situación del proyecto antes y después de mitigar

La nueva metodología permite estudiar la eficacia de la mitigación analizando sus efectos de «mejora» en los capítulos: el capítulo 2 aporta una mayor «mejora» (Figura 8.7).

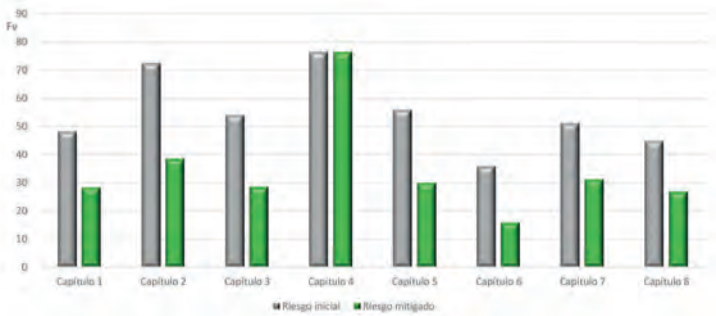

Figura 8.7. Eficacia o «mejora» de las medidas de mitigación

8.1.5. Caso 5: proyecto de construcción

Este caso corresponde a un proyecto de construcción de 300 millones de euros, en el cual se han identificado 20 riesgos y 7 oportunidades. La empresa asigna un impacto y una probabilidad de 1 a 6 y utiliza el indicador NPR, pero no calcula el nivel de riesgo global, limitándose a los cálculos económicos de riesgos y oportunidades (Tabla 8.5).

Impacto	Riesgo Probabilidad	NPR	Fv
33	100%	33	42
33	100%	33	42
50	65%	33	55
33	100%	33	42
67	50%	33	55
50	25%	13	31
33	35%	12	34
33	25%	8	28
50	20%	10	27
33	35%	12	34
33	35%	12	34
33	13%	4	19
33	13%	4	19
33	13%	4	19
17	65%	11	25
17	65%	11	25
17	35%	6	22
50	3%	1	10
17	35%	6	22
83	3%	2	11

Impacto	Oportunidad Probabilidad	NPR	Fv
-33	20%	-7	-25
-33	13%	-4	-19
-33	50%	-17	-39
-83	15%	-13	-24
-50	90%	-45	-58
-67	90%	-60	-73
-67	100%	-67	-74

Tabla 8.5. Riesgos y oportunidades del proyecto

La Figura 8.8 muestra los riesgos (color azul) y oportunidades (color verde) del proyecto.

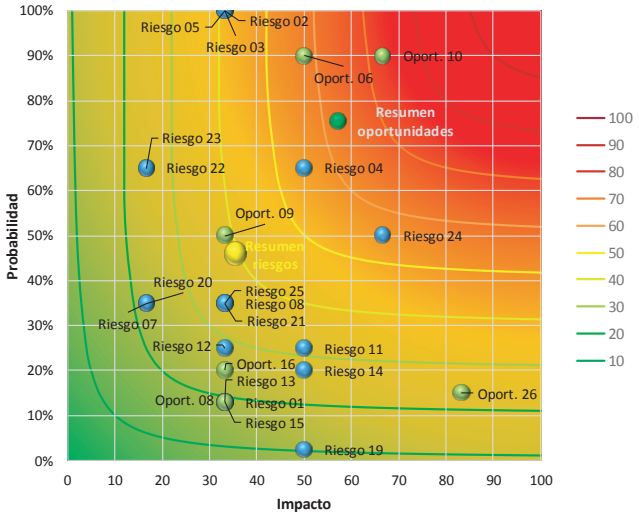

Figura 8.8. Mapa de riesgos y oportunidades

En la Tabla 8.6 se pueden ver separadamente los valores globales para los riesgos y las oportunidades. El método de resumen basado en el Fv no contempla simultáneamente la valoración de riesgos y oportunidades, consecuencia de su planteamiento orientado al riesgo y de las consideraciones probabilísticas que no permiten anular un riesgo con una oportunidad de igual valor (ver el apartado 3.7.2 «Enfoque probabilístico»). La tabla muestra que el Fv para la oportunidad es más elevado que para el riesgo, pero esos valores no pueden restarse, al igual que ocurre con el indicador NPR.

Tipo	NPR	I	P	Fv
Riesgo	14	36	46%	39
Oportunidad	30	57	75%	63

Tabla 8.6. Resumen de riesgos y oportunidades

El resumen Fv = 39 indica un riesgo global medio y resulta mucho más revelador que el valor 14 del NPR.

8.1.6. Caso 6: riesgo tecnológico

El caso corresponde a un empresa que controla su riesgo tecnológico con la metodología Magerit (Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas 2012) y se apoya en las defi-

niciones que han hecho del apetito de riesgo. Esta metodología contempla el uso de dimensiones y la empresa ha elaborado una estructura jerarquizada con varios capítulos que contienen los activos cuyos riesgos analizan. Utilizan escalas de 1 a 5 para su valoración.

Para cada riesgo valoran la criticidad según cada dimensión (consideran 4 dimensiones de riesgo: disponibilidad, confidencialidad, integridad y legalidad), la probabilidad y el nivel de vulnerabilidad. Además, definen el nivel de impacto para cada activo. El nivel de exposición de cada riesgo se calcula mediante una fórmula compleja que integra todos los componentes aplicando pesos diferentes para cada uno, y genera un valor menor o igual que 5. El nivel de riesgo del activo es el máximo de los riesgos considerados en el mismo y se compara, en cada activo, con el nivel máximo deseado (apetito de riesgo para cada activo). A cada uno se le asigna una valoración cualitativa del riesgo según una escala de interpretación lineal de 1 a 5: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

No se obtiene el nivel de riesgo global, sino que se clasifican los activos según su nivel de riesgo y se ve su distribución según los niveles definidos. Es un método con vocación de «método objetivo» (ver los apartados 3.1.1 y 5.1) para intentar obtener una valoración homogénea y más imparcial. La percepción de la empresa es que el riesgo es medio-bajo.

Este caso no es fácilmente adaptable para aplicar la metodología propuesta debido a que se requieren criterios de transformación de sus múltiples parámetros a un impacto, una probabilidad y un peso para cada riesgo, criterio que sólo podría proporcionar la empresa y que no fue posible conseguir.

En ausencia de esta información se han elaborado diversos prototipos y se presenta la versión que más se ajusta al análisis de la empresa, que diagnostica un riesgo medio (Figura 8.9).

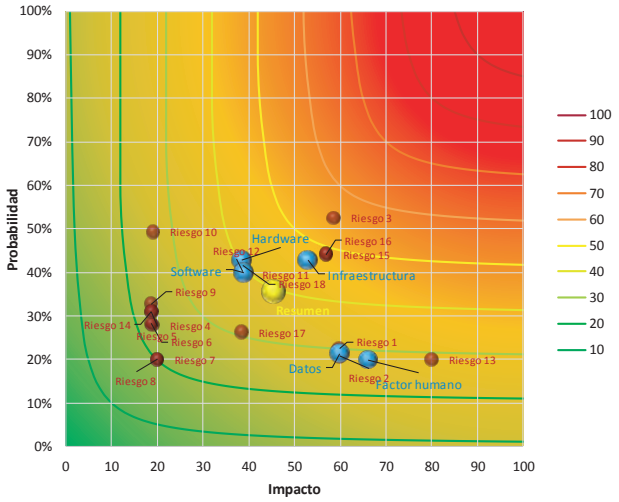

Figura 8.9. Mapa de riesgos tecnológicos

En la figura se han representado los activos a proteger (color azul) y los riesgos identificados (color granate), y resulta muy sencillo ver que el riesgo global (color amarillo) es 40, lo que puede corresponder a un riesgo medio. El activo más amenazado es el de infraestructura, debido a los riesgos 15 y 16 (el riesgo 3 es el mayor, pero no corresponde al activo de infraestructura sino al activo de *hardware*).

8.2. Coste de riesgos

Los casos presentados muestran la estimación del coste global esperado del riesgo EV hecha por las empresas utilizando el método SPIP de suma de productos de coste por probabilidad. En cada caso se ha realizado un análisis con el método de Monte Carlo para obtener el coste RV correspondiente al percentil 85, y se ha obtenido el cociente RV/EV. Adicionalmente se comparan con este cociente los valores E_f y E'_f propuestos en el CAPÍTULO 7, con el objeto de comprobar la precisión de las estas fórmulas.

8.2.1. Caso 1: proyecto con 13 eventos de riesgo

Corresponde a un proyecto de construcción de 200 millones de euros con 13 riesgos.

Aunque el proyecto tiene 34 riesgos identificados, los evaluadores sólo pudieron estimar el coste para 13 de ellos, que se muestran, expresados en miles de euros, en la Tabla 8.7.

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
1	1.834,09	60%	1.100,45
2	571,34	70%	399,94
3	299,07	50%	149,53
4	443,93	50%	221,96
5	355,14	50%	177,57
6	462,15	100%	462,15
7	636,29	40%	254,52
8	849,22	60%	509,53
9	1.598,13	100%	1.598,13
10	233,64	100%	233,64
11	10.647,20	50%	5.323,60
12	7.950,16	60%	4.770,09
13	496,88	60%	298,13

Tabla 8.7. Coste de los riesgos del proyecto 1

El coste esperado EV para el proyecto es 15,5 millones de euros y los riesgos más destacados son el 1, 9, 11 y 12 (4 de 13), evidenciando el efecto Pareto (totalizan el 80% del coste).

La simulación de Monte Carlo con una correlación estudiada a medida produce el 45% de las veces un valor mayor que EV. El percentil 85 es RV = 25,5 y el cociente RV/EV es 1,65 (Figura 8.10).

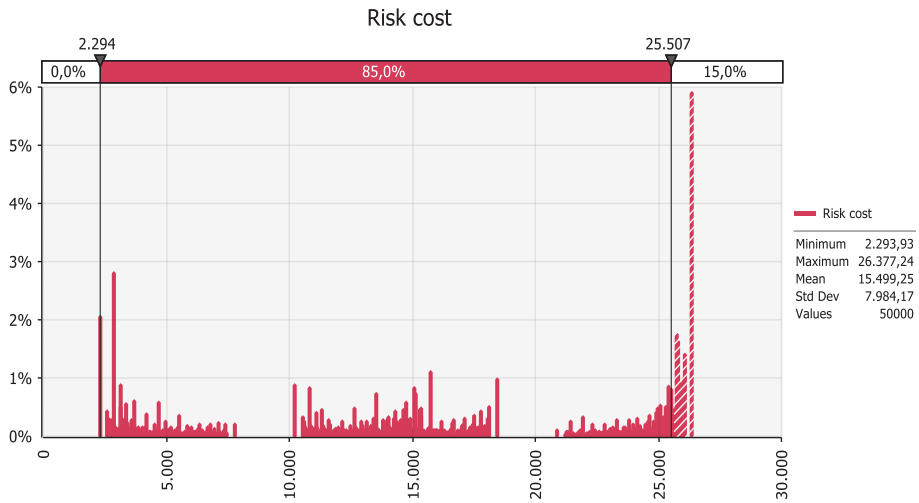

Figura 8.10. Simulación de Monte Carlo para el proyecto 1

Puede comprobarse que la distribución de salida no es continua, debido fundamentalmente al reducido número de eventos NER y al efecto Pareto.

La correlación aplicada ha sido estudiada expresamente para este proyecto y, en este caso, el coste resultante no acusa sensibilidad al grado de correlación como muestra la Tabla 8.8.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
A medida	2.294	26.377	15.499	25.507	1,65
0,4	2.294	26.377	15.499	25.634	1,65
0,7	2.294	26.377	15.499	26.377	1,70

Tabla 8.8. Análisis de sensibilidad a la correlación para el proyecto 1

El valor E'_f obtenido con la formulación propuesta es 1,63, siendo el valor E_f 1,60.

8.2.2. Caso 2: proyecto con 21 eventos de riesgo

Corresponde a un proyecto de construcción de 200 millones de euros. Aunque el proyecto tiene 25 riesgos identificados, los evaluadores sólo pudieron estimar el coste para 21 de ellos y se muestran, expresados en miles de euros, en la Tabla 8.9.

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
1	183,18	50%	91,59
2	132,55	70%	92,79
3	677,57	15%	101,64
4	834,11	70%	583,88
5	228,97	30%	68,69
6	2.059,21	10%	205,92
7	1.433,02	50%	716,51
8	1.355,14	30%	406,54
9	116,82	10%	11,68
10	1.019,25	30%	305,78
11	38,94	50%	19,47
12	202,49	30%	60,75
13	2.947,04	20%	589,41
14	2.725,86	15%	408,88
15	996,73	15%	149,51
16	1.347,66	40%	539,07
17	239,88	10%	23,99
18	222,43	30%	66,73
19	485,98	15%	72,90
20	809,97	30%	242,99
21	144,34	30%	43,30

Tabla 8.9. Coste de los riesgos del proyecto 2

El coste esperado EV para el riesgo total del proyecto es 4,8 millones de euros.

El 38% de los riesgos acumula el 79% del coste esperado del proyecto, lo que hace recordar el efecto Pareto. La simulación de Monte Carlo con una correlación a medida produce el 42,5% de las veces un valor mayor que EV. El percentil 85 es RV = 8,1 y el cociente RV/EV es 1,69 (Figura 8.11). La distribución de salida es continua, pero dista de ser una distribución normal y se asemeja a una Kumaraswamy o una Beta.

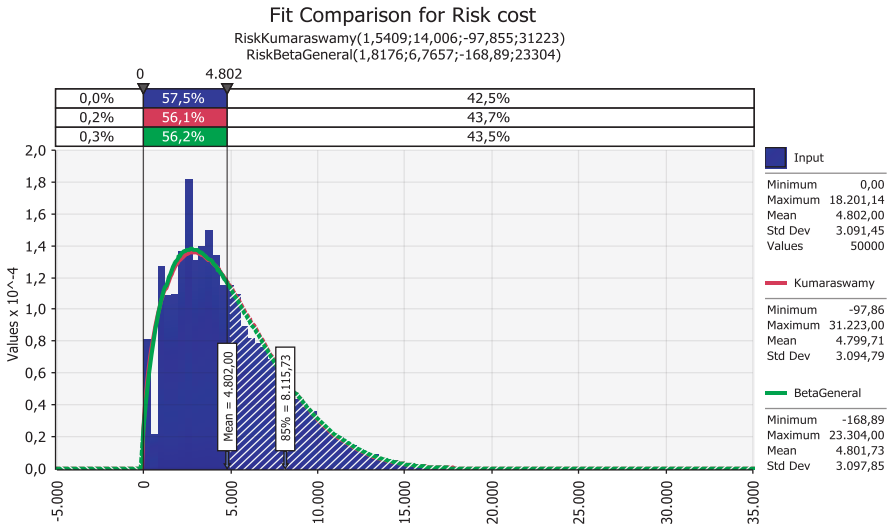

Figura 8.11. Simulación de Monte Carlo para el proyecto 2

La correlación tiene una gran influencia en este proyecto como se aprecia en la Tabla 8.10.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
A medida	0	18.201	4.802	8.116	1,69
0,4	0	18.201	4.802	9.279	1,93
0,7	0	18.201	4.802	10.899	2,27

Tabla 8.10. Análisis de sensibilidad a la correlación para el proyecto 2

El valor E'_f obtenido con la formulación propuesta es 1,91, coincidente con el RV/EV resultante con correlación +0,4, pero alejado del calculado con la correlación a medida.

El grado de correlación tiene mucha influencia en este caso, y si se hubiese estimado que la correlación existente era más alta, los valores se habrían aproximado a los teóricos proporcionados por las fórmulas. El valor E_f es 1,53.

8.2.3. Caso 3: proyecto con 51 eventos de riesgo

Corresponde a un proyecto de construcción de 900 millones de euros. Aunque el proyecto tiene 221 riesgos identificados, los evaluadores sólo pudieron estimar el coste para 51 de ellos, que se muestran, expresados en miles de euros, en la Tabla 8.11.

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
1	45.163,09	90%	40.646,78
2	3.750,00	30%	1.125,00
3	5.000,00	30%	1.500,00
4	4.167,67	50%	2.083,33
5	3.750,00	10%	375,00
6	72.880,00	70%	51.016,00
7	25.000,00	10%	2.500,00
8	416,67	10%	41,67
9	416,67	70%	291,67
10	833,33	10%	83,33
11	833,33	50%	416,67
12	25.000,00	10%	2.500,00
13	833,33	50%	416,67
14	8.333,33	70%	5.833,33
15	8.333,33	70%	5.833,33
16	833,33	90%	750,00
17	875,00	90%	787,50
18	833,33	10%	83,33
19	4.167,67	10%	416,67
20	833,33	10%	83,33
21	416,67	10%	41,67
22	2.500,00	30%	750,00
23	416,67	30%	125,00
24	83,33	30%	25,00
25	833,33	30%	250,00
26	2.083,33	30%	625,00
27	2.083,33	30%	625,00
28	2.500,00	70%	1.750,00
29	4.166,67	90%	3.750,00
30	8.333,33	30%	2.500,00
31	60.733,33	90%	54.660,00
32	35.000,00	50%	17.500,00
33	5.937,50	70%	4.156,25
34	12.500,00	90%	11.250,00
35	6.666,67	70%	4.666,67
36	6.666,67	70%	4.666,67
37	4.166,67	70%	2.916,67
38	250,00	70%	175,00

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
39	12.500,00	70%	8.750,00
40	5.333,33	90%	4.800,00
41	37,50	70%	26,25
42	320,00	10%	32,00
43	2.000,00	70%	1.400,00
44	484,17	90%	435,75
45	1.000,00	10%	100,00
46	7.083,33	10%	708,33
47	333,33	70%	233,33
48	833,33	70%	583,33
49	833,33	50%	416,67
50	1.250,00	70%	875,00
51	1.666,67	90%	1.500,00

Tabla 8.11. Coste de los riesgos del proyecto 3

El coste esperado EV para el riesgo del proyecto es 247,1 millones de euros y los riesgos más destacados son el 1, 6, 7, 12, 31, 32, 34 y 39 (8 de 51), que totalizan el 71% del coste, aunque considerando el riesgo probable los más destacados son el 1, 6, 14, 15, 31, 32, 34 y 39 (8 de 51), que totalizan el 79% del coste, evidenciando el efecto Pareto.

La simulación de Monte Carlo con una correlación a medida produce el 56% de las veces un valor mayor que EV. El percentil 85 es RV = 304 y el cociente RV/EV es 1,23. La distribución de salida se asemeja a una Kumaraswamy (Figura 8.12).

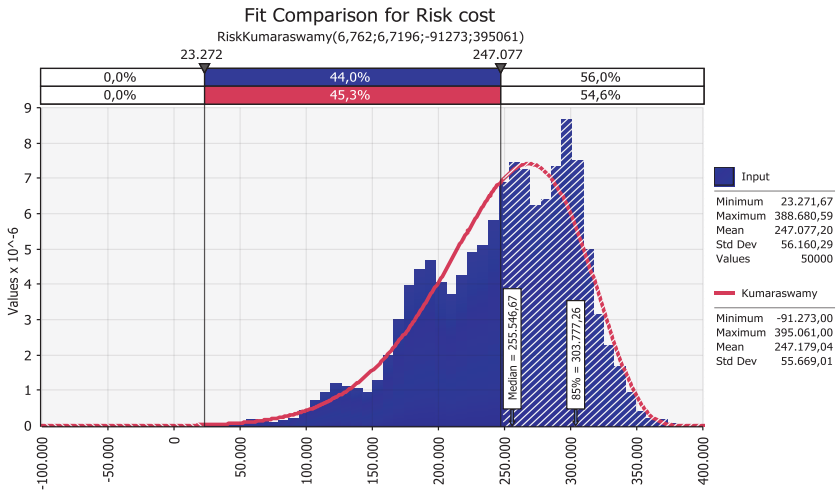

Figura 8.12. Simulación de Monte Carlo para el proyecto 3

La influencia de la correlación es reducida, aunque apreciable, como muestra la Tabla 8.12.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
A medida	23.272	388.681	247.077	303.777	1,23
0,4	0	401.264	247.077	325.277	1,32
0,7	0	401.264	247.077	336.611	1,36

Tabla 8.12. Análisis de sensibilidad a la correlación para el proyecto 3

La regla de Pareto se cumple perfectamente en este proyecto, lo cual se ha confirmado que es habitual en los proyectos de construcción (Figura 8.13).

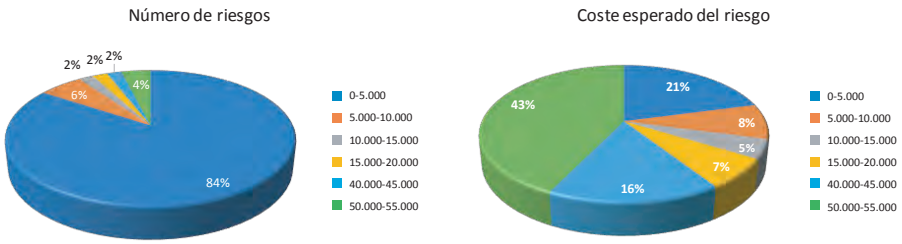

Figura 8.13. Estudio del efecto Pareto en el proyecto 3 (miles de euros)

En la figura anterior se muestra la distribución de los riesgos por escalones de importe del riesgo esperado (coste x probabilidad). Puede comprobarse que el 84% de los riesgos son de pequeña cuantía (menores de 5 millones) y todos ellos sólo suman el 21% del coste total.

El valor E'_f calculado con la formulación propuesta es 1,32 (que se ajusta al valor obtenido con una correlación de +0,4), siendo el valor E_f de 1,46.

8.2.4. Caso 4: proyecto con 51 eventos de riesgo

Corresponde al mismo proyecto anterior tras la consideración de las medidas de mitigación y está definido en la Tabla 8.13.

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
1	31.614,16	63%	19.916,92
2	375,00	3%	11,25
3	5.000,00	30%	1.500,00
4	4.166,67	50%	2.083,33
5	2.250,00	6%	135,00
6	43.728,00	42%	18.365,76

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
7	2.500,00	1%	25,00
8	41,67	1%	0,42
9	41,67	7%	2,92
10	833,33	10%	83,33
11	416,67	25%	104,17
12	25.000,00	10%	2.500,00
13	166,67	10%	16,67
14	8.333,33	70%	5.833,33
15	833,33	7%	58,33
16	83,33	9%	7,50
17	87,50	9%	7,88
18	83,33	1%	0,83
19	416,67	1%	4,17
20	83,33	1%	0,83
21	41,67	1%	0,42
22	250,00	3%	7,50
23	41,67	3%	1,25
24	8,33	3%	0,25
25	83,33	3%	2,50
26	208,33	3%	6,25
27	208,33	3%	6,25
28	250,00	7%	17,50
29	4.166,67	90%	3.750,00
30	833,33	3%	25,00
31	42.513,33	63%	26.783,40
32	24.500,00	35%	8.575,00
33	4.156,25	49%	2.036,56
34	6.250,00	45%	2.812,50
35	3.333,33	35%	1.166,67
36	3.333,33	35%	1.166,67
37	2.083,33	35%	729,17
38	25,00	7%	1,75
39	5.000,00	28%	1.400,00
40	2.666,67	45%	1.200,00
41	30,00	56%	16,80
42	96,00	3%	2,88
43	1.000,00	35%	350,00
44	48,42	9%	4,36

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
45	100,00	1%	1,00
46	7.083,33	10%	708,33
47	33,33	7%	2,33
48	416,67	35%	145,83
49	166,67	10%	16,67
50	750,00	42%	315,00
51	1.666,67	90%	1.500,00

Tabla 8.13. Coste de los riesgos del proyecto 4

El coste esperado EV para los riesgos del proyecto es 103,4 millones de euros. Los riesgos más destacados son el 1, 6, 12, 31 y 32 (5 de 51) y totalizan el 77% del coste esperado, evidenciando un efecto Pareto muy intenso.

La simulación de Monte Carlo con una correlación a medida produce el 50% de las veces un valor mayor que EV. El percentil 85 es RV = 152 y el cociente RV/EV es 1,47. La distribución de salida se asemeja a una Kumaraswamy o una Beta (Figura 8.14), y su perfil difiere mucho del mostrado anteriormente en la Figura 8.12 para el proyecto sin mitigar.

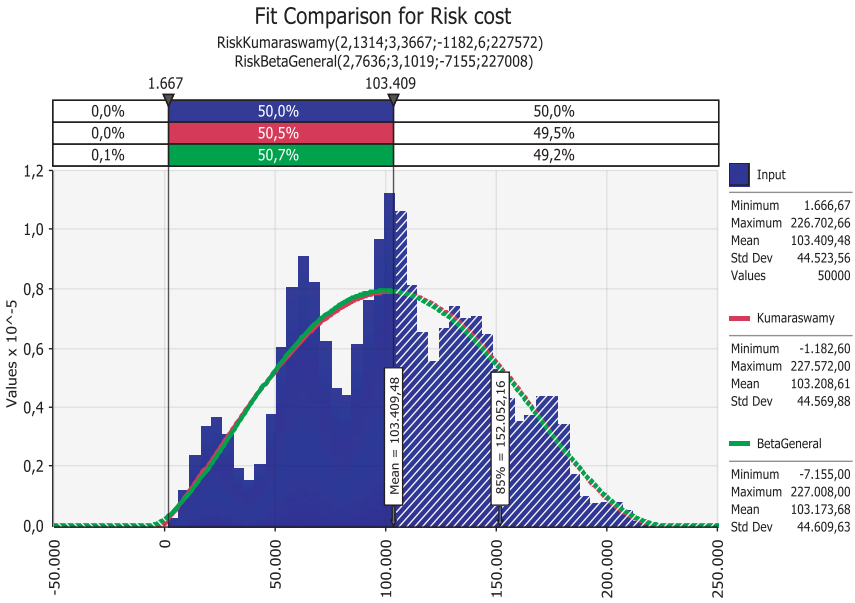

Figura 8.14. Simulación de Monte Carlo para el proyecto 4

La influencia de la correlación es muy alta, como se aprecia en la Tabla 8.14.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
A medida	1.667	226.703	103.409	152.052	1,47
0,4	0	237.324	103.409	174.158	1,68
0,7	0	237.399	103.409	190.833	1,85

Tabla 8.14. Análisis de sensibilidad a la correlación para el proyecto 4

El valor E'_f calculado con la formulación propuesta es 1,57 (un 7% inferior al que se obtiene con una correlación de +0,4), siendo el valor E_f de 1,46.

La regla de Pareto se cumple en este proyecto con más contundencia (Figura 8.15), lo cual, en combinación con la influencia de la correlación entre los eventos de riesgo, puede determinar el gran aumento que experimenta el cociente RV/EV con respecto al caso anterior.

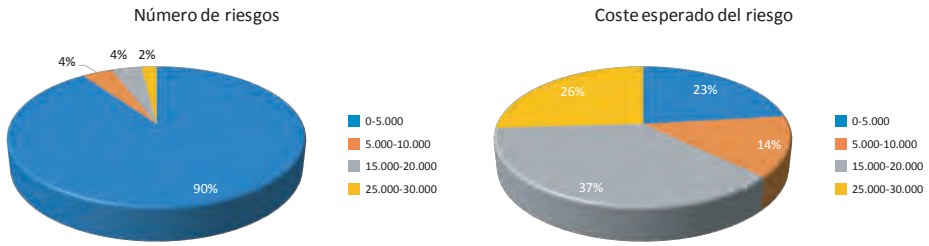

Figura 8.15. Estudio del efecto Pareto en el proyecto 4 (miles de euros)

En la figura anterior se muestra la distribución de los riesgos por escalones de importe del riesgo esperado (coste x probabilidad). Puede comprobarse que el 90% de los riesgos son de pequeña cuantía (menores de 5 millones) y todos ellos sólo suman el 23% del coste total.

8.2.5. Caso 5: proyecto con 19 eventos de riesgo y 6 oportunidades

Corresponde a un proyecto de construcción de 200 millones de euros, en el cual se han identificado 19 riesgos y 6 oportunidades. En la Tabla 8.15 se muestran las oportunidades, expresadas en miles de euros.

Oportunidad	Importe	Probabilidad	Ganancia esperada
1	-1.806	81,0%	-1.462,86
2	-834	12,0%	-100,08
3	-8.779	45,0%	-3.950,55
4	-3.389	89,0%	-3.016,21
5	-814	19,0%	-154,66
6	-13.022	14,0%	-1.823,08

Tabla 8.15. Oportunidades para el proyecto 5

Los 20 riesgos valorados en miles de euros son (Tabla 8.16):

Riesgo	Coste	Probabilidad	Coste esperado
1	1.022	11,0%	112,42
2	1.129	99,0%	1.117,71
3	1.022	99,0%	1.011,78
4	2.823	58,0%	1.637,34
5	1.022	90,0%	919,80
6	114	34,0%	38,76
7	4.423	34,0%	1.503,82
8	2.704	22,0%	594,88
9	6.479	22,0%	1.425,38
10	166	11,0%	18,26
11	1.956	18,0%	352,08
12	1.075	11,0%	118,25
13	2.823	2,0%	56,46
14	170	34,0%	57,80
15	1.129	34,0%	383,86
16	75	58,0%	43,50
17	170	64,0%	108,80
18	4.881	45,0%	2.196,45
19	5.168	34,0%	1.757,12

Tabla 8.16. Riesgos para el proyecto 5

El coste total del riesgo que la empresa espera para el proyecto es 2,9 millones de euros correspondientes a una estimación de un coste esperado EV de 13,4 millones y a unos ingresos esperados debidos a las oportunidades de 10,5 millones. El 37% de los riesgos acumula el 79% del coste esperado para los riesgos del proyecto sin las oportunidades, lo que hace recordar el efecto Pareto.

La simulación de Monte Carlo se ha realizado considerando conjuntamente riesgos y oportunidades y aplicando una correlación estándar de +0,4 separadamente para los riesgos y para las oportunidades. El 48,8% de las veces genera un valor mayor que el esperado de 2,9 millones. El percentil 85 es RV = 15,0, que supone una relación con respecto al previsto de 5,10 (Figura 8.16).

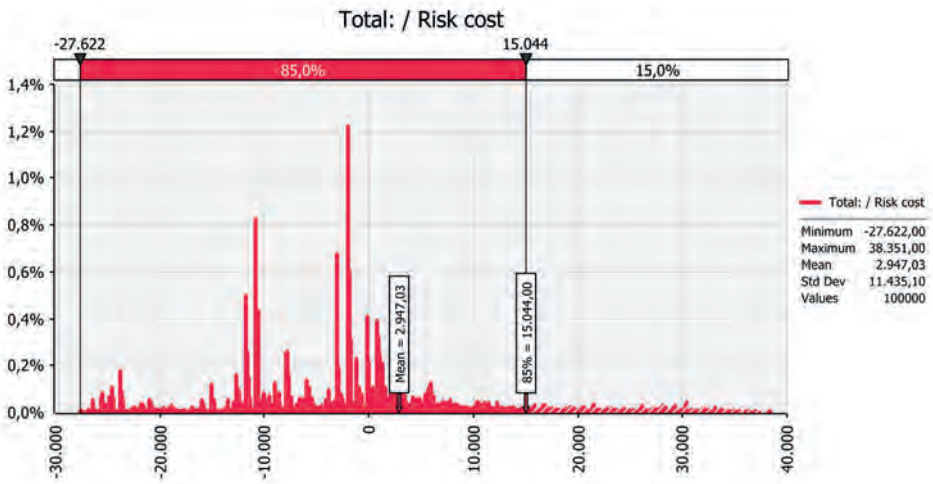

Figura 8.16. Simulación de Monte Carlo para el proyecto 5

La distribución de salida es continua, pero no es posible asimilarla a ninguna distribución regular y se parece a una distribución uniforme con singularidades. Esta distribución es el resultado de considerar conjuntamente los riesgos y las oportunidades, y se ha realizado también un estudio separado de ambos debido a su interés.

El análisis separado de los riesgos mediante la simulación de Monte Carlo con la correlación uniforme de +0,4 produce el 44% de las veces un resultado mayor que el coste esperado EV de 13,4 millones. El percentil 85 es RV = 23,4 y el valor RV/EV es 1,74.

El valor E'_f obtenido con la formulación propuesta es 1,76, que se ajusta perfectamente al resultado de Monte Carlo. El valor E_f es 1,54, que es menos preciso.

El análisis de las oportunidades mediante la simulación de Monte Carlo con correlación +0,4 produce el 52% de las veces un ingreso menor que el esperado EV de -10,5 millones, y el percentil 85 es RV = -3,4, con un cociente RV/EV de 0,32. En este caso no son aplicables las formulaciones de E'_f y E_f, dado que están concebidas para valores positivos.

La correlación tiene una gran influencia en este proyecto. No se ha estudiado una correlación personalizada y se ha aplicado inicialmente una correlación entre los riesgos,

por un lado, y entre las oportunidades, por otro. Posteriormente se ha considerado también una correlación global entre riesgos y oportunidades con objeto de poder comparar su influencia. Las tablas siguientes muestran en miles de euros los resultados obtenidos para el conjunto de riesgos y oportunidades y los parciales para cada uno de los componentes.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
0,2	-27.547	32.276	2.947	13.290	4,51
0,4	-27.622	38.351	2.947	15.044	5,10
0,7	-28.644	38.351	2.947	18.341	6,22

Tabla 8.17. Análisis de sensibilidad a la correlación para todo el proyecto 5

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
0,2	0	38.351	13.454	21,315	1,58
0,4	0	38.351	13.454	23.437	1,74
0,7	0	38.351	13.454	27.160	2,02

Tabla 8.18. Análisis de sensibilidad a la correlación para riesgos en el proyecto 5

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
0,2	-28.644	0	-10.507	-3,454	0,33
0,4	-28.644	0	-10.507	-3.389	0,32
0,7	-28.644	0	-10.507	-3.389	0,32

Tabla 8.19. Análisis de sensibilidad a la correlación para oportunidades en el proyecto 5

Los resultados de la simulación de Monte Carlo demuestran que el efecto de la correlación no altera los valores mínimo, máximo y medio, pero sí modifican sustancialmente el percentil 85, lo cual confirma de nuevo que el uso del método SPIP no es fiable. El grado de correlación no cambia los resultados para el cálculo del valor total de las oportunidades, pero sí para los costes y para el conjunto del proyecto.

La previsión de la empresa de un coste conjunto de 2,9 millones de euros debido al conjunto de los riesgos y las oportunidades se aleja mucho de la previsión de 15,0 millones que indica el análisis de Monte Carlo, y puede inducir a tomar decisiones erróneas.

No fue posible saber si había una correlación entre los riesgos y las oportunidades (en general no suele haberla). En el caso de que sí la hubiera habido, los resultados se verían modificados sensiblemente, como muestra la Tabla 8.20, para la cual se ha supuesto una correlación entre todos los riesgos y oportunidades.

Correlación	Min	Max	Media	Percentil 85	RV/EV
0,2	-26.430	34.488	2.947	11.134	3,78
0,4	-25.604	31.320	2.947	10.738	3,64
0,7	-24.242	30.728	2.947	9.935	3,37

Tabla 8.20. Análisis de sensibilidad a la correlación global en el proyecto 5

Comparando la Tabla 8.20 y la Tabla 8.17 se comprueba que con una correlación entre todos los eventos, riesgos y oportunidades, el coste total es más reducido que cuando no se considera esa correlación global, como cabía esperar, y esa reducción aumenta con el nivel de correlación. Se mantiene el valor medio, los mínimos aumentan, los máximos disminuyen y los percentiles 85 disminuyen.

Son varias las conclusiones del estudio de este caso. Se confirma que el método SPIP carece de la sensibilidad suficiente y proporciona valores medios que conducen a infravalorar el coste total del riesgo. La correlación tiene un efecto determinante cuando se combinan riesgos y oportunidades, sobre todo cuando el número de oportunidades es muy pequeño en relación con el número de riesgos (lo cual es muy frecuente en los proyectos); este efecto ocasiona que el coeficiente RV/EV para el conjunto de este proyecto oscile entre 6,22 y 3,78 según se considere que haya o no correlación entre riesgos y oportunidades, y en función de la intensidad de la correlación. Estos datos confirman lo planteado por diversos autores sobre la debilidad de la técnica de Monte Carlo debida a la gran dificultad de valorar adecuadamente las correlaciones y a la alta influencia de éstas en los resultados.

A la vista de las consideraciones anteriores, teniendo en cuenta la incertidumbre acerca de la correlación y que la función E'f no está concebida para gestionar conjuntamente riesgos y oportunidades, un punto de referencia objetivo es usar dicha función únicamente con los riesgos para calcular el coste previsible del riesgo (en este caso 13,4 x 1,76 = 23,72).

Los ingresos procedentes de las oportunidades deben considerarse conservadoramente para sumarlos al coste, para lo cual basta con tomar su valor medio -10,51. La suma de ambos da en este caso un resultado muy acertado (23,72 – 10,51 = 13,21), aunque no se ha confirmado que esta operativa pueda extrapolarse a otros casos.

La regla de Pareto también se cumple en este proyecto. En la Figura 8.17 se muestra la distribución de los riesgos por escalones de importe del riesgo esperado (coste x probabilidad). Puede comprobarse que el 37% de los riesgos acumula el 79% del coste esperado y que el 63% de los riesgos son de pequeña cuantía (menores de 1 millón) y sólo suman el 22% del coste total.

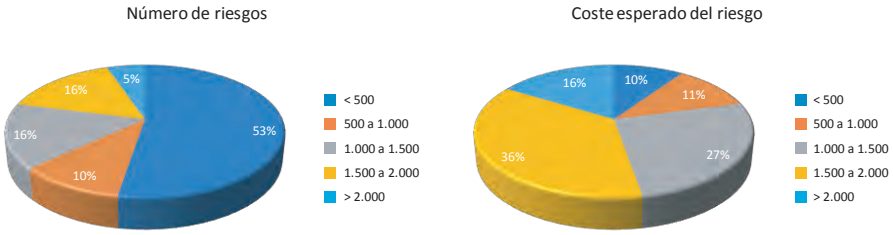

Figura 8.17. Estudio del efecto Pareto en el proyecto 5 (miles de euros)

8.3. Resumen del capítulo

En este capítulo se han presentado casos que corresponden a situaciones o proyectos reales, mostrando el análisis de la situación realizado originalmente por la empresa y los resultados que se hubieran obtenido utilizando los métodos presentados en este trabajo.

Se han organizado los casos en dos grupos. En el primer grupo se ha revisado la utilización de indicadores de riesgo y el resumen global que hacen las empresas, cuando disponen de él, y en el segundo grupo se ha revisado el estudio que hacen del coste total de los riesgos.

En algunos casos, simplemente, se muestra la capacidad de resumen y análisis que proporciona la metodología propuesta, y en otros se demuestra que el nivel de riesgo era superior al que pensaba la empresa, lo cual pudo conducir a tomar decisiones erróneas.

En los casos del segundo grupo se ha aplicado la simulación de Monte Carlo y se confirma que las contingencias de las empresas eran insuficientes. Se ha utilizado el método propuesto de aplicar un coeficiente de seguridad al valor determinista SPIP y se han obtenido valores muy aproximados a los que proporciona la simulación de Monte Carlo.

Se ha confirmado la influencia del número de riesgos, la correlación, el efecto Pareto y el tipo de distribución probabilística en el coste esperado y se ha mostrado que las distribuciones de salida son discontinuas (binomial), Beta o Kumaraswamy.

En algunos casos se ha estudiado la posible correlación entre los riesgos presentados y se han comparado los resultados obtenidos con esta correlación a medida con los que resultan al aplicar las correlaciones uniformes estándar de +0,4 y +0,7, confirmándose la gran influencia que puede ejercer en la distribución probabilística de los costes esperados y en el percentil 85.

Finalmente, se ha demostrado en escenarios en los que se consideran simultáneamente riesgos y oportunidades que la práctica frecuente de realizar el cálculo separado del coste de los riesgos y de las oportunidades mediante el método SPIP y sumarlos, puede conducir a un error muy grave, y se han dado pautas acerca de cómo abordar este caso.

9. CONCLUSIONES

La investigación realizada ha abordado la mejora de un aspecto muy destacable del proceso de control y gestión de riesgos: el relacionado con la valoración y comunicación del riesgo global de un escenario, como puede ser un proyecto o los riesgos corporativos. El enfoque planteado ha sido práctico desde el primer momento porque la investigación ha surgido, no sólo desde un plausible deseo de mejora de los procesos, sino de la necesidad constatada en las empresas de poder utilizar el control y gestión de riesgos como un instrumento que facilite la toma de decisiones y ayude a mejorar su competitividad.

Se ha destacado que los cambios en la situación mundial y los nuevos escenarios de actuación de las empresas lejos de sus países de origen han determinado un gran incremento de la incertidumbre y de los riesgos a los que deben hacer frente las empresas, sin que la metodología e instrumentos de que disponen para ello hayan seguido una evolución paralela. Las empresas están normalmente muy alejadas de los nuevos avances que se publican en las revistas científicas, y ello es debido en gran parte a que carecen del tiempo, los recursos y las habilidades necesarias para intentar llevar a la práctica las nuevas propuestas, que, en muchas ocasiones, conllevan una complejidad que las pone fuera de su alcance.

Las prácticas actuales continúan apoyándose de una manera notable en la intuición basada en experiencias anteriores, lo que da lugar a estimaciones subjetivas y muy condicionadas por intereses estratégicos o de otra índole. A este tipo pertenece la estimación de la contingencia de un proyecto como un porcentaje del valor de venta, pero también lo es la valoración cualitativa del riesgo global de un escenario a la vista de los riesgos identificados, que, a falta de un sistema eficaz de resumen, acaba siendo imprecisa y parcial.

Se han analizado las fortalezas y debilidades de dos elementos frecuentemente usados para el análisis de riesgos: el indicador NPR o número de prioridad del riesgo como indicador del nivel de riesgo, que es el producto del impacto por la probabilidad; y la suma de estos indicadores (o su valor medio) para valorar el riesgo global del escenario, lo que constituye el método SPIP de suma de productos de impacto por probabilidad.

Ambos elementos se utilizan profusamente en las empresas y no son cuestionados porque están refrendados por publicaciones solventes y constituyen una práctica tradicional. Sin embargo, se ha demostrado que su uso puede provocar una considerable falta de comprensión del riesgo real y su infravaloración.

Se ha demostrado que el indicador NPR, pese a su atractiva facilidad de uso (por ejemplo, con un impacto de 30 y una probabilidad del 40% es inmediato obtener que su NPR es 12), puede resultar engañoso e inducir a error cuando se comunica a quien debe decidir, porque no es intuitivo y puede conducir a una infravaloración del riesgo. Su traducción a niveles comprensibles de impacto y probabilidad no es tan fácil como

la recíproca (por ejemplo, para intuir lo que puede significar un NPR de 50, es preciso hacer una raíz cuadrada y obtener que podría corresponder, por ejemplo, a un impacto de 71 con una probabilidad del 71%). La consecuencia constatada es que en algunas ocasiones las empresas estaban confundidas debido a la utilización del indicador NPR, creyendo que el nivel de riesgo que tenían era mucho menor que el real.

Se ha comprobado que muchas empresas utilizan el método SPIP como indicador del nivel global de riesgo o el cociente entre el valor SPIP y el número de riesgos (promedio de NPR), que enmascara todavía más la situación, lo cual diluye cualquier evento aislado que comporte un riesgo elevado e induce a infravalorar el riesgo global.

Se ha explicado que el método SPIP se basa en la regla de la utilidad esperada de Neumann y Morgenstern y se apoya en el teorema del Límite Central, y se ha demostrado que los proyectos o estudios de riesgos convencionales (con un número de riesgos identificados menor de 500) no cumplen las premisas que requiere la aplicabilidad de este teorema. Las consecuencias son que el método SPIP proporciona únicamente el valor medio de una distribución que no es Normal, que no tiene en cuenta las propiedades probabilísticas de los riesgos del escenario, y que se verá superado en la práctica alrededor del 50% de las veces, con excesos sobre el riesgo estimado que pueden triplicar la previsión.

Para cuantificar estas conclusiones se ha analizado detalladamente la tipología de muchos casos reales y se han elaborado modelos de simulación. Se ha demostrado la influencia del número de eventos de riesgo identificados NER (típicamente entre 4 y 100, con un máximo de 500 a la vista de los casos estudiados, entrevistas y artículos publicados), de la correlación entre eventos (constatada y reconocida en los casos reales y en la literatura), y del efecto Pareto (detectado y confirmado en todos los proyectos estudiados).

La utilización de escalas de Likert es una práctica común en las empresas y se ha dedicado una parte del estudio a examinar las consecuencias de su definición en la precisión de las evaluaciones finales. Se han explicado los inconvenientes derivados del uso de escalas no lineales, y se ha establecido una distinción relevante entre las escalas de asignación, que se utilizan para expresar el nivel percibido de impacto y probabilidad, y las escalas de interpretación, que se utilizan para dar un significado semántico a los valores numéricos resultantes del análisis semicuantitativo que se realiza a partir de los valores asignados con escalas de asignación.

Se ha planteado un enfoque probabilístico para obtener resultados que mejoren el nivel de confianza que se obtiene usando el método SPIP, elevándolo hasta un 85%. La elección de este percentil es fruto de un estudio realizado sobre la literatura publicada, que evidencia un intervalo entre el 80 al 99%, en el que, descartando los valores más elevados correspondientes a los sectores de biomedicina y financiero, se ha elegido el valor 85% como más adecuado, conservadoramente, para evitar que los resultados puedan ser calificados de alarmistas.

Con este nivel de confianza, la relación entre los valores globales obtenidos RV y los valores SPIP tradicionales es muy elevada y se muestra en la Tabla 9.1, lo cual indica la situación de precariedad en la que se encuentran muchas empresas sin ser conscientes de ello.

	Número de eventos NER del modelo							
Efecto Pareto	4	10	19	30	50	100	300	500
Ninguno	2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41
Ligero	2,23	1,81	1,66	1,55	1,52	1,47	1,42	1,41
Intenso	2,98	2,48	1,82	1,79	1,66	1,54	1,49	1,45

Tabla 9.1. Relación R_{85} entre el percentil 85 de RV y el SPIP con correlación +0,4

Estos valores son una referencia calculada con un nivel de confianza del 85%, pero se han obtenido relaciones mucho más altas en proyectos concretos.

Todos estos descubrimientos han dirigido la investigación a definir un nuevo indicador del nivel de riesgo de un evento y un nuevo método de resumen que facilite conocer el nivel global de riesgo de un escenario, y expresarlo, no sólo mediante un número, sino mediante su impacto y probabilidad equivalente; a estos propósitos se ha añadido la necesidad de encontrar una solución para la falta de fiabilidad de la contingencia calculada como SPIP.

Las soluciones propuestas deben superar los inconvenientes y limitaciones detectados en los métodos y técnicas utilizados actualmente, por lo que les son exigibles la simplicidad, la linealidad, la percepción intuitiva, el aprovechamiento de las evaluaciones previamente realizadas de impacto y probabilidad para los eventos de riesgo, la cobertura homogénea del diagrama de Farmer, la posibilidad de utilizar escalas de asignación para el impacto y la probabilidad, la independencia de una tabla o gráfico para poder comprender el significado de los niveles de riesgo, la capacidad de resumen para poder expresar el riesgo global del escenario, y la determinación de un coste previsto para el riesgo global que sea fiable de modo que la contingencia no se vea desbordada en la práctica.

Todas estas ventajas, aun siendo ambiciosas y, para muchos, inalcanzables, no serían suficientes si, alcanzando los objetivos fijados, no se lograra la aceptación de las empresas que deben utilizarlo. Por otra parte, una definición unilateral de requisitos podría carecer de elementos esenciales que una definición colegiada podría aportar. Para asegurar una definición eficaz de requisitos se han aplicado tres métodos diferentes e independientes: una revisión de la literatura, una sesión de tormenta de ideas con profesionales y académicos, y una colección de entrevistas estructuradas con profesionales. En todos los casos los profesionales han sido interdisciplinares, aunque con mayoría en el sector de la construcción.

Para la revisión de la literatura se han seleccionado 272 referencias tras filtrar miles de trabajos, y se ha elaborado una base de datos digital para hacer búsquedas globales. Se han asignado diferentes pesos a las referencias de esta base de datos considerando el tipo de trabajo, la fecha de publicación, la actividad en la que se centra y el entorno geográfico de investigación que abarca, elaborándose un índice de importancia relativa (IIR) para poder valorar los resultados de las búsquedas.

La integración de los resultados conseguidos con cada uno de los tres métodos ha resultado posible gracias a un estudio semántico realizado aplicando la teoría de conceptos de mapas mentales. De este modo se ha obtenido la lista priorizada de 66 requisitos o parámetros de mejora de la Tabla 5.7, de la cual cabe destacar inicialmente los 32 primeros, que acumulan el 80% de la relevancia y garantizarían el éxito de la solución diseñada (Tabla 9.2).

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado
1	Toma de decisiones	351	4%
2	Valoración cuantitativa riesgo proyecto	336	8%
3	Necesidad de objetivar	307	11%
4	Necesidad de cuantificar (riesgos, grupos y matrices)	297	15%
5	Uso de un indicador de riesgo (KRI)	293	18%
6	Sistema informatizado	285	21%
7	Valoración cualitativa proyecto	270	24%
8	Homogeneidad	269	27%
9	Uso de plantillas de evaluación de riesgos	267	30%
10	Importancia del análisis de riesgos	267	33%
11	Valoración cualitativa de cada riesgo	256	36%
12	Cuestionario único para todos los proyectos	252	39%
13	Impacto y probabilidad global del proyecto	246	42%
14	Comparaciones	237	44%
15	Asignación de impacto y probabilidad a cada riesgo	231	47%
16	Coste posible, probable y mitigado	227	49%
17	Cálculo del coste de los riesgos	227	52%
18	Cuantificación riesgo grupo de proyectos	220	54%
19	Integración con estrategia	217	57%
20	Consideración de diversos tipos de riesgo	203	59%
21	Apetito de riesgo y líneas rojas	192	61%
22	Uso de escalas lineales para impacto y probabilidad	187	63%
23	Sistema estructurado de riesgos	182	65%
25	Simplicidad	180	69%
26	Evolución de los riesgos	180	71%
27	Valoración efectos de mitigación	154	73%
28	Uso de gráficos (mapas de calor)	151	75%
30	Incertidumbre	125	78%
31	Desbordamiento coste	120	79%
32	Sistema abierto a nuevos riesgos	118	81%

Tabla 9.2. Parámetros de mejora

Finalmente, y con objeto de mejorar la fiabilidad y eficacia de los resultados, se han considerado los 50 primeros parámetros, que totalizan el 97% de la relevancia.

Contemplar estos requisitos prioritarios es una condición esencial para la solución que se ha buscado, y lo es también para cualquier otra posible futura solución que se quiera diseñar.

9.1. Resultados

La Tabla 9.2, junto con el resto de parámetros definidos en la Tabla 9.5, constituye per se un primer resultado, al ser una relación priorizada de los parámetros a considerar para diseñar un sistema de gestión de riesgos eficiente que tendría altas posibilidades de ser aceptado en las empresas, dado que los requisitos se han obtenido de forma integrada con tres métodos independientes diferentes y se ha contado de una forma decidida con los profesionales de las empresas.

Se detallan, a continuación, los principales resultados obtenidos con esta investigación.

9.1.1. Factor de Visibilidad

El primer hito conseguido es un nuevo indicador intuitivo, lineal, que cubre homogéneamente el diagrama de Farmer, no requiere una tabla o gráfico para comprender la severidad de sus valores, y es adecuado para facilitar el resumen de varios eventos de riesgo.

Para su definición se ha analizado en profundidad el indicador NPR y se ha utilizado la técnica del pensamiento visual. Mediante la concepción visual de cómo debería ser el indicador buscado se ha logrado un diseño gráfico de las curvas de nivel deseadas, que, posteriormente, se ha resuelto matemáticamente.

El nuevo indicador definido se llama Factor de Visibilidad (Fv), en alusión a su cualidad de facilitar la comprensión de la intensidad del riesgo que indica su valor y de hacer que el riesgo sea «más visual». Su formulación, partiendo del impacto y la probabilidad de un riesgo, es:

$$Fv = \frac{100p+c+(i+c)\frac{k1}{k2} \pm \sqrt{(100p+c+(i+c)\frac{k1}{k2})^2 - 4(100pi+ci+100pc-100F+c^2)\frac{k1}{k2}}}{2} \times k2 \quad [9.1]$$

Y cuando $F = 1$, $c = 10$, $k_1 = 1$ y $k_2 = 1$, se simplifica, resultando:

$$Fv = \frac{100p+20+i-\sqrt{10000p^2+i^2-200pi+400}}{2} \quad [9.2]$$

Las curvas de nivel de riesgo resultantes con esta parametrización, dibujadas en un mapa de calor o diagrama de Farmer, son (Figura 9.1):

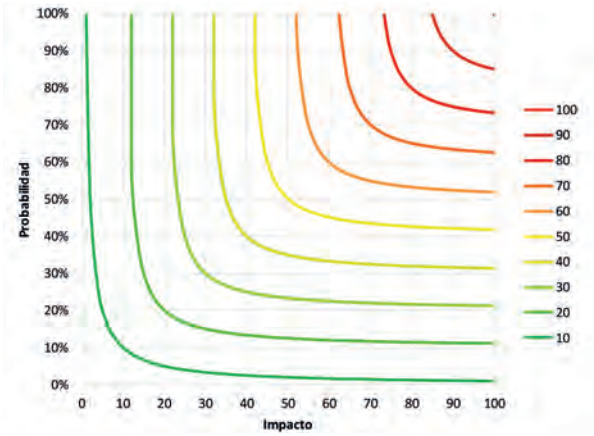

Figura 9.1. Curvas de nivel del Factor de Visibilidad

En nuevo indicador ha sido sometido a todo tipo de pruebas (matemáticas, de simulación y de evaluación de proyectos y riesgos de empresa) y las ha superado con total éxito, con la salvedad que se ha indicado relativa a los escenarios con eventos con muy baja probabilidad.

Esta situación, en la que todos los eventos de riesgo o gran parte de ellos presentan una probabilidad muy baja, es singular, y se han presentado versiones modificadas del Factor de Visibilidad que pueden ser una solución satisfactoria para esos casos.

El comportamiento lineal del Factor de Visibilidad y su percepción intuitiva dan pleno sentido al gráfico de gradación lineal de riesgo que se presenta tan frecuentemente en la literatura, y que es indicio de cómo los evaluadores y los directivos que toman las decisiones querrían ver los riesgos (Figura 9.2).

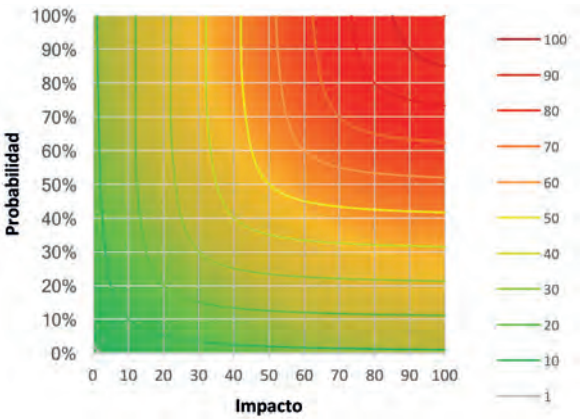

Figura 9.2. Representación gráfica del Factor de Visibilidad

9.1.2. Método de resumen de riesgos

El segundo hito conseguido es un método para resumir un escenario de riesgos mediante un evento resumen con su impacto y su probabilidad. Se han estudiado varios algoritmos de ponderación y se ha definido uno cuadrático que se apoya en el Factor de Visibilidad para lograr un evento de riesgo que sea realmente representativo del escenario.

El método admite su combinación recursiva para obtener un resumen con un nivel de agregación más alto (por ejemplo, pasar de matrices de riesgos a proyectos o al conjunto de proyectos de un país).

El método ha sido comprobado con éxito en modelos de laboratorio y en casos reales, y se ha contrastado su resultado con la opinión de expertos conocedores de los proyectos analizados.

El planteamiento cuantitativo de este método posibilita el estudio analítico de los riesgos de los proyectos o de la empresa, facilitando el estudio detallado de los riesgos, de la efectividad prevista para las medidas de mitigación y de la evolución del riesgo global. Ello es debido a poder considerar un escenario de riesgo como un simple evento de riesgo equivalente, de modo que resulta muy sencillo observar su evolución, ya sea en el tiempo (Figura 9 3) o comparando las situaciones de antes y después de considerar medidas de mitigación.

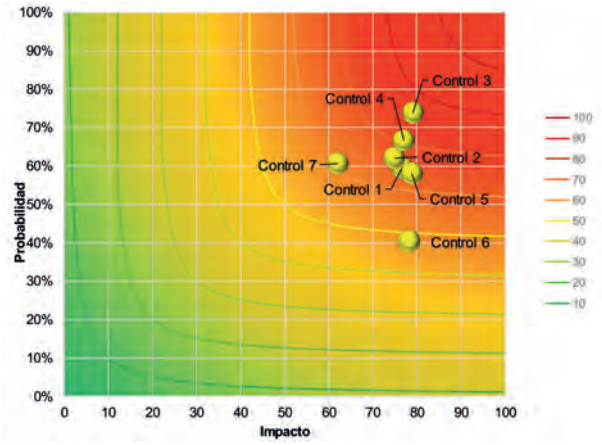

Figura 9.3. Seguimiento de la evolución del riesgo global

La orientación de este método, debido al algoritmo de ponderación elegido, es la de detección de las situaciones de riesgo, y no la de totalizar mediante una suma un posible indicador acumulativo de impacto, como puede ser el coste o el incremento de plazo. Con este método, el resumen de dos o más eventos de riesgo iguales es un evento equivalente idéntico a ellos, exactamente igual que si sólo hubiese uno y sin considerar cuántos eventos hay.

Cuando se trata del coste el enfoque es completamente distinto y se precisa un sistema acumulativo; por este motivo, el Factor de Visibilidad y su método de resumen asociado no son adecuados para el cálculo del coste total del riesgo del proyecto y se ofrece otra solución.

9.1.3. Estimación del coste del riesgo global

Se ha explicado que el método más corrientemente usado para determinar el coste del riesgo de un proyecto y, por tanto, la contingencia (dejando aparte el sistema de asignación subjetiva de un porcentaje de la venta) es el SPIP o suma de los productos del coste por la probabilidad para todos los riesgos. Se ha demostrado también que este método provoca una de cada dos veces un desbordamiento de la previsión de la contingencia, y que la cuantía de ese desbordamiento puede ser inasumible para el proyecto.

Un método probabilístico es indudablemente más fiable que el método SPIP, que es determinista, y la simulación de Monte Carlo intenta implantarse en las empresas. Sin embargo, sigue habiendo obstáculos para esa implantación, como son la falta de conocimiento y el rechazo por parte de los profesionales.

La simulación de Monte Carlo requiere conocimientos profundos de la correlación que pueda haber entre los eventos de riesgo para que sus resultados tengan sentido, ya que, aunque no afecta al valor medio del resultado, afecta mucho al percentil 85, que es el que se ha establecido como el más apropiado según los estudios realizados. Una mala modelización de la correlación produciría resultados erróneos.

El efecto Pareto afecta a la distribución probabilística de los costes esperados (productos del coste por la probabilidad): no afecta al valor medio, pero sí al percentil 85. Un reducido número de eventos, la correlación y el efecto Pareto determinan que el método SPIP sea claramente inadecuado, pero el uso del método de Monte Carlo tampoco garantiza el éxito si no se utiliza debidamente y se prescinde, por ejemplo, de la correlación.

El método de investigación seguido ha sido utilizar la simulación de Monte Carlo sobre miles de modelos generados aleatoriamente, con distintas correlaciones y forzando el efecto de Pareto, para conocer la relación entre los percentiles 85 y los valores SPIP. Se ha elegido como correlación estándar una correlación uniforme de +0,4 entre todos los eventos debido a la elevada complejidad que supone considerar la definición de la correlación como una variable. Aplicando a estos resultados técnicas de regresión no lineal y de regresión múltiple, se ha logrado modelizar esos coeficientes en función del número de eventos de riesgo y otras variables.

La solución que se ha concebido es proporcionar a los estimadores un coeficiente de seguridad que, aplicado a su valor SPIP, les aporte un nivel de confianza del 85%, el cual pueden extraer de una tabla o calcular utilizando las fórmulas de regresión obtenidas.

El uso de una tabla aporta simplicidad, aunque es menos preciso. Los coeficientes R_{85} se muestran para varios posibles valores del número de eventos de riesgo NER (Tabla 9.3).

Número de eventos NER del modelo							
4	10	19	30	50	100	300	500
2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41

Tabla 9 3. Valores R_{85} con correlación +0,4 y sin efecto Pareto

Esta tabla debe considerarse como meramente orientativa. Los coeficientes presentados no contemplan la presencia del efecto Pareto y no tienen en cuenta la distribución probabilística del coste de los riesgos del proyecto. Son consecuencia de un estudio con miles de modelos simulados, habiéndose elegido los valores que logran que en un 85% de los casos el percentil 85 sea igual o menor. Esto significa que, tomando un proyecto concreto, el coeficiente que realmente habría que aplicar podría llegar a ser diferente (en función, sobre todo, del grado de correlación entre los costes de los riesgos y de la presencia del efecto Pareto), pudiendo ser mayores o menores que los que presenta la tabla, sobre todo cuando NER es menor o igual que 10. Para considerar el efecto Pareto puede usarse adicionalmente la Tabla 9.4.

	Número de eventos NER del modelo							
Efecto Pareto	4	10	19	30	50	100	300	500
Ninguno	2,02	1,66	1,56	1,50	1,47	1,45	1,42	1,41
Ligero	2,23	1,81	1,66	1,55	1,52	1,47	1,42	1,41
Intenso	2,98	2,48	1,82	1,79	1,66	1,54	1,49	1,45

Tabla 9.4. Valores R_{85} con correlación +0,4 y efecto Pareto

Alternativamente a la Tabla 9 3 puede usarse una fórmula para personalizar el número de eventos de riesgo NER y resultan plenamente aplicables los comentarios anteriores.

$$E_f = \frac{2{,}4141}{NER} + 1{,}4165 \qquad [9.3]$$

Para obtener los coeficientes de seguridad con mayor precisión es preciso tener en cuenta las propiedades estadísticas de la distribución de costes de los riesgos y este sistema es algo más complejo porque requiere el cálculo y definición de algunos parámetros. La solución propuesta consiste en la aplicación de la fórmula [9.4].

$$E'_f = \frac{2{,}4141}{NER} + 1{,}4165 + \left(\frac{DT_b}{DT_a} - 1{,}7\right) \times \frac{NER}{10 \times N_{90}} \qquad [9.4]$$

En la fórmula anterior NER tiene el mismo significado definido anteriormente, N_{90} es el número de eventos que acumula el 90% del coste probable (coste x probabilidad), DT_a es la desviación típica del coste probable, y DT_b es la desviación típica del coste posible.

La precisión de esta fórmula se ha comprobado con modelos de simulación y con proyectos reales obteniéndose resultados muy similares a los que se obtienen con la simulación de Monte Carlo, disminuyendo la precisión cuando NER es menor o igual que 10.

9.1.4. Resumen

La investigación realizada para obtener los resultados presentados ha abarcado muchos de los aspectos que integran el proceso de control y gestión de los riesgos. El objetivo inicial era encontrar un nuevo indicador y un método de resumen de escenarios de riesgos, y así se explicó en el I Simposio de la UPM «Tu tesis en 4 minutos» (Vegas-Fernández 2017a).

Este enfoque se planteó también en el congreso «XII jornadas valencianas de dirección de proyectos» del capítulo de Valencia del Project Management Institute (Vegas-Fernández 2015), en el que se mostraron prototipos de la solución.

Este alcance inicial se ha visto necesariamente ampliado debido a que la falta de aplicabilidad del teorema del Límite Central afecta por igual al resumen de riesgos de un escenario y al cálculo del coste de sus riesgos. Los resultados de ambos con el método SPIP son incorrectos por las mismas razones. Para llegar a esa conclusión ha sido preciso considerar muchos otros aspectos que integran el proceso de evaluación de riesgos, que se han expuesto anteriormente, y todos los estudios realizados fundamentan y dan solidez a las conclusiones presentadas.

El desbordamiento de la contingencia prevista es una de las mayores preocupaciones de la dirección de proyectos, y el Factor de Visibilidad y su método de resumen asociado no pueden resolverlo. Por este motivo, y debido a la conexión entre algunas de las causas del desbordamiento de la contingencia y de los inconvenientes del método SPIP, se ha profundizado en el análisis probabilístico para comprender completamente el problema, y se ha encontrado una solución para mejorar la fiabilidad de los resultados que se obtienen actualmente para la estimación de la contingencia.

Las propuestas fruto del trabajo investigador realizado son: un indicador para expresar el nivel de riesgo (Factor de Visibilidad), un método pasa resumir los riesgos de un escenario que expresa el riesgo total mediante su impacto y probabilidad equivalentes y mediante su Factor de Visibilidad, y una solución para lograr que la estimación de los costes de los riesgos del proyecto sea más segura y evitar el desbordamiento de la contingencia.

Estos logros constituyen el núcleo de las soluciones aportadas, con las cuales se da solución a la mayor parte de los parámetros de mejora definidos en el apartado 5.4.2 «Resultado de la integración». En la Tabla 9.5 se indica para cada parámetro de mejora si las soluciones aportadas dan solución al mismo. Se muestran todos los parámetros definidos, aunque sólo se consideran relevantes los 50 primeros.

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado	Logrado
1	Toma de decisiones	351	4%	Sí
2	Valoración cuantitativa riesgo proyecto	336	8%	Sí
3	Necesidad de objetivar	307	11%	Sí
4	Necesidad de cuantificar (riesgos, grupos y matrices)	297	15%	Sí
5	Uso de un indicador de riesgo (KRI)	293	18%	Sí
6	Sistema informatizado	285	21%	Sí
7	Valoración cualitativa proyecto	270	24%	Sí
8	Homogeneidad	269	27%	Sí
9	Uso de plantillas de evaluación de riesgos	267	30%	Sí
10	Importancia del análisis de riesgos	267	33%	Sí
11	Valoración cualitativa de cada riesgo	256	36%	Sí
12	Cuestionario único para todos los proyectos	252	39%	Sí
13	Impacto y probabilidad global del proyecto	246	42%	Sí
14	Comparaciones	237	44%	Sí
15	Asignación de impacto y probabilidad a cada riesgo	231	47%	Sí
16	Coste posible, probable y mitigado	227	49%	Sí
17	Cálculo del coste de los riesgos	227	52%	Sí
18	Cuantificación riesgo grupo de proyectos	220	54%	Sí
19	Integración con estrategia	217	57%	Sí
20	Consideración de diversos tipos de riesgo	203	59%	Sí
21	Apetito de riesgo y líneas rojas	192	61%	Sí
22	Uso de escalas lineales para impacto y probabilidad	187	63%	Sí
23	Sistema estructurado de riesgos	182	65%	Sí
24	Coste riesgo como suma de I x P (SPIP)	181	67%	-
25	Simplicidad	180	69%	Sí
26	Evolución de los riesgos	180	71%	Sí
27	Valoración efectos de mitigación	154	73%	Sí
28	Uso de gráficos (mapas de calor)	151	75%	Sí
29	Valor esperado I x P (NPR)	143	76%	-
30	Incertidumbre	125	78%	Sí
31	Desbordamiento coste	120	79%	Sí
32	Sistema abierto a nuevos riesgos	118	81%	Sí
33	Valoración separada de cada tipo de riesgo	113	82%	Sí
34	Uso de pesos para riesgos	112	83%	Sí
35	Mitigación independiente para impacto y probabilidad	108	84%	Sí

Prioridad	Concepto integrado	Valor	% acumulado	Logrado
36	Coste mitigado coherente con mitigación	107	86%	Sí
37	Pesos riesgos relativos a su unidad organizativa	94	87%	Sí
38	Desglose coste mitigación	91	88%	Sí
39	Cada unidad organizativa debe tener un peso propio	88	89%	Sí
40	Consideración de métodos probabilísticos	84	90%	Sí
41	No equivocarse	82	90%	Sí
42	Clarificación	81	91%	Sí
43	Valoración cualitativa del riesgo global de cada matriz	81	92%	Sí
44	Valoración del impacto y probabilidad de cada matriz	75	93%	Sí
45	Riesgos no cuantificables	70	94%	Sí
46	Cuestionario evaluación con preguntas y respuestas prefijadas	67	95%	Sí
47	Carencias ERM	60	95%	Sí
48	Cualificación alternativa	45	96%	Sí
49	Uso de un sistema objetivo (cerrado)	37	96%	—
50	Correlación entre riesgos	36	97%	Sí
51	Uso de indicadores adicionales	33	97%	-
52	Influencia riesgos globales	30	97%	Sí
53	Actitud	30	98%	Sí
54	Uso de Monte Carlo	29	98%	-
55	Informes claros	27	98%	Sí
56	Limitar el alcance	25	99%	Sí
57	Predicción	21	99%	Sí
58	Métodos difusos (Fuzzy)	21	99%	Compatible
59	Nivel de confianza	20	99%	Sí
60	Integración con operaciones	17	99%	Sí
61	PERT	10	100%	Compatible
62	Pareto	10	100%	Sí
63	Redes neuronales (ANN)	9	100%	—
64	Regresión múltiple	8	100%	—
65	Existencia de silos	6	100%	Sí
66	3 líneas de defensa	3	100%	—

Tabla 9.5. Respuesta a los 66 parámetros de mejora definidos

En el caso de métodos difusos y PERT se indica que hay compatibilidad, dado que, generalmente, esos métodos se utilizan para la determinación del impacto y la probabilidad o para estimar el coste posible de un evento, lo cual, simplemente, influye en los datos de entrada a los métodos propuestos, pero no altera los resultados obtenidos, lo cual se ha confirmado mediante simulaciones con Monte Carlo.

Es preciso aclarar en cuanto al coste (parámetros 16, 17 y 31) que el Factor de Visibilidad y el método de resumen asociado no dan solución a estos parámetros. Sin embargo, se ha presentado una solución para obtener el coste total que los satisface. El parámetro 38 (desglose del coste de la mitigación) resulta neutro dado que su valor total es la suma de los costes individuales de mitigación, que siempre pueden sumarse habida cuenta de que constituyen una certeza cuando se ha tomado la decisión de mitigar.

No se da solución a los parámetros 24 (coste riesgo como suma de I x P (SPIP)), 29 (valor esperado I x P), 49 (uso de un sistema objetivo), 51 (uso de indicadores adicionales), 54 (uso de Monte Carlo), 63 (redes neuronales), 64 (regresión múltiple) y 66 (3 líneas de defensa). Ello no significa una disminución del logro conseguido con la solución aportada, como se explica a continuación. Los parámetros 24 y 29 no son realmente un requisito y figuran en esa posición debido a su uso actual, que como se ha explicado no es deseable; el 49 corresponde a una metodología diferente que da buenos resultados pero es muy limitada y cada sistema diseñado sirve exclusivamente para el entorno para el cual se ha concebido, por lo que no es comparable con la metodología propuesta; el 51 queda fuera del 97% de parámetros más relevantes y, aunque sería deseable darle cumplimiento, la amplia variedad de indicadores adicionales no estandarizados dificulta considerarlos para integrarlos en el Factor de Visibilidad, lo cual requeriría un estudio específico en cada caso. Los restantes parámetros no satisfechos ocupan posiciones de la cola de la lista y su no consideración no constituye un inconveniente.

No se ha cuestionado en el estudio realizado la exactitud de las evaluaciones del impacto y la probabilidad o del coste posible definido por los evaluadores. Sus posibles deficiencias quedan fuera del alcance de este trabajo, pero con las soluciones aportadas, concretamente el método de resumen de riesgos, es posible descomponer el escenario de riesgos en tantos riesgos elementales como se desee, facilitando la aplicación del principio sucesivo, lo cual mejora drásticamente la objetividad y la precisión al restar importancia a cada evaluación singular (Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries 2004).

9.2. Implantación en las empresas

El Factor de Visibilidad y el método asociado de resumen de riesgos de escenarios permiten disponer de un sistema analítico para estudiar todos los riesgos identificados y evaluados en una empresa, incluso aunque sólo se hayan evaluado en forma cualitati-

va, lo cual supone una transformación digital de la información disponible posibilitando su posterior análisis.

Este sistema ha sido probado en una empresa constructora multinacional, y se ha aprovechado la experiencia para poder calibrar el sistema y detectar las áreas de mejora, profundizando en los aspectos investigadores (Vegas-Fernández 2017b). Además, se han publicado artículos mostrando algunos ejemplos que ilustran el tipo de información que se puede obtener con él (Vegas-Fernández and Rodríguez López 2017).

En este apartado se presentan ejemplos gráficos que muestran las capacidades del sistema usando una base de datos de proyectos con evaluaciones de riesgo para los proyectos organizadas por matrices. Los resultados presentados son consistentes con los datos observados en las empresas estudiadas, pero no corresponden a datos reales para evitar revelar información confidencial propiedad de las empresas.

La estructura que se va a seguir para presentar los ejemplos es comenzar con una hoja de evaluación de riesgos hasta llegar a los resúmenes ejecutivos para la toma de decisiones.

El primer ejemplo corresponde a la hoja de evaluación de los riesgos de los subcapítulos del capítulo de «Seguridad general TI», dentro de la matriz de riesgos TI. Cuando el evaluador evalúa el impacto y la probabilidad mediante escalas de Likert, el sistema le proporciona un resumen analítico y gráfico del capítulo para ver la importancia relativa de cada subcapítulo, la situación de riesgo actual del capítulo y la situación global mitigada (Figura 9.4).

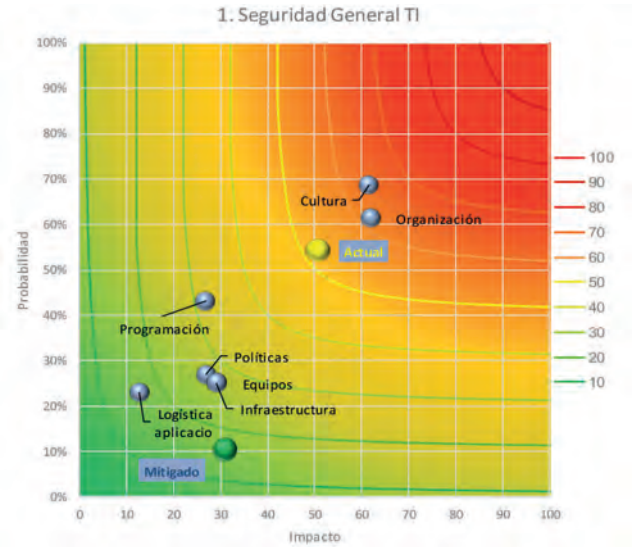

Figura 9.4. Visión general de los riesgos del capítulo

Para obtener una visión integrada del conjunto de los capítulos que constituyen una matriz de riesgos se parte de los resúmenes de cada uno de los capítulos y se obtiene el resumen del conjunto de la matriz (en este ejemplo, la matriz de riesgos TI), antes y después de aplicar las posibles medidas de mitigación. La visión integrada puede ser numérica o gráfica como se ve en la Figura 9.5.

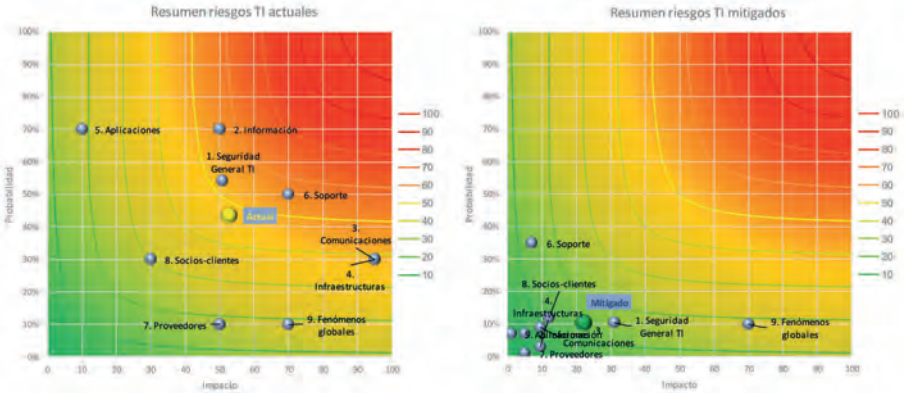

Figura 9.5. Visión general de los riesgos de la matriz antes y después de la mitigación

Frecuentemente hay varias matrices de evaluación de riesgos, y la visión de la situación general del proyecto requiere una integración de la información de todas las matrices de riesgo evaluadas. De este modo se puede comprender con facilidad cuál es la situación del conjunto y la contribución o importancia relativa de cada una de las matrices. Todo ello se puede resumir con una tabla sencilla como la de la Figura 9.6.

		Actual probable				Mitigado				
Matriz	Evaluación riesgo	I	P	Fv	Coste	I_{mit}	P_{mit}	Fv_{mit}	$Coste_{mit}$	Peso
Comercial	Bajo	30	35%	32	1.926	28	15%	20	1.500	3
Financiera	Bajo	35	20%	25	2.524	20	10%	14	1.100	5
Jurídica	Bajo	20	75%	28	0	10	40%	17	0	5
Logística	Muy alto	70	80%	74	5.863	52	40%	44	3.400	3
Mediambiental	Bajo	56	25%	32	3.160	56	0%	8	800	2
País	Bajo	20	50%	27	0	50	10%	18	0	2
RR.HH.	Alto	62	75%	67	6.300	20	60%	28	3.200	2

		I	P	Fv	Coste
Riesgo total	Medio	49	59%	53	19.773
Riesgo mitigado	Bajo	31	30%	30	10.000

Figura 9.6. Resumen numérico de los riesgos principales del proyecto

También es posible presentar la información en forma gráfica mediante un diagrama de Farmer (Figura 9.7) agrupando los riesgos mediante las matrices, o, aprovechando la linealidad del Factor de Visibilidad, mediante un gráfico de parrilla que haga destacar los riesgos más severos (Figura 9.8).

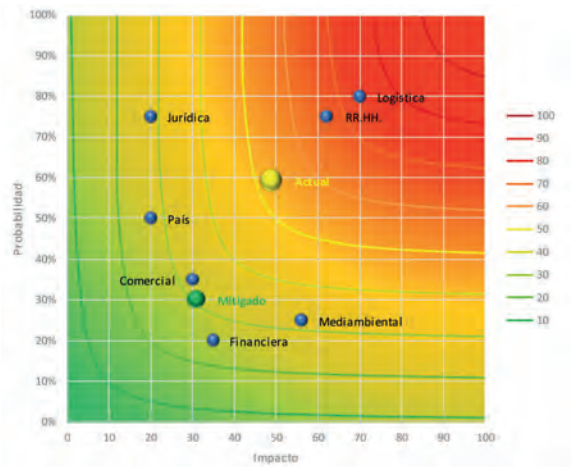

Figura 9.7. Visión general del riesgo global del proyecto

Con un gráfico de parrilla se detectan visualmente los riesgos más elevados (Figura 9.8).

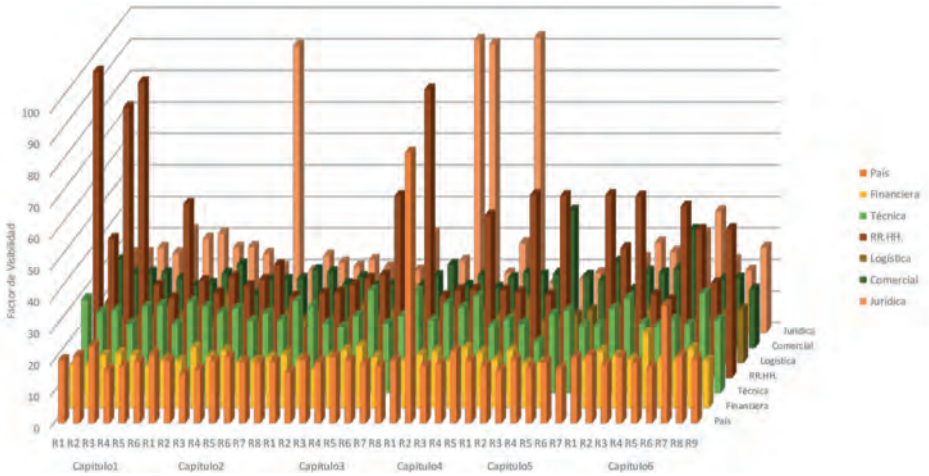

Figura 9.8. Visión general de los riesgos del proyecto

Puede comprobarse que, incluso cuando no se disponga de información acerca del coste que comportan los riesgos, será posible establecer su importancia relativa mediante su Fv, dado que este indicador siempre proporciona un valor cuantitativo.

Utilizando el indicador Fv, y dado que es lineal, es muy fácil obtener una visión rápida de qué mitigaciones son más eficientes (Figura 9.9). En el ejemplo mostrado, la mitigación de los riesgos de recursos humanos logra la mayor reducción de riesgo, pese a que su riesgo inicial no sea el mayor de todos. Esto facilita estudiar la estrategia de mitigación y, definiendo el concepto de «mejora» como la diferencia entre el riesgo antes y después de mitigar, concentrarse en aquellas mitigaciones que logren una mayor mejora de la situación.

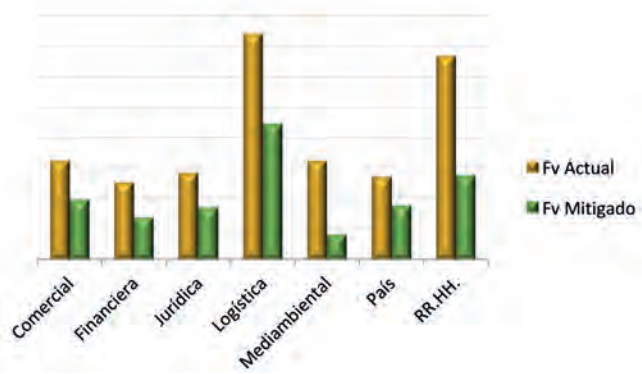

Figura 9.9. Eficiencia o «mejora» comparada de los efectos de mitigación

El método de resumen presentado es recursivo y por ello se pueden agrupar los resúmenes previamente obtenidos para estudiar los riesgos a un nivel más alto. Es el caso, por ejemplo, de querer conocer cuáles son los proyectos que más riesgo tienen dentro de un país (u otro tipo de agrupación) y cuál es el riesgo global que presenta su conjunto (Figura 9.10).

Sería posible, y de hecho es una buena práctica, considerar como peso de cada proyecto su importe de venta, con lo cual se logra que el resumen calculado para el conjunto pondere adecuadamente la importancia de cada uno. En la representación gráfica puede variarse el diámetro de las bolas respectivas de acuerdo con dichos importes cuando la diferencia entre ellos no sea excesiva. En la Figura 9.10 no se ha hecho debido a que las diferencias numéricas son muy grandes con proyectos cuyo importe de venta es más de 10 veces el de otros, lo cual reduciría a simples puntos a los más pequeños, aunque se puede solventar esta dificultad utilizando para el gráfico un coeficiente que suavice las diferencias.

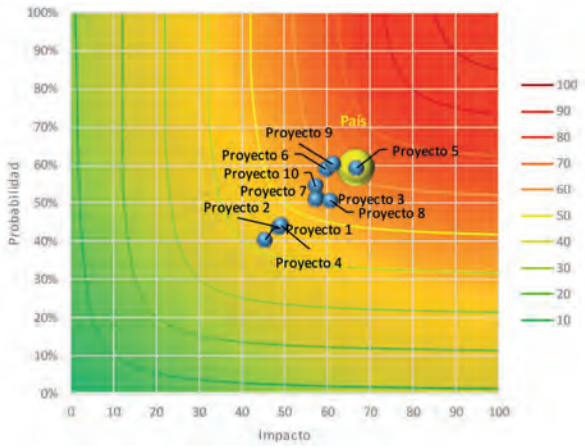

Figura 9.10. Riesgo de los proyectos de un país

Conociendo el nivel de riesgo de cada país, calculado como resumen de los proyectos que se desarrollan en ellos, es posible comparar estos niveles y mostrarlos en un mapamundi como el de la Figura 9.11.

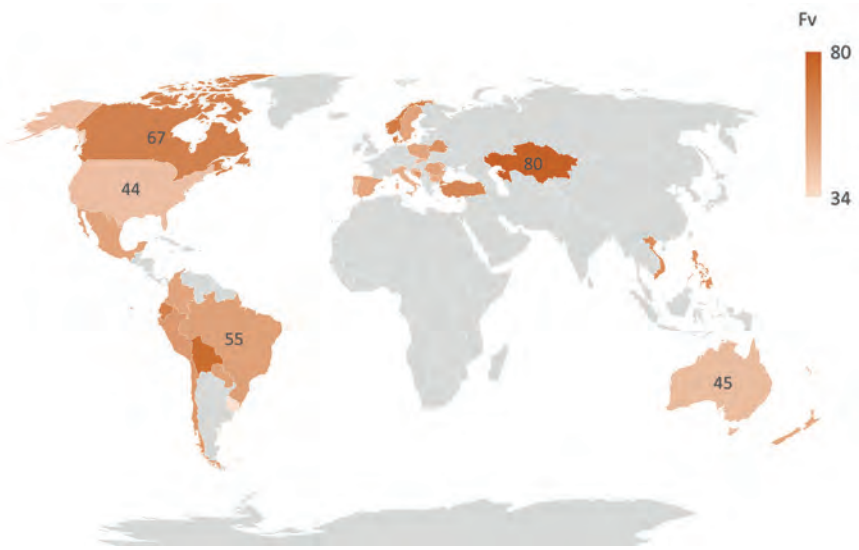

Figura 9.11. Riesgo en los países del mundo

En las empresas es frecuente repartir las responsabilidades por áreas geográficas, y con el método de resumen propuesto se puede considerar el conjunto de países que componen una zona geográfica, y calcular el riesgo de cada zona en función de los países que la integran, agrupando a su vez, en cada país, el conjunto de proyectos que están en él, pudiendo ser el peso de cada país el importe de venta total de sus proyectos (Figura 9.12).

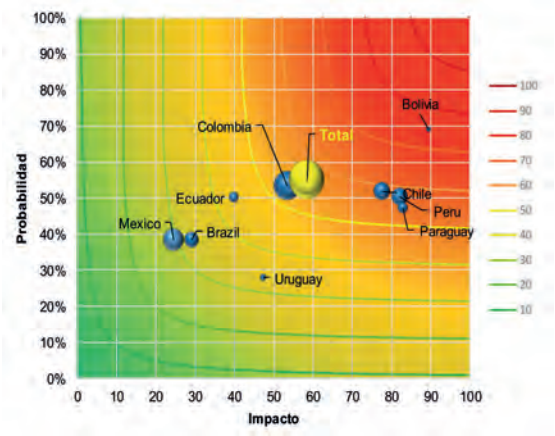

Figura 9.12. Riesgo de los países de un área geográfica

La visión integrada de toda la empresa es posible, mostrando la agrupación de zonas geográficas propia del negocio o los diversos tipos de negocio que realiza (Figura 9.13).

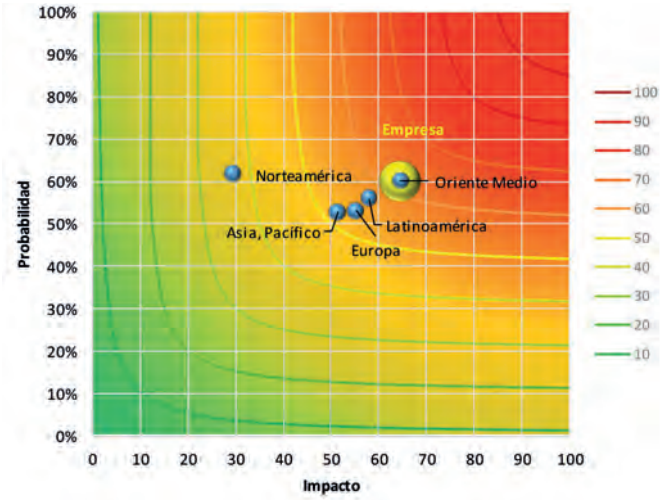

Figura 9.13. Riesgo de las áreas geográficas y total

Las posibilidades de análisis son muy grandes, dado que el método de resumen no impone restricciones y que el manejo de datos es analítico. De este modo, es posible resumir los riesgos de las matrices de riesgo definidas correspondientes a los proyectos de una determinada zona o país (Figura 9.14) o de todos los proyectos (Figura 9.15), calculándose el Fv de cada uno para conocer qué naturaleza de riesgo es más problemática.

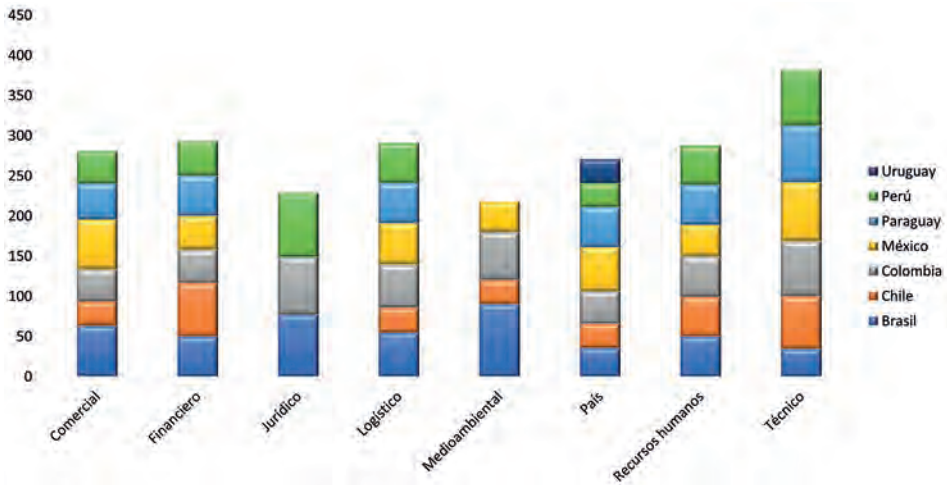

Figura 9.14. Naturaleza del riesgo en los países de un área geográfica

De la figura anterior se podría extraer que los mayores riesgos en los proyectos son de tipo técnico, pero que el riesgo medioambiental en Brasil es el más severo de entre todos los considerados.

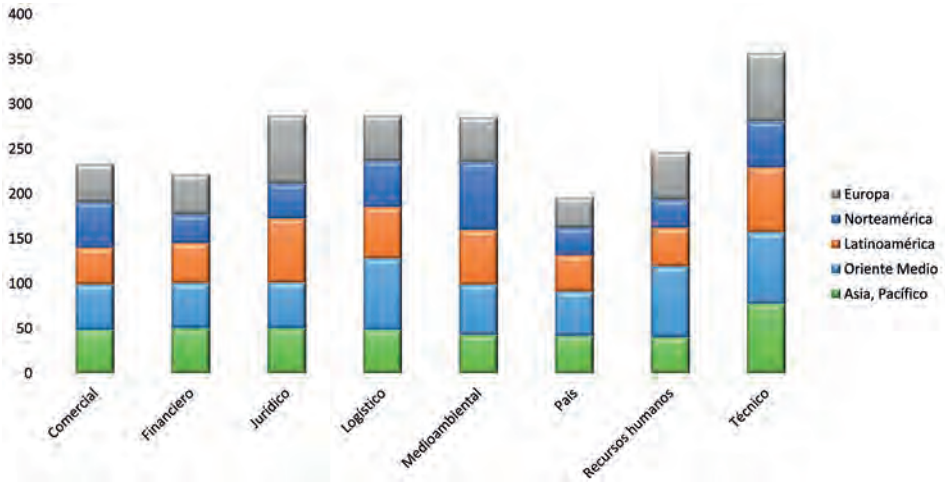

Figura 9.15. Naturaleza del riesgo en cada área geográfica

De la figura anterior se podría extraer que los riesgos de tipo técnico en los proyectos son los más relevantes, principalmente en Europa, Asia, Oriente Medio y Latinoamérica.

9.3. Contribución de los resultados

El trabajo presentado en este documento quiere ayudar a las empresas en su labor de control y gestión de riesgos, facilitándoles un medio de tratar analíticamente la información de riesgos para poder tomar decisiones más respaldadas por datos y mejorar su competitividad.

Las tres aportaciones principales son un nuevo indicador cuantitativo de riesgo, intuitivo y lineal, con el que expresar el nivel de riesgo de eventos o escenarios (Factor de Visibilidad), un método de resumen de los riesgos de un escenario, para formular el riesgo total mediante su impacto y probabilidad equivalentes y mediante su Factor de Visibilidad, y una solución para lograr que la estimación de los costes de los riesgos de los proyectos (y, por tanto, de la contingencia de su riesgo) sea más segura, proporcionando un coeficiente de seguridad para aplicarlo al valor determinista SPIP usado tradicionalmente.

Hay una cuarta aportación que tiene importancia por sí misma, pero que, además, valida la pertinencia y el interés de las tres aportaciones anteriores, y es una lista de parámetros de mejora de las prácticas actuales. Esta lista, refrendada mediante tres métodos de investigación diferentes e independientes, constituye una referencia a te-

ner en cuenta para cualquier proyecto de mejora de los sistemas de control y gestión de riesgos, y ratifica la validez de las tres aportaciones principales (Tabla 5 7 «Lista de 66 parámetros de mejora»).

Hay, sin embargo, muchos otros aspectos que se han clarificado durante la amplia investigación realizada y que contribuyen al enriquecimiento de la práctica de la evaluación, control y gestión de los riesgos, ya sea por alertar de las debilidades encontradas, o por proporcionar información o conclusiones relevantes. Se detallan a continuación estas contribuciones adicionales.

1.	La utilización como indicador de riesgo del producto del impacto por la probabilidad (NPR) puede ser inadecuada. a) Su percepción poco intuitiva puede inducir a infravalorar el riesgo.
2.	Los proyectos, particularmente los de construcción, no cumplen con las premisas requeridas por el teorema del Límite Central.
3.	La distribución probabilística del riesgo esperado SPIP (suma de productos del impacto por la probabilidad) no es una distribución Normal, sino que puede ser discontinua (binomial), Beta o Kumaraswamy.
4.	La suma de los productos de la probabilidad por el impacto (SPIP) para todos los riesgos del proyecto puede ser inadecuada para obtener el valor global. a) El uso del método SPIP para calcular el riesgo global de un proyecto no es fiable y puede inducir a error. b) El método SPIP subestima la contingencia.
5.	La contingencia calculada con el método SPIP se verá desbordada el 50% de las veces.
6.	El percentil 85 del riesgo global será de 1,4 a 3,0 veces superior al valor SPIP.
7.	Un número reducido de eventos de riesgo, un efecto Pareto intenso y una alta correlación entre los eventos de riesgo altera el resultado probabilístico y afecta negativamente a la precisión del valor determinista de SPIP.
8.	La revisión de la literatura muestra que el percentil 85 es el más recomendado para lograr un nivel de confianza aceptable en los proyectos.
9.	Dos proyectos con el mismo valor SPIP y distinta distribución probabilística del riesgo esperado (la distribución de los productos de la probabilidad por el impacto) tendrán un percentil 85 diferente.
10.	La aplicación del coeficiente de seguridad propuesto a la contingencia calculada con el método SPIP evitará el desbordamiento de la contingencia con un nivel de confianza del 85%.
11.	La utilización de escalas no lineales para especificar la probabilidad puede ocasionar que la estimación final del riesgo sea inadecuada. a) El producto del impacto por la probabilidad disminuye cuando se usan escalas no lineales para la probabilidad. b) Hay que diferenciar las escalas de asignación de las escalas de interpretación.
12.	Las empresas podrán considerar una contingencia más adecuada y más segura en sus ofertas y sus estimaciones de fin de proyecto.

Tabla 9.6. Contribuciones adicionales de la investigación realizada

Se explica a continuación cada una de estas aportaciones.

1. Se ha fundamentado y se ha demostrado con proyectos reales que el indicador NPR puede inducir a pensar que el nivel de riesgo es inferior al real.

2. El teorema del Límite Central es la base teórica para aplicar la regla de la utilidad esperada de Neumann y Morgenstern (SPIP) y requiere la presencia de muchos eventos de riesgo, su independencia y que no haya ninguna contribución individual significativa al valor total. Se ha comprobado que los proyectos no cumplen esas premisas básicas porque el número de eventos de riesgo es relativamente bajo, hay correlación entre los eventos de riesgo, y, el efecto Pareto está presente, por lo que el 20% de los eventos de riesgo puede acumular el 80% del resultado total.

3. La primera consecuencia de lo anterior es que las distribuciones de salida del riesgo esperado no son de tipo Normal, como afirman muchos académicos y creen los profesionales, sino binomial, Beta o Kumaraswamy; por esta razón su valor medio no tiene la relevancia que cabía esperar, y el percentil 85 se aleja como consecuencia del aumento del coeficiente de variación.

4. La suma de los productos de la probabilidad por el impacto (SPIP) para los riesgos de los proyectos puede ser inadecuada para obtener el valor global y, cuando se trata de costes, insuficiente. Se ha comprobado que el valor SPIP es sólo un promedio que no considera la distribución estadística de los valores de los riesgos esperados (los productos de la probabilidad por el impacto para cada evento de riesgo). Esta constatación es pertinente porque esta práctica es utilizada a menudo para estimar la contingencia del proyecto y calificar su riesgo global.

   a. El uso del SPIP para calcular el riesgo general del proyecto no es fiable, pese a que su uso está muy extendido. Puede indicar que dos proyectos tienen el mismo nivel de riesgo cuando en realidad no es así, debido a no considerar las propiedades de la distribución probabilística de los valores NPR.

   b. El método SPIP subestima la contingencia. Esta conclusión supone una grave contrariedad en industrias como la de construcción, donde el margen bruto típico en los proyectos internacionales oscila entre el 10 y el 15%, las previsiones de la contingencia para los riesgos de los proyectos son del orden del 3 al 7%, y el beneficio corporativo es del orden del 3% al 4% (esos valores se han obtenido de los informes anuales de grandes empresas constructoras).

5. La contingencia calculada como SPIP se verá superada el 50% de las veces. No es realmente una revelación porque es obvio, dado que el SPIP es la media de una distribución probabilística. Sin embargo, se han visto tantas actuaciones ignorando esa evidencia que parece conveniente resaltar este hecho.

6. El percentil 85 será previsiblemente de 1,4 a 3,0 veces mayor que el valor de SPIP, lo cual cuantifica el desbordamiento esperable de la contingencia. Estos valo-

res podrían ser mayores dependiendo de la distribución del coste del riesgo del proyecto, como se ha mostrado en las simulaciones y en proyectos con riesgos y oportunidades.

7. Un bajo número de eventos de riesgo, un efecto Pareto intenso y una alta correlación entre los eventos de riesgo altera el resultado probabilístico y afecta negativamente a la precisión del valor de SPIP determinista. Se ha comprobado que esos efectos alejan el percentil 85 del valor SPIP, lo cual resta fiabilidad al SPIP.

8. El percentil 85 es el más recomendado para lograr un nivel de confianza aceptable en los proyectos si se excluyen algunos sectores especializados como el biomédico o el financiero. La base para esta afirmación está en la revisión de la literatura y las entrevistas mantenidas con los profesionales. Este valor se ha utilizado en este estudio y se recomienda para seleccionar el percentil en el análisis Monte Carlo. Ese valor es muy sensible y condiciona el resultado de la simulación de Monte Carlo.

9. Dos proyectos con el mismo valor de SPIP y una distribución de probabilidad de riesgo esperado distinta (la distribución de los productos de probabilidad por impacto) tendrán un percentil 85 diferente. Esta consideración es esencial cuando se utiliza el método SPIP para valorar el riesgo general del proyecto o para estimar la contingencia.

10. La aplicación del coeficiente de seguridad propuesto a la contingencia calculada por el método SPIP evitará el desbordamiento de esta contingencia con un nivel de confianza del 85%. Esta propuesta se alinea con la práctica habitual en ingeniería de aplicar coeficientes de seguridad (para aumentar las cargas o para reducir la resistencia) y hace posible que los profesionales continúen utilizando sus métodos actuales de cálculo determinista de la contingencia, pero logrando un nivel de confianza más alto. Este coeficiente puede obtenerse de forma aproximada a partir de una tabla, en función del número de eventos de riesgo con coste definido o, de forma más precisa, mediante una fórmula que considera las propiedades de la distribución probabilística del riesgo esperado.

11. Se ha distinguido el uso de escalas de asignación y de interpretación alertando del riesgo que conlleva usarlas indistintamente, especialmente cuando no son lineales, por cuanto una incorrecta comprensión por parte de los evaluadores se puede traducir en que la probabilidad numérica asignada sea menor que la realmente estimada, lo cual disminuye incorrectamente el riesgo esperado.

12. Las empresas podrán considerar una contingencia más adecuada y más segura en sus ofertas y estimaciones de fin de proyecto sin necesidad de cambiar el método de cálculo actual ni realizar análisis más complejos. Hay muchas empresas en muchos países que no utilizan métodos probabilísticos y podrán hacer uso de esta propuesta, y las empresas que ya utilizan la simulación Monte Carlo para calcular contingencias deberán revisar sus definiciones de correlación y la elección del percentil.

9.4. Nuevas líneas de investigación

Varias posibles líneas de investigación pueden dar continuidad al trabajo presentado. La primera ya se ha esbozado en el apartado 6.1.6 «Situación con eventos de baja probabilidad» y su finalidad sería lograr la parametrización más adecuada de la formulación propuesta para nuevos indicadores en industrias específicas cuyos riesgos tengan una probabilidad muy baja, en función del apetito de riesgo y de la casuística.

Los coeficientes de seguridad propuestos para el cálculo seguro del coste global de los riesgos se han calculado suponiendo una correlación uniforme de +0,4. A falta de una mayor información es un valor adecuado, pero resultaría interesante repetir el trabajo realizado considerando un nivel de correlación menor (+0,2 y +0,3, por ejemplo) y obtener las tablas y fórmulas correspondientes, aunque estos resultados serían menos conservadores.

El estudio de la correlación entre los sucesos de riesgo presentes en un proyecto o escenario es un campo casi virgen que muchos autores evitan, planteándolo como difícil e inasequible. Se ha demostrado la alta influencia que ejerce la correlación en los resultados globales, y ello demanda una mayor investigación en este campo para encontrar nuevas formas de acometer dicho estudio y proporcionar a los profesionales técnicas e instrumentos eficaces para ello. Las líneas de investigación actuales se apoyan en estudios estadísticos relativos a escenarios muy concretos y, por tanto, limitados. Estas limitaciones y la complejidad que envuelven dificultan la posibilidad de proporcionar una solución que puedan utilizar los profesionales en su trabajo diario.

Sería muy interesante poder estudiar una gran colección de proyectos y someter a prueba las fórmulas de regresión propuestas para la obtención de los coeficientes a aplicar al resultado SPIP para el cálculo de los costes. Ello permitiría validar adicionalmente las constantes propuestas y, opcionalmente, identificar nuevas variables influyentes que ayudasen a perfeccionar dichas fórmulas. Desafortunadamente no es una labor fácil porque las empresas están poco dispuestas a facilitar este tipo información, que consideran confidencial.

Otra línea de investigación muy prometedora es la aplicación de técnicas de inteligencia competitiva para la evaluación de los riesgos. Posibilitaría en cierta medida la predicción de los riesgos, de su impacto y su probabilidad, tomando como base la gran cantidad de información disponible tanto en las propias empresas como en bases de datos comerciales y en Internet. En función de parámetros que definan objetivamente los proyectos (tipo, país, localización, tecnología, cliente, socios, proveedores, etc.) sería posible anticipar y valorar de forma objetiva muchos de los riesgos. Este tipo de soluciones requiere una infraestructura tecnológica de cierta envergadura y un equipo de matemáticos, informáticos y expertos en las operaciones para ponerla a punto, pero una vez creado el sistema, proporcionaría a los evaluadores datos objetivos que facilitarían sus tareas de evaluación.

ANEXOS

ANEXO 1 – FORMULACIÓN MATEMÁTICA

Se incluyen las fórmulas correspondientes a los apartados principales del texto que no son esenciales en su contexto, para facilitar la lectura, citando los apartados a que corresponden.

Fórmulas del apartado 3.5.2. Aversión al riesgo

Si se toma como función de utilidad el producto del impacto del riesgo *i* por su probabilidad *p*, NPR, expresado respecto al valor del impacto *i*, para el caso particular en que la probabilidad sea el impacto dividido por 100 (*p* = *i* / 100), se podría calcular su primera y su segunda derivada y obtener su función de aversión absoluta:

$$U(i) = \frac{i^2}{100} \ , \ U^{'}(i) = \frac{i}{50} \ , \ U^{''}(i) = \frac{1}{50} \ , \ \frac{NPR^{''}(i)}{NPR^{'}(i)} = \frac{1}{i} \qquad [1]$$

Según lo anterior, la aversión absoluta al riesgo sería:

$$\frac{-NPR^{''}(i)}{NPR^{'}(i)} = -\frac{1}{i} < 0 \qquad [2]$$

Fórmulas del apartado 4.1.1. Análisis tridimensional

Este comportamiento lineal de 0 a 100 es intuitivo fácil de comprender, pero corresponde a una situación muy extrema. Es fácil ver, sin embargo, que se cumple para cualquier plano vertical paralelo a los anteriores que su intersección con la superficie es una línea recta.

Plano paralelo al eje i: $\forall\ p{=}k,\ \mathrm{NPR}(i,p) = i \times k = ki$ [3]

Plano paralelo al eje p: $\forall\ i{=}k,\ \mathrm{NPR}(i,p) = k \times p = kp$ [4]

La formulación de esta intersección es simple. Haciendo *p* = i / 100, se tiene:

$$NPR(i, \frac{i}{100}) = i \times \frac{i}{100} = \frac{1}{100} \times i^2 \qquad [5]$$

Fórmulas del apartado 6.1.3. Definición matemática de las curvas de nivel

La ecuación básica de una curva de nivel hiperbólica tendrá el perfil:

$$p_0 = \frac{F}{i_0} \qquad [6]$$

Siendo i_0 y p_0 el impacto y probabilidad referidos a un sistema de coordenadas hipotético.

La construcción del mapa de curvas de nivel se realiza desplazando la curva anterior paralelamente a sí misma a lo largo de la diagonal. Para ello, se aplica una transformación de coordenadas, siendo a la definición del desplazamiento y también del nivel de riesgo:

$$i = i_0 + a \qquad p = p_0 + \frac{a}{100} \qquad [7]$$

En la ecuación anterior *i* y *p* son el impacto y la probabilidad expresados en el sistema de coordenadas definitivo.

De este modo se obtiene la definición básica de las curvas de nivel idénticas equiespaciadas:

$$p = \frac{F}{i-a} + \frac{a}{100} \qquad [8]$$

Esta ecuación da lugar a las siguientes curvas cuando $F = 1$:

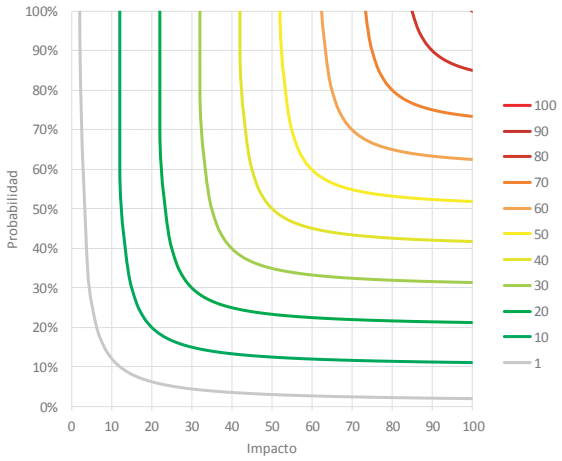

Figura 0-1. Aproximación resultante con curvas desplazadas

El valor de *a* mide la traslación de las curvas y, por tanto, el valor de éstas. El resultado obtenido se acerca al deseado, pero la máxima curva visible es la de $a = 80$, teniéndose $a = 90$ cuando $i = 100$ y $p = 100\%$. Por otra parte, el valor de las curvas no coincide con el del impacto de su vértice, sino que están desplazadas, de modo que la curva 10 pasa por el punto de coordenadas (20, 20%), la curva 20 por el punto (30, 30%) y así sucesivamente.

Es preciso aplicar un ajuste, que estriba en una traslación *c* fija para todas las curvas. Adicionalmente, sería posible rotarlas y romper la simetría introduciendo los coeficientes de rotación k_1 y k_2. La ecuación anterior [6-3] se convierte entonces en:

$$p = \frac{F}{i - \frac{a}{k_1} + c} + \frac{\frac{a}{k_2} - c}{100} \qquad [9]$$

Según se ha visto en el apartado anterior, el valor de la constante F debe ser igual a uno para evitar una curvatura demasiado suave. Por otra parte, en un estado inicial y por coherencia con los requisitos establecidos de simetría de las curvas, no se deberían introducir rotaciones. En estas condiciones, cuando $F = 1$, $c = 10$, $k_1 = 1$ y $k_2 = 1$, se obtiene la ecuación fundamental que proporciona el resultado buscado. El valor a que define el valor de cada curva coincide con el del impacto de su vértice y representa su nivel de riesgo, de forma que resulta muy sencillo identificarlo visualmente. Por ello, se define como factor de visibilidad del riesgo o «Factor de Visibilidad» (Fv) al valor del nivel de riesgo de cada curva, según la siguiente ecuación:

$$p = \frac{1}{i - Fv + 10} + \frac{Fv - 10}{100} \qquad [10]$$

Fórmulas del apartado 6.1.4. Formulación del Factor de Visibilidad

La formulación del Factor de Visibilidad es el resultado de la resolución de la ecuación [10], aunque se va a utilizar la ecuación [9] para disponer de una formulación más genérica. Su desarrollo da lugar a una ecuación polinómica de segundo grado, cuya solución es:

$$Fv = \frac{100p + c + (i+c)\frac{k_1}{k_2} \pm \sqrt{(100p + c + (i+c)\frac{k_1}{k_2})^2 - 4(100pi + ci + 100pc - 100F + c^2)\frac{k_1}{k_2}}}{2} \times k_2 \qquad [11]$$

Y cuando $F = 1$, $c = 10$, $k_1 = 1$ y $k_2 = 1$, se simplifica, resultando:

$$Fv = \frac{100p + 20 + i - \sqrt{(100p + 20 + i)^2 - 40(i + 10p(i + 10))}}{2} \qquad [12]$$

Que también puede expresarse como:

$$Fv = \frac{100p + 20 + i - \sqrt{10000p^2 + i^2 - 200pi + 400}}{2} \qquad [13]$$

De esta manera queda completada la definición del Factor de Visibilidad Fv.

Se precisa definir adicionalmente algunas ecuaciones que resultarán necesarias cuando se formule el resumen de escenarios de eventos en el apartado 6.2.2.

El primer grupo de ecuaciones se refiere a la obtención del impacto o de la probabilidad en función del Factor de Visibilidad Fv y de la otra variable. Resolviendo [6-6] se tiene:

$$i = \frac{F_v \times (100p + c(1+\frac{k_1}{k_2})) - \frac{F_v{}^2}{k_2} + 100k_1(F - pc - \frac{c^2}{100})}{100k_1 p + ck_1 - F_v \frac{k_1}{k_2}} \qquad [14]$$

$$p = \frac{F}{i - \frac{F_v}{k_1} + c} + \frac{\frac{F_v}{k_2} - c}{100} \qquad [15]$$

Cuando $F = 1$, $c = 10$, $k_1 = 1$ y $k_2 = 1$, se simplifican las fórmulas anteriores, resultando:

$$i = \frac{20F_v - F_v{}^2 + 100pF_v - 1000p}{100p + 10 - F_v} \qquad [16]$$

$$p = \frac{1}{i - F_v + 10} + \frac{F_v - 10}{100} \qquad [17]$$

No es posible establecer una relación directa entre este nuevo parámetro, Fv, y el factor de riesgo tradicional NPR porque siempre será preciso disponer como dato adicional de uno de los dos valores, el impacto o la probabilidad. Sin embargo, como estimación, es posible establecer una relación entre ambos introduciendo una simplificación cuando no se disponga de esos detalles y únicamente se tenga el valor NPR. Para ello, se puede asumir como punto representativo de la curva NPR aquél para el cual se cumple que $p = i / 100$, que es el situado en la diagonal del gráfico. En estas condiciones y partiendo de la ecuación [13] se tendría:

$$Fv = 10\sqrt{NPR} \qquad [18]$$

Fórmulas del apartado 6.1.5.6. Aversión al riesgo

Si se considera la evolución del factor de visibilidad a lo largo de la diagonal (puntos con igual impacto y probabilidad, en términos relativos), calculando la aversión absoluta al riesgo, se tiene:

$$Fv = \frac{i + 20 + i - \sqrt{i^2 + i^2 - 2i^2 + 400}}{2} = \frac{2i + 20 - 20}{2} = i \quad F_v{}' = 1 \quad F_v{}'' = 0 \quad \frac{F_v{}''(i)}{F_v{}'(i)} = 0 \qquad [19]$$

De lo cual se deduce que $\forall\, i$ se cumple que la aversión absoluta de Fv es mayor:

$$\frac{-NPR''(i)}{NPR'(i)} = \frac{-1}{i} \leq \frac{-F_v''(i)}{F_v'(i)} = 0 \qquad [20]$$

Fórmulas del apartado 6.1.6.1. Alternativas estudiadas para eventos con baja probabilidad

Para formular una alternativa al Factor de Visibilidad que sea más sensible a los eventos de baja probabilidad se ha partido de la ecuación [9], y se han seguido dos líneas de investigación siguiendo un método inductivo. La primera es mantener la fórmula original y utilizar los parámetros F, C, K_1 y K_2 para cambiar la curvatura de las curvas abriéndolas hacia el eje de abscisas. La segunda línea es modificar la fórmula original añadiendo otros elementos.

Comenzando por la primera línea de investigación, se han ensayado múltiples alternativas contrastando visualmente los resultados y buscando un equilibrio entre las ventajas y los inconvenientes. Se reproduce a continuación la ecuación [9] por motivos de claridad.

$$p = \frac{F}{i - \frac{a}{k_1} + c} + \frac{\frac{a}{k_2} - c}{100} \qquad [21]$$

Fruto de este estudio se han encontrado dos aproximaciones, llamadas versiones «F» y «K», que satisfacen los requisitos. En la Tabla 0-1 se definen los parámetros obtenidos, denominando como «Básica» la versión anteriormente definida para el Factor de Visibilidad.

	Versiones		
Parámetro	Básica	F	K
F	1,00	15,00	1,93
C	10,00	38,73	13,88
K_1	1,00	1,00	0,92
K_2	1,00	1,00	1,37

Tabla 0-1. Definición de constantes para versiones alternativas al Factor de Visibilidad

Las curvas resultantes para la versión F son simétricas, toman su valor del punto de la diagonal por el que pasan, tienen una menor curvatura que las de la versión K, y consiguen antes que ésta un aumento del nivel de riesgo a lo largo del eje de abscisas (Figura 0-2).

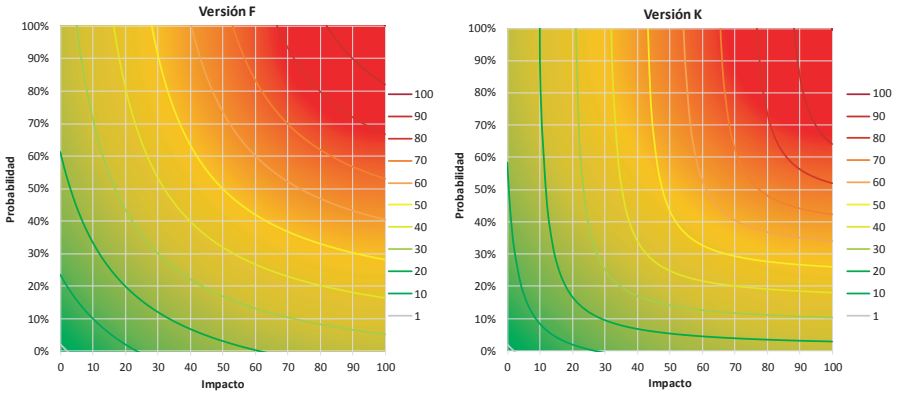

Figura 0-2. Versiones alternativas F y K

Las curvas de la versión K son más parecidas a las del Factor de Visibilidad y no son simétricas. Puede verse en la figura que con la versión F se alcanza un valor de 25 cuando el impacto es 100 y la probabilidad cero, mientras que con la K el valor no llega a 20. Sin embargo, luego crece más lentamente que la K cuando aumenta la probabilidad.

La versión K es menos atractiva visualmente y menos simétrica. Las curvas tienden a pasar cerca del punto de la diagonal que les da su valor, pero no lo logran exactamente. Por otra parte, proponen un nivel de riesgo de 90 cuando el impacto es 100 y la probabilidad del 65%.

El comportamiento de ambas versiones a lo largo del eje de ordenadas (impacto cero) es más favorable para la versión K, dado que la versión F alcanza un nivel de riesgo de 25 cuando la probabilidad es del 100% mientras que la versión K sólo llega a 11 en esa situación.

Al no conseguirse una aparente plena satisfacción se emprende la segunda línea de investigación buscando una mayor flexión de las curvas para acercarlas al eje de abscisas. Para ello se modifica la ecuación [21] introduciendo un nuevo coeficiente α y se definen dos nuevas versiones Alpha 1 y Alpha 2 que son el resultado de un proceso iterativo con comparación visual para obtener las curvas deseadas. Sus ecuaciones son la [22] y [23], respectivamente.

Alpha 1 $$p = \left(\frac{F}{i-\frac{a}{k_1}+c} + \frac{\frac{a}{k_2}-c}{100}\right) \times (1+\alpha) - \frac{\alpha \times a}{100} \qquad [22]$$

Alpha 2 $$p = \frac{F}{i-\frac{a}{k_1}+c} + \frac{\frac{a}{k_2}-c}{100} - \alpha\,\frac{(1-a)}{100} \qquad [23]$$

Ambas ecuaciones parten de la ecuación [6-4] e incorporan nuevos sumandos introduciendo un coeficiente adicional α. La parametrización de estas ecuaciones se define en la Tabla 0-2.

	Versiones	
Parámetro	**Alpha 1**	**Alpha 2**
F	10,00	7,00
C	31,62	26,46
K_1	1,00	1,00
K_2	1,00	1,00
α	0,40	0,70

Tabla 0-2. Definición de constantes para versiones α del Factor de Visibilidad

Fórmulas del apartado 6.1.6.2. Formulación del indicador con eventos de baja probabilidad

La formulación de los indicadores correspondientes a las alternativas F y K es la misma hecha para el Factor de Visibilidad, dado que sus curvas utilizan la misma fórmula [21], dando a las constantes F, C, K_1 y K_2 sus valores correspondientes.

La formulación de las alternativas *Alpha* se logra resolviendo las ecuaciones [22] y [23] y son, respectivamente para *Alpha 1* y *Alpha 2*, las ecuaciones [24] y [25].

$$Fv_{\alpha 1} = \frac{100P+(C+(i+C)\frac{k1}{k2})(1+\alpha)-k_1\alpha(i+C)-\sqrt{(100P+(C+(i+C)\frac{k1}{k2})(1+\alpha)-k_1\alpha(i+C))^2-4(\frac{1+\alpha}{k2}-\alpha)\times(100Pk1(i+C)-(1+\alpha)(100k_1F-k_1C^2-ik_1C))}}{2\times(\frac{1+\alpha}{k_2}-\alpha)} \quad [24]$$

$$Fv_{\alpha 2} = \frac{100P+\frac{k_1}{k_2}(i+C)+C+k_1\alpha(i+C)+\alpha i\pm\sqrt{(100P+\frac{k_1}{k_2}(i+C)+C+k_1\alpha(i+C)+\alpha i)^2-4(\alpha+\frac{1}{k_2})k_1(100(Pi+PC-F)}}{2(\alpha+\frac{1}{k_2})} \quad [25]$$

El método de resumen de escenarios requiere el uso de ecuaciones adicionales para obtener el impacto en función del Factor de Visibilidad y de la probabilidad, y la probabilidad en función del Factor de Visibilidad y del impacto (ver el apartado Fórmulas 6.1.4 Formulación del Factor de Visibilidad).

Para *Alpha 1* se tiene:

$$i = \frac{100P(\frac{Fv_\alpha}{k_1}-C)+100F(1+\alpha)-(1+\alpha)(\frac{Fv_\alpha}{k_2}-C)(\frac{Fv_\alpha}{k_1}-C)+\alpha Fv_\alpha(\frac{Fv_\alpha}{k_1}-C)}{100P-(1+\alpha)(\frac{Fv_\alpha}{k_2}-C)+\alpha Fv_\alpha} \quad [26]$$

$$p = \left(\frac{F}{i-\frac{Fv_\alpha}{k_1}+C}+\frac{\frac{Fv_\alpha}{k_2}-C}{100}\right)\times(1+\alpha)-\alpha\times\frac{Fv_\alpha}{100} \quad [27]$$

Para *Alpha 2* se tiene (en la ecuación se abrevia Fv_α por γ):

$$i = \frac{-k_1(100P+C)+\frac{k1}{k2}\gamma+\alpha(\gamma-k_1C+k_1\gamma)+\sqrt{\left(k_1(100P+C)-\frac{k1}{k2}\gamma-\alpha(\gamma-k_1C+k_1\gamma)\right)^2-4k_1\alpha\left(100(k_1PC-P\gamma-k_1F)+\frac{\gamma^2}{k_2}\frac{k1}{k2}C\gamma-C\gamma+k_1C^2+\gamma^2\alpha-k_1C\gamma\alpha\right)}}{2k_1\alpha} \quad [28]$$

$$p = \frac{F}{i-\frac{\gamma}{k_1}+C} + \frac{\frac{\gamma}{k_2}-C}{100} - (i-\gamma)\alpha\frac{1}{100} \quad [29]$$

Fórmulas del apartado 6.2.2. Formulación del método de resumen de riesgos

Considerando un conjunto de n sucesos cuyos impactos y probabilidades respectivos son I_j y P_j, sus pesos son D_j, y considerando sus Factores de Visibilidad Fv_j obtenidos por aplicación de la fórmula [13], las fórmulas correspondientes a los pasos de cálculo descritos anteriormente son:

Paso 1: cálculo de los valores medios.

$$Fv_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} Fv_j \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} D_j} \quad [30]$$

$$I_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_j \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} D_j} \qquad P_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_j \times D_j}{\sum_{j=1}^{n} D_j} \quad [31]$$

Cuando no se utilizan pesos se tiene $\forall\, j$, $D_j = 1$ y $\sum_{j=1}^{n} D_j = n$

Paso 2: obtención del punto Ajuste I.

Dados I_m y Fv_m se calcula P_a utilizando la fórmula [17].

Paso 3: obtención del punto Ajuste P.

Dados P_m y Fv_m se calcula Ia utilizando la fórmula [16].

Paso 4: obtención de los valores medios correspondientes a los puntos Ajuste I y Ajuste P.

Estos puntos están definidos como I_m, P_a y como I_a, P_m, respectivamente. Se tiene entonces:

$$I_{ma} = \frac{I_m+I_a}{2} \qquad P_{ma} = \frac{P_m+P_a}{2} \quad [32]$$

Partiendo de estos valores se calcula Fv_a:

$$Fv_a = Fv(I_{ma}, P_{ma}) \quad [33]$$

Paso 5 final: aplicación de la corrección δ a los valores anteriores.

Se calcula la corrección δ:

$$\delta = \frac{Fv_m}{Fv_a} \qquad [34]$$

Y se obtienen los valores finales para el impacto y la probabilidad globales:

$$I_F = \delta \times I_{ma} \quad P_F = \delta \times P_{ma} \qquad [35]$$

Con estos valores se obtiene su Factor de Visibilidad Fv_f.

$$Fv_F = Fv(I_F, P_F) \qquad [36]$$

Y se cumple que $Fv_f = Fv_m$.

Se propone a continuación un ejemplo para mostrar detalladamente el proceso de cálculo propuesto anteriormente. Se consideran 10 eventos de riesgo, definiendo los eventos con valores aleatorios de 0 a 100 para los impactos y de 0 a 100% para las probabilidades. Se ha forzado de forma muy ligera el efecto Pareto obligando en los eventos 8 al 10 a que el impacto sea mayor que 50 y la probabilidad mayor que 50%. Se han asignado aleatoriamente pesos entre 1 y 5 a los eventos de riesgo. El escenario está definido en la Tabla 0-3.

Evento	Impacto	Probabilidad	Peso	Fv
1	7	19%	2	11
2	11	8%	5	9
3	81	95%	3	86
4	47	57%	2	51
5	19	7%	5	11
6	22	54%	5	29
7	55	4%	4	12
8	65	65%	5	65
9	72	63%	4	67
10	73	69%	2	71

Tabla 0-3. Escenario de estudio con 10 riesgos aleatorios

La aplicación de las fórmulas definidas en el apartado anterior genera los siguientes valores:

Fvm	Im	Pm	Ia	Pa	Ima	Pma	Fva	δ	If	Pf	Fvf
38	43	41%	36	35%	39	38%	39	0,987	39	37%	38

Tabla 0-4. Cálculo del resumen de riesgos para el escenario de ejemplo

ANEXO 2 – ANÁLISIS

Se describen los pasos detallados de análisis correspondientes a los apartados principales del texto, citando los apartados a que corresponden.

Análisis en el apartado 4.2.2. Método de análisis

Mediante un ejemplo se va a explicar detalladamente cómo se ha llevado a cabo el análisis descrito anteriormente, eligiendo un escenario aleatorio con 4 eventos de riesgo (Tabla 0-5).

Evento de riesgo	Impacto	Probabilidad	Impacto probable
A	226	7%	16
B	216	44%	95
C	898	13%	117
D	150	66%	99

Tabla 0-5. Escenario aleatorio con 4 eventos de riesgo

En la tabla, el impacto probable corresponde al producto del impacto por la probabilidad NPR. El valor esperado EV para el conjunto es la suma de valores NPR o valor SPIP, y resulta 326, según la fórmula [1].

$$EV = \sum_{i=1}^{4}(I_i \times P_i) = 326 \qquad [1]$$

Los posibles sucesos que este escenario podría producir son 24 (2^{NER}), y se elaboran y recogen en la Tabla 0 6 ordenados decrecientemente según su impacto resultante (impacto del suceso), análogamente a como se explicó en el apartado 3.7.2 «Enfoque probabilístico».

Suceso	Riesgos				Impacto suceso	Probabilidad suceso	Probabilidad acumulada
	A	B	C	D			
1	Sí	Sí	Sí	Sí	1.490	0,26%	100,0%
2	Sí	Sí	Sí	No	1.340	0,13%	99,7%
3	Sí	No	Sí	Sí	1.274	0,33%	99,6%
4	No	Sí	Sí	Sí	1.264	3,51%	99,3%
5	Sí	No	Sí	No	1.124	0,17%	95,8%

Suceso	Riesgos				Impacto suceso	Probabilidad suceso	Probabilidad acumulada
6	No	Sí	Sí	No	1.114	1,82%	95,6%
7	No	No	Sí	Sí	1.048	4,46%	93,8%
8	No	No	Sí	No	898	2,32%	89,3%
9	Sí	Sí	No	Sí	592	1,73%	87,0%
10	Sí	Sí	No	No	442	0,90%	85,3%
11	Sí	No	No	Sí	376	2,20%	84,4%
12	No	Sí	No	Sí	366	23,50%	82,2%
13	Sí	No	No	No	226	1,14%	58,7%
14	No	Sí	No	No	216	12,21%	57,5%
15	No	No	No	Sí	150	29,82%	45,3%
16	No	No	No	No	0	15,50%	15,5%

Tabla 0-6. Sucesos posibles con 4 eventos de riesgo sin correlación

En la columna «Impacto suceso» se suman en cada suceso los impactos Ii de los eventos que suceden. La columna «Probabilidad suceso» muestra la probabilidad de ocurrencia de cada suceso, que es el producto de las probabilidades individuales de los riesgos, supuestos independientes, considerando en cada suceso el valor Pi para los riesgos que acontecen y 1 - Pi para los que no, de modo que la suma de esta columna es siempre 100%. La columna «Probabilidad acumulada» se obtiene sumando para cada suceso su probabilidad y las de los sucesos situados debajo de él en la tabla.

De acuerdo con el nivel de confianza definido del 85% se acepta como valor del impacto real RV (con el nivel de confianza citado) el impacto del suceso cuya probabilidad acumulada es mayor o igual que el 85%. En este caso, corresponde al evento 10, cuyo impacto es RV = 442.

Según lo anterior, se obtiene que RV/EV = 442 / 326 = 1,36.

Esta relación es el coeficiente por el que habría que multiplicar EV en este caso para obtener un nivel de confianza del 85%. Puede comprobarse en la tabla anterior que al valor esperado EV le corresponde una probabilidad acumulada del 58,7%, lo que indica que ese valor esperado, que corresponde al cálculo SPIP, se verá superado en este ejemplo en un 41,3% de las ocasiones.

ANEXO 3 – FIGURAS COMPLEMENTARIAS

Se incluyen algunas figuras adicionales que no se han situado en el texto principal para facilitar su lectura, indicando el apartado al que corresponden.

Figuras del apartado 4.2.3.1. Sin correlación ni efecto Pareto

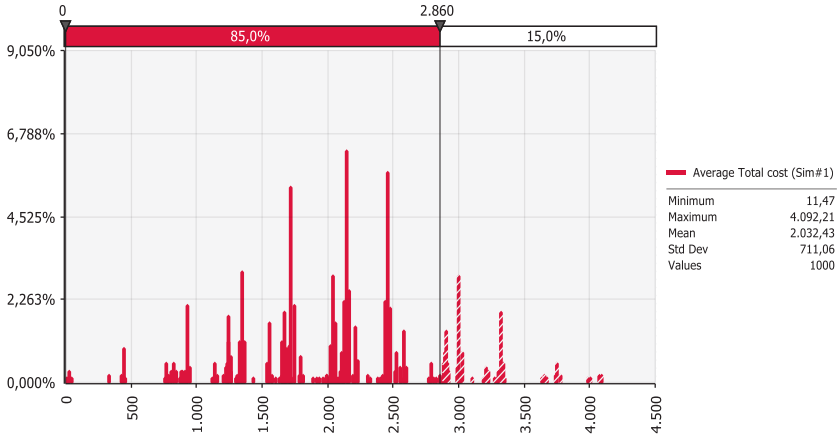

Figura 0-3. Distribución de RV para 10 eventos sin correlación ni Pareto

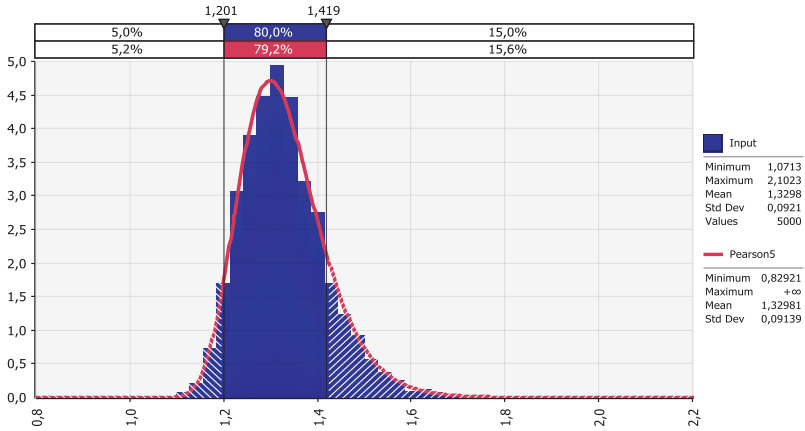

Figura 0-4. Distribución de RV/EV para 10 eventos sin correlación ni Pareto

Cuando el número de eventos del modelo NER aumenta, la distribución de salida de RV/EV tiende a ser normal. Con modelos de 50 eventos la distribución es Lognormal.

Esto no significa, sin embargo, que la distribución de los impactos RV resultantes evolucione de igual forma, como se muestra en los apartados 4.2.3.3, 8.2.3 y 8.2.4.

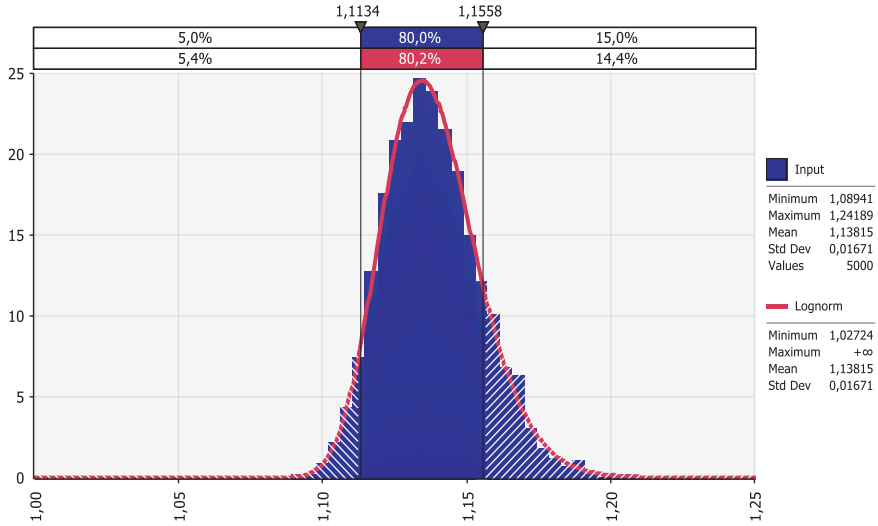

Figura 0-5. Distribución RV/EV para 50 eventos sin correlación ni Pareto

Figuras del apartado 4.2.3.2. Con correlación, sin efecto Pareto

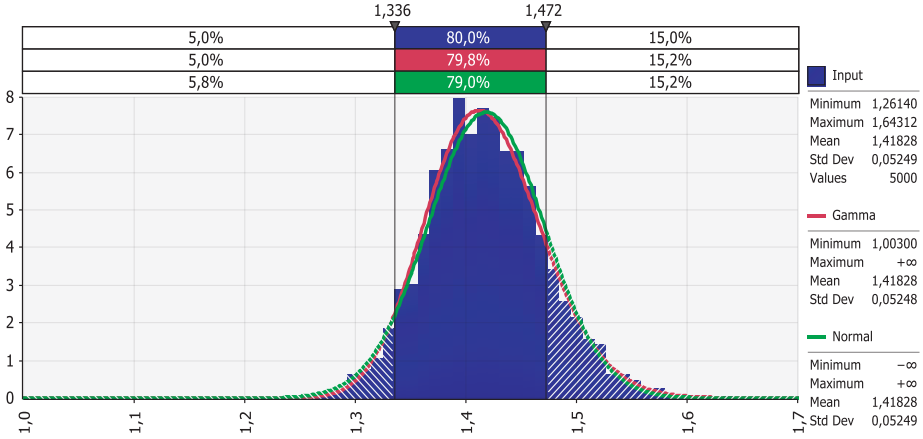

Figura 0-6. Distribución RV/EV para 50 eventos con correlación +0,4 sin efecto Pareto

Figuras del apartado 4.2.3.3. Con correlación y efecto Pareto

En las dos siguientes figuras puede apreciarse la adversa repercusión de la intensidad del efecto Pareto en el modelo de 50 eventos analizando el comportamiento del cociente RV/EV, comparando la gráfica correspondiente al caso de Pareto intenso con la gráfica del caso de Pareto ligero. Puede verse que, aunque la media sólo aumenta un 2%, el percentil 85 (valor R_{85}) aumenta un 9% y el valor máximo aumenta un 26%.

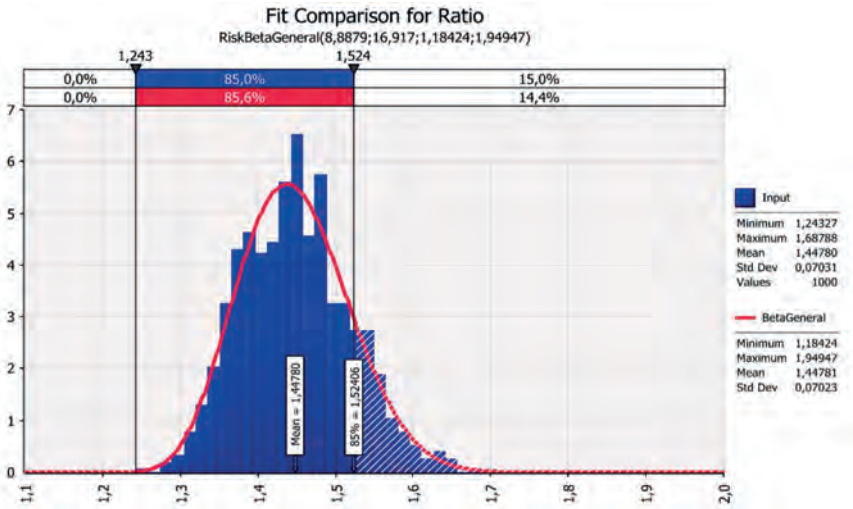

Figura 0-7. Distribución RV/EV para 50 eventos con efecto Pareto ligero

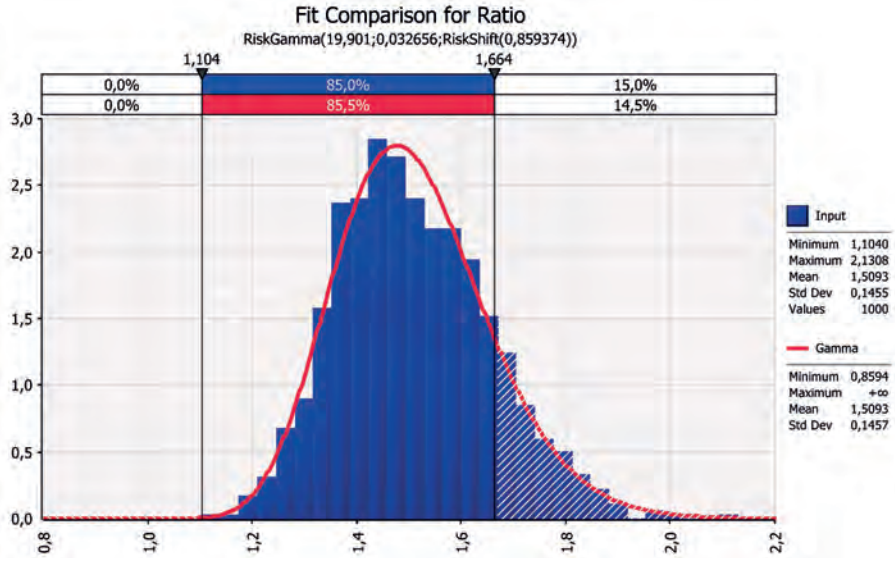

Figura 0-8. Distribución RV/EV para 50 eventos con efecto Pareto intenso

Se muestran a continuación los resultados RV del análisis de Monte Carlo correspondientes a ejemplos de los modelos estudiados elegidos aleatoriamente, habiéndose considerado en todos los casos una correlación uniforme de +0,4 y el efecto de Pareto ligero.

Para 19 eventos aún no se obtiene una distribución continua para el valor RV (Figura 0-6).

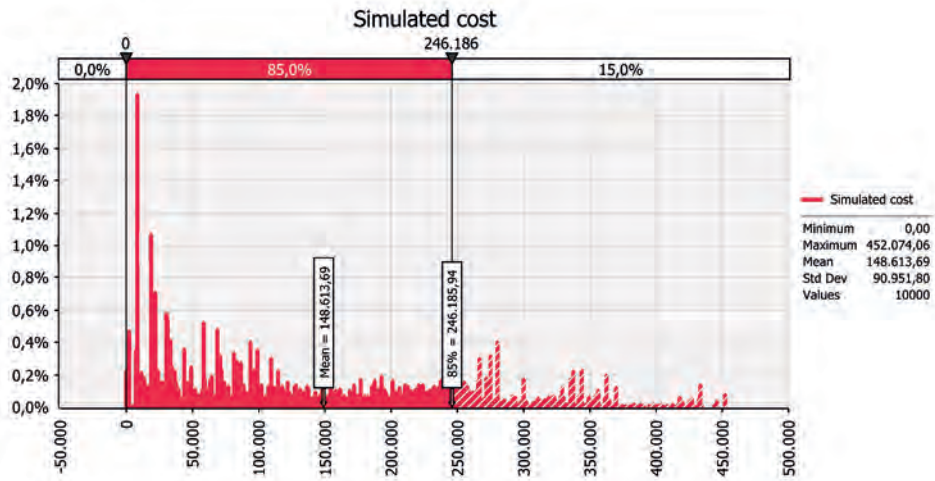

Figura 0-9. Distribución RV para 19 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

Con 30 eventos se obtiene para el ejemplo escogido una distribución RV que puede ser Beta o Kumaraswamy, y el cociente RV/EV es 1,54 en dicho ejemplo (Figura 0-7).

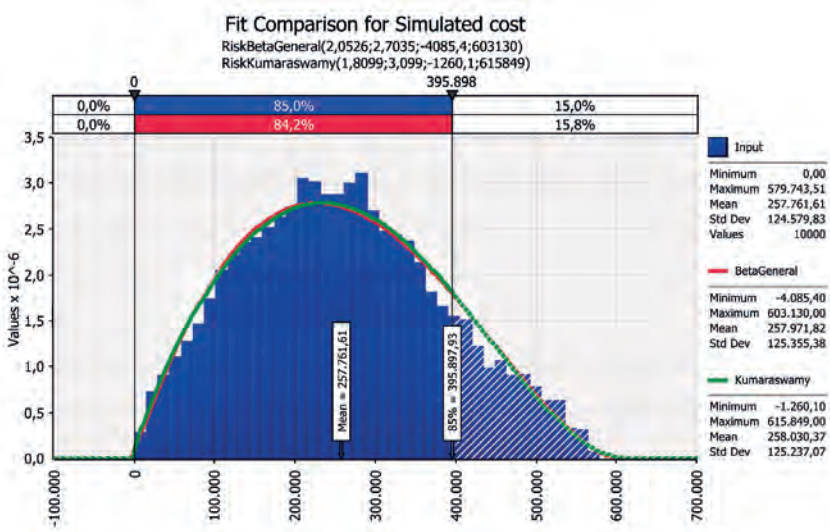

Figura 0-10. Distribución RV para 30 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

Con 50 eventos la distribución RV también es Beta o Kumaraswamy, y el cociente RV/EV es 1,46 en el ejemplo mostrado en la siguiente figura.

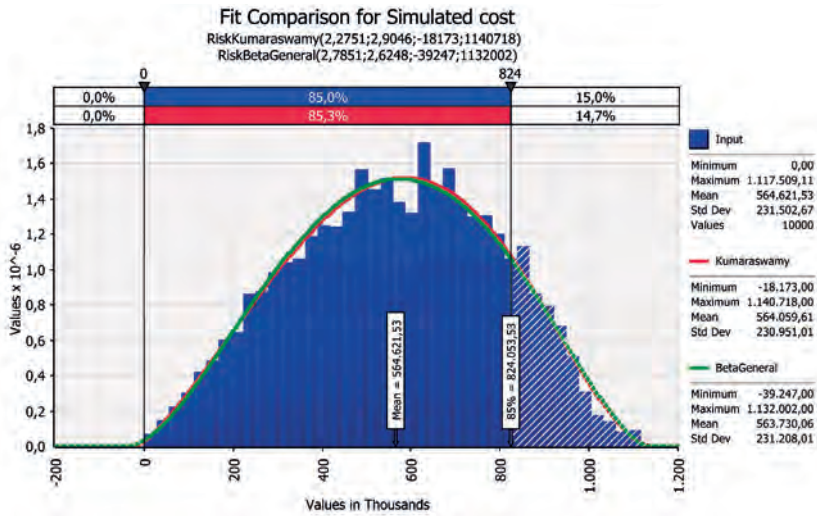

Figura 0-11. Distribución RV para 50 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

Con 100 eventos la distribución RV es Kumaraswamy, y el cociente RV/EV en el ejemplo es 1,40 (Figura 0-9). La función Beta también sería aceptable, pero proporciona una peor aproximación.

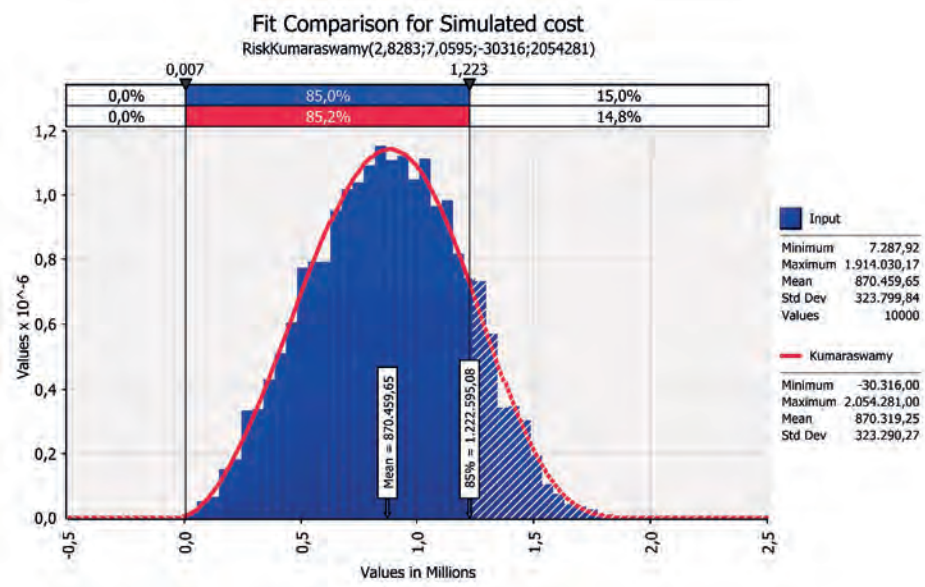

Figura 0-12. Distribución RV para 100 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

Con 300 eventos la distribución RV es Beta y el cociente RV/EV del ejemplo es 1,39 (Figura 0-10). La función Kumaraswamy, aunque aceptable, proporciona una peor aproximación.

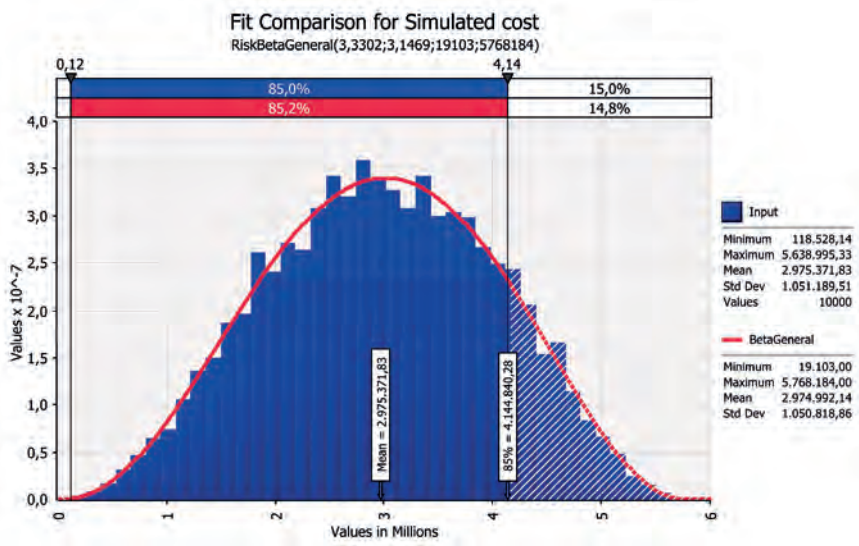

Figura 0-13. Distribución RV para 300 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

Con 500 eventos la distribución RV es Beta y el cociente RV/EV del ejemplo es 1,41 (Figura 0-11).

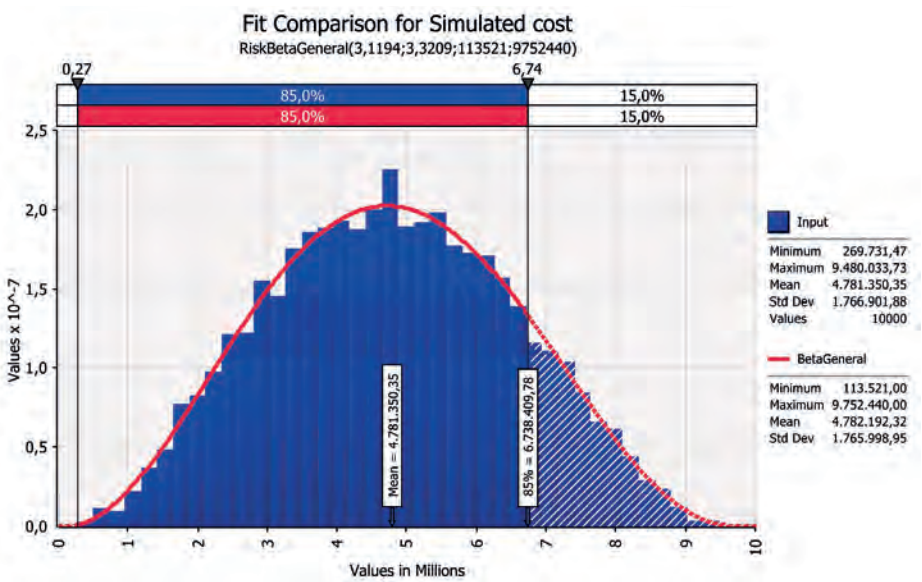

Figura 0-14. Distribución RV para 500 eventos con correlación +0,4 y efecto Pareto

ANEXO 4 – RESUMEN EJECUTIVO

Título:	Metodología de ayuda a la toma de decisiones en situaciones de riesgo.
Autor:	Fernando Vegas Fernández Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Resumen	La gestión de riesgos debe informar la toma de decisiones. Este trabajo aporta un nuevo indicador del riesgo, un método para resumir escenarios de riesgo complejos, y un coeficiente de seguridad para evitar el desbordamiento de la contingencia, situando la gestión de riesgos en la nueva era digital.
Palabras clave	Indicador riesgo; resumen escenario riesgos; contingencia; teorema del Límite Central; simulación Monte Carlo; regresión múltiple.
Abstract	Risk assessment should be a critical component of decision-making process. This paper proposes a new key risk indicator, a method to summarize risk scenarios, and a safety factor to avoid contingency overrun; these findings open the door for risk management to enter into the new digital age.
Keywords	Risk indicator; Risk scenario summary; contingency; Central Limit Theorem; Monte Carlo simulation; multivariate regression.
Fecha finalización	Junio de 2019

ANEXO 5 – TABLA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

Símbolo	Significado
AGERS	Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros
ANN	Artificial Neural Network
COSO	Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission
DT_a	Desviación típica del coste probable
DT_b	Desviación típica del coste posible
E_f	Coeficiente de seguridad que, aplicado al valor SPIP, proporciona un valor que tiene una probabilidad del 85% de no ser sobrepasado en la práctica Ecuación que proporciona el valor R_{85} en función de NER
E'_f	Ecuación modificada que proporciona el coeficiente de seguridad R_{85} en función de la distribución probabilística de los costes
ETVE	Entidades de tenencia de valores extranjeros
EV	Valor esperado correspondiente a la suma SPIP (del inglés, *expected value)*
FERMA	Federation of European Risk Management Associations
Fv	Factor de Visibilidad
IGREA	Iniciativa Gerentes de Riesgo Españoles Asociados
IIR	Índice de Importancia Relativa
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Process Indicator
KRI	Key Risk Indicator
N_{80}	Número de eventos que totalizan el 80% del coste probable
N_{90}	Número de eventos que totalizan el 90% del coste probable
NER	Número de eventos de riesgo
NPR	Número de prioridad del riesgo
PMI	Program Management Institute
R_{85}	Percentil 85 de la distribución de valores RV/EV obtenidos para los escenarios generados aleatoriamente correspondientes a un modelo dado Coeficiente de seguridad que, aplicado al valor SPIP, proporciona un valor que tiene una probabilidad del 85% no ser sobrepasado en la práctica
RV	Riesgo real: impacto cuya probabilidad de no ser superado es el 85%
RV/EV	Relación entre el impacto esperable con un nivel de confianza del 85% y el valor determinista esperado SPIP
SPIP	Suma de los productos de impacto por probabilidad para todos los riesgos

BIBLIOGRAFÍA

Abdelghany, Y., and Ezeldin, A. S. (2010): «Classification of Risks for International Construction Joint Ventures (ICJV) Projects». *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, ASCE, Banff, Alberta, Canada, 1254–1263.

Addo, J. N. T. (2015): «Determination of contingency sum for building projects in Ghana». *African Journal of Applied Research,* 1(1), 248–261.

AIRMIC/ALARM/IRM (2010): «A structured approach to Enterprise Risk Management and the requirements of ISO 31000». <http://www.ferma.eu/app/uploads/2011/10/a-structured-approach-to-erm.pdf> (Apr. 27, 2016).

Akinsola, A. O. (1997): «An Intelligent Model of Variations' Contingency on Construction Projects». *University of Wolverhampton*, University of Wolverhampton, Wolverhampton, UK.

Al- Bahar, J. F., and Crandall, K. C. (1990): «Systematic Risk Management Approach for Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management,* 116(3), 533–546.

Alcocer-Yamanaka, V. H.; Rodríguez-Varela, J. M.; Bourguett-Ortiz, V. J.; Llaguno-Guilberto, O. J., and Albornoz-Góngora, P. M. (2016): «Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas». *Tecnología y ciencias del agua*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 7(5), 33–55.

Alonso, F. G. (2005): «Gerencia de riesgos». *Anales de Mecánica y electricidad*, 82, 32-34.

Álvarez, G. (2001): «Operational Risk Quantification Mathematical Solutions for Analyzing Loss Data». *Citeseerx*, Citeseer, (May).

Amade, B.; Akpan, E. O. P.; Ukwuoma, F. P. O., and Alajemba, C. C. (2013): «Project Cost Contingency in the Nigerian Construction Industry». *International Journal of Research in Management Science and Technology*, 2(2), 9–21.

AMRAE (2013): «The Risk Manager Framework». <http://www.amrae.fr/sites/default/files/fichiers_upload/RiskManagerFramework_AMRAE_2013_0.pdf> (Apr. 27, 2016).

Amusan, L.; Joshua, O., and Oloke, O. (2013): «Performance of Build-operate-Transfer Projects: Risks' cost implications from professionals and concessionaires perspective». *European International Journal of Science and Technology*, Covenant University, 2(3), 239-250.

ANRA (2011): «Risk Management Standards and ISO 31000. ANRA Position Paper». <http://www.strategicagroup.com/includes/pdf/Anra_Position_Paper.pdf> (Apr. 27, 2016).

ANSI/ASIS/RIMS (2015): «Risk Assessment». *American National Standard,* RA.1-2015.

AON (2019): «AON Risk Map». <https://www.riskmaps.aon.co.uk/mSite/political_map> (Feb. 28, 2019).

Arikan, A. E. (2005): «Development of a risk management decision support system for international construction projects». *Middle East Technical University*, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Arjona, Á. (2015): «La función de auditoria interna, la gestión de riesgos y el control interno: motores del cambio en las empresas del siglo xxi». CEU Universidad San Pablo, Madrid, Spain.

Arnheim, R. (1969): Visual thinking. University of California Press, Los Angeles, CA, USA.

Arunraj, N. S.; Mandal, S., and Maiti, J. (2013): «Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation». *Accident Analysis & Prevention*, Elsevier, 55(2013), 242–255.

Asadi, S. S., and Eswara Rao, V. (2018): «An integrated approach to a critical analysis of risk management in construction projects». *International Journal of Civil Engineering and Technology*, IAEME, 9(3), 20–28.

Aven, T. (2018): «Reflections on the Use of Conceptual Research in Risk Analysis». *Risk Analysis, Wiley Online Library*, 38(11), 2415-2423.

Babatola, M. (2004): «Developing a KRI Program: Guidance for the Operational Risk Manager». <http://fsroundtable.org/wp-content/uploads/2015/07/KRIprogram0904.pdf> (Jun. 6, 2016).

Baccarini, D. (2005): «Estimating Project Cost Contingency–Beyond the 10% syndrome». *Australian Institute of Project Management Conference* …, AIPM, Melbourne, Australia.

Baccarini, D., and Love, P. E. D. (2014): «Statistical Characteristics of Cost Contingency in Water Infrastructure Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 140(3), 04013063.

Bakhshi, P., and Touran, A. (2012): «A New Approach for Contingency Determination in a Portfolio of Construction Projects». *Journal of Risk Analysis and Crisis Response,* Atlantis Press, 2(4), 223-232.

Bakhshi, P., and Touran, A. (2014): «An overview of budget contingency calculation methods in construction industry». *Procedia Engineering*, Elsevier, 85(2014), 52-60.

Banaitiene, N. (2012): *Risk Management - Current Issues and Challenges.* InTech, InTech, Rijeka, Croatia.

Bañuls, V. A.; López, C.; Turoff, M., and Tejedor, F. (2006): «Predicting the Impact of Multiple Risks on Project Performance: A Scenario-Based Approach». *Project Management Journal,* 48(5), 95-114.

Barraza, G. A. (2011): «Probabilistic Estimation and Allocation of Project Time Contingency». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 137(4), 259-265.

Barraza, G. A., and Bueno, R. A. (2007): «Cost Contingency Management». *Journal of Management in Engineering*, 23(3), 140-146.

Batanero, C. (2006): *Razonamiento probabilístico en la vida cotidiana: un desafío educativo. Sociedad de Educación Matemática Thales,* (P. Flores and J. Lupiáñez, eds.), Sociedad de Educación Matemática Thales, Granada, Spain.

Beasley, M. S.; Branson, B. C., and Hancock, B. V. (2010): «Developing key risk indicators to strengthen enterprise risk management. How key risk indicator can sharpen focus on emerging risks». C. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, ed., The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, COSO, Durham, NC 27707, USA, 1-20.

Beeston, D. (1986): «Combining risks in estimating». *Construction Management and Economics,* Routledge, 4(1), 75-79.

Bello, W. A., and Odusami, K. T. (2008): «The Practice of Contingency Allocation in Construction Projects in Nigeria». *The construction and building research*, RICS COBRA, ed., Royal Institution of Chartered Surveyors, Dublin, 1-15.

Bello, W. A., and Odusami, K. T. (2013): «Weak management of the predictability of contingency allowance in construction projects in Nigeria». *29th Annual Association of Researchers in Construction Management Conference, ARCOM 2013*. D. Smith, S.D and Ahiaga-Dagbui, ed., Association of Researchers in Construction Management, 969–978.

Berner, C. L.; Staid, A.; Flage, R., and Guikema, S. D. (2017): «The Use of Simulation to Reduce the Domain of "Black Swans" with Application to Hurricane Impacts to Power Systems». *Risk Analysis*, Wiley Online Library, 37(10), 1879-1897.

Bhargava, A.; Anastasopoulos, P. C.; Labi, S.; Sinha, K. C., and Mannering, F. L. (2010): «Three-Stage Least-Squares Analysis of Time and Cost Overruns in Construction Contracts». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 136(11), 1207-1218.

Boin, A., and Hart, P. 't. (2003): «Public leadership in times of crisis: mission impossible?». *Public Administration Review*, 63(5), 544-553.

Borysiewicz, M.; Kowal, K., and Potempski, S. (2015): «An application of the value tree analysis methodology within the integrated risk informed decision making for the nuclear facilities». *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, 139, 113-119.

Bouayed, Z. (2016): «Using Monte Carlo simulation to mitigate the risk of project cost overruns». *International Journal of Safety and Security Engineering*, WIT Press, 6(2), 293-300.

Bowers, J. A. (1994): "Data for project risk analyses." International Journal of Project Management, Elsevier, 12(1), 9–16.

Brito, R., and Rodríguez-Navarro, A. (2018): «Evaluating research and researchers by the journal impact factor: is it better than coin flipping?». *arXiv Digital Libraries*, Cornell University Library, 1-21.

Bromiley, P.; McShane, M.; Nair, A., and Rustambekov, E. (2015): «Enterprise risk management: Review, critique, and research directions». *Long range planning*, Elsevier, 48(4), 265-276.

Buzan, T. (2004): *Cómo crear Mapas Mentales* (Ediciones Urano, S.A., ed.). Ediciones Urano, Barcelona, Spain.

Card, S. K.; Mackinlay, J. D., and Schneiderman, B. (2014): *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think. San Francisco: Morgan Kaufmann*. (Morgan Kaufmann, ed.), Morgan Kaufmann, San Francisco.

Carpio de los Pinos, A. J., and González García, M. de las N. (2017): «Critical analysis of risk assessment methods applied to construction works». *Revista de la Construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 16(1), 104-114.

CEB Risk Management Leadership Council (2013): «A Guide to Risk Rating Criteria». *Annual Executive Retreat*, CEB Risk Management Leadership Council, London, UK.

CEB Risk Management Leadership Council (2015): «Align decisions with risk appetite». *Annual Executive Retreat*, CEB Risk Management Leadership Council, London, UK, 1-81.

Cheng, M., and Lu, Y. (2015): «Developing a risk assessment method for complex pipe jacking construction projects». *Automation in Construction*, Elsevier, 58(2015), 48-59.

Chicaíza, L.; García, M., and Romano, G. (2011): «Risk aversion in medical decision making: a survey. Lecturas de Economía. Universidad de Antioquía. Colombia». *Lecturas de Economía*, 71(1), 163-185.

Cioffi, D. F., and Khamooshi, H. (2009): «A practical method of determining project risk contingency budgets». *Journal of the Operational Research Society*, 60(4), 565-571.

Cook, J. J. (2006): «Estimating Required Contingency Funds for Construction Projects Using Multiple Linear Regression». *Air Force Institute of Technology*, OH, USA.

Creedy, G. D.; Skitmore, M., and Wong, J. K. W. (2010): «Evaluation of Risk Factors Leading to Cost Overrun in Delivery of Highway Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 136(5), 528-537.

Cretu, O.; Stewart, R., and Berends, T. (2011): «The risk based estimate». *Risk Management for Design and Construction*, Wiley, Hoboken, New Jersey, USA.

Curtis, P., and Carey, M. (2012): «Develop Assessment Criteria». *Risk Assessment in Practice*. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, COSO, Durham, NC 27707, USA.

Dandage, R. V.; Mantha, S. S.; Rane, S. B., and Bhoola, V. (2018): «Analysis of interactions among barriers in project risk management». *Journal of Industrial Engineering International*, Springer Berlin Heidelberg, 14(1), 153-169.

Daston, L. J. (1988): «La domesticación del riesgo. Probabilidad matemática y seguros (1650-1830)». *Llull,* 11(20), 19-50.

De-Frutos-Torres, B., and Marcos-Santos, M. (2017): «Disociación entre las experiencias negativas y la percepción de riesgo de las redes sociales en adolescentes». *El Profesional de la Información*, 26(1), 88-96.

Deng, F., and Smyth, H. (2013): «Contingency-Based Approach to Firm Performance in Construction: Critical Review of Empirical Research». *Journal of Construction Engineering and Management,* ASCE, 139(10), 04013004.

Diab, M. F.; Varma, A., and Panthi, K. (2017): «Modeling the Construction Risk Ratings to Estimate the Contingency in Highway Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 143(8), 04017041.

Diekmann, J. E. (1983): «Probabilistic Estimating: Mathematics and Applications». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 109(3), 297-308.

Dikmen, I.; Birgonul, M. T., and Arikan, A. E. (2004): «A Critical Review of Risk Management Support Tools». *20th Annual ARCOM Conference*, 1145-1154.

— (2006): «Application of An Integrated Risk Management System (IRMS) to An International Construction Project». 22nd Annual ARCOM Conference, D. Boyd, ed., Association of Researchers in Construction Management, Birmingham, UK, 153–163.

Dumbrava, V. (2013): «Using Probability - Impact Matrix in Analysis and Risk Assessment Projects». *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology*, ScientificPapers.org, 2013(Special Issue), 76-96.

Dziadosz, A., and Rejment, M. (2015): «Risk Analysis in Construction Project-Chosen Methods». *Procedia Engineering*, Elsevier, 122, 258-265.

EcoDa/IFC. (2015): «A Guide to Corporate Governance Practices in the European Union». <http://ecoda.org/uploads/media/A_Guide_to_Corporate_Governance_Practices_of_the_European_Union_-_IFC_ecoDa_01.pdf> (Apr. 27, 2016).

Elbarkouky, M. M. G.; Fayek, A. R.; Siraj, N. B., and Sadeghi, N. (2016): «Fuzzy arithmetic risk analysis approach to determine construction project contingency». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 142(12), 4016070.

Emovon, I.; Norman, R. A.; Murphy, A. J., and Pazouki, K. (2015): «An integrated multicriteria decision making methodology using compromise solution methods for prioritising risk of marine machinery systems». O*cean Engineering*, Elsevier, 105, 92-103.

Ergin, A. A. (2005): «Determination of Contingency for International Constructional Projects During Bidding Stage». *MSc Thesis in Civil Engineering*, Middle East University, Ankara, Turkey.

Ernevad, K. D. (2014): «Suitability for Quantitative Risk Analysis in Small Company Business Expansion Project: Cost Estimation Decision Model». Royal Institute of Technology MSc, Stockholm, Sweden.

Everson, M. E. A.; Chesley, D. L.; Martens, F. J.; Bagin, M.; Katz, H.; Sylvis, K. T.; Perraglia, S. J.; Zelnik, K. C., and Grimshaw, M. (2017): *Enterprise Risk Management - Integrating with Strategy and Performance. Executive Summary.* The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, COSO, Jersey City, NJ, USA.

EY (2013): «Turning risk into results». <http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Turning_risk_into_results/$FILE/Turning risk into results_AU1082_1 Feb 2012.pdf> (Apr. 27, 2016).

FERMA/ECIIA (2014): «Audit and Risk Committees - News from EU Legislation and Best Practices». <http://www.ferma.eu/app/uploads/2014/10/ECIIA_FERMA_Brochure_v8.pdf> (Apr. 27, 2016).

FERMA (2014): «European Risk and Insurance Report. Executive Summary of the FERMA Risk Management. Benchmarking survey 2014. 7th edition». FERMA, <http://www.ferma.eu/about/publications/benchmarking-surveys/benchmarking-survey-2014/> (Apr. 27, 2016).

FERMA (2016): «European Risk and Insurance Report 2016». FERMA, <https://www.ferma.eu/sites/default/files/2017-08/FERMA ERIR 2016_VF_26_10_2016_0.pdf> (Apr. 15, 2019).

Fernández-Sánchez, G., and Rodríguez-López, F. (2010): «A methodology to identify sustainability indicators in construction project management - Application to infrastructure projects in Spain». *Ecological Indicators*, Elsevier, 10(6), 1193-1201.

Fernández Sánchez, G. (2010): «Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil». Universidad Politécnica de Madrid.

Ford, D. N. (2002): «Achieving Multiple Project Objectives through Contingency Management». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 128(1), 30-39.

Fuertes Peña, J., and Romero Rubio, J. C. (2003): «Análisis comparativo de los principales métodos de evaluación del riesgo de incendio». *Seguridad y Salud en el Trabajo*, INSHT (Instituto Nacional de Seguridad Salud y Bienestar en el Trabajo), 25, 12-17.

Fung, I. W. H.; Tam, V. W. Y.; Lo, T. Y., and Lu, L. L. H. (2010): «Developing a risk assessment model for construction safety». *International Journal of Project Management*, Elsevier, 28(6), 593-600.

Gandhi, S. J.; Gorod, A., and Sauser, B. (2012): «Prioritization of outsourcing risks from a systemic perspective». *Strategic Outsourcing: An International Journal*, EmeraldInsight, 5(1), 39-71.

Ghazali, M.; Ayub, A., and Othman, A. R. (2013): «Preschool Children's Representation of Numbers on a Linear Number Line: Implications to Teaching and Learning of Number Concepts». IOSR Journal Of Humanities And Social Science, International Organization Of Scientific Research (IOSR), 14(6), 87-92.

Goodpasture, J. (2004): «Special Topics in Quantitative Management». *Quantitative Methods in Project Management,* J. Ross Publishing, Plantation, FL 33324, USA.

Grishunin, S., and Suloeva, S. (2016): «Development of project risk rating for telecommunication company». *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems*, Springer, St. Petersburg, Russia, 752-765.

Grundke, P. (2010): «Top-down approaches for integrated risk management: How accurate are they?». *European Journal of Operational Research*, Elsevier, 203(3), 662-672.

Gul, M., and Ak, M. F. (2018): «A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment». *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, 196, 653-664.

Günhan, S., and Arditi, D. (2007): «Budgeting Owner's Construction Contingency». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 133(7), 492-497.

Hamid, R. A., and Kehinde, F. J. (2017): «Choosing an Appropriate Contingency Sum Estimating». *Planning Malasia Journal*, 15(1), 13-20.

Han, S. H.; Diekmann, J. E., and Ock, J. H. (2005): «Contractor's Risk Attitudes in the Selection of International Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management,* ASCE, 131(3), 283-292.

Hillson, D., and Murray-Webster, R. (2004): «General Principles of Risk Attitudes». *Understanding and Managing Risk Attitude.* Gpmfirst, Farnham, GU9 7PT,UK.

Hobbs, B., and Petit, Y. (2016): «Agile Methods on Large Projects in Large Organizations». *Project Management Journal*, 48(3), 3-19.

Hollmann, J. K. (2009): «Risk analysis and contingency determination using expected value». *American Association of Cost Engineering (AACE International),* American Association of Cost Engineering (AACE International), 44R-08, 1-14.

Hoyt, R. E., and Liebenberg, A. P. (2011): «The Value of Enterprise Risk Management». *Journal of Risk and Insurance*, Blackwell Publishing Inc, 78(4), 795-822.

Hruškovič, P. (2011): «Método para identificar causas de problemas técnicos de proyecto geotécnico». Universidad Politécnica de Madrid.

Hubbard, D., and Evans, D. (2014): «Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment». *IBM Journal of Research and Development,* IBM, 54(3), 2: 1-2: 10.

Huidobro, J.; Heredia, B.; Salmona, M., and Alvarado, L. (2009): «Inclusión en la gestión de riesgos en el estudio de ofertas para licitaciones de proyectos de construcción». *Revista de la Construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 8(2), 27-37.

Imbeah, W., and Guikema, S. (2009): «Managing Construction Projects Using the Advanced Programmatic Risk Analysis and Management Model». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 135(8), 772-781.

Ingram, D., and Thompson, M. (2012): «What's Your Risk Attitude? Harvard Business Review». *Harvard Business Review*, (Dec 22, 2016).

Institution of Civil Engineers and Institute and Faculty of Actuaries (2004): *Risk Analysis and Management for Projects: A strategic framework for managing project risk and its financial implications. Risk Analysis and Management for Projects* (3ª, ed.), ICE Publishing, London, GB.

International Organization for Standardization (ISO) (2009a): «Risk management - Vocabulary». International Organization for Standardization, International Organization for Standardization, (73:2009).

— (2009b): «Risk management - Risk assessment techniques». *International Organization for Standardization*, International Organization for Standardization, ISO 31010:(31010:2009).

— (2018): «Risk Management - Guidelines». *International Organization for Standardization*, International Organization for Standardization, ISO 31000:(31000:2018).

International SOS (2016): «Travel risk map 2017». *International SOS*, 2017-12-26, <https://www.travelriskmap.com/#/planner/map/medical> (Dec. 26, 2017).

— (2017): «Risk ratings definition». *International SOS,* <https://www.internationalsos.com/risk-outlook/risk-ratings-definitions> (Dec. 26, 2017).

Ivanets, O. (2017): «Systemic Risk Index–Integrated Indicator of Financial Sustainability». *European Journal of Sustainable Development*, 6(4), 502-510.

Jarkas, A. M., and Haupt, T. C. (2015): «Major construction risk factors considered by general contractors in qatar». *Journal of Engineering, Design and Technology,* Emerald Group Publishing Limited, 13(1), 165-194.

Jayasudha, K., and Vidivelli, B. (2016): «Analysis of Major Risks in Construction Projects». *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences,* Asian Research Publishing Network (ARPN), 11(11), 6943-6950.

Jung, J. H.; Kim, D. Y., and Lee, H. K. (2016): «The computer-based contingency estimation through analysis cost overrun risk of public construction project». *KSCE Journal of Civil Engineering*, Springer, 20(4), 1119-1130.

Kaplinski, O. (2013): «Risk management of construction works by means of the utility theory: A case study». *Procedia Engineering*, Elsevier, 57, 533-539.

Karakhan, A. A., and Gambatese, J. A. (2017): «Identification, Quantification, and Classification of Potential Safety Risk for Sustainable Construction in the United States». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 143(7), 04017018.

KarimiAzari, A.; Mousavi, N.; Mousavi, S. F., and Hosseini, S. (2011): «Risk assessment model selection in construction industry». *Expert Systems with Applications,* Elsevier, 38(8), 9105-9111.

Konduru, K.; Shurtleff, A. C.; Bavari, S., and Kaplan, G. (2018): «High degree of correlation between Ebola virus BSL-4 neutralization assays and pseudotyped VSV BSL-2 fluorescence reduction neutralization test». *Journal of Virological Methods*, Elsevier, 254(2018), 1-7.

Kranton, R. (2005): «Measuring Risk Aversion». *Money Management,* Duke University School of Medicine, <http://public.econ.duke.edu/~rek8/econ604/lecturenotes/topic2notesparttwo.pdf> (Dec. 2, 2016).

Kwak, Y. H., and Ingall, L. (2007): «Exploring Monte Carlo simulation applications for project management». *Risk Management*, Springer, 9(1), 44-57.

Lam, T. Y. M., and Siwingwa, N. (2017): «Risk management and contingency sum of construction projects». *Journal of Financial Management of Property and Construction,* EmeraldInsight, 22(3), 237-251.

Laryea, S., and Hughes, W. (2007): «The price of risk in construction projects : choosing of an appropriate research methodology». *22nd Annual ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management*, Birmingham, 51-62.

Leceta Ostolaza, A. (2014): «Consideraciones y recomendaciones para el diseño de estructuras bajo amenaza de tsunamis». Universidad Politécnica de Madrid.

Leung, M.; Liang, Q., and Chan, I. Y. S. (2017): «Development of a Stressors–Stress–Performance–Outcome Model for Expatriate Construction Professionals». *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5), 4016111-4016121.

Levin, J. (2006): «Choice under uncertainty». <http://web.stanford.edu/~jdlevin/Econ 202/Uncertainty.pdf>.

Lhee, S. C. (2014): «Finding Significant Factors to Affect Cost Contingency on Construction Projects Using ANOVA Statistical Method». *Architectural Research,* Architectural Institute of Korea, 16(2), 75-80.

Lhee, S. C.; Issa, R. R. A., and Flood, I. (2012): «Prediction of Financial Contingency for Asphalt Resurfacing Projects using Artificial Neural Networks». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 138(1), 22-30.

Likert, R. (1932): «A technique for the measurement of attitudes». *Archives of Psychology*, 22(140), 21-55.

Lin, Y.; MacMinn, R. D.; Tian, R., and Yu, J. (2017): «Pension Risk Management in the Enterprise Risk Management Framework». *Journal of Risk and Insurance*, 84(S1), 345-365.

Liu, J.; Meng, F., and Fellows, R. (2015): «An exploratory study of understanding project risk management from the perspective of national culture». *International Journal of Project Management,* Elsevier, 33(3), 564-575.

Liu, M.; Griffis, F. H., and Bates, A. J. (2013): «Compensation structure and contingency allocation in integrated project delivery». *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 1.

Love, P. E. D.; Sing, C. P.; Carey, B., and Kim, J. T. (2015): «Estimating Construction Contingency: Accommodating the Potential for Cost Overruns in Road Construction Projects». *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 21(2), 04014035.

Lundy, D. E. (2012): «Degrees of Quality: A Method for Quantifying Aesthetic Impact». *Psychology Research*, 2(4), 205-221.

Mahmood, S.; Azhar, S., and Ahmad, I. (2002): «Evaluación de las Prácticas de Gestión de Riesgo de los Contratistas Generales de Florida». *Revista Ingeniería de Construcción*, Pontificia Universidad Católica de Chile Chile, 17(1), 60-70.

Mak, S., and Picken, D. (2000): «Using risk analysis to determine construction project contingencies». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 126(2), 130-136.

Mantovani, G. M.; Corò, G.; Gurisatti, P., and Mestroni, M. (2014): «Toward an Integrated Rating Methodology for Corporate Risk Detection». *Journal of Business Economics and Finance*, PressAcademia, 3(1), 18-49.

De Marco, A.; Rafele, C., and Thaheem, M. J. (2016a): «Dynamic Management of Risk Contingency in Complex Design-Build Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(2), 4015080.

De Marco, A., Rosso, M., and Narbaev, T. (2016b): «Nonlinear cost estimates at completion adjusted with risk contingency». *The Journal of Modern Project Management*, 4(2), 24-33.

Di Marco, M. K.; Taylor, J. E., and Alin, P. (2010): «Emergence and role of cultural boundary spanners in global engineering project networks». *Journal of Management in Engineering*, 26(3), 123-132.

McCowan, A. K., and Mohamed, S. (2007): «Decision support system to evaluate and compare concession options». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 133(2), 114-123.

Meli, R. (1999): «Risks, requirements and estimation of a software project». *Escom-Scope 99*, Shaker Publishing, Herstmonceux Castle, East Sussex, England, 27-29.

Métayer, Y., and Hirsch, L. (2008): *Primeros pasos en la gestión de riesgos. Asociación Española de Normalización y Certificación* (AENOR, ed.), AENORediciones, Madrid, Spain.

Meulbroek, L. K. (2002): *Integrated risk management for the firm: a senior manager's guide* (Harvard Business School, ed.), Harvard Business School, Boston, MA, USA.

Mikes, A. (2009): «Risk management and calculative cultures». *Management Accounting Research*, 20(1), 18-40.

Mikulecky, M. (2004): «PREHĽADNÉ ČLÁNKY * REVIEW ARTICLES Confidence and tolerance intervals - a tool for biomedical data analysis aimed at clear evidence». *Cardiol*, 13(4), 211-215.

Mills, A. (2001): «A systematic approach to risk management for construction». *Structural Survey*, MCB UP Ltd, 19(5), 245-252.

Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, G. de E. (2019): «El sector exterior en 2018». *Boletín Económico de Información Comercial Española,* Gobierno de España, 3112(1-30 junio), 1-308.

Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, G. de E. (2012): *Magerit V3: Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información*. Gobierno de España, Madrid, Spain.

Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social, G. de E. (1993): «NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente». *Notas Técnicas de Prevención,* (S. y B. en el T. (INSSBT) Instituto Nacional de Seguridad, ed.), Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT), Madrid.

Mishra, S., and Mishra, B. (2016): «A Study on Risk Factors Involved in the Construction Projects». *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,* 5(2), 1190-1196.

Molenaar, K. R. (2005): «Programmatic Cost Risk Analysis for Highway Megaprojects». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 131(3), 343-353.

Montibeller, G., and von Winterfeldt, D. (2015): «Cognitive and Motivational Biases in Decision and Risk Analysis». *Risk Analysis*, 35(7), 1230-1251.

Moselhi, O. (1997): «Risk assessment and contingency estimating». *AACE International Transactions*, AACE, 1997, 90-95.

Moselhi, O., and Deb, B. (1993): «Project selection considering risk». *Construction Management and Economics,* Routledge, 11(1), 45-52.

Murakami, M.; Tsubokura, M.; Ono, K., and Maeda, M. (2018): «New 'loss of happy life expectancy' indicator and its use in risk comparison after Fukushima disaster». *Science of the Total Environment,* Elsevier, 615, 1527-1534.

NASA (2011): «Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners. NASA/SP-2011-3421. 2011 Dec». <https://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/SP20113421.pdf>.

Nassar, K. (2002): «Cost Contingency Analysis for Construction Projects Using Spreadsheets». *Cost Engineering*, AACE International, 44(9), 26-31.

Neumann, J. von, and Morgenstern, O. (1944): *Theory of Games and Economic Behavior.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

Nevada Department of Transportation (2012): «Risk management and risk-based cost estimation guidelines». <http://www.nevadadot.com/home/showdocument?id=4518>.

Nicol, S., and Chadès, I. (2017): «A preliminary approach to quantifying the overall environmental risks posed by development projects during environmental impact assessment». *Plos one*, Plos, 12(7), e0180982.

Van Niekerk, M., and Bekker, J. (2014): «Developing a tool for project contingency estimation in a large portfolio of construction projects». *South African Journal of Industrial Engineering*, 25(3), 96-111.

Nieto-Morote, A., and Ruz-Vila, F. (2011): «A fuzzy approach to construction project risk assessment». *International Journal of Project Management*, Elsevier, 29(2), 220-231.

Nomura, K. (2003): «Managing risks in airline industry». *Japan and the World Economy*, Elsevier, 15(4), 469-479.

Øien, K. (2001): «A framework for the establishment of organizational risk indicators». *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, 74(2), 147-167.

Okan, Y.; Stone, E. R., and Bruine de Bruin, W. (2018): «Designing graphs that promote both risk understanding and behavior change». *Risk Analysis*, Wiley Online Library, 38(5), 929-946.

Olmeda-Gómez, C. (2014): «Visualización de información». *El Profesional de la Informacion*, 23(3), 213-220.

OpRisk Advisory, and Towers Perrin (2010): *A New Approach for Managing Operational Risk: Addressing the Issues Underlying the 2008 Global Financial Crisis. Sponsored by Joint Risk Management, Section Society of Actuaries, Canadian Institute of Actuaries & Casualty Actuarial Society,* Society of Actuaries, Otawa.

Orojloo, M.; Hashemy Shahdany, S. M., and Roozbahani, A. (2018): «Developing an integrated risk management framework for agricultural water conveyance and distribution systems within fuzzy decision making approaches». *Science of the Total Environment,* Elsevier, 627, 1363-1376.

Otali, M., and Odesola, I. A. (2014): «Effectiveness evaluation of contingency sum as a risk management tool for construction projects in Niger Delta, Nigeria». *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management,* 7(6), 588-598.

Panthi, K.; Ahmed, S. M., and Ogunlana, S. O. (2009): «Contingency estimation for construction project through risk analysis». *International Journal of Construction Education and Researchonstruction Education and Research*, 5(2), 79-94.

Pawan, P., and Lorterapong, P. (2016): «A Fuzzy-Based Integrated Framework for Assessing Time Contingency in Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 142(3), 04015083.

Pérez Soriano, L. I. (2014): «Seguridad Estructural para Construcciones en Zonas Inundables. Criterio Diseño. Soluciones de Minoración del Riesgo de Fallo». Universidad Politécnica de Madrid.

Pilone, E., and Demichela, M. (2018): «A semi-quantitative methodology to evaluate the main local territorial risks and their interactions». *Land Use Policy*, Elsevier, 77(2018), 143-154.

Pinto, A.; Nunes, I. L., and Ribeiro, R. A. (2011): «Occupational risk assessment in construction industry - Overview and reflection». *Safety Science*, Elsevier, 49(5), 616-624.

Platon, V., and Constantinescu, A. (2014): «Monte Carlo method in risk analysis for investment projects». *Procedia Economics and Finance*, Elsevier, 15(2014), 393-400.

Polat, G. (2012): «ANN approach to determine cost contingency in international construction project». *Journal of Applied Management and Investments,* 1(2), 195-201.

Pont-Sorribes, C.; Codina, L., and Pedraza-Jiménez, R. (2009): «Comunicacion de riesgo y sistemas de informacion en la Web: cinco modelos». *El Profesional de la Informacion,* 18(4), 389-397.

Pratt, J. W. (1964): «Risk aversion in the small and in the large». *Econometrica*, 32(1/2), 122-136.

Project Management Institute (2013): «Project Risk Management». *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (PMBOK® Guide). Project Management Institute, Inc., Newtown Square, PA, USA, 309-354.

— (2017a): «A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK® Guide». *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK® Guide.* Project Management Institute, ed., Project Management Institute, Inc., Newtown Square, Pensilvania 19073-3299, USA, 358-412.

— (2017b): *Construction Extension to the PMBOK® Guide*. Project Management Institute, Inc., Newtown Square, PA.

Raftery, J. (1994): *Risk analysis in project management*. Spon Press, London EC4P 4EE, UK.

Rani, H. A. (2017): «The Analysis of Importance Index to the Dominant Category Causing Contractor Contingency Cost in Aceh Province». *University Of Muhammadiyah Aceh*, University of Muhammadiyah Aceh, 8(2017), 1-5.

Real Academia Española (2016): *Diccionario de la Lengua Española* (S.L.U. ESPASA LIBROS, ed.), Espasa-Calpe.

Reilly, J. J.; Coyle, J.; Kelly, L.; Burke, G.; Grant, S., and Paton, J. Y. (2003): «An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds». Obesity Research, Wiley Online Library, 11(10), 1155-1158.

Renault, B. Y., and Agumba, J. N. (2016): «Risk management in the construction industry: a new literature review». *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 66(2016), 00008.

Rezaie, K.; Amalnik, M. S.; Gereie, A.; Ostadi, B., and Shakhseniaee, M. (2007): «Using extended Monte Carlo simulation method for the improvement of risk management: Consideration of relationships between uncertainties». *Applied Mathematics and Computation,* Elsevier, 190(2), 1492-1501.

Rodney, E.; Ducq, Y.; Breysse, D., and Ledoux, Y. (2015): «An integrated management approach of the project and project risks». *IFAC-PapersOnLine,* Elsevier, 48(3), 535-540.

Rodrigues-da-Silva, L. H., and Crispim, J. A. (2014): «The Project Risk Management Process, a Preliminary Study». *Procedia Technology*, Elsevier, 16(2014), 943-949.

Rosenberg, J. V, and Schuermann, T. (2006): «A general approach to integrated risk management with skewed, fat-tailed risks». *Journal of Financial Economics*, Elsevier, 79(3), 569-614.

Rothstein, H.; Irving, P.; Walden, T., and Yearsley, R. (2006): «The risks of risk-based regulation: insights from the environmental policy domain». *Environ Int,* 32(8), 1056-1065.

Royer, P. S. (2000): «Risk Management: The Undiscovered Dimension of Project Management». *Project Management Journal*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 31(1), 6-13.

Rubbini, C. (2005): «Decisiones Bajo Incertidumbre. Microeconomía II». Universidad de La Plata, <http://www.depeco.econo.unlp.edu.ar/wp/wp-content/uploads/2017/05/docen10.pdf> (Dec. 2, 2016).

Sadeghi, N.; Fayek, A. R., and Pedrycz, W. (2010): «Fuzzy Monte Carlo simulation and risk assessment in construction». *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Wiley Online Library, 25(4), 238-252.

Salah, A., and Moselhi, O. (2015): «Contingency modelling for construction projects using fuzzy-set theory». *Engineering, Construction and Architectural Management,* 22(2), 214-241.

Samantra, C.; Datta, S., and Mahapatra, S. S. (2017a): «Fuzzy based risk assessment module for metropolitan construction project: An empirical study». *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, 65(2007), 449-464.

— (2017b): «A risk-based decision support framework for selection of appropriate safety measure system for underground coal mines». *International journal of injury control and safety promotion*, Taylor & Francis, 24(1), 54-68.

Sánchez-Cazorla, Á.; Alfalla-Luque, R., and Irimia-Diéguez, A. I. (2016): «Risk identification in megaprojects as a crucial phase of risk management: A literature review». *Project Management Journal*, SAGE Publications, 47(6), 75-93.

Sarmiento, R., and Vélez, R. (2007): «Teoría del riesgo en mercados financieros: una visión teórica». *Cuadernos Latinoamericanos de Administración,* III(4), 25-49.

Schieg, M. (2006): «Risk management in construction project management». *Journal of Business Economics and Management*, Taylor & Francis, 7(2), 77-83.

Schneider, S. P.; Fayfich, R. R., and Cercy, M. J. (2008): «Technical Risk Rating of DOE Environmental Projects-9153». *WM2009 Conference*, International Nuclear Information System, Phoenix, Arizona.

Schuyler, J. (2001): *Risk and decision analysis in projects*. Project Management Institute, Inc., Princeton, New Jersey, USA.

SEOPAN (2017): *Actividad Internacional de las Empresas de Seopan*. Seopan, Madrid, Spain.

Serpell, A.; Ferrada, X.; Rubio, L., and Arauzo, S. (2015): «Evaluating Risk Management Practices in Construction Organizations». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, 194, 201-210.

Serpella, A. F.; Ferrada, X.; Howard, R., and Rubio, L. (2014): «Risk Management in Construction Projects: A Knowledge-based Approach». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, 119, 653-662.

Shen, Q.; Wang, J.; Li, Y., and Wang, L. (2018): «Railway Risk Assessment of the EPC General Contract in Ethiopia Based on the Improved Fuzzy Comprehensive Evaluation Method». *ICCREM* 2016, Proceedings, ASCE, ed., ASCE, Edmonton, Canada, 1376-1387.

Siegler, R. S., and Opfer, J. E. (2003): «The Development of Numerical Estimation: Evidence for Multiple Representations of Numerical Quantity». *Psychological Science*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 14(3), 237-250.

Šimundić, A. M. (2008): «Confidence interval» *Biochemia Medica*, 18(2), 154-161.

Smith, G. R., and Bohn, C. M. (1999): «Small to Medium Contractor Contingency and Assumption of Risk». *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(2), 101-108.

Sobotka, A. (2017): «Innovative solutions in engineering of construction projects». *Procedia Engineering*, Elsevier, 208(2017), 160-165.

Steinberg, R. M.; Everson, M. E. A.; Martens, F. J., and Nottingham, L. E. (2004a): *Enterprise Risk Management - Integrated Framework*. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, Jersey City, NJ.

— (2004b): *Enterprise Risk Management - Integrated Framework. Application Techniques* (C. The Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, ed.), Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission.

Stewart, M. G., and Deng, X. (2015): «Climate Impact Risks and Climate Adaptation Engineering for Built Infrastructure». *Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems,* Part A: Civil Engineering, 1(1), 04014001.

Szymański, P. (2017): «Risk management in construction projects». *Procedia Engineering*, Elsevier, 208(2017), 174-182.

Taebi, B. (2017): «Bridging the Gap between Social Acceptance and Ethical Acceptability». *Risk Analysis*, Wiley Online Library, 37(10), 1817-1827.

Taleb, N. N. (2010): *The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable*. Random House USA Inc., New York, USA.

Tanner, P., and Hingorani, R. (2015): «Acceptable risks to persons associated with building structures». *Structural Concrete*, 16(3), 314-322.

Tarantino-Curseri, S. (2017): «Una breve pincelada sobre algunas áreas del saber necesarias para una negociación exitosa». *Suma de Negocios*, Elsevier, 8(17), 63-78.

Taroun, A. (2014): «Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review». *International Journal of Project management*, Elsevier, 32(1), 101-115.

Thal Jr, A. E.; Cook, J. J., and White III, E. D. (2010): «Estimation of Cost Contingency for Air Force Construction Projects». *Journal of Construction Engineering and Management,* ASCE, 136(11), 1181-1188.

Thamhain, H. J. (2013): «Managing Risks in Complex Projects». *Project Management Journal*, Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 44(2), 20-35.

The Institute of Internal Auditors (2013): *IIA Position Paper: TheThree Lines of Defense in Effective Risk Management and Control*. The Institute of Internal auditors, Florida, USA.

The Institute of Risk Management (2011): «Risk appetite and tolerance - Executive Summary» <https://www.theirm.org/media/464806/IRMRiskAppetiteExecSummaryweb.pdf> (Apr. 27, 2016).

The Institute of Risk Management (2012): «Risk culture Under the Microscope. Guidance for Boards». <https://www.theirm.org/media/885907/Risk_Culture_A5_WEB15_Oct_2012.pdf> (Apr. 27, 2016).

The Joint Forum (2003): «Trends in risk integration and aggregation».<http://www.bis.org/publ/joint07.pdf> (Apr. 7, 2017).

Thomas, M. U. (2010): «Models for Managing Contingency Construction Operations». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 136(3), 391-398.

Timurlenk, Ö., and Kaptan, K. (2012): «Country Risk». *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, 62, 1089-1094.

Torres, R. (2015): «Coeficientes de aversión al riesgo». <http://ciep.itam.mx/~rtorres/ecofin/coeficientes.pdf> (Nov. 21, 2016).

Tóth, T., and Sebestyén, Z. (2014): «Integrated risk management process for building projects». *Procedia Engineering*, Elsevier, 85(2014), 510-519.

Touran, A. (1993): «Probabilistic Cost Estimating with Subjective Correlations». *Journal of Construction Engineering and Management*, 119(1), 58-71.

— (2003): «Calculation of contingency in construction projects». *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2), 135-140.

Touran, A., and Liu, J. (2015): «A Method for Estimating Contingency Based on Project Complexity». *Procedia Engineering*, Elsevier, 123(2015), 574-580.

Touran, A., and Wiser, E. P. (1992): «Monte Carlo Technique with Correlated Random Variables». *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, 118(2), 258-272.

Treacy, W. F., and Carey, M. (2000): «Credit risk rating systems at large US banks». *Journal of Banking & Finance*, Elsevier, 24(1-2), 167-201.

Tsiga, Z.; Emes, M., and Smith, A. (2017): «Implementation of a risk management simulation tool». *Procedia Computer Science*, Elsevier, 121(2017), 218-223.

Turchin, A., and Denkenberger, D. (2018): «Global catastrophic and existential risks communication scale». *Futures,* Elsevier, 27-38.

Turskis, Z.; Gajzler, M., and Dziadosz, A. (2012): «Reliability, Risk Management, and Contingency of Construction Processes and Projects». *Journal of Civil Engineering and Management*, Taylor & Francis, 18(2), 290-298.

Universidad Autónoma de Madrid (2013): «Teoría de la decisión con incertidumbre: utilidad esperada». <https://www.uam.es/personal_pdi/economicas/iaayuso/Documentos/INCERTIDUMBRE/Parte I. Tema I Incertidumbre.pdf>.

Usher, R.; McLean, F., and Scott, K. E. (1966): «Judgment of fetal age. II. Clinical significance of gestational age and an objective method for its assessment». *Pediatric Clinics of North America*, Elsevier, 13(3), 835-848.

Vegas-Fernández, F. (2015): «Gestión de riesgos». *XII Jornadas Valencianas de Dirección de Proyectos*, PMI Valencia Spain Chapter, Valencia, 35-45.

— (2017a): «Factor de Visibilidad Nuevo indicador para la evaluación cuantitativa de riesgos». *I Simposio Universidad Politécnica de Madrid*, Madrid, Spain.

— (2017b): «Sistema de información de riesgos: Factor de Visibilidad». *El Profesional de la Informacion,* 26(6), 1065-1075.

— (2017c): «Riesgo Operacional». *Observatorio Gerencia de Riesgos,* 5(Enero-junio), 30-32.

Vegas-Fernández, F., and Rodríguez-López, F. (2017): «Factor de Visibilidad: un indicador cuantitativo para valorar el riesgo del proyecto». *Observatorio Gerencia de Riesgos*, 6 (Julio-diciembre), 18-21.

— (2018): «Methodology for determining the most severe risks of a construction project and identification of risky projects». *Revista de la Construcción*, Universidad Católica de Chile, 17(3), 423-435.

Venkatraman, S., and Ramasamy, V. (2017): «A study on risk assessment for implementing innovative ideas in construction sector». *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, Academic Publications, 116(13), 603-608.

Vilajoana-Alejandre, S., and Rom-Rodríguez, J. (2017): «Sistema de autorregulación publicitaria: del compromiso ético al control efectivo de la publicidad en España». *El profesional de la información*, 26(2), 192-200.

Virine, L. (2013): «Integrated Qualitative and Quantitative Risk Analysis of Project Portfolios. Enterprise Risk Management Symposium April 22-24, 2013». Casualty Actuarial Society, Professional Risk Managers' International Association, Society of Actuaries, <http://www.ermsymposium.org/2013/pdf/erm-2013-paper-virine.pdf>.

Walch, N., and Wörz, J. (2012): «The Impact of Country Risk Ratings and of the Status of EU Integration on FDI inflows in CESEE Countries». *Focus on European Economic Integration*, Oesterreichische Nationalbank, 2012(3), 8-26.

Wang, S. Q.; Dulaimi, M. F., and Aguria, M. Y. (2004): «Risk management framework for construction projects in developing countries». *Construction Management and Economics*, Routledge, 22(3), 237-252.

Wang, W., and Fang, J. (2017): «Study on the Risk Evaluation Model of Utility Tunnel Project under a PPP Mode». *International Conference on Construction and Real Estate Management 2017*, ASCE, Charleston, USA, 371-381.

West, C.; Kenway, S.; Hassall, M., and Yuan, Z. (2016): «Why do residential recycled water schemes fail? A comprehensive review of risk factors and impact on objectives». *Water Research*, Elsevier, 102, 271-281.

Whittaker, M. H. (2015): «Risk Assessment and Alternatives Assessment: Comparing Two Methodologies». *Risk Analysis*, 35(12), 2129-2136.

Williams, T. (2017): «The Nature Of Risk In Complex Projects». *Project Management Journal*, 48(4), 55-66.

Williams, T. P., and Gong, J. (2014): «Predicting construction cost overruns using text mining, numerical data and ensemble classifiers». *Automation in Construction*, Elsevier, 43, 23-29.

World Economic Forum (2015): *The Global Risks Report 2015. 10th edition.* REF: 090115. World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

— (2016): *The Global Risks Report 2016. 11th edition.* REF: 080116. World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

— (2017): *The Global Risks Report 2017. 12th edition.* REF: 080117. World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

— (2018): *The global risks report 2018, 13th edition.* (World Economic Forum, ed.), World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

Wu, Y.; Li, L.; Xu, R.; Chen, K.; Hu, Y., and Lin, X. (2017): «Risk assessment in straw-based power generation public-private partnership projects in China: A fuzzy synthetic evaluation analysis». *Journal of Cleaner Production*, 161(0), 977-990.

Xie, H.; AbouRizk, S., and Zou, J. (2012): «Quantitative Method for Updating Cost Contingency throughout Project Execution». *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 138(6), 759-766.

Yildiz, A. E.; Dikmen, I.; Birgonul, M. T.; Ercoskun, K., and Alten, S. (2014): «A knowledge-based risk mapping tool for cost estimation of international construction projects». *Automation in Construction*, Elsevier, 43(2014), 144-155.

Zabel, N. Y.; Georgy, M. E., and Ibrahim, M. E. (2015): «Optimal reduction of project risk severity: A case study». *32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining*, I. A. for A. and R. in C. (IAARC), ed., Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, Oulu, Finland, 905-911.

Zacharias, O.; Panopoulos, D., and Askounis, D. T. (2008): «Large scale program risk analysis using a risk breakdown structure». *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, EuroJournals, 12(10), 170-181.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z., and Tamošaitiene, J. (2010): «Risk assessment of construction projects». *Journal of Civil Engineering and Management,* Taylor & Francis, 16(1), 33-46.

Zhang, J.; Cong, G.; Yu, Y., and Gong, Y. (2006): «A fuzzy rough group decision-making model for rating and ranking IT outsourcing aggressive risk». *2006 International Conference on Service Systems and Service Management,* IEEE, Troyes, France, 1050-1056.

Zhao, J. (2007): «Significance of Risk Quantification». *Palisade @RISK Conference 2007*. Palisade Corporation, Miami, FL, USA, 1-11.

Zio, E. (2018): «The future of risk assessment». *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, 177, 176-190.

Zou, P. X. W.; Chen, Y., and Chan, T. Y. (2010): «Understanding and Improving Your Risk Management Capability: Assessment Model for Construction Organizations». *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 854-863.

Zurich Insurance Group (2015): «Tomorrow's Risk Leadership: delivering risk resilience and business performance». <http://knowledge.zurich.com/risk-interconnectivity/tomorrows-risk-leadership-delivering-risk-resilience-and-business-performance/> (Apr. 27, 2016).

Este libro recoge el contenido de una tesis doctoral y es fruto, por tanto, de una investigación realizada con rigor científico. Sin embargo, el objetivo de esa investigación fue desde su inicio el facilitar, mejorar y dar seguridad a los profesionales que se enfrentan con la gestión de riesgos en sus empresas o deben tomar decisiones en situaciones de riesgo. Por este motivo, este libro es un acercamiento a los profesionales no expertos en la materia de gestión de riesgos y, sin ser un libro de divulgación, está escrito de forma que pueda ser comprendido sin dificultad y que, incluso, resulte ameno.

Los casos prácticos planteados ayudan a comprender las consecuencias derivadas de los errores más frecuentes derivados de las prácticas actuales de gestión de riesgos, que inmediatamente atraerán el interés del lector. El conocimiento de los errores y el análisis de las necesidades sin resolver permiten valorar mejor las propuestas de mejora presentadas en este libro, que aportan claridad, sencillez y efectividad.

ag e r s
Asociación Española
de Gerencia de
Riesgos y Seguros