

**UN ESTADO DEL ARTE DEL ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE
RIESGOS EN PROYECTOS**

**DANIEL ÁNGEL TAMAYO
MARCELA HINCAPIÉ MEJÍA**



**UNIVERSIDAD EAFIT
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2016**

**UN ESTADO DEL ARTE DEL ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE
RIESGOS EN PROYECTOS**

**DANIEL ÁNGEL TAMAYO
MARCELA HINCAPIÉ MEJÍA**

**Trabajo de grado para optar al título de
MAGÍSTER EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**Elkin Gómez Salazar
M.S.c Administración**



**UNIVERSIDAD EAFIT
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2016**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO CONCEPTUAL.....	14
1.1. Marco de referencia	14
2. SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
2.1. Contexto, caracterización y planteamiento del problema	26
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	30
3.1. Objetivo general.....	30
3.2. Objetivos específicos	30
4. METODOLOGÍA	30
5. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	30
5.1. Métodos cualitativos	30
5.1.1. Método Delphi	30
5.1.2. Método de lluvia de ideas	33
5.1.3. Método de entrevistas estructuradas y semiestructuradas.....	34
5.1.4. Método de listas de verificación	35
5.1.5. Método del análisis primario de peligros.....	36
5.1.6. Método BowTie	36
5.1.7. Método HAZOP.....	38
5.1.8. Método Swift	41
5.1.9. Método del análisis de fiabilidad humana.....	43
5.1.10. Método de causa-raíz (RCA)	43
5.1.11. Método Sneak o análisis de circuito de fugas	45
5.1.12. Método del análisis de capas de protección	46
5.1.13. Método de análisis de peligros y de puntos críticos de control (HCCP).....	49
5.1.14. Método RISICAR	49
5.1.15. Método del análisis del modo y efecto de falla (FMEA).....	52
5.1.16. Método del análisis de la fiabilidad del centro de mantenimiento	54
5.1.17. Método del análisis del impacto en el negocio	55
5.1.18. Método de la evaluación de toxicidad.....	56
5.1.19. Método del análisis causa-efecto	58

5.1.20.	Método del análisis de escenario.....	61
5.1.21.	Método del análisis del árbol de fallas.....	63
5.1.22.	Método del análisis del árbol de decisiones.....	66
5.1.23.	Método del análisis de árbol de sucesos	68
5.1.24.	Método de análisis de causa y consecuencia.....	70
5.1.25.	Método PREST	73
5.1.26.	Método de la matriz de control	75
5.1.27.	Método del análisis de vulnerabilidad.....	80
5.1.28.	Método SEPTRI.....	86
5.2.	Métodos cuantitativos	90
5.2.1.	Método de las cadenas de Markov	90
5.2.2.	Método de las curvas FN	93
5.2.3.	Método de la matriz de consecuencia y probabilidad	95
5.2.4.	Método del análisis costo-beneficio.....	98
5.2.5.	Método del análisis de decisión multicriterio (MCDA).....	100
5.2.6.	Método de Monte Carlo	102
5.2.7.	Método de Markowitz.....	103
5.2.8.	Método de los índices de riesgo	107
5.2.9.	Método de los árboles binomiales.....	108
5.2.10.	Método CAPM.....	111
5.2.11.	Método de las redes bayesianas	112
6.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN	114
7.	CONCLUSIONES	119
8.	BIBLIOGRAFÍA	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de evaluación de amenazas completa.....	78
Tabla 2. Matriz de componentes, amenazas y controles.....	78
Tabla 3. Grados de significación de las amenazas.....	81
Tabla 4. Matriz de riesgos para el análisis de vulnerabilidad.....	83
Tabla 5. Matriz de vulnerabilidad.....	84
Tabla 6. Escala de clasificación coeficiente de probabilidad.....	86
Tabla 7. Escala de clasificación, coeficiente de exposición.....	87
Tabla 8. Escalas de clasificación, coeficiente de intensidad.....	88
Tabla 9. Ejemplo de matriz de consecuencias y probabilidades.....	98
Tabla 10. Clasificación de la cantidad de métodos oficiosos por tipo de análisis.....	114

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Metodologías para la gestión de proyectos	17
Cuadro 2. Diagrama de flujo de riesgos para P2M	24
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cualitativos	28
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cuantitativos	28
Cuadro 5. Palabras genéricas para el método HAZOP.....	40
Cuadro 6. Cuadro de evaluación del impacto del riesgo.....	51
Cuadro 7. Muestra para definición de valores para el FMEA.....	53
Cuadro 8. Matriz de control.....	76
Cuadro 9. Matriz de priorización de componentes.....	76
Cuadro 10. Matriz de priorización de amenazas.....	77
Cuadro 11. Priorización de componentes y amenazas en la matriz de control.....	77
Cuadro 12. Escenario de riesgos.....	81
Cuadro 13. Calificación de frecuencia.....	82
Cuadro 14. Calificación de consecuencias.....	83

Cuadro 15. Criterios de aceptabilidad para el método del análisis de vulnerabilidad.....	85
Cuadro 16. Matriz de aceptabilidad del análisis de vulnerabilidad.....	85
Cuadro 17. Escalas de clasificación, coeficiente nivel de seguridad.....	88
Cuadro 18. Evaluación de riesgos según el método SEPTRI.....	89
Cuadro 19. Origen de los datos curvas FN.....	95
Cuadro 20. Ejemplo de criterios de consecuencia.....	96
Cuadro 21. Caracterización de los métodos cualitativos y cuantitativos para el análisis de riesgos en proyectos.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujo continuo de la administración de riesgos según PMI.....	19
Figura 2. Flujo continuo de la administración de riesgos según IPMA	20
Figura 3. Procedimiento de gestión del riesgo PRINCE2.....	21
Figura 4. Gestión del riesgo para ISO 31000	22
Figura 5. Diagrama del método BowTie.....	38
Figura 6. Preguntas del método MCC.....	54
Figura 7. Ciclo del método MCC.....	55
Figura 8. Diagrama del método causa-efecto.....	59
Figura 9. Procedimiento de construcción de un análisis causa-efecto	60
Figura 10. Ejemplo del árbol de fallos	63
Figura 11. Símbolos del árbol de fallos	64
Figura 12. Convenciones para la construcción de un árbol de decisión	67
Figura 13. Ilustración de un árbol de eventos o sucesos	69
Figura 14. Diagrama típico análisis causa-consecuencia.....	71
Figura 15. Matriz de transición	91
Figura 16. Diagrama de Markov	91
Figura 17. Frecuencia de ocurrencia vs número de pérdidas	94
Figura 18. Concepto de ALARP	94
Figura 19. Ejemplo matriz de criterios de probabilidad.....	97
Figura 20. Frontera eficiente	106
Figura 21. Modelo de los árboles binomiales	109
Figura 22. Esquema general de las redes bayesianas.....	113
Figura 23. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de calificación	115
Figura 24. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de evaluación	115
Figura 25. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de identificación.....	116

Figura 26. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de medidas de
tratamiento..... 116

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para la identificación de la frecuencia de escenario	48
Ecuación 2. Ecuación del índice de prioridad del riesgo	52
Ecuación 3. Ecuación frecuencia árbol de sucesos	70
Ecuación 4. Ecuación para el coeficiente de intensidad	87
Ecuación 5. Ecuación para la evaluación del riesgo	89
Ecuación 6. Modelo de Markowitz	104
Ecuación 7. Modelo de markowitz extrapolado a proyectos	105
Ecuación 8. Proporción de la variable para arboles binomiales.....	110
Ecuación 9. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #1	110
Ecuación 10. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #2	110
Ecuación 11. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #3	110
Ecuación 12. Calculo de la probabilidad de riesgo en un árbol binomial.....	111
Ecuación 13. Rendimiento esperado del activo para CAPM	111

RESUMEN

El continuo desarrollo en la gestión de riesgos se debe en parte a la gran cantidad de proyectos que se han realizado en diferentes ámbitos, con diferentes alcances y magnitudes. Las metodologías cualitativas y cuantitativas de análisis de riesgos encontradas y expuestas en el marco de este trabajo han sido, en medida alguna, la guía para llegar a los métodos y herramientas que controlan y mitigan el impacto de la materialización de los riesgos, e igualmente han permitido el desarrollo de proyectos de una forma más versátil y eficaz. El objetivo del presente trabajo es elaborar un estado del arte del análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos en proyectos que incluye desarrollos, enfoques, métodos y herramientas. Este trabajo fue realizado mediante una búsqueda de documentos académicos científicos en diferentes bases de datos, donde se encontraron veintiocho métodos cualitativos y once métodos cuantitativos que hoy en día son de gran importancia y ayuda para la gestión de riesgos, dependiendo de la etapa en la que esta se encuentre.

Palabras clave: gerencia, análisis, proyecto, riesgo, cualitativo, cuantitativo, metodología, método, subjetividad.

ABSTRACT

The continuous development on risk management is partly due to the large amount of projects that have been done in different areas, with different scope and magnitude. Qualitative and quantitative risk analysis methodologies found in the context of this work are the guide to reach to the methods and tools that control and mitigate the impact of risks materialization, and also have allowed the projects development in a more versatile and effective way. The aim of this project is to develop a state of art of qualitative and quantitative risk analysis on projects that includes developments, approaches, methods and tools. This work was done through a research of scientific academic documents on different databases, where twenty eight qualitative methods and eleven quantitative methods were found, which nowadays are very important and useful for risk management according to its stage.

Key words: management, analysis, project, risk, qualitative, quantitative, methodology, method, subjectivity.

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de las civilizaciones el hombre ha buscado la manera de no dejar al destino la solución de las circunstancias que interfieren con su vida, por esto, la humanidad ha construido herramientas y métodos para mitigar el azar y la incertidumbre que de esta se derive. De allí que hoy sea posible identificar diversas tecnologías y modelos para la gestión del riesgo en los proyectos.

En la actualidad, la gestión de riesgos puede considerarse una alternativa poco viable si se contemplan únicamente los altos costos que muchos de los métodos, para su trámite, implican, pero en proyectos en los cuales está en riesgo un patrimonio de toda una compañía, o incluso de una comunidad, si se habla de proyectos de índole público, social o ecológico la incorporación de una adecuada gestión de riesgos a través de los métodos desarrollados en este documento, se vuelve no sólo adecuada y rentable, sino también necesaria para asegurar un desarrollo adecuado de los proyectos y, por ende, un continuo crecimiento de las industrias y las empresas a través de la mitigación de los riesgos y peligros que aseguran montajes mucho más exitosos y longevos.

Si bien, alrededor del mundo existen una gran cantidad de metodologías y métodos para el análisis de riesgos en diferentes sectores de la economía, el desarrollo de este trabajo contiene una recopilación de un conjunto de ellos en el marco de las metodologías principales utilizadas en el mundo como una opción revolucionaria para la gestión actual de los proyectos; es decir, los métodos acá especificados cumplen su uso en la gestión de proyectos, lo cual no quiere decir que sea la única materia de aplicación, pero para efectos de este documento están centrados en el desarrollo de estos.

En esta investigación se presentan entonces los resultados de un estado del arte para el análisis de riesgos en proyectos tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. Los métodos expuestos se exponen como una guía rápida, con sus características más importantes y algunas claves para su implementación, como un acercamiento al control y mitigación de los riesgos involucrados en la gestión de proyectos.

Los métodos y herramientas presentados entonces en el documento están enmarcados en términos cualitativos y cuantitativos, los cuales resuelven de una manera confiable la identificación y evaluación de los riesgos. Para ello se trabajó con la siguiente metodología:

- Se presenta inicialmente un recorrido a través de la historia de la gestión de riesgos en torno a su evolución, y cómo la gerencia estratégica se apoya actualmente en la explicación de las principales metodologías para lograr una adecuada gestión de proyectos y una gestión de riesgos efectiva.
- Se inicia la exposición de los resultados con la definición del problema y los objetivos del proyecto, junto con la metodología implementada para la compilación de la información.
- Se recopilan una serie de métodos y herramientas cualitativas por medio de las cuales se hacen identificaciones y evaluaciones de los riesgos que están presentes en el desarrollo de los proyectos.
- Se muestran algunos de los métodos cualitativos más utilizados para la identificación de riesgos y cómo en su desarrollo permiten la mayor claridad para la mitigación de los riesgos que deben ser asumidos, o el descarte de algunos de ellos que por la situación del proyecto se permita.

Finalmente, es importante destacar que la clasificación de los métodos y herramientas se realiza según su aplicación para las diferentes etapas de la administración de riesgos propuesta por Rubi Consuelo Mejía Quijano en su libro *Administración de riesgos con un enfoque empresarial*.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Marco de referencia

No cabe duda, como lo indica Mun (2004), que fue a través de los juegos de azar que se comenzaron a estudiar las probabilidades de ocurrencia de los eventos. Las ganancias que obtenían aquellos que dominaran más el tema despertaron el interés del común por conocer los estudios de probabilidades, y científicos como Bernoulli, Pascal, Gauss, Fermat y Bayes comenzaron a darle fundamento matemático y estadístico al tema, así surgió la teoría que hoy se conoce como análisis de riesgos moderno.

Es importante tener presente que el análisis de riesgos moderno se ha implementado a través de metodologías de gestión de proyectos que permiten asegurar la eficiencia en el consumo de recursos. A nivel mundial dicho análisis, y la gerencia de proyectos, ha ganado importancia y aceptación por los resultados alcanzados en el cumplimiento de los objetivos trazados. Una adecuada gestión sobre el alcance, tiempo y costo facilita el cumplimiento de los resultados esperados desde la formulación de los proyectos.

El dinamismo del mercado mundial no le permite a las organizaciones la certeza de que no se materialicen algunas situaciones inesperadas en el trabajo diario y en la creación de nuevos proyectos, lo que las obliga a enfrentarse a grandes retos en el desarrollo de sus operaciones cotidianas y, sobre todo, en el desarrollo de los propósitos establecidos. Económicamente hablando, se ha abierto un método de globalización lleno de oportunidades para el desarrollo de proyectos pero se presentan nuevos retos para la concepción de los mismos, que están muy orientados a la aparición de nuevos riesgos que exigen más rigor en el conocimiento y la calidad de la información que se tiene disponible. Por esta razón, es necesario tener presente que un riesgo de un proyecto es un evento o condición incierta que, si ocurre, afecta al menos un objetivo (alcance, tiempo, costo o calidad).

Basar una gestión organizacional en supuestos sobre los riesgos hace que la estructura sea vulnerable. Como lo afirman Murcia, Díaz, Medellín, Ortega, Santana, González... Baca

(2009): “la formulación y evaluación de proyectos supone varias hipótesis, pero estas no necesariamente se cumplen en la ejecución del proyecto”, es decir, en el marco de las hipótesis es necesario considerar la gestión por la probabilidad de su ocurrencia. De allí que la evaluación de proyectos busque la administración de riesgos con el fin de mitigar las consecuencias negativas (impacto) que tiene un evento sobre los objetivos del mismo. Como lo explica Mulcahy (2010) los riesgos pueden ser eventos positivos o negativos, y lo que se busca realizar en la administración del riesgo es minimizar las consecuencias que tienen estos impactos negativos sobre los objetivos y maximizar los resultados positivos (oportunidades).

Vale la pena resaltar que los niveles de riesgo se asocian directamente con el nivel de certidumbre que se tiene sobre el proyecto o sus factores de influencia (Arboleda, 2013). Según Méndez (2014), la toma de decisiones respecto al impacto negativo de los riesgos se debe basar en tres categorías:

- Decisiones en condiciones de certidumbre
- Decisiones en condiciones de riesgo o incertidumbre
- Decisiones en condiciones de incertidumbre total

Quien toma la decisión bajo condiciones de certidumbre sabe con certeza la consecuencia de sus acciones y acoge la alternativa que más le convenga. En el segundo caso, quien toma las decisiones sabe con certeza las probabilidades de ocurrencia de un evento, a diferencia de la condición de incertidumbre total, en la que dichas probabilidades de ocurrencia se desconocen (Méndez, 2014).

Para comprender mejor el concepto de certidumbre e incertidumbre es importante tener en cuenta que dichos términos, aunque están relacionados, tienen connotaciones diferentes. La incertidumbre se da cuando no se tiene certeza de la ocurrencia de un evento, mientras que el riesgo es la medida en que la materialización de la incertidumbre afecta el desarrollo o los objetivos del proyecto (Méndez, 2014).

En el desarrollo de la formulación y evaluación de proyectos, o de la gestión de proyectos, se resalta un proceso previo que plantea el seguimiento durante la transformación de las actividades empresariales de cada organización. Este concepto se define como la planeación estratégica y es la encargada de entregar los lineamientos a las áreas directivas de las organizaciones, por medio de los cuales se llevará a cabo la misión o los propósitos de la empresa. De esta planeación estratégica resultará la metodología para la gestión de proyectos que más se alinea con los objetivos de la organización y que puede ser implementada dadas sus capacidades. La decisión, generalmente, concluye en una de las cinco principales metodologías para gerencia de proyectos; si bien estas no son las únicas existentes sí son las que hoy en día marcan la pauta y, por ende, las más completas para los análisis de riesgos y la gestión de los mismos. Estas metodologías se presentan a continuación:

Cuadro 1. Metodologías para la gestión de proyectos*

Guías o normas de referencia	Bases para la Competencia en Dirección de Proyectos (ICB v3.0)	Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (PMBOK® Guide 5th)	Gestionando proyectos exitosos con PRINCE2	Gestión de programas y proyectos para la innovación en las empresas	ISO 21500:2012 Guía para la Dirección de Proyectos
Organización	IPMA	PMI	PRINCE2	P2M	ISO
Contexto	Internacional	Estados Unidos e internacional	Reino Unido y Europa	Japón	Internacional
Alcance	Proyecto, programa y cartera	Proyecto, programa y portafolio	Proyecto	Proyecto y programa	Proyecto
Enfoque	Competencias técnicas, de comportamiento y contextuales	10 áreas de conocimiento	8 procesos y 45 subprocesos	11 componentes	10 grupos temáticos
Proceso de certificación	Personas, proyectos y organizaciones	Personas y proyectos	Personas y organizaciones	Personas	
Metodología de certificación	Informe del director de proyectos, informe del proyecto, evaluación oral y examen escrito	Examen escrito	Examen escrito	Examen escrito y evaluación oral	
Acreditación de la certificación	ISO 9001 e ISO 17024 (ENAC en España)	ISO 9001 e ISO 17024	ISO 17024	Sin acreditación	
Objetivo	Promover la dirección de proyectos a los negocios y organizaciones	Definir un subconjunto de prácticas comúnmente aceptadas para una buena dirección de proyectos	Ofrecer una guía de dominio público para la aplicación de las mejores prácticas	Creación de un nuevo modelo de negocio para obtener valor en las empresas	Garantizar una descripción de alto nivel de los conceptos y procesos que son considerados como buenas prácticas
Proyectos	Todo tipo	Todo tipo	Todo tipo	Completos, fundamentalmente	Todo tipo

Fuente: elaborada por los autores con base en Camacho, Fernández, Gsaco, Macías, Martín, Reyes y Rivas (2013).

* Todos los cuadros, tablas y figuras que aparecen sin fuente fueron elaborados por los autores.

Las anteriores metodologías entregan bases o lineamientos claros para la administración y gestión de riesgos por su enfoque en proyectos de diferentes envergaduras; como se indica, desde cada uno de estos se realiza el seguimiento necesario para la mitigación de los riesgos.

Para cada modelo de gestión de proyectos los panoramas cambian un poco, pero es muy importante tener en cuenta una frase que los une y que guía la administración de los riesgos en general:

El objetivo de una buena metodología de gestión de proyectos debe ser que cada nuevo proyecto sea mejor que el anterior. La gestión de riesgos, en este sentido, es uno de los puntos en los que de manera más rápida se puede reutilizar el conocimiento de proyectos anteriores, por lo que la identificación de riesgos debería pensarse como un esfuerzo no sólo para el proyecto actual, sino para próximos proyectos (Maeso, 2014).

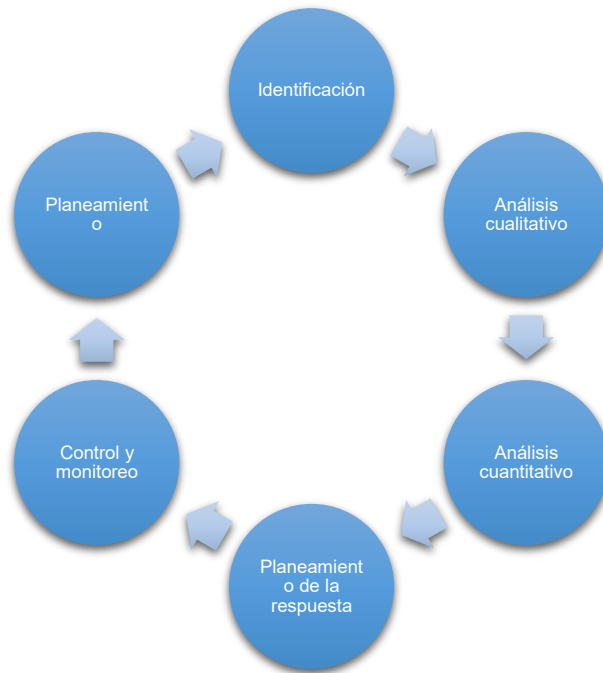
Para el Project Management Institute (PMI) la administración del riesgo hace parte del proceso de gerencia de proyectos. Esta permite controlar el proyecto sin dejar que maneje a la organización (Mulcahy, 2010). Según el Project Management Body Of Knowledge (PMBOK) (2009) se distinguen seis procesos de gestión para la administración del riesgo:

1. Planificación de la gestión de riesgos: se decide cómo se va a planificar la administración del riesgo en las distintas actividades del proyecto.
2. Identificación de riesgos: se determinan cuáles son los riesgos que podrían llegar a afectar al proyecto y se documentan sus características.
3. Análisis cualitativo de riesgos: se evalúa el impacto y la probabilidad de los riesgos identificados, priorizándolos según su potencial de impacto sobre el proyecto. En este caso, a los riesgos identificados para cada una de las actividades del proyecto se los podría definir en términos cualitativos, por ejemplo: riesgo alto, riesgo medio, riesgo bajo.
4. Análisis cuantitativo de riesgos: se analiza numéricamente la probabilidad de cada riesgo y su consecuencia sobre los objetivos del proyecto. Este proceso cuantitativo utiliza técnicas de simulación, como el modelo de Monte Carlo, y métodos de análisis decisional, que serán detallados más adelante, para estimar cuál es la probabilidad de ocurrencia de un evento.
5. Planificación de la respuesta a los riesgos: se desarrollan opciones y se determinan acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas sobre los objetivos del proyecto. Este proceso incluye la asignación de los responsables de implementar cada respuesta al riesgo.

6. Seguimiento y control del riesgo: se lleva a cabo el seguimiento de los riesgos identificados, se detectan aquellos riesgos residuales no identificados con anterioridad y se identifican nuevos riesgos. En este proceso también se intenta asegurar el adecuado desarrollo de plan de riesgo y se evalúa la efectividad en cuanto a la administración (Lledó y Rivarola, 2007, p. 284).

A continuación se presenta la figura que describe el flujo de la administración del riesgo:

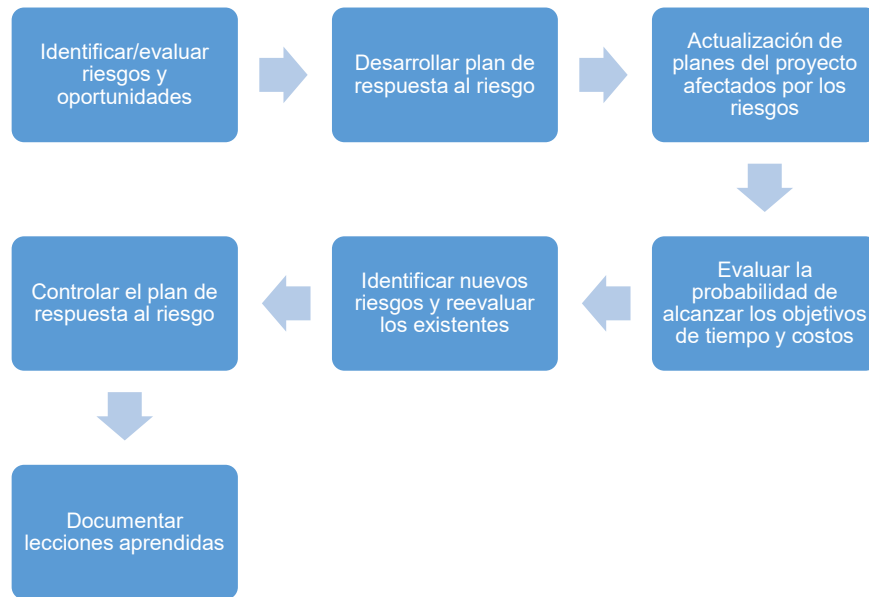
Figura 1. Flujo continuo de la administración de riesgos según PMI



Fuente: elaborada por los autores con base en Lledó y Rivarola (2007).

La metodología de IPMA, o Bases para la Competencia en Dirección de Proyectos, Modelo Internacional para la Gestión de Proyectos, por sus siglas en inglés, pretende la disminución de la incertidumbre aumentando la identificación oportuna del riesgo (Villarreal y Viltard, 2015 y Pastor, Otero, Repeto, Viguera, Acros y Portela, 2013). El diagrama de flujo que representa esta metodología es el siguiente:

Figura 2. Flujo continuo de la administración de riesgos según IPMA

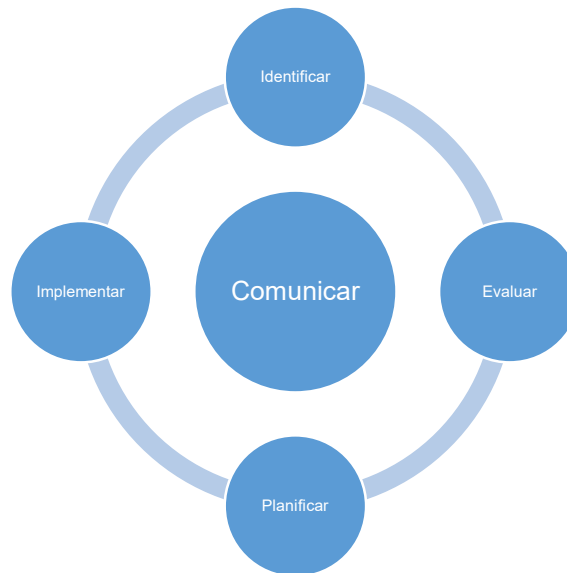


Fuente: elaborada por los autores con base en Villarreal y Viltard (2015).

Si observamos detalladamente los diagramas del PMI y del IPMA es posible notar que a simple vista son similares, pero las diferencias entre las metodologías para el análisis de riesgos comienzan cuando se demuestra que el PMI los gestiona desde el comienzo de la idea mientras que el IPMA se enfoca en su acción de mitigar los riesgos durante el desarrollo del proyecto (Ghosh, Forrest, DiNetta, Wolfe, & Lambert, 2012).

Por otro lado, para la metodología PRINCE 2 el análisis para la administración del riesgo es muy similar al PMI. A continuación se presenta el flujo de la administración del riesgo:

Figura 3. Procedimiento de gestión del riesgo PRINCE2



Fuente: elaborada por los autores con base en De Oca y Pérez (2014).

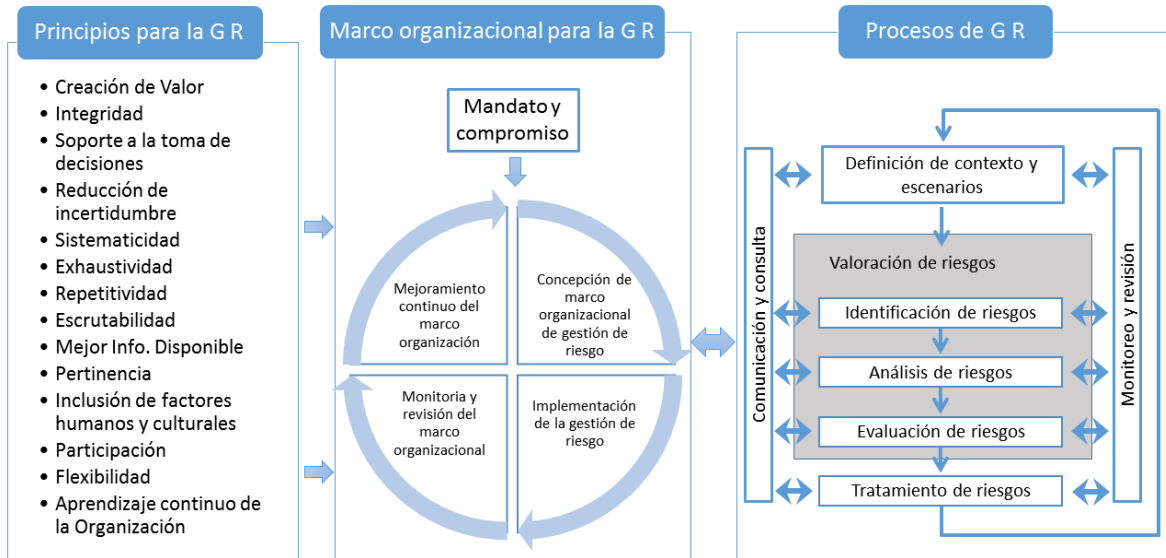
La anterior figura tiene su similitud con el PMI ya que ambos identifican, evalúan (cualitativa y cuantitativamente), planifican o plantean acciones para implementar o monitorear y controlar los riesgos. Y, finalmente, la etapa de comunicar está muy ligada con el PMI ya que lo que en PRINCE2 se considera la agrupación de los riesgos y su comunicación oportuna en el PMI se denomina registro de riesgos. Es por esto entonces que para estas dos metodologías los riesgos tienen un trato muy similar, pero es importante tener en cuenta que aunque presentan un ciclo muy parecido la diferencia radica en que PRINCE2 se basa en los riesgos claves y así mejora la probabilidad de éxito, es decir, mientras que PRINCE2 se enfoca solo en los riesgos más importantes o probables para el desarrollo del proyecto el PMBOK abre mucho más el análisis y busca reducir la tasa de fracaso por medio de la eliminación de las razones que propician la ocurrencia, a través de herramientas y técnicas que al final no pueden asegurar de manera certera el éxito de los proyectos (Ghosh *et al.*, 2012).

En el mismo sentido la norma internacional ISO 21500 describe un capítulo separado enfocado a la gestión del riesgo, norma ISO 31000, que tiene como objetivo brindar diversidad de posibilidades para que de manera integral haya una gestión que permita lograr a cabalidad los objetivos de las compañías (ISO, 2009) y la gestión del riesgo en todos los

niveles organizacionales. Es decir, pretende coordinar, dirigir y controlar organizaciones y proyectos con respecto al riesgo (Moro, 2012).

La siguiente figura contiene el diagrama que describe los principios, el marco de referencia y los procesos:

Figura 4. Gestión del riesgo para ISO 31000



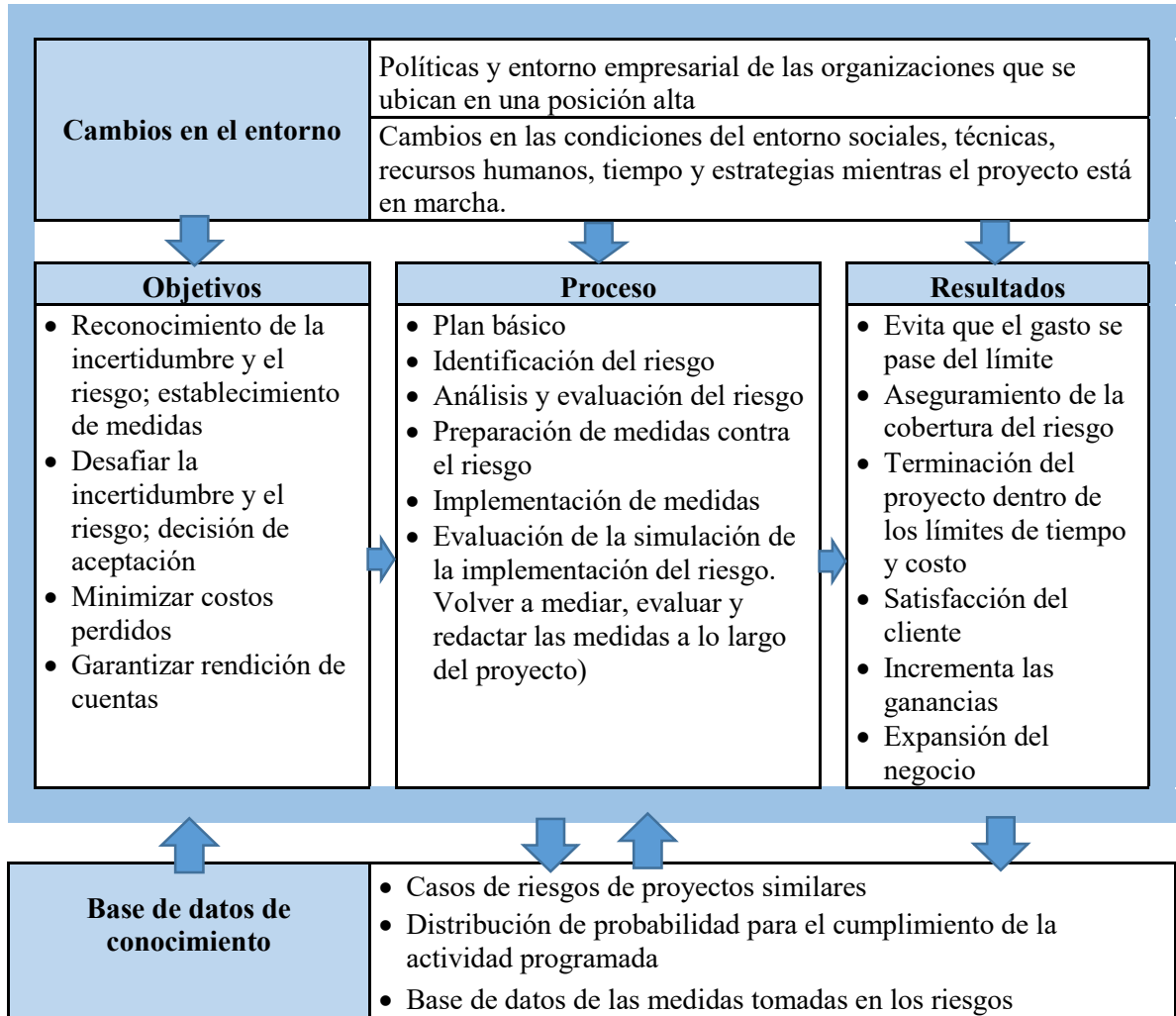
Fuente: Pastrana, Ávila & Muñoz (2015).

La norma ISO 31000 recomienda realizar una gestión de proyectos desde lo más íntimo de cada organización y generar políticas en la dirección, planificación, cultura y valores desde una visión de riesgo para así proteger el avance de la empresa. Es decir, el objetivo consiste en realizar una integración entre el análisis de riesgos y el crecimiento organizacional para así promover una mejora de manera sistémica alrededor de la gestión del riesgo. Por otro lado, el PMI busca un enfoque de gestión de riesgos sobre el proyecto en ejecución y sobre las lecciones aprendidas para futuros proyectos, lo cual no orienta de manera general la organización completa. Como conjunto las dos metodologías son muy completas y parecidas en los procesos, la diferencia es el enfoque explicado previamente (Moro, 2012 e ISO, 2009).

Finalmente, para la metodología P2M el manejo del riesgo comienza con el establecimiento de una política relevante basada en el medio en el que el proyecto se desenvuelve; los eventos de riesgo son identificados mediante el análisis de las condiciones de incertidumbre que están

incluidas en la política mencionada anteriormente. Esta metodología deberá ser adaptada al contexto organizacional, de sector y país, para que sea verdaderamente útil en la gestión de proyectos. Además, durante la vida útil del proyecto esta requiere ser evaluada y monitoreada para que cada vez se ajuste más a las condiciones que rodean al proyecto (Ohara, 2004). Este proceso se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Diagrama de flujo de riesgos para P2M



Fuente: elaborada por los autores con base en Ohara (2004).

Comparado con el PMI se puede afirmar que la diferencia más grande radica en que la metodología P2M permite realizar un seguimiento de las condiciones del proyecto durante todo su ciclo de vida, mientras que el PMI elabora un análisis más robusto en la etapa inicial, lo que lo convierte en una metodología menos flexible. Según lo anterior, podría enmarcarse al P2M en proyectos que tengan más susceptibilidad a un mercado cambiante, por ejemplo, en la implementación de nuevas tecnologías (Ghosh *et al.*, 2012).

Todas las metodologías mencionadas anteriormente han evolucionado a través de la historia empresarial, y cada vez se ajustan más a las condiciones del entorno, pero no podría señalarse

a ninguna en particular como la más adecuada para la gestión del riesgo. Cada una cuenta con unas fortalezas que pueden potenciar la consecución de objetivos según todos los agentes que intervengan en el proyecto.

En este punto es posible apreciar la evolución que ha tenido el concepto de riesgos en la historia y como la implementación de diferentes metodologías ayudan a reducir el impacto que estos generan en las organizaciones, que compiten en una economía globalizada.

Con base en lo mencionado anteriormente es posible hacer la introducción a los métodos que son desarrollados para lograr un análisis de riesgos que contenga la identificación, calificación, evaluación y tratamientos para aplicar alguna de las metodologías antes mencionadas.

2. SITUACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Contexto, caracterización y planteamiento del problema

Como lo expone Jaramillo (citado en Mejía, 2013), comúnmente es posible ver cómo numerosos negocios sufren pérdidas importantes, en algunos casos son tan significativas que pueden llegar a dar fin a los negocios. Todo esto ocurre debido a la materialización de un riesgo que se pudo haber identificado y gestionado adecuadamente con anterioridad. Como lo explica Mejía (2013):

la globalización que ha generado la interdependencia entre las naciones y las empresas ha permitido que la información se difunda en tiempo real en todo el planeta; y el desdibujamiento de las fronteras de tiempo y espacio traen consigo un cambio drástico en la velocidad de la toma de decisiones, en la forma de responder a la diversidad de costumbres y a las crecientes expectativas, necesidades y exigencias del mundo conectado. Cada vez se corren más riesgos, a la vez que se espera que estos sean controlados.

Por lo tanto, identificar los riesgos que el entorno genera a las organizaciones y los que provienen de sus propios procesos constituye una fuente de información de vital importancia para la gestión y competitividad empresarial, y eso requiere de herramientas que complementen la observación, la experiencia y la intuición (p. 28).

Estas apreciaciones han sido completadas con ideas de Lidón, Rebollar y Pérez (2012) que indican que estos riesgos deben estar identificados desde sus causas, y a partir de ellas considerar una acción preventiva sobre los riesgos para la viabilidad y el éxito del proyecto.

Es así como se puede observar que la identificación acertada de los riesgos, y su posterior evaluación y análisis, determina un factor clave de éxito para un proyecto.

A lo largo de la lectura y de la consulta que se ha realizado para definir el enfoque preciso que debería tener este estado del arte, se ha encontrado que, a pesar de que se han desarrollado metodologías y herramientas para la gestión del riesgo, aún existe una gran brecha entre los dos tipos de análisis, cuantitativos y cualitativos. Como se mencionó anteriormente, el complemento de estos es necesario para garantizar una gestión del riesgo completa y exitosa, pero a la hora de trascender del cualitativo al cuantitativo es posible evidenciar que estas herramientas solo son compatibles si se asigna un valor (determinado por el encargado del proceso) a los eventos identificados previamente, lo que le adiciona una cuota de subjetividad

al análisis. Además, las pocas herramientas para el análisis cuantitativo que existen, en algunos casos, se quedan cortas a la hora de enfrentar proyectos complejos que impliquen variables de difícil predicción.

Todo lo anterior, sumado al acercamiento del profesor Elkin Gómez con las herramientas actuales de identificación y gestión de riesgos, permite reconocer la falencia de estas en cuanto a la integración, exactitud, precisión y objetividad con la que se identifican, califican y miden los riesgos en un proyecto. Su propuesta para subsanar este vacío se basa en la creación de un modelo que se apoya en funciones de distribución estadística y que potencia la integración de los análisis cualitativos, usados en la identificación de los riesgos, y los análisis cuantitativos, que son empleados para su posterior valoración (Elkin Gómez, entrevista personal con el autor, Medellín, 2015).

La integración deseada debe partir del apoyo que se evidencia en los procesos de las metodologías para la gestión de proyectos, en donde se menciona que se debe iniciar con una identificación de los riesgos. En esta parte es donde las herramientas de análisis cualitativo son fundamentales, pues todas proponen maneras para facilitar la búsqueda de riesgos que afecten el proyecto. Adicionalmente, como lo mencionan Lyon y Hollcroft (2012), los riesgos se deben identificar durante todo el proyecto para asegurar controles y mejoras necesarias, lo cual sustenta la importancia de los métodos cualitativos. Teniendo estos riesgos identificados se debe proceder con una evaluación que se realiza por medio de un análisis cuantitativo, lo que lleva a la primera desventaja de las herramientas actuales; y es precisamente que el análisis cualitativo por sí solo no permite una evaluación precisa de probabilidades de ocurrencia, por lo tanto no pueden generarse acciones contundentes para mitigar las consecuencias de los riesgos o prevenirlos. Es entonces, cuando se debe profundizar en el estudio de los dos métodos para identificar lo que cada uno representa en los análisis de riesgos y cuáles son sus ventajas y desventajas de implementación.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cualitativos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Son sencillos de realizar• Poco costosos• Utilizan la experiencia de los ingenieros	<ul style="list-style-type: none">• Son subjetivos• Los resultados pueden variar según las personas involucradas• Se requiere un análisis cuantitativo posteriormente para complementar el análisis

Fuente: elaborado por los autores con base en Montoya (2008).

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de los análisis de riesgos cuantitativos

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Emplean métodos probabilísticos y estadísticos para la determinación de riesgos• Los resultados son más exactos• Son objetivos	<ul style="list-style-type: none">• Son más costosos• Requieren de mayor tiempo• No son recomendables para procesos simples

Fuente: elaborado por los autores con base en Montoya (2008).

Como se muestra en el cuadro anterior, el análisis cualitativo parte de un concepto o percepción que una persona tenga ante una situación, lo que, de principio, lo convierte en una idea subjetiva, y como se expuso, de este análisis parte el análisis cuantitativo, que hace que el segundo se vea también afectado o impactado por la subjetividad con la que se identificaron los riesgos previamente.

Es importante aclarar los conceptos que los diferentes autores exponen sobre las definiciones de los análisis cualitativos y cuantitativos, por ejemplo, para Cabeza y Cabrita (citado en Ibarra, Goya, Guerra, Dupin y Pérez, 2015, p. 27), “los estudios cuantitativos de riesgo tienen como objetivo específico la revisión cuantitativa de los riesgos que pueden presentarse en la industria”; por otro lado, según Medina (citado en Ibarra *et al.*, 2015, p. 27) “son métodos detallados porque requieren de la identificación de fallas, la evaluación de los datos de fallos

y un análisis de consecuencias”. Una definición más específica encontramos cuando Colmenares y Velásquez (citados en Ibarra *et al.*, 2015, p. 28) exponen: “son métodos de ingeniería y formulaciones matemáticas, combinadas con información estadística de fallas, para producir resultados numéricos de consecuencias de accidentes y sus frecuencias o probabilidades de ocurrencia”. En relación con los estudios cualitativos: “el análisis cualitativo es el proceso que evalúa la prioridad de los riesgos identificados” (Peñaloza, 2011, p. 1). Esta posición la soportan igualmente Yepes (2015) y Martínez (2012), quienes concuerdan en que una vez realizada la lista priorizada de riesgos se debe elaborar una evaluación de probabilidades de los mismos y su impacto en los proyectos, es decir, un análisis cuantitativo como soporte. Esta afirmación la sustenta Velasco (s. f.), quien recomienda que estos métodos solo se pueden usar como único modo de evaluación cuando el impacto de la materialización del riesgo sea bajo o por falta de datos numéricos más exactos que lleven a mejores resultados. La relación que tienen los métodos cualitativo y cuantitativo es confusa, y más cuando es posible encontrar autores como Mosquera, Andrade y Sierra (2013) quienes resaltan: “El análisis cualitativo de riesgos permite establecer prioridades para posteriormente crear el plan de respuesta a los riesgos; es también una base para el análisis cuantitativo” (p. 4).

De igual forma, existe en el medio una tipología que algunos autores como Bravo y Sánchez (2012) y Taípe (s. f.) denominan métodos o análisis semicuantitativos y en donde ambos coinciden que son aquellos métodos que no profundizan en lo cualitativo o lo cuantitativo, pero que resuelven ciertas necesidades específicas en los análisis de riesgos. Por otro lado, Mejía (2006) explica que el procedimiento de uso de los métodos semicuantitativos es la asignación numérica, subjetiva, a los riesgos identificados mediante métodos cualitativos.

La diversidad de conceptos y métodos de esta investigación muestra que aún no se cuenta con una recopilación clara de los diferentes métodos existentes a la hora de realizar los análisis de riesgos, tanto cualitativos como cuantitativos; además, algunos autores difieren en metodologías y las ubican en diferentes clasificaciones, lo cual hace mucho más complejo un entendimiento claro de los métodos existentes y sus aplicaciones más comunes. De allí parte este trabajo, de la necesidad de consolidar la información existente sobre los métodos

de análisis cuantitativos y cualitativos de riesgos para su aplicabilidad en la gerencia de proyectos.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1. Objetivo general

Elaborar un estado del arte del análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos en proyectos que muestre desarrollos, enfoques y métodos, entre otros.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar métodos de análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos
- Identificar desarrollos, enfoques y métodos de los análisis de riesgos
- Caracterizar los métodos para la gestión de riesgos

4. METODOLOGÍA

La metodología de investigación para el desarrollo del trabajo será una recopilación bibliográfica que abarque los métodos de análisis de riesgos y permita realizar comparaciones. Esta bibliografía será extraída de bases de datos, artículos, documentos y libros relevantes en temas relacionados con la gestión de proyectos, gestión de riesgos y análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos. El contenido será consolidado en fichas bibliográficas que contengan la información pertinente del tema objeto de estudio.

5. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS

5.1. Métodos cualitativos

5.1.1. Método Delphi

El método Delphi se basa en la opinión de un grupo de expertos sobre eventos posibles en el futuro. El grupo de selección deber estar conformado por personas conocedoras de los eventos de riesgos y debe estar en la capacidad de predecir los acontecimientos futuros que los lleven a tratar un tema complejo y sus soluciones.

Como lo menciona Astigarraga (s. f.), “la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos” (p. 2). Es decir, el método tiene su validez en la capacidad de los expertos para dar probabilidades certeras que eliminen la incertidumbre o riesgo de ocurrencia de un evento, es por ello que este método es clasificado como un método cualitativo o subjetivo (Astigarraga, s. f.).

Para un adecuado desempeño y desarrollo del método es muy importante tener presente las siguientes cuatro fases:

Fase 1: formulación del problema

Debido a lo mencionado anteriormente con respecto a que este es un método que tiene toda su base en la calidad de la información y la subjetividad del experto, lo principal es la selección adecuada de los individuos que participarán en los paneles y su igualitaria noción del tema; para esto la definición clara del problema es clave y se debe buscar aquel que permita posibles respuesta probabilísticas o de índole cuantificables. Las preguntas planteadas para el problema deben ser claras, precisas y confiables pues resolverán la situación de riesgo que se plantea (Astigarraga, s. f.).

Fase 2: elección de expertos

La elección de las personas a intervenir en el método es muy dependiente del tema. Para efectos del análisis de riesgos se recomienda que el equipo de trabajo seleccionado esté conformado por expertos en la identificación, categorización y evaluación de riesgos en proyectos (Astigarraga, s. f.).

Para buscar mejores resultados la selección de los expertos debe darse de manera independiente, es decir, la imparcialidad entre los peritos consigue mejores resultados (Astigarraga, s. f.).

Fase 3: elaboración y lanzamiento de los resultados

Los formularios de encuesta deben ser enviados por correo a los expertos, de allí la importancia de su imparcialidad para que no se vean afectados. La elaboración de encuestas de fácil tabulación permite la compilación más oportuna de los resultados, por lo cual la

búsqueda de cuestiones relativas a las probabilidades es la clave para un buen desempeño (Astigarraga, s. f.).

Además, se afirma que existen formas diferentes de realizar los cuestionarios y es entonces cuando se indica que, “en ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Sí/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/De acuerdo/Indiferente/En desacuerdo/Muy en desacuerdo) y después se revisan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría” (Astigarraga, s. f., p. 5).

Fase 4: desarrollo práctico y explotación de resultados

Cada cuestionario o encuesta debe ser enviada a los expertos, no es recomendable un número plano ya que depende de factores como el medio, la profundidad y los fondos disponibles para el análisis. Con el envío se debe entregar una explicación detallada del proceso y cómo es su desarrollo, al igual que los tiempos establecidos para las entregas. Existen ocasiones donde se pueden presentar unas preguntas para que los expertos evalúen su propio nivel o dominio del tema, esto permitirá tabular los resultados que son realmente relevantes y que logran un producto final idóneo (Astigarraga, s. f.).

Luego de la primera ronda de análisis de resultados es necesario realizar una serie de rondas evaluativas o de encuestas posteriores, en ellas se busca presentar a los expertos los datos obtenidos y que las nuevas respuestas tengan en cuenta hacia dónde se enfoca la media. Se puede realizar hasta un cuarto turno de encuestas para orientar el estudio y la definición real de los riesgos para ser evaluados posteriormente (Astigarraga, s. f.).

Es importante conocer las utilidades y los límites del método, lo cuales son mencionados por Astigarraga (s. f.) de la siguiente manera:

Una de las ventajas del Delphi es la quasi-certeza de obtener un consenso en el desarrollo de los cuestionarios sucesivos [...]. Por lo demás, la información recogida en el curso de la consulta acerca de acontecimientos, tendencias, rupturas determinantes en la evolución futura del problema estudiado es generalmente rica y abundante. Finalmente, este método puede utilizarse indistintamente tanto en el campo de la tecnología, de la gestión y de la economía como en el de las ciencias sociales.

Varios son los problemas que limitan el alcance del método que se revela largo, costoso, fastidioso e intuitivo más que racional. Si bien es cierto que las nuevas tecnologías han permitido el relanzamiento del método Delphi, que ciertamente había caído en cierto desuso. La tramitación presionante (encuesta en varias tandas) es además discutible puesto que solo los expertos que se salen de la norma deben justificar su posición. Sin embargo, podemos considerar también que la opinión de los divergentes es, en términos de prospectiva, más interesante que aquella de los que entran en el rango. Por otra parte, no se toman en consideración las posibles interacciones entre las hipótesis consideradas y son incluso evitados en la propia construcción de la encuesta, esto es lo que ha conducido a los promotores del método Delphi a desarrollar los métodos de impactos cruzados probabilistas (pp. 12-13).

5.1.2. Método de lluvia de ideas

El método de lluvia de ideas es usado para la identificación de los riesgos. Consiste en la reunión de diferentes personas con capacidades de identificar las potenciales fallas, peligros asociados y riesgos de un proyecto para alimentar una discusión que resalte la imaginación de los invitados y lleve a pensamientos de riesgos factibles para un proyecto (Horn, s. f.).

La clave para el éxito de esta herramienta es la estimulación correcta de la discusión, en donde los participantes sean guiados hacia el área deseada y así otorgar los datos más valiosos.

Este método contiene dos maneras de desempeñarse, formal e informal, de acuerdo a las necesidades de los resultados. Sus características se presentan a continuación:

Lluvia de ideas informal

Este proceso es usado para proyectos menos estructurados o en fases tempranas de la formulación de proyectos, en donde se busca identificar factores mucho más específicos o con un fin determinado (Icontec Internacional, 2013).

Lluvia de ideas formal

El proceso formal contiene un moderador que se encarga de guiar la audiencia para enfocarla en el tema y despertar el pensamiento sobre el análisis buscado. Este moderador define las reglas del debate y mantiene la polémica para alimentar la discusión que genere mucha más riqueza en los resultados (Icontec Internacional, 2013).

Cualquiera que sea la manera de usar el método, el objetivo es entregar una lista de peligros o riesgos que lleven a identificar los controles necesarios para el éxito del proyecto.

Las ventajas más grandes del método se enfocan en la facilidad y rapidez de su planteamiento y la facilidad de comunicación que puede llevar a soluciones o identificaciones novedosas. Como desventajas más significativas: que las personas asistentes no necesariamente sean expertos en la materia a lo cual pueden agregarse elementos no relevantes en la investigación o no aprovechar por completo a los asistentes, lo cual no asegura un barrido completo de las ideas. La parcialización de las ideas debe ser manejada de manera correcta con el fin de no sesgar la investigación requerida (Icontec Internacional, 2013).

5.1.3. Método de entrevistas estructuradas y semiestructuradas

Como lo menciona Fernández (2006), “las entrevistas, estructuradas o semiestructuradas son una técnica importante para recoger datos. El entrevistador debe de permanecer neutral y ser capaz de hacer que el entrevistado exprese sus verdaderos sentimientos y creencias”.

La entrevista estructurada lleva al entrevistado por un camino guía que le permite identificar los riesgos según la perspectiva de las preguntas motivando el pensamiento por el camino buscado o deseado desde la situación problema o del peligro. En una entrevista semiestructurada, la conversación con el entrevistado es un poco más dinámica y libre, en donde se busca explorar riesgos o peligros que vayan originándose durante la conversación.

Este método es importante cuando no se logra que una lluvia de ideas alcance los resultados esperados, es ahí cuando se deben estructurar las entrevistas para llevarlas a una mejor definición de los riesgos y de los mecanismos de mitigación.

Las fortalezas del método se basan en la profundidad que se puede obtener de los temas debidos y al tiempo dedicado en cada una de las entrevistas. Adicionalmente, al ser una estructura programada y organizada es posible interactuar con muchas más personas que una lluvia de ideas, lo cual genera mejores resultados.

Las debilidades del método están en que el tiempo requerido es mucho para poder obtener diversidad en las ideas y tener una cantidad considerable de información para analizar,

además que si no es posible la motivación al entrevistado seguramente no entregará toda la información. Por último, es importante tener en cuenta que el método admite algo de sesgo para alimentar las discusiones, lo cual puede llevar a enfocar los temas o las identificaciones de riesgos en solo unos puntos de los muchos que pueden afectar un proyecto (Icontec Internacional, 2013).

5.1.4. Método de listas de verificación

Las listas de verificación se basan en los históricos, bases de datos o conocimientos de peligros y riesgos que se presentan o se han presentado en los proyectos de la misma índole o en la región de impacto.

Las listas de verificación son comúnmente usadas y desempeñadas para respuestas básicas, es decir, respuestas asociadas al sí y no, lo cual facilita la tabulación de los datos y la visualización de los resultados. Igualmente, el método es usado como complementación de modelos de identificación previos, pues permite evaluar nuevos riesgos que no estén asociados a los históricos revisados.

Para el proceso de verificación se debe establecer el alcance y con base en este recorrer toda la lista de chequeo, revisando que todos los elementos que se plasmaron sean coherentes y estén presentes en el proyecto.

Una de las fortalezas del método es que no necesita expertos para la verificación; pero dicha fortaleza se convierte en una desventaja ya que se pueden obtener resultados bajos de probabilidad o aceptar estrategias de mitigación poco efectivas. Una desventaja aún mayor es que la estructura rígida del método puede generar que no se contemplen todos los escenarios, dejando así que se pasen por alto riesgos que deben ser intervenidos para su control (Icontec Internacional, 2013).

La gran ventaja es que al ser un sistema fácil de usar su tiempo de ejecución, una vez se define la lista, es corto y contiene los problemas, riesgos o eventos más comunes en los proyectos.

5.1.5. Método del análisis primario de peligros

También conocido como análisis preliminar de riesgos. Es un método ampliamente usado para la localización y detección de riesgos o peligros y para garantizar los caminos de mitigación de los mismos (“OHSAS 18001: el análisis preliminar de riesgos”, 2015).

El objetivo de esta técnica es la identificación de potencial de peligros en las etapas más tempranas de los proyectos, esto se debe a que no es requerido un diseño final, lo cual permite evidenciar los peligros o riesgos, desde la etapa conceptual, a los cuales se enfrentarán en el desarrollo y posterior puesta en marcha del proyecto (Pérez, 2010).

El producto resultante es una lista de peligros enfocada en los siguientes temas:

- Materiales o materias primas
- Límites de los equipos empleados
- Entorno o ambiente en que se desempeña el proyecto
- Interacciones de los sistemas empleados
- Operaciones
- Demás peligros identificados

La anterior lista debe ser presentada no solo con el riesgo sino también con la causa, consecuencia y las medidas preventivas o correctivas para la mitigación del mismo (“Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos”, 2013).

Las fortalezas del método se basan en su uso con poca información del proyecto y el desarrollo del mismo en las etapas tempranas. No obstante, esta última fortaleza se convierte en una de sus grandes debilidades, pues la información que se analiza no es profunda debido a las etapas del proyecto y por ende debe ser revisada nuevamente durante el avance del mismo.

5.1.6. Método BowTie

Los autores Alfonso, Pérez y Sarabia (2013) definen el método así:

La metodología de BowTie es usada para la evaluación de riesgos, gerencia de riesgos y la comunicación de riesgos. El método es diseñado para dar una mejor

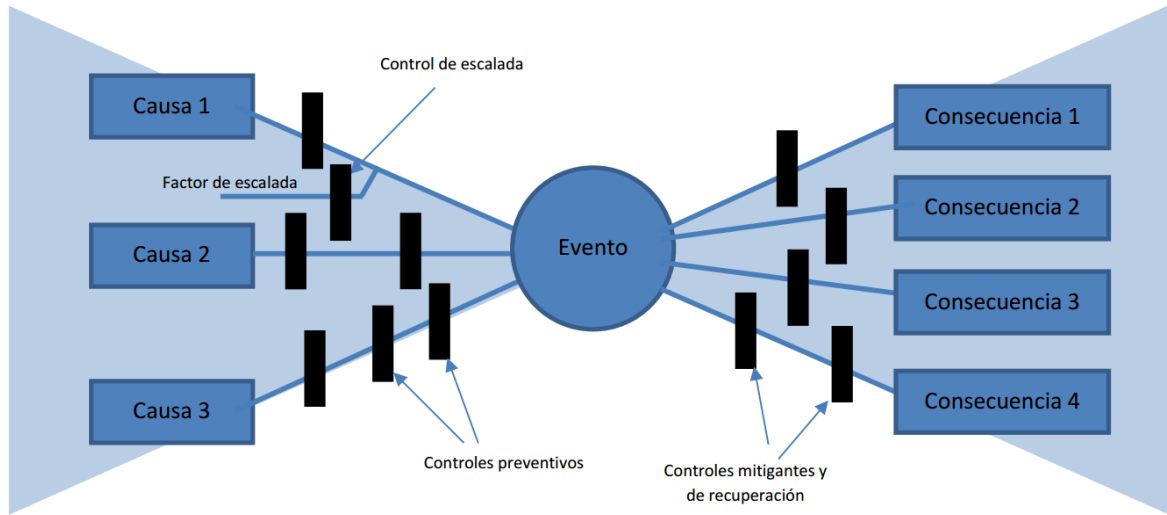
descripción de la situación en la cual ciertos riesgos están presentes; para ayudar a las personas a entender la relación entre los riesgos y los eventos organizativos. Esta metodología presenta un enfoque preventivo y orientado al mejoramiento de los controles para mostrar los componentes fundamentales de un sistema de gestión de seguridad examinando los controles que pueden fallar e identificar los componentes críticos del sistema que previenen esas fallas.

[...] Esta metodología ha cobrado gran auge en el análisis de riesgos en casos de seguridad en que la cuantificación de los mismos no es posible ni deseable. Bajo el enfoque de la herramienta se puede evaluar cualquier tipo de riesgo, por ejemplo, medio ambiente, seguridad, negocios, política, seguridad, etc., y se utiliza actualmente en una amplia gama de empresas, industrias, países, así como en los órganos reguladores (p. 2).

El proceso para el desarrollo del método consiste en:

1. Identificar los eventos de riesgo que están presentes en el proyecto y que serán el punto medio o eje del BowTie. Esta identificación se deberá realizar por cualquiera de los métodos para dicha labor, lluvia de ideas, Delphi, causa efecto, etc. (Frett, 2013).
2. Para cada uno de los riesgos identificados se relacionan a su izquierda las causas que pueden generar la materialización del mismo.
3. Para cada riesgo en su derecha se establecen las consecuencias de la materialización del riesgo.
4. Se identifican las medidas de control o preventivas para evitar que las causas de los riesgos identificados lleven a la ocurrencia de los eventos.
5. Se desarrollan controles mitigantes o de recuperación para cada una de las consecuencias con el fin de controlar o reducir el impacto en caso de ocurrencia del evento de riesgo.
6. Si se identifican factores externos que pueden potencializar una causa y que inhabilitan o reducen la efectividad de los métodos de control o preventivos se debe crear una nueva medida preventiva para esta condición extraordinaria.

Figura 5. Diagrama del método BowTie



Fuente: “Técnica BowTie para análisis de riesgos” (s. f.).

La gran desventaja de este método radica en que durante su desarrollo se puede llegar a simplificar a un alto porcentaje peligros o riesgos que tienen importancia con su impacto durante el proyecto. Es por esto que se debe tener mucho cuidado para la cuantificación de la información definida.

Las fortalezas, sin embargo, son muy amplias, y comienzan con su facilidad de planteamiento para el desarrollo de las formas de mitigación de los riesgos; es por esto que se convierte en un método clave de comunicación que puede transmitir la información muy clara a cualquier miembro activo del proyecto o a los directivos a cargo. Esta misma facilidad lo convierte en un referente de comparación para proyectos similares de índole internacional y permite demostrar que los riesgos están siendo controlados de una manera práctica (Lewis & Hurst, 2005).

5.1.7. Método HAZOP

HAZOP es una metodología completa y rigurosa que se basa en la idea de que los riesgos son ocasionados a partir de desviaciones en las variables de un proceso con respecto a las condiciones normales de operación. “La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de las desviaciones de las variables de proceso partiendo de una lista de palabras guía” (“Análisis funcional de operatividad (AFO): hazard and operability

(HAZOP)”, 2016). Estas palabras se emplean para cuestionar cómo las intenciones o condiciones de un diseño o proceso pueden no ser alcanzadas; y para este caso de estudio se revisa su importancia en el ámbito de la gestión de proyectos. Como lo menciona Díaz (2016): “apoya a los diseñadores para poder prever las posibles fallas que podrían presentarse durante un proceso operativo, y evaluar de esta forma los sistemas y subsistemas a ser instalados”. El enfoque buscado se basa cuando se realiza en la etapa de formulación o de diseño, es allí donde los cambios son fáciles de lograr, pero cuando se aplica en la fase de funcionamiento pueden llegar a ser muy costosos.

Para que la aplicación de esta metodología sea exitosa requiere que se cuente con unos insumos para el desarrollo de las reuniones, tales como: diseño detallado, listas de materiales, descripción de los procesos y estudios previos que se hayan hecho de peligros. Se parte entonces del supuesto de que los insumos están correctos y que los diseños están pensados para ser viables (Crawley & Tyler, 2015).

El proceso de desarrollo del método consiste en usar unas palabras guías para evaluar cómo responde el sistema ante un cambio en uno de los parámetro clave (Icontec Internacional, 2013).

Estas palabras pueden variar de acuerdo a las necesidades del proyecto que se esté evaluando. A continuación algunos ejemplos de palabras genéricas que pueden usarse:

Cuadro 5. Palabras genéricas para el método HAZOP

Términos	Definiciones
No o ninguna	No se consigue ninguna parte del resultado previsto o la condición prevista no existe
Más (más alta)	Aumento cuantitativo en la salida o en la condición de funcionamiento
Menos (más baja)	Disminución cuantitativa
Así como	Aumento cuantitativo (por ejemplo, material adicional)
Parte de	Disminución cuantitativa (por ejemplo, solo uno o dos componentes en una mezcla)
Inverso/opuesto	Opuesto (por ejemplo, reflujo)
Distinta de	No se consigue ninguna parte de la intención, algunas veces ocurre algo completamente diferente (por ejemplo, flujo o material erróneo)
Compatibilidad	Material, entorno ambiental
Se aplican palabras guía a parámetros tales como	
	Propiedades físicas de u material o proceso
	Condiciones físicas tales como temperatura, velocidad
	Una intención especificada de un componente de un sistema o diseño (por ejemplo, transferencia de información)
	Aspectos operacionales

Fuente: elaborado por los autores con base en Icontec Internacional (2013).

Durante la reunión con el equipo de trabajo se debe comenzar por dividir el proyecto en los procesos más pequeños o actividades que lo conforman. A cada una de estas divisiones se le realiza el examen con las palabras guías, partiendo de la información que se recopiló para establecer los parámetros de funcionamiento, esto con el fin de determinar las posibles desviaciones y resultados indeseables que estas ocasionan. Los eventos que se registren como indeseables pasan a ser evaluados con más rigor, para esto se le asignan causas, consecuencias y tratamiento más adecuado para impedirlos o mitigarlos.

Todo este proceso debe quedar documentado para registrar las acciones que deban tomarse.

Como ya fue mencionado, el análisis HAZOP puede realizarse en las diferentes etapas del proyecto, pero es aconsejable que en el momento de diseño se realice el estudio con menos rigor ya que no se tiene tanto nivel de detalle y es más rápido, pero posteriormente se recomienda elaborarlo de una manera más completa cuando se tenga un mayor avance en la ingeniería básica del proyecto.

Este método es ideal para sistemas productivos o proyectos de implementación de ingenierías complejas o en la industria en general.

Las ventajas más relevantes del proceso se plantean en lo completo de su desarrollo y la versatilidad de poder realizarse en las diferentes etapas de avance de la construcción del proyecto. Adicionalmente, al ser una técnica de trabajo en equipo permite que se considere más de un punto de vista, generando que se abarque la mayoría de variables críticas que afectan el desarrollo normal de la operación al incentivar el flujo de ideas de los participantes.

La técnica presenta varias desventajas que se deben considerar antes de tomar la decisión de su implementación, entre ellas se debe tener en cuenta que necesita de un alto detalle en el proyecto a realizar para que se pueda analizar lo realmente importante, adicionalmente este análisis tan detallado genera que tome demasiado tiempo su implementación y que la metodología de trabajo lo haga débil por la subjetividad que se plantea en el grupo de desarrollo (Freedman, 2016 y Crawley & Tyler, 2015).

5.1.8. Método Swift

Es una forma de crear una lluvia de ideas basada en preguntas que son dirigidas por un líder a un equipo de expertos, con el fin de identificar los posibles riesgos o peligros dentro un proceso (Crawley & Tyler, 2003).

Esta herramienta facilita el análisis del método HAZOP, ya que fue desarrollado para sistemas con un nivel de detalle más bajo, y ayuda a identificar las variables que pueden desviarse de su punto normal de operación y causar riesgos o peligros latentes.

Esta metodología propone elaborar una lista de preguntas que después serán dirigidas a un equipo de trabajo. Estas preguntas están enfocadas en ¿qué podría salir mal?, y se van respondiendo en cada una de las sesiones de reunión del equipo (Diberardinis, 1999), además, pueden irse completando con preguntas que surjan durante el desarrollo de las reuniones (Crawley & Tyler, 2003). El éxito del resultado de la implementación del método tiene dependencia directa con la formulación de las preguntas que se le realizan al equipo de trabajo. Estas preguntas deben ser bien estructuradas y ahondar en los siguientes temas:

- Riesgos y peligros conocidos
- Experiencias e incidentes previos
- Controles y protecciones conocidas y existentes
- Requisitos y restricciones de carácter reglamentario

Se recomienda que esta evaluación se realice siguiendo el flujo de implementación del proyecto o proceso. Cada una de las preguntas, con sus debidas respuestas, deberán asentarse en una matriz que contenga (Diberardinis, 1999):

- La pregunta: estas preguntas representan supuestos de ocurrencia de situaciones tales como: errores humanos, fallas en equipos, errores en procesos
- Respuesta: qué ocurriría si la situación que fue planteada llegara a materializarse
- Probabilidad: la probabilidad de ocurrencia del evento
- Consecuencias: diferentes consecuencias con su nivel de impacto descrito con palabras como, bajo, medio, alto
- Manejo o recomendaciones: determina la forma de mitigar el riesgo y qué medidas tomar para evitar su ocurrencia. Estas formas pueden ser evaluadas por medio de métodos semicuantitativos de apreciación del riesgo para clasificarlas en términos de la prioridad de las acciones establecidas

Cuando esta herramienta se aplica en un proyecto o fase de diseño se debe tener en cuenta que las preguntas que se realizan son más amplias y no tan específicas como si se estuviera evaluando un proceso con cierta trayectoria. Deben ser orientadas a cuestionar los supuestos de los que se parte en la formulación del proyecto.

Las desventajas más significativas del método radican en la subjetividad que se desarrolla con el mismo, es decir, la forma en la que el coordinador de la reunión genera las preguntas al equipo de trabajo produce un sesgo en las respuestas y los análisis obtenidos por parte de los expertos no son más que un pensamiento crítico de los mismos por su experiencia en situaciones similares. Precisamente, la anterior desventaja genera que el método deba ser corroborado por metodologías más robustas que lleven los resultados a un punto más aterrizado de ideas y probabilidades de ocurrencia.

Contrario a esto, el método se presenta como algo sencillo y rápido, lo que hace que no se requiera mucho conocimiento para su desarrollo. Por esta razón la flexibilidad del modelo es aplicada a todo tipo de industrias, ya que permite ser utilizado en etapas de diseño de proyectos donde no hay tanto nivel de detalle, entregando unos lineamientos a seguir claros luego de su utilización (Broadleaf, 2016 y Crawley & Tyler, 2003).

5.1.9. Método del análisis de fiabilidad humana

También llamado análisis de la confiabilidad humana. El método evalúa el impacto de los errores humanos sobre el rendimiento del proyecto.

La complejidad del comportamiento humano hace que se dificulte la creación de un modelo de comportamiento estándar que pueda ser aplicado en todas las situaciones. Es por esto que existen métodos que atacan el comportamiento humano para eliminar el riesgo que este presenta en el desarrollo o la gestión de un proyecto y que tienen en cuenta que un error humano está sujeto a ocurrencia en todas las etapas del proyecto. Algunos de estos métodos son: Heart, Therp, Slim, Sharp y Sherpa. Los anteriores desarrollos proponen un análisis cuantitativo asociado ya que evalúan los comportamientos de una manera probabilística.

La desventaja de los modelos que se generan para controlar esta característica es que las acciones humanas son impredecibles y pueden estar afectadas por factores sociales, psicológicos, ambientales, físicos, entre otros, lo cual hace que las probabilidades de ocurrencia sean difíciles de calcular y predecir (Faig, 2003).

La formalización de los errores humanos como una posibilidad que impacta la gestión de proyectos conlleva que la realización de estimulaciones a factores como motivación, comunicación, capacitación (gestión del conocimiento), desarrollo y demás aspectos de la calidad humana puedan ser un factor determinante en la disminución de errores humanos (García, 2006).

5.1.10. Método de causa-raíz (RCA)

También conocido como análisis de causa primordial. Es usado normalmente de forma reactiva. Esto quiere decir que se realiza el estudio cuando ya el riesgo se materializó y se evalúan las causas que permitieron que ocurriera el evento y las pérdidas que ocasionó el

mismo. Esta puede ser considerada una técnica de mejora continua ya que permite ejecutarse cada vez que ocurra un evento y generar mejoras a partir de un correcto análisis (“Análisis Causa-Raíz o RCA”, s. f.).

Es importante tener en cuenta que en la evaluación de riesgos en proyectos se realizan análisis basados en eventos que podrían ocurrir, ya que de estos resultados depende la iniciación de un proyecto. Por lo tanto, esta herramienta no tiene aplicabilidad en proyectos ya que en este punto de la evaluación aún no se ha iniciado ningún proceso y no se ha ocasionado ninguna falla que deba ser evaluada.

Es necesario contar con todas las evidencias del fallo para facilitar el análisis; por esta razón el método presenta unas etapas claves para el proceso (Icontec Internacional, 2013):

- Constitución del equipo
- Establecimiento de campo de aplicación y objetivos del análisis
- Recopilación de datos y evidencias
- Realización de un análisis estructurado
- Desarrollo de soluciones y recomendaciones
- Aplicación de recomendaciones
- Verificación del éxito de las acciones implantadas

Adicionalmente, para realizar el análisis estructurado, esta metodología cuenta con varias herramientas que facilitan su desarrollo (Icontec Internacional, 2013):

- Análisis de barreras
- Interferencia Bayesiana
- Análisis árbol factor causal
- Análisis de cambios
- Árbol de la realidad actual (teoría de las restricciones)
- Análisis de los modos de falla y efectos (FMECA)
- Análisis del árbol de fallas
- Los cinco por qué
- Diagrama de Ishikawa

- Análisis de Pareto
- Diagnóstico de problemas RPR (Rapid Problem Resolution)

Este método tiene una gran ventaja en que es un análisis estructurado que considera todas las hipótesis generadas por los expertos, además genera conocimiento que puede ser útil para evitar que se vuelva a ocasionar la falla o a materializar el riesgo en la evolución del proyecto o de futuros proyectos (Icontec Internacional, 2013).

Sin embargo, ya que se realiza después de que el riesgo se materializa sus desventajas son que cuando se trata de algún evento físico es posible que algunas de las evidencias queden destruidas o se pierdan, lo que hace que su evaluación posterior quede incompleta. En algunos casos es factible encontrar que la organización o proyecto no tiene los recursos suficientes para implementar las medidas necesarias que se obtengan de este desarrollo para evitar que vuelva a ocurrir el evento y le toca afrontarlo o no implementarlo por su costo.

5.1.11. Método Sneak o análisis de circuito de fugas

El enfoque principal del análisis Sneak hace referencia a la identificación del riesgo de fallo en puntos mucho más internos de la cadena del desarrollo de los proyectos; no obstante, son probabilidades que se evalúan y que pueden influir en decisiones o casos.

En muchos tipos de proyectos se diseñan circuitos y sistemas eléctricos y mecánicos, bien sea como uno de los requisitos del proyecto o como su objeto principal. En cualquiera de estos casos se debe tener en cuenta que el funcionamiento interno de sistemas puede desviarse y ocasionar resultados diferentes a los esperados.

Es ahí entonces en donde este tipo de análisis se utiliza para determinar el nivel de seguridad de los sistemas eléctricos y electromecánicos que involucran el desarrollo de un proyecto o que son su objeto mismo, mediante lo cual se pretende identificar condiciones que puedan causar acciones indeseadas o inhibir la función para la cual fue diseñado. Es importante tener en cuenta que estas condiciones no son ocasionadas por la falla de ningún equipo o componente, sino que buscan las rutas o caminos ocultos en los sistemas o circuitos eléctricos (“Reliability Services in the Design Phas”, 2016).

Estas son algunas de las condiciones que pueden identificarse con este método (“Reliability Services in the Design Phas”, 2016):

- Caminos imprevistos: caminos inesperados por los que la corriente, energía o secuencia lógica puede fluir en una dirección diferente a la deseada
- Tiempo imprevisto: eventos que ocurren en una secuencia inesperada o que entran en conflicto con las demás
- Indicaciones imprevistas: *displays* confusos o falsos de condiciones de operación que pueden ocasionar que el operador tome una acción no deseada
- Etiquetas imprevistas: etiquetado correcto o impreciso de las funciones del sistema que puede hacer que el operador aplique estímulos incorrectos

Este tipo de análisis difiere de las demás técnicas de análisis de sistemas ya que este en particular busca modos de operación inadvertidos en el diseño, y no fallas (“What is Sneak Circuit Analysis”, 2016).

Las aplicaciones más comunes que se pueden encontrar para el método sirven para analizar sistemas que controlan o ejecutan tareas o funciones, sistemas que controlan corriente eléctrica y su distribución y códigos incrustados que controlan las funciones del sistema y sus tiempos (“What is Sneak Circuit Analysis”, 2016).

Este método presenta entonces dos grandes desventajas que lo hacen ser muy complejo de implementar, en primer lugar debe haber un grupo de expertos con gran experiencia para lograr identificar cada uno de los casos posibles, pues la diversidad de sistemas genera grandes variaciones. El método funciona mejor cuando se aplica en conjunto con el análisis HAZOP (Icontec Internacional, 2013).

Su ventaja es que presenta un desarrollo muy útil para evaluar sistemas que tengan múltiples estados, tales como plantas por lotes o lotes por mitades.

5.1.12. Método del análisis de capas de protección

El método LOPA (por sus siglas en inglés) no es un método autodidacta, por el contrario, es un método que requiere de análisis previos como los métodos de HAZOP y la edificación de

peligros, entre otros. Estos riesgos identificados se convierten en la base de partida para el análisis de capas de protección (Aguilar, 2011).

Este método tiene sus fundamentos de implementación en las planeaciones estratégicas de las organizaciones, pues la decisión de blindar de una manera más profunda los desarrollos de mitigación de los riesgos, o de investigar la efectividad de los mismos, genera un aumento de costos considerable que debe ser aprobado y considerado como una metodología organizacional.

Una vez sea definido que se usará el método LOPA se debe comenzar por analizar objetivamente cada una de las protecciones o métodos de mitigación para definir a cuáles pares de causa-efecto se les debe aplicar el criterio para su disminución de probabilidades (Camacho *et al.*, 2013). Las etapas para el desarrollo del método son:

1. Identificación de consecuencias y análisis de su severidad: durante esta etapa se utilizan todos los métodos existentes para la identificación de pares causa-efecto de los riesgos y así comparar sus aceptabilidades de ocurrencia con las establecidas por la organización.
2. Seleccionar el escenario objeto de estudio: dado que no todos los pares causa-efecto son aplicables para estudio es necesario definir a través de métodos, como el análisis SIL, cuáles riesgos o eventos son aplicables para este desarrollo. Estos pares seleccionados salen de la relación entre lo definido organizacionalmente y lo identificado por métodos como el SIL.
3. Identificar el suceso iniciador del escenario y determinar su frecuencia: los eventos indicadores se calculan en tasas por año, es decir, los eventos que ocurren en un año y que son determinantes para cada pareja. Esta labor se apoya en las bases de datos que recopilen o permitan determinar las frecuencias de suceso de los eventos. De ser necesario y conocido se debe identificar también la frecuencia/probabilidad del evento analizado.
4. Identificar las capas de protección independiente (IPL) que intervienen en el escenario de estudio y determinar la probabilidad de fallo en demanda (PFD) de las mismas: las capas de protección independiente son los mecanismos que previenen o evitan la materialización de los riesgos. Una vez estas sean identificadas se debe identificar la probabilidad con ayuda del índice SIL identificado previamente.
5. Identificar la frecuencia del escenario con los datos de suceso iniciador, consecuencia y capas de protección independiente.

Se procede a calcular la frecuencia de ocurrencia con la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Ecuación para la identificación de la frecuencia de escenario

$$f_s = f_{ie} * P_e * P_{cm} * \prod_{i=1}^n PFD_i$$

Donde:

f_s : Frecuencia del escenario

f_{ie} : Frecuencia del suceso iniciador

P_e : Probabilidad de los eventos permisivos o condiciones

P_{cm} : Probabilidad de modificadores condicionales

PFD_i : Probabilidad de fallo en demanda de la IPL i

6. Evaluar si el riesgo obtenido en la etapa anterior es tolerable según los criterios adoptados: para la evaluación final se debe comparar el riesgo mediante la combinación de la frecuencia de las consecuencias y la criticidad de dichas consecuencias. Es allí donde el riesgo evaluado se compara con el riesgo aceptado por la organización y se define si es permisible, aceptado o se debe dar un tratamiento mucho más profundo al riesgo para su adecuado valor tolerable (Camacho *et al.*, 2013).

Las desventajas del método radican esencialmente en el tiempo que se debe involucrar para su desarrollo y por ende los costos que requiere si no está definido el mismo como una estrategia organizacional. También es importante tener presente que al analizar únicamente los pares causa-efecto directos es posible dejar por fuera elementos de relaciones externas que terminan siendo factores para mitigación importante (Icontec Internacional, 2013 y Camacho *et al.*, 2013).

La ventaja del método es que su desarrollo es de los más complejos dentro de los juicios cualitativos subjetivos. Esta fortaleza lo convierte en un modelo para aumentar la seguridad en los proyectos ya que permite identificar qué capas de protección necesitan mejores tratamientos de acuerdo a lo definido por las estrategias organizacionales. El método en general ayuda a enfatizar las consecuencias más graves que se pueden presentar al analizar los pares por separado (Icontec Internacional, 2013 y Camacho *et al.*, 2013).

Este método es ideal para sistemas productivos o proyectos de implementación de ingenierías complejas o en la industria en general.

Las ventajas más relevantes del proceso que desarrolla el método se plantean en lo completo de su desarrollo y la versatilidad de poder realizarse en las diferentes etapas de avance de la

construcción del proyecto. Adicionalmente, al ser una técnica de trabajo en equipo permite que se considere más de un punto de vista, generando que se abarque la mayoría de variables críticas que afectan el desarrollo normal de la operación al incentivar el flujo de ideas de los participantes.

La técnica presenta varias desventajas que se deben considerar antes de tomar la decisión de su implementación; entre ellas se debe tener en cuenta que se necesita de un alto detalle en el proyecto a realizar para que se pueda analizar lo realmente importante. Adicionalmente, este análisis tan detallado genera que se tome demasiado tiempo para su implementación y que la metodología de trabajo lo haga débil por la subjetividad que se plantea en el grupo de desarrollo (Freedman, 2016 y Crawley & Tyler, 2015).

5.1.13. Método de análisis de peligros y de puntos críticos de control (HCCP)

Es una herramienta que propone una alternativa para la identificación de riesgos con el fin de proteger el producto obtenido luego de un proceso de conversión de materia y asegurar su calidad. Para esto se realizan controles a lo largo del proceso productivo y se complementan con una inspección final más rigurosa (Icontec Internacional, 2013).

Este método tiene su aplicación en la industria de alimentos y bebidas y se ha ido extendiendo en la industria farmacéutica y sanitaria. Su mayor aporte consiste en facilitar el proceso de control de calidad, y aunque sus principios básicos podrían tener aplicabilidad en otros sectores de la economía, para el caso de proyectos no es muy recomendado ya que está diseñado para productos que se obtienen mediante procesos sistémicos a lo largo de una cadena productiva (Icontec Internacional, 2013).

Tras lo anterior, es posible asignar el método como un modelo de choque, es decir, que se basa en lo principal de métodos o herramientas para el análisis como lo son expertos, pruebas o históricos que con análisis buscan reducir las probabilidades de materialización de los riesgos.

5.1.14. Método RISICAR

Puede intervenir en todas las etapas de la gestión del riesgo que se presentan a continuación:

- **Identificación:** debe partir de un análisis del contexto del proyecto tanto interno como externo, esto con el fin de definir los aspectos más significativos que puedan afectarlo. Para facilitar esta identificación se sugiere dividir el proyecto en sus actividades o alcances específicos, luego se analizan y unifican criterios para que todos tengan la misma interpretación del riesgo. Partiendo de esto, se deben determinar los agentes generadores que son los que pueden originar el riesgo; entre ellos podemos encontrar: personas, materiales, equipos, instalaciones y entorno. Esta identificación es importante porque en ella se basaran los controles necesarios para evitar al máximo la materialización del riesgo. Lo mismo ocurre con las causas, las cuales siempre se relacionan con los agentes generadores ya que son las circunstancias por las cuales el agente puede generar el riesgo. Para el caso de las causas externas es importante saber que el proyecto está sujeto a estas, pero que, sin embargo, puede tomar acciones para mitigar su efecto negativo. Todo lo anterior va a permitir identificar los efectos de los riesgos sobre los objetivos del proyecto en general, en este caso no solo se evalúa el impacto sobre la actividad o alcance, esta vez es necesario tener una visión global sobre el proyecto para poder darle un manejo integral a los riesgos (Mejía, 2006).
- **Calificación:** para la calificación del riesgo es necesario asignar frecuencia e impacto para su posterior multiplicación. Para la frecuencia se tienen cuatro niveles, baja, media, alta y muy alta, a cada una de estas se le asigna un valor de 1 a 4, con el fin de dar un valor más alto a los riesgos que ocurren con una frecuencia muy alta. Lo mismo ocurre para medición del impacto, en este caso se tienen también cuatro niveles, leve, moderado, severo, catastrófico, y a cada uno de ellos se le asigna un valor que comienza en 5 e incrementa el doble cada vez que se cambia de nivel, siendo así el impacto catastrófico el que mayor valor tiene. Es en este momento cuando la metodología deja de ser cualitativa para migrar a lo semicuantitativo, ya que se tienen variables numéricas que podrán ser evaluadas posteriormente (Mejía, 2006).

Evaluación: los riesgos se clasifican en cuatro tipos:

- A. Aceptable
- B. Tolerante

- C. Grave
- D. Inaceptable

Cuadro 6. Cuadro de evaluación del impacto del riesgo

		IMPACTO X FRECUENCIA								
FRECUENCIA	4	Muy Alta	20	B	40	C	80	D	160	D
	3	Alta	15	B	30	C	60	C	120	D
	2	Media	10	B	20	B	40	C	80	D
	1	Baja	5	A	10	B	20	B	40	C
			Leve	Moderado	Severo	Catastrófico				
			5	10	20	40				
			IMPACTO							

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

- Tratamiento: la multiplicación de las dos variables entrega un valor al que se le asigna una zona de riesgo. Pero es importante tener en cuenta que cada organización es la encargada de determinar cuáles son los tipos de riesgo que puede o no asimilar, y qué tipos de acciones o respuestas deben darse a cada una de las zonas entre las que se encuentran evitar, prevenir, aceptar, retener o transferir (Mejía, 2006).

Una vez se definen cuáles son los riesgos aceptables para el proyecto se determinan las medidas para tratarlo, pero cuando estos riesgos son catalogados como catastróficos es cuando se debe analizar si es factible la eliminación de la actividad que lo genera. La decisión que se tome dependerá de las alternativas que ofrezca el mercado para asegurarse ante la materialización de riesgos (Mejía, 2006).

La profundización del método RISICAR propone además una gestión integral a nivel organizacional, pero, para este caso de estudio solo se mencionarán las siguientes etapas que ya entran a formar parte de la planeación estratégica de la organización, diseño e implementación de medidas, monitoreo y mapas de riesgos (Mejía, 2006).

Es necesario entonces explicar que para el éxito de la aplicación del método es importante capacitar a los líderes en el tema de gestión de riesgos y las herramientas que se pueden

aplicar, pero por la naturaleza del método en particular esto puede jugar en su contra, ya que como se ha visto en algunos de los métodos anteriores los evaluadores no requieren capacitación en el tema de riesgos, pues prima su experticia en el proceso que se evaluará (Mejía, 2006).

5.1.15. Método del análisis del modo y efecto de falla (FMEA)

Este método para la gestión de riesgos es comúnmente usado para identificar fallas potenciales en cualquiera que sea la etapa del proyecto, diseño, ejecución o funcionamiento. De igual forma, el método permite identificar las consecuencias de la materialización de los riesgos y la frecuencia y eficacia de los planes de mitigación actuales (Scarpatti, s. f.).

Este método debe ser liderado por el gestor de riesgos del proyecto y consiste en un número de expertos en diversidad de temas que puedan orientar al proyecto por un mejor camino para determinar cuáles fallas o riesgos son más potenciales o si es preferible hacer un seguimiento durante el mismo. Este proceso llama a la identificación Índice de Prioridad del Riesgo (IPR o RPN por sus siglas en inglés), el cual consiste en clasificar cuáles causas son las más probables de falla y así priorizar o definir a cuáles de ellas les es más relevantes el análisis siguiente que propone el método. Para continuar, el equipo debe identificar claramente los modos de falla de los riesgos a trabajar al igual que sus causas y efectos potenciales, mediante los cuales se procederá con el cálculo del Risk Priority Number (RPN), factor con el cual se tomarán las definiciones del método (Cisneros, 2012). Esta caracterización del método se propone de la siguiente manera, o por medio de la siguiente secuencia:

- Para cada riesgo se deben identificar: la gravedad de la falla (S), la probabilidad de ocurrencia (O) y la probabilidad de detección (D). Cada uno de estos conceptos se debe calificar entre 1 y 10 según la importancia y el conocimiento del mismo en los mencionados conceptos.
- Se calcula el IPR con la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Ecuación del índice de prioridad del riesgo

$$IPR = S * O * D$$

El valor máximo que puede tomar el riesgo es 1.000 y será aquel que sea catastrófico para los intereses del proyecto. Para la definición de los valores, se toma como muestra el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Muestra para definición de valores para el FMEA

Cálculo de RPN	Definición	Calificación	
		1 (min)	10 (máx)
Severidad	¿Qué tan significativo es el impacto del efecto en el cliente?	Menos significativo	Más significativo
Ocurrencia	¿Es probable que la causa del modo de falla ocurra?	Probablemente no ocurra	Probablemente ocurra
Detección	¿Es probable que el sistema pueda detectar la causa o el efecto si este ocurre?	Probablemente detecte	Probablemente no se detecte

Fuente: elaborado por los autores con base en Cisneros (2012).

Una vez determinado el IPR se evalúan los riesgos y se define a cuáles de ellos se intervendrá o con cuáles de ellos se continuará el proceso.

En conclusión, el método es una herramienta de identificación y categorización de riesgos según sus componentes e impactos sobre el proyecto.

Las ventajas del método son varias, entre las más destacadas están que puede ser usado en cualquier etapa del mismo y que por su profundidad puede determinar los riesgos más potencialmente peligrosos para desarrollar un análisis que permita mejorar la condición de riesgo. De igual forma, ayuda a plantear relaciones entre las fallas y las causas para priorizar mejor el riesgo.

Las debilidades se basan principalmente en el uso de un equipo que aunque se espera debe ser lo más experto en los temas, la subjetividad puede convertir riesgos no muy relevantes en factores que le cuestan al proyecto mucho más dinero. Adicionalmente, convierte los análisis

en muchas ocasiones en desarrollos muy extensos, los cuales pueden ser muy complejos y permitir que se dejen por fuera temas que sean relevantes para el proyecto.

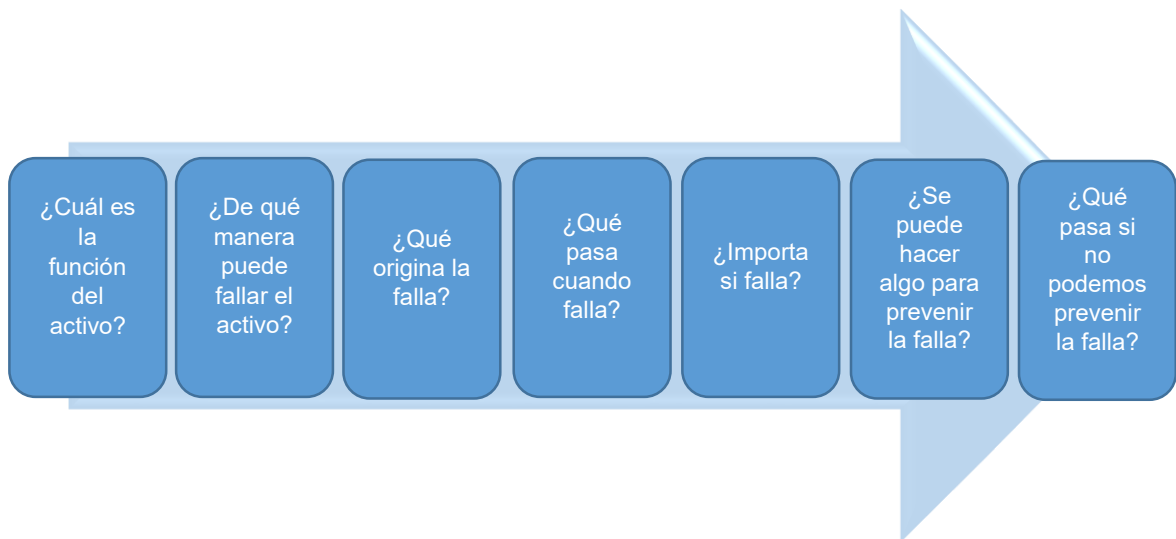
5.1.16. Método del análisis de la fiabilidad del centro de mantenimiento

También conocido como análisis centrado en confiabilidad (MCC o RCM por sus siglas en inglés) es una herramienta para la estructuración del grupo de mantenimiento que permita enfocar el mismo hacia una reducción de fallas probables que pongan en compromiso la viabilidad de los procesos o sistemas (MyS Asociados, s. f.).

Esta herramienta puede adaptarse a la etapa de proyectos como un apoyo de la etapa de diseño que permita la continuidad del resultado en el tiempo, o como la estrategia usada durante el desarrollo del proyecto para reducir las probabilidades de riesgos en el desarrollo del mismo por paro o fallas de equipos necesarios para su evolución.

Para la estructuración que propone el método se deben seguir o responder las siguientes preguntas que enfatizan la criticidad del equipo:

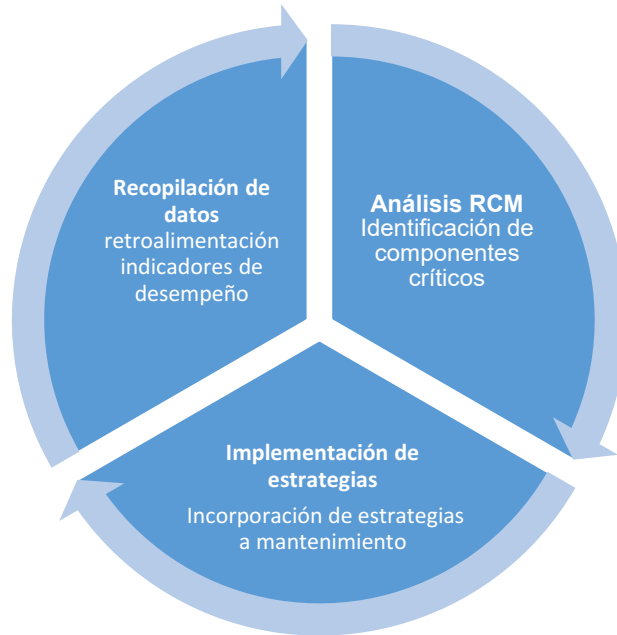
Figura 6. Preguntas del método MCC



Fuente: elaborada por los autores con base en MyS Asociados (s. f.).

Una vez resueltas la preguntas iniciales se procede con un ciclo para la mejora continua de la reducción de los riesgos, como se presenta en la figura 7 (Icontec Internacional, 2013).

Figura 7. Ciclo del método MCC



Fuente: elaborada por los autores con base en Rea, Rodríguez, Sandoval, Valenzuela, Velasco y García (2012).

Este modelo aplica para el desarrollo de riesgos como un análisis del modo de falla y de efecto de falla según su criticidad. Adicionalmente, proporciona salidas a través de expertos para implementaciones y mejoras continuas del proceso que reduzcan la probabilidad de riesgos, como fue mencionado (Icontec Internacional, 2013).

5.1.17. Método del análisis del impacto en el negocio

El análisis del impacto del negocio o BIA (Business Impact Analysis), es el proceso mediante el cual se busca identificar el impacto de pérdida de la materialización de los riesgos en una empresa. El método debe cuantificar cuáles son los procesos más críticos dentro de la organización y los proyectos, cuáles serían sus tiempos de pérdida para afectaciones de la ruta crítica y los costos financieros de esta materialización (Moisoff, 2006).

El proceso para la ejecución del método consiste en la implementación de un método Delphi, preferiblemente, pero a través de encuestas o entrevistas estructuradas. Por medio de estas se

deben plantear las entregas de los procesos más críticos del proyecto que no le permitirían a las compañías el éxito en los mismos si el riesgo se materializa (Snedaker, 2011). Las respuestas con esta herramienta son las anteriormente mencionadas, quiere decir que las encuestas o lo seleccionado debe orientar a los expertos para otorgar definiciones sobre los procesos más críticos en el proyecto, identificación de partes claves involucradas internas o externas, identificación de los recursos disponibles para estos casos críticos, identificación de procesos alternos para los casos de afectación críticos, tiempo máximo aceptable para el detenimiento de las actividades críticas (análisis de ruta crítica), determinación de los tiempos objetivo de recuperación ante un evento de riesgo y, finalmente, la preparación del proyecto ante el surgimiento o la materialización de los peligros (Icontec Internacional, 2013). Es con toda esta información entonces que finalmente se determinan las implicaciones financieras desde lo metodológico y subjetivo de los eventos de riesgo.

Las dificultades o desventajas más claras del método radican en las mismas mencionadas para todos aquellos que refieren su desarrollo al modelo del método Delphi. Es decir, que si bien es un proceso muy completo, ya que facilita la definición de procesos en la organización por la identificación de elementos críticos de los proyectos (ventajas), de igual modo todo su planteamiento es subjetivo, lo cual matiza los resultados y puede llevar a peligros financieros que comprometan los proyectos entre otros muchos factores de fracaso.

5.1.18. Método de la evaluación de toxicidad

Una evaluación de toxicidad es una apreciación de riesgos ambientales que se usa para determinar el impacto que tiene la exposición de un ser vivo a una sustancia o mezcla de varias (Acurio, Rossin, Teixeira y Zepeda, 2016). Para este tipo de análisis se siguen una serie de pasos que llevan a la evaluación del riesgo y su tratamiento, por esto, puede decirse que es un análisis que se encarga de la gestión completa del riesgo (Icontec Internacional, 2013).

Evaluación de la toxicidad, es la selección de los valores adecuados de los parámetros que miden la peligrosidad de las sustancias tóxicas presentes en el sitio, acompañados por la calificación de la calidad de esa información. El parámetro que se usa en evaluación de riesgos es el índice de toxicidad (“Evaluación de la toxicidad”, 2016).

Aunque este proceso tiene toda la aplicabilidad en el área ambiental y seguridad biológica, su metodología tan minuciosa puede ser utilizada para analizar otros tipos de riesgo. Para comenzar, se debe contar con un modelo de la población que podría ser la impactada para luego analizar sus tres fases (“Evaluación de la toxicidad”, 2016):

1. Análisis de riesgos

- Identificación de peligro: para determinar si existe o no un riesgo, se estudian pruebas de laboratorio o modelos.
- Evaluación de riesgos: evalúa la probabilidad de que se produzca un daño en un ser vivo y la severidad con que puede ocurrir. Para el caso de riesgos ambientales pueden utilizarse cuatro técnicas (evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis/respuesta y caracterización del riesgo) (“Evaluación de la toxicidad”, 2016).
- Determinación de la significancia del riesgo: determina qué nivel de riesgo es tolerable. Como en las demás técnicas se requiere de expertos en el tema que puedan dar su concepto, por medio de una negociación podría llegarse obtener uno; pero cabe aclarar que se cuenta con un cierto grado de incertidumbre que está asociado a la subjetividad.
- Comunicación de riesgos.

2. Estimación de la exposición: solo se tienen en cuenta sustancias que podrían estar en contacto con alguna población.

- Escenario de exposición: área física
- Descripción del sitio
- Descripción de las poblaciones
- Ruta de exposición
- Cuantificación de la exposición

3. Caracterización de riesgos: determina si es tolerable el nivel de riesgo y que se produzcan daños asociados de la exposición a los tóxicos presentes en un sitio.

El éxito de la aplicación de este método depende de los datos de entrada que se le suministren; en muchos casos conseguir los datos de los resultados de la exposición depende de los experimentos que se realizan en animales o plantas, ya que es allí donde por medio de modelos se puede extrapolar a los seres humanos. No obstante, estos ensayos hoy en día se han ido simulando en laboratorios por la conciencia que se ha ido adquiriendo acerca de la experimentación con animales, lo cual busca un nuevo horizonte para las investigaciones que plantea este desarrollo.

Una de sus grandes desventajas es que este método puede tardar mucho tiempo en ser desarrollado, pues requiere una infraestructura costosa para los análisis y equipo bien conformado de expertos en el tema.

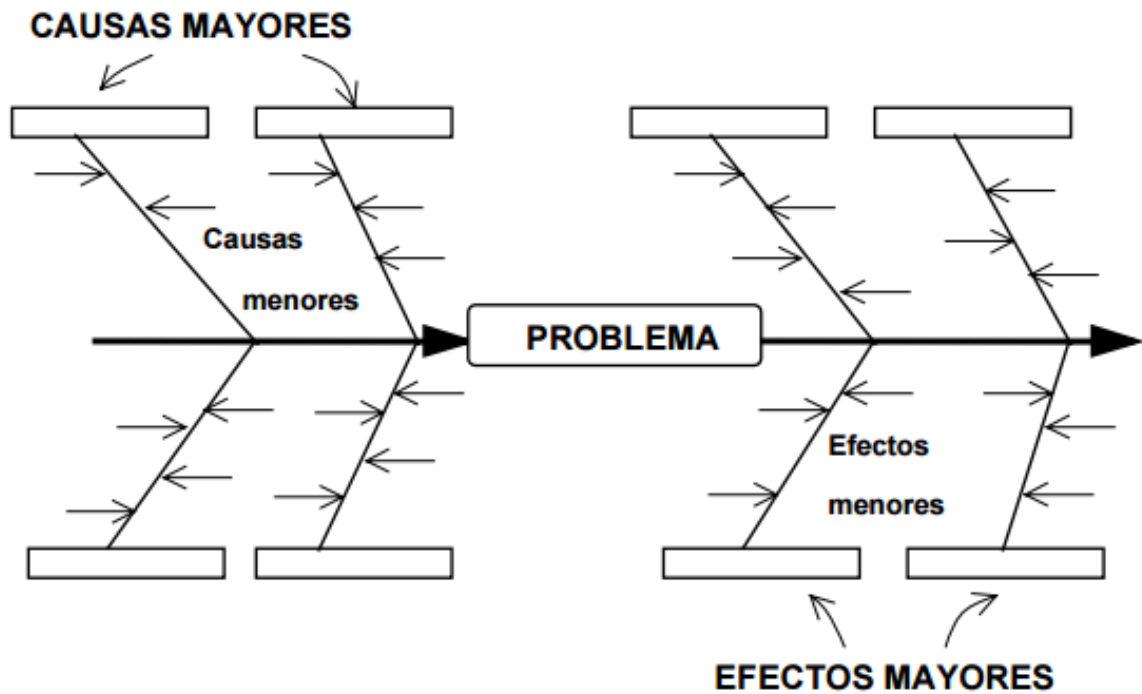
5.1.19. Método del análisis causa-efecto

Es un método utilizado para identificar las posibles causas y efectos de un riesgo o problema, organizando los contribuyentes potenciales en categorías que representan todas las hipótesis que se deben considerar; todo por medio de la construcción e interpretación de un diagrama causa-efecto, o espina de pescado (Icontec Internacional, 2013 y Sánchez, 2003).

Es importante tener en cuenta que el método puede desarrollarse, si se desea, como inicialmente fue creado; es decir, únicamente utilizando el lado izquierdo del modelo el cual comprende solamente las causas del problema, o avanzar más allá con el lado derecho para soportar los efectos del mismo (Sánchez, 2003).

El uso de la técnica es explicado así: “consiste en colocar en un rectángulo (caja) el problema por analizar. Del lado izquierdo se colocan las principales causas (entradas) y de manera similar, del lado derecho los principales efectos (salidas) que derivan del problema” (Sánchez., 2003, p. 43). La figura 8 representa el diagrama del método.

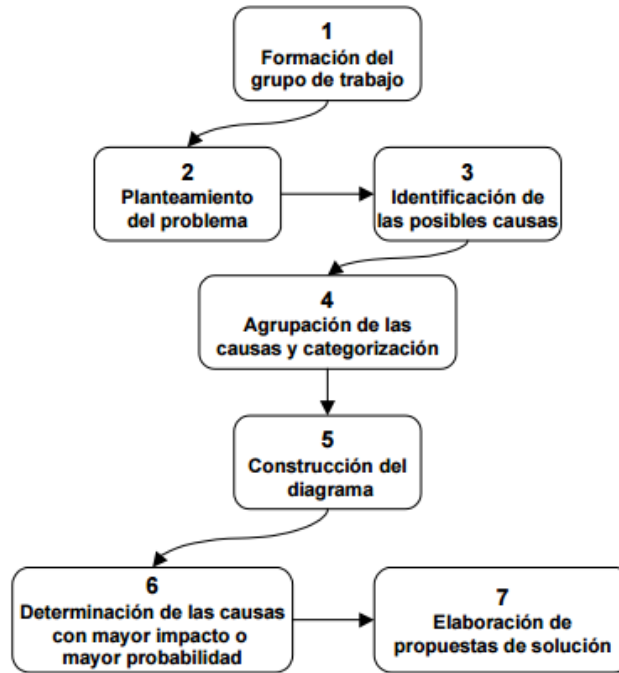
Figura 8. Diagrama del método causa-efecto



Fuente: Sánchez (2003).

El desarrollo de la herramienta tiene tres etapas que se dividen en siete pasos. Comienza con la construcción del diagrama, seguido de la identificación de las causas y efectos más probables y finalizando con la generación de posibles soluciones (Sánchez, 2003). A continuación se presenta el procedimiento de construcción:

Figura 9. Procedimiento de construcción de un análisis causa-efecto



Fuente: Sánchez (2003).

Para la etapa 1 se desarrollan los pasos 1 a 5 de la figura 9 mediante los cuales se integrará un grupo de trabajo de expertos que debe contar con un grupo de cinco o quince personas, y un guía que desarrolle las reuniones. Se describe el procedimiento y se plantea el problema o el riesgo a tratar y se instala en el cuadro central para comenzar la identificación de las causas y efectos del problema, así se obtiene un listado de la ideas de los participantes. Estas causas y efectos se categorizan y se agrupan según su criticidad, similitud y relevancia en el proyecto con el fin de construir, finalmente, el diagrama de causa-efecto final donde las mayores causas y efectos están posicionadas jerárquicamente con sus causas y efectos menores como lo presenta la figura 10 (Sánchez, 2003).

La segunda etapa consta del paso 6, en donde se realiza una votación sobre el diagrama con el fin de determinar cuáles son las causas y efectos más relevantes o con mayor probabilidad de actuación en el proyecto (Sánchez, 2003).

La tercera etapa está constituida por el paso 7, en él se realizan propuestas para mejorar los procesos y así obtener mejores resultados de los encontrados y planteados en el diagrama causa-efecto (Sánchez, 2003).

El apoyo de una herramienta, como lo es un diagrama de Pareto, puede ser de mucha utilidad para el desarrollo y facilita la construcción del diagrama de causa-efecto.

Las ventajas del método radican en que: “elimina el síndrome de la causa única, produce un entendimiento uniforme del problema al presentar la misma información a todos los involucrados y algo muy importante, los hace corresponsables del problema” (Sánchez, 2003, p. 43). Todo esto es posible por la implementación de un análisis estructurado que logra llevar al observador por un camino claro y gráfico mucho más fácil de entender (Icontec Internacional, 2013).

La desventajas del método son: “demanda un conocimiento más o menos profundo de la organización y de los problemas que se presentan y solo se aplica a un problema a la vez, aunque se detecten otros vinculados con el problema analizado” (Sánchez, 2003, p. 44). Lo anterior nos expresa que se deben entonces realizar diferentes análisis por eventos o riesgos, lo cual convierte el método en un desarrollo sumamente largo y costoso por los expertos involucrados. Adicionalmente, “el diagrama por sí mismo no califica el grado de influencia o peso que tienen las causas individuales sobre el efecto. Esto tiene que determinarse con la ayuda de otras técnicas asociadas como el diagrama de Pareto” (Sánchez, 2003, p. 44). Por último, se debe tener en cuenta lo que Icontec Internacional nos menciona como desventaja, el cual nos explica que, “es una técnica de representación de ideas más que de una técnica de análisis independiente” (Icontec Internacional, 2013, p. 66).

5.1.20. Método del análisis de escenario

Comprende una serie de modelos que buscan analizar todos los posibles panoramas que podría tener un evento considerando varias opciones o escenarios, y cómo se comportan las variables de estudio en cada uno de ellos. Esto se debe a que algunas variables pueden estar interrelacionadas. Esta técnica busca permitir la revisión del efecto de las posibles combinaciones (López, 2003).

Para conocer un comportamiento futuro debe conocerse un histórico que muestre las circunstancias que han afectado en el pasado, así entonces, un grupo de expertos podrá interpretarlas y analizarlas para determinar si existe alguna característica estacional o tendencia en ellas que pueda afectar al proyecto.

Esta técnica es empleada en la valoración de los proyectos de inversión considerando que una o más de las variables que se utilizan para la determinación de los flujos netos de caja no son variables ciertas, sino que pueden tomar varios valores, lo que dará lugar a la consideración de diversos escenarios (Martín, 2016b).

Se pueden definir tantos escenarios como se deseen. Para ello solo es preciso hacer variaciones en las hipótesis que determinan el valor de las variables de referencia. Lo habitual es llevar a cabo el análisis de escenarios definiendo, además del escenario “más probable” o “caso base”, dos escenarios adicionales, el escenario “optimista” y el “pesimista” (Martín, 2016b):

- Escenario más probable o caso base: este escenario tiene una mayor probabilidad de ocurrencia. Los valores que toman las variables están pensados en lo que se espera que ocurra a lo largo del horizonte del proyecto
- Escenario optimista: se basa en el escenario más probable y se le otorgan valores a las variables que mejoren las previsiones iniciales.
- Escenario pesimista: se basa en el escenario más probable y se le otorgan valores a las variables que empeoren las previsiones iniciales.

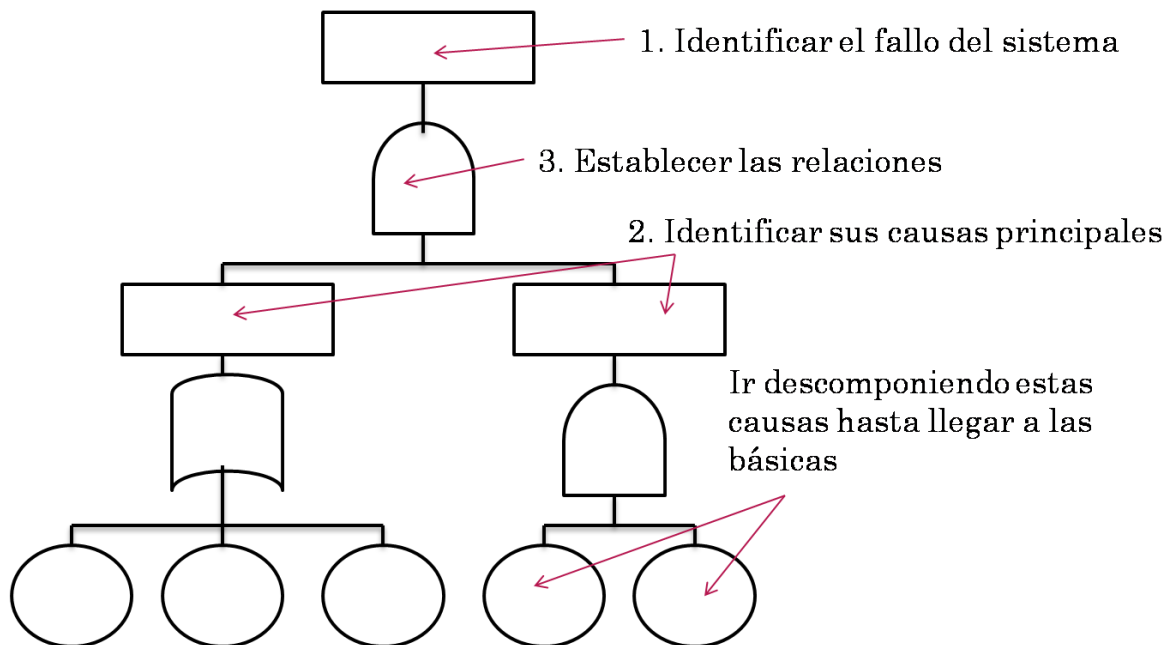
Ya que este análisis depende de históricos su mayor dificultad radica en encontrar datos confiables que permitan hacer predicciones sobre el futuro. Además de la idoneidad del equipo que realiza los posibles escenarios, el cual puede otorgar un grado de incertidumbre adicional al análisis. Por otro lado, su mayor ventaja es que permite crear un proyecto flexible que se adapte a los posibles panoramas y un plan de acción conociendo el comportamiento de las variables bajo ciertas situaciones.

5.1.21. Método del análisis del árbol de fallas

El método se considera un proceso deductivo que se basa en un panel de expertos, el cual genera a través de su experiencia un árbol lógico que busca responder a la pregunta, ¿cómo es posible que esto suceda?, identificando las causas principales y los caminos posibles para cada suceso (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1995 y Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas, s. f.).

El proceso de construcción del árbol consiste en el uso de una serie de símbolos lógicos para dar coherencia a los caminos que llevan a la materialización de un suceso principal o superior que afecte el proyecto. Un ejemplo del árbol es presentado a continuación:

Figura 10. Ejemplo del árbol de fallos



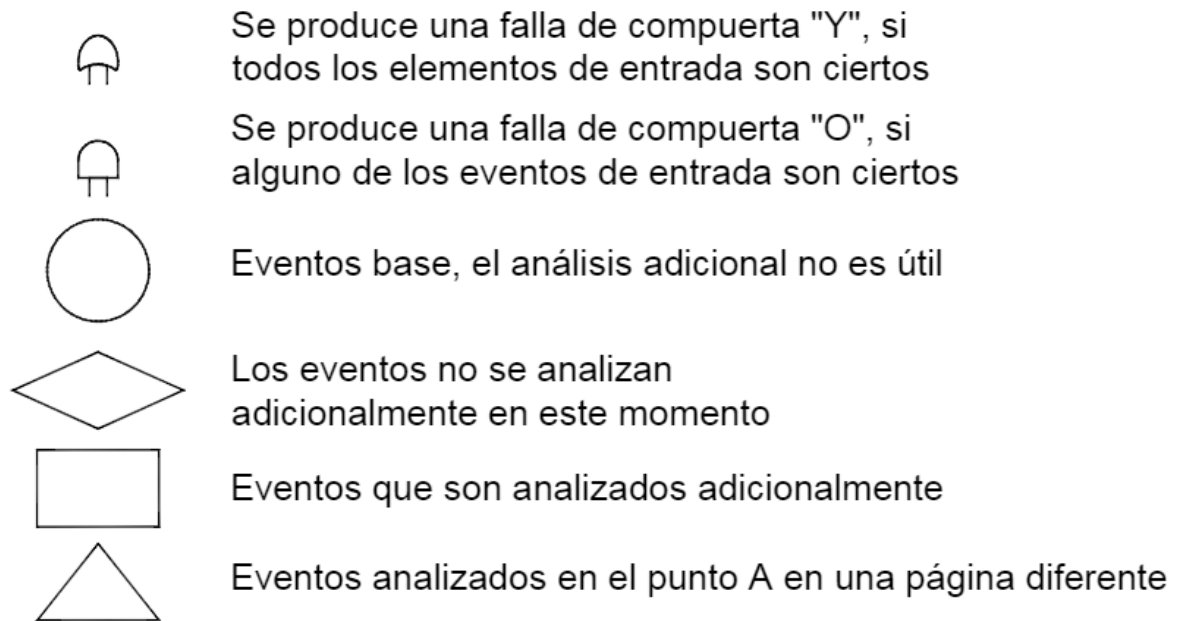
Fuente: "Herramientas de mantenimiento" (2014).

El método puede ser usado en todas las etapas del proyecto, desde la formulación hasta la ejecución, pero se implementa con más frecuencia para analizar accidentes luego de que ocurran.

Se construye con los siguientes pasos:

- Definir el evento superior: significa identificar el tipo de falla que se va a investigar. Durante esta identificación se deben dividir todos los posibles riesgos y con base en ellos determinar cuál es el evento o suceso máximo de falla al cual se le desglosará en su orden lógico el árbol.
- Conocer el sistema: se debe recopilar toda la información disponible del entorno del proyecto.
- Construir el árbol: debe mantenerse sencillo, manejar una coherencia uniforme y tener los símbolos claros que guíen al lector claramente por los caminos del fracaso del proyecto. Para construir el árbol se debe tener en cuenta la siguiente simbología:

Figura 11. Símbolos del árbol de fallos



Fuente: Icontec Internacional (2013).

- Validar el árbol: el resultado debe ser aprobado por un experto que determine si el árbol está completo y exacto, es decir, si cubre todos los posibles caminos a suceso máximo.
- Evaluar el árbol de fallas: una vez se tiene por completo el árbol se examina para determinar los procedimientos alternos importantes que se pueden implementar para la reducción del peligro.
- Considerar cambios constructivos: evaluar más exhaustivamente los procedimientos alternos propuestos en el paso anterior con el fin de determinar si existen falencias en los mismos y que pueden ser corregidas antes de la implementación.
- Considerar alternativas y recomendar medidas: se realiza una última revisión del árbol para validar con los expertos si existen cambios pertinentes o por el contrario se alcanzó el objetivo planteado.

Este método trasciende, si se desea, a la etapa cuantitativa, esto sucede cuando a través de la experiencia, bases de datos o históricos, es posible asignar la probabilidad para determinar la ocurrencia del evento máximo. Se debe usar algebra booleana con el fin de reducir los sucesos primarios con uno solo para simplificar los cálculos finales, sin embargo, a partir de uniones básicas del algebra como la unión e intersección es posible determinar la probabilidad de ocurrencia del evento final (Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas, s. f.).

Las ventajas del método se basan en que es una herramienta flexible que permite en medio de su sistematización el análisis de varios factores. Adicionalmente, el método ayuda a la identificación de caminos de falla simples en sistemas muy complejos (gran cantidad de interfaces u operaciones) que dan paso a la verificación del éxito del mismo, esto se ve apoyado con su orden gráfico ya que lo convierte en algo mucho más simple de entender (Icontec Internacional, 2013).

La desventaja, como en todos los métodos de bases cualitativas, es la subjetividad; adicionalmente, para este método se debe contar con un desarrollo de software importante, lo cual puede requerir inversiones costosas en dichas herramientas. Al ser un método binario no permite relaciones intermedias, lo cual genera un sesgo (Icontec Internacional, 2013).

5.1.22. Método del análisis del árbol de decisiones

Un árbol de decisión representa las alternativas posibles sobre eventos del proyecto y sus influencias en el resultado final, derivados de las decisiones que se tomen sobre los casos en cuestión (Icontec Internacional, 2013).

Como se explica a continuación:

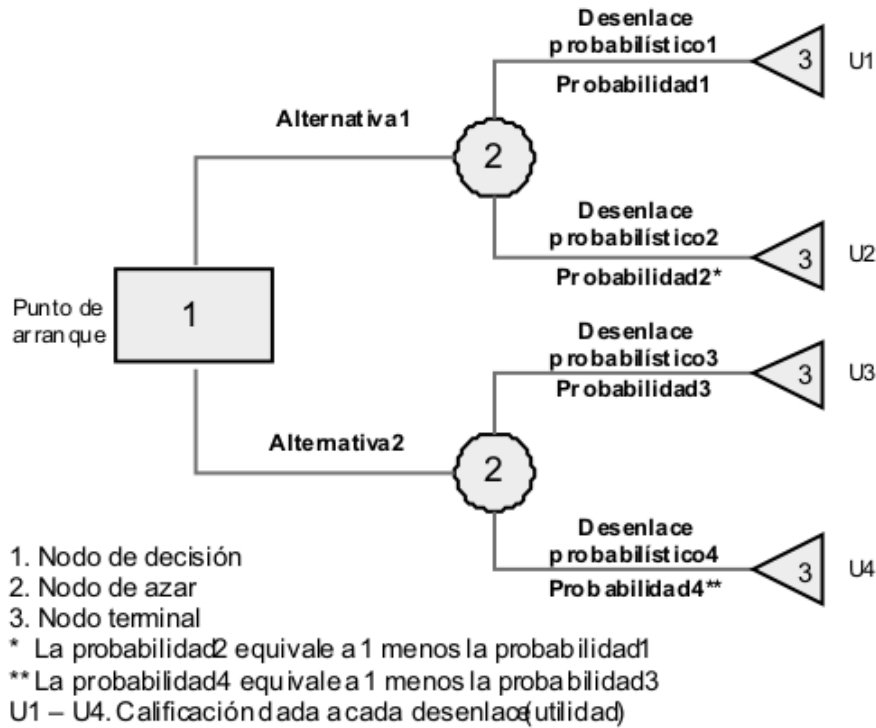
La realización de este ejercicio es de suma importancia para la gestión de riesgo del proyecto, y para otros momentos de toma de decisiones, y se nutre de todas las informaciones que podamos tener a mano, como otras experiencias para calcular las probabilidades de los eventos, las lluvias de ideas para identificar posibles alternativas, entre otras (Aquino, 2014).

El objetivo es poder presentar un modelo esquemático de un árbol con todas las posibles alternativas disponibles para quienes toman las decisiones, orientándolos a través de las p consecuencias de cada una (Krajewski y Ritzman, 2000).

La manera como se construye el árbol debe tener en cuenta lo explicado a continuación:

es necesario considerar las distintas alternativas o cursos de acción y los posibles eventos asociados a cada curso de acción. Dentro de un Árbol de Decisión un cuadrado (□) significará un punto de decisión, es decir, el punto desde el cual se fija un curso de acción; y un círculo (O) significará los posibles eventos asociados al curso de esa acción. Siguiendo el siguiente gráfico comprenderemos la estructura del Árbol de Decisiones (Calancha, Carrión, Cori y Villa, 2010, p. 4).

Figura 12. Convenciones para la construcción de un árbol de decisión



Fuente: Sánchez (2008), Gamboa (2008) y Díaz (2008).

El punto de arranque representa la decisión inicial y de ahí en adelante se plantean los procesos hipotéticos que se van desarrollando con el proyecto, o los mismos proyectos hipotéticos del camino y que buscan plantear un análisis de los riesgos de las diversas opciones que los caminos pueden tomar (Icontec Internacional, 2013).

El método puede convertirse en semicuantitativo si se posee la información histórica, de experticia y relevante que permita asignar las probabilidades de ocurrencia a los caminos y obtener así resultados probabilísticos de ganancias esperadas o de mejores alternativas de decisión.

Las ventajas del método radican en la facilidad de expresar los caminos de manera gráfica, lo cual se demuestra en la facilidad para la interpretación de las causas y consecuencias de cada decisión generando un mejor control empresarial al reducir las variables independientes y demostrar, de manera clara, las probabilidades que maximizan las utilidades (Icontec Internacional, 2013).

La debilidad del método se concentra en la subjetividad de los datos y en que para proyectos de gran envergadura lo extenso del árbol puede producir que se pierda la facilidad de su representación, o, en proyectos simples se realizan pequeños diagramas que no comprenden o representan de verdad los caminos del mismo (Icontec Internacional, 2013).

5.1.23. Método del análisis de árbol de sucesos

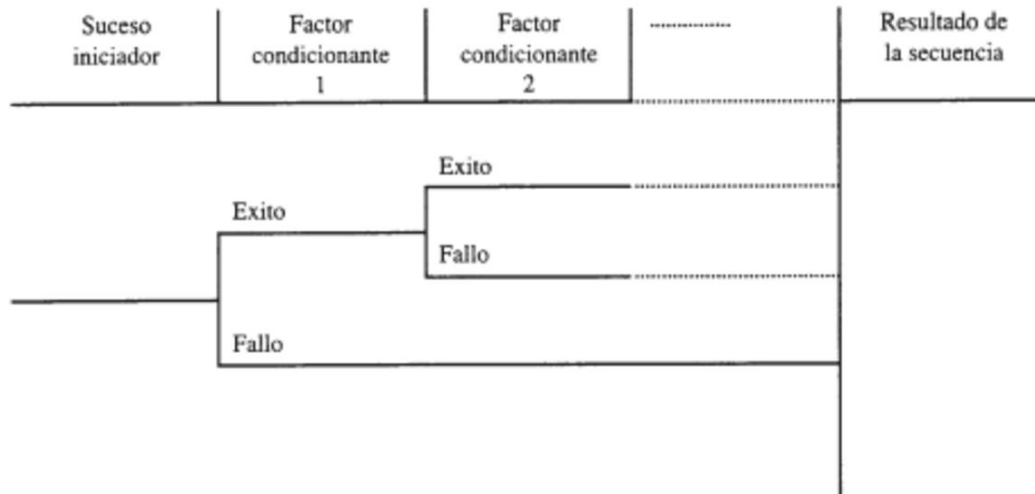
Este sistema se usa como un método correctivo más que preventivo a la hora de analizar fallas o sucesos desencadenantes, como son llamados los eventos primarios en el desarrollo del método. Adicionalmente, autores como Velandia y Londoño (2014) indican que el árbol de eventos (como también es conocido) no es aplicable al análisis de riesgos. No obstante esta afirmación, al considerar que el método puede desarrollar un riesgo latente y desglosarlo de manera que permita analizar el camino para la mitigación o para la propagación del mismo, se podría afirmar que sí es adaptable cuando hablamos que a través de este desarrollo podemos buscar la mitigación de las consecuencias del evento primario (Icontec Internacional, 2013; Rubio, 2004 y Storch y García, 2008).

El proceso del método puede considerarse de manera semicuantitativa, ya que en su desarrollo es posible introducir las probabilidades de ocurrencia en cada una de las etapas o sucesos de los diferentes caminos, y así obtener la probabilidad con que el máximo peligro se materialice.

Para la construcción del árbol de sucesos se debe tener en cuenta que todo comienza con la selección del hecho iniciador o desencadenante, el cual representa el peligro o riesgo que se materializó o que se entrará a evaluar para el proyecto en desarrollo y, posteriormente, se avanza con los sucesos o factores condicionantes, los cuales representan los mitigantes para el peligro o riesgo analizado en escala. Estos factores condicionantes son divididos en dos casos que representan la implementación positiva y negativa de cada uno de ellos. Para completar el diagrama se debe continuar siguiendo la línea de factores condicionantes, con el fin de abarcar todos los mitigantes y teniendo en cuenta que algunos de estos pueden eliminar la causa de otros y reducir el número de secuencias, dando por terminado el árbol en dicha rama (Icontec Internacional, 2013 y Rubio, 2004).

A continuación se presenta un esquema del diagrama de eventos o sucesos:

Figura 13. Ilustración de un árbol de eventos o sucesos



Fuente: “Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos” (2013).

Para la cuantificación del árbol, Icontec Internacional (2013) explica:

las probabilidades en el árbol de evento son probabilidades condicionales, por ejemplo, la probabilidad de que un aspersor no funcione no es la probabilidad que se obtiene a partir de ensayos en condiciones normales, sino la probabilidad de que funcione en condiciones de incendio (p. 59).

Lo anterior implica que para la ocurrencia y cálculo de las probabilidades finales se debe trabajar con las probabilidades afectadas por cada paso o suceso inicial y condicionante que las alteran y sobre su actuación en ellos.

Numéricamente se explica así:

El suceso iniciador posee un valor de frecuencia “F”, al igual que los “N” factores condicionantes o sucesos accidentales; estos están definidos por su probabilidad de ocurrencia $p_i (i = 1, N)$. Los sucesos complementarios a estos tendrán asociada una probabilidad de ocurrencia igual a $1 - p_i (i = 1, N)$.

Puesto que los factores condicionantes se consideran sucesos independientes, cada una de las secuencias tiene asociada una frecuencia f_s con un valor:

Ecuación 3. Ecuación frecuencia árbol de sucesos

$$f_s = f * \prod_{i,j} p_i * (1 - p_j) \text{ con } i = 1, N_i, j = 1, n_j$$

Donde:

N_i : El número de sucesos de éxito de la secuencia s

N_j : El número de sucesos de fallo de la secuencia s

De forma que la suma de las frecuencias de todas las secuencias accidentales es igual a la frecuencia del suceso iniciador (Rubio, 2004, pp. 179 y 180).

La desventaja más considerable del modelo radica en que su efectividad es mucho mayor si es aplicado una vez se materializa el peligro; por lo tanto, solo permite tratar los casos de éxito o de falla real que se presentan de manera objetiva en el desarrollo del proyecto. Adicionalmente, como se debe desglosar un árbol por cada evento, riesgo o peligro, es una técnica muy extensa que puede generar un costo elevado, tiempos de implementación alta o incluso la no inclusión de todos los eventos probables (Icontec Internacional, 2013).

Para la ventaja del método es importante destacar que puede ser utilizado en cualquier etapa del proyecto, lo cual permite obtener análisis de situaciones puntuales para evitar o mejorar la gestión de riesgos futuros y similares. Adicionalmente, su diagrama ayuda a evaluar y determinar fácilmente los canales mitigadores que permitirán mantener el proyecto evaluado y controlado de una mejor manera (Icontec Internacional, 2013 y Rubio, 2004).

5.1.24. Método de análisis de causa y consecuencia

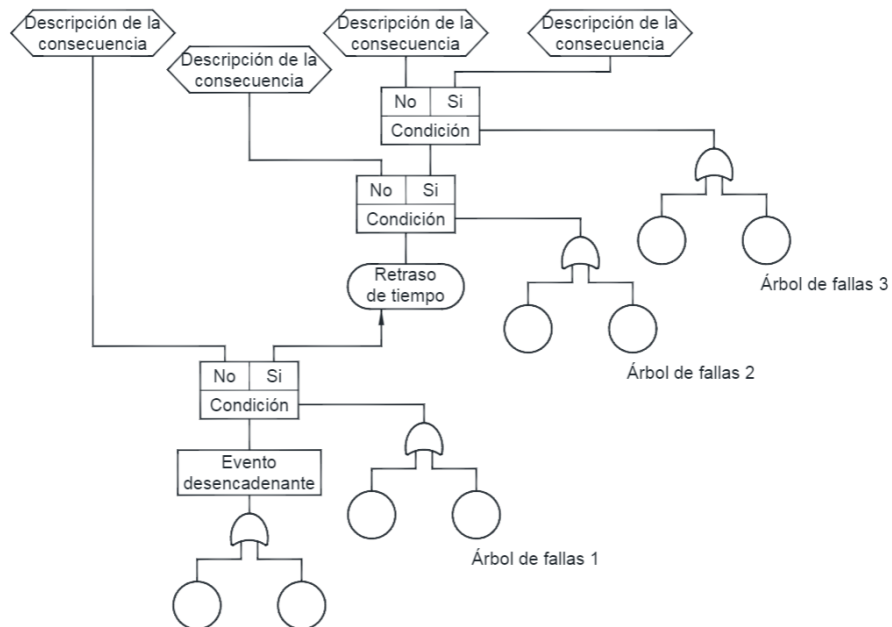
El método de causa-consecuencia es una herramienta que combina la implementación de dos métodos explicados para el análisis de riesgos previamente como lo son el árbol de fallas y el árbol de eventos. Para el autor Sánchez (2009): “es una técnica down-top, en la que partiendo de un suceso iniciador (peligro identificado) se establecen los diferentes caminos que conducen hacia cada una de las consecuencias definidas” (p. 171). El objetivo del método lo explica Rubio de la siguiente manera, “se trata de relacionar consecuencias de accidentes con sus causas posibles” (Rubio, 2005, p. 771). Lo anterior quiere decir que busca un fusión

que permita de una manera más gráfica garantizar la relación entre las fallas identificadas, los caminos que estas pueden tomar y sus consecuencias para la implementación de un proyecto; es decir, muestra de una manera gráfica las consecuencias de los peligros planteados y la causa raíz que lo provoca (Icontec Internacional, 2013 y “Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos”, 2013).

El proceso de formación del diagrama causa-efecto comienza con la identificación de los eventos críticos iniciales de los árboles de fallas y desencadenantes de los árboles de consecuencia que se buscan unir en el mismo. Una vez se realizan los árboles mencionados se analizan las consecuencias a través de combinaciones lógicas de SÍ y NO que representan lo que puede ocurrir, o las fallas de los sistemas que se deben mitigar. Para esto se construyen trayectorias para las consecuencias que dependan de las diferentes condiciones (Icontec Internacional, 2013). Lo anterior busca, en una secuencia coherente, la unión entre las consecuencias, los factores condicionantes y las fallas.

A continuación se presenta un diagrama típico de causa-consecuencia:

Figura 14. Diagrama típico análisis causa-consecuencia



Fuente: Icontec Internacional (2013).

El método es considerado principalmente como cualitativo, pero de igual forma presenta bases o puede migrar a un análisis semicuantitativo estableciendo las probabilidades y frecuencias de cada suceso.

Para Icontec Internacional (2013) el proceso de conversión o de integración de probabilidades se describe de la siguiente manera:

Siempre que las fallas para cada cuadro de condición sean independientes se puede calcular la probabilidad de cada consecuencia. Esto se logra asignando primero probabilidades a cada elemento de salida del cuadro de condición (utilizando los árboles de falla correspondientes, según convenga). La probabilidad de que una secuencia cualquiera conduzca a una consecuencia particular se obtiene al multiplicar las probabilidades de cada secuencia de las condiciones que terminan en esa consecuencia particular. Si más de una secuencia finaliza en la misma consecuencia se suman las probabilidades de cada secuencia. Si existen dependientes entre las fallas de las condiciones de una secuencia (por ejemplo una falla en la energía eléctrica puede causar la falla de varias condiciones) entonces se deberán tratar las dependencias antes del cálculo (p. 62).

Por otro lado, Sánchez (2009) presenta algunos de los mismos pasos de Icontec Internacional (2013) pero en forma de unas reglas matemáticas o recomendaciones que el proceso de cuantificación debe tener en cuenta para la construcción de las probabilidades del método, como se muestra a continuación:

1. Regla de reducción en donde se busca eliminar eventos en los cuales los procedimientos y consecuencias sean los mismos
2. Multiplicar los eventos que su camino conduce a la misma consecuencia
3. Sumar la secuencia de eventos que dan vía a una igual consecuencia
4. Dentro de un evento la suma de las probabilidades de fallo y éxito debe ser igual a 1 (Sánchez, 2009).

Las bases de los cálculos necesarios para las probabilidades tienen relación con los explicados previamente en el desarrollo de este trabajo.

La desventaja del método radica en su complejidad de implementación, desarrollo y conocimiento, no solo de los procesos del proyecto, sino también de la teoría de implementación, lo que genera que pueda ser mucho más efectiva la realización de los árboles de fallas y sucesos de manera independiente (Icontec Internacional, 2013).

La gran ventaja del método es su visión global del sistema y los movimientos entre árboles que el diagrama permite; hay que observar cómo funcionan y se conectan todos los peligros y consecuencias que se pueden presentar en un proyecto asegurando un mejor tratamiento, y si es necesario se hará desde varios frentes (Icontec Internacional, 2013 y “Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos”, 2013).

5.1.25. Método PREST

Planeación Riesgo Estrategia por sus iniciales en español. Es una metodología que se usa para la identificación de riesgos que se definen como riesgos estéricos. Aunque puede ser utilizada en cualquier modelo de empresa es esencial tener más control sobre las pequeñas y medianas, esto ya que en ellas la dirección puede enfocarse en actividades operativas, y a menudo se pierde la visión general del negocio, la planificación del futuro y la identificación de riesgos que generen insolvencia (Mejía, 2013).

Como lo explica Mejía (2013): “un riesgo estratégico es la posibilidad de ocurrencia de un evento que puede afectar la misión, la visión, las estrategias, los objetivos u otros lineamientos organizacionales de alto nivel” (p. 244).

Esta metodología entonces se usa a nivel directivo ya que es allí donde se genera la planeación estratégica de la compañía, y combinando elementos de planeación y de administración del riesgo se convierte en una opción muy completa para las organizaciones que han trascendido de un nivel operativo a uno con un enfoque mucho más estratégico (Mejía, 2013).

Prest incorpora la técnica del análisis de escenarios en el proceso de identificación de riesgos en la planeación estratégica, combinada con la lluvia de ideas, así como las listas de chequeo y cuestionarios para evaluar el proceso estratégico en cuestión de garantizar el adecuado desarrollo de la metodología (Mejía, 2013, p. 245).

Su implementación puede aplicarse en tres momentos de la planeación, con su debido proceso de desarrollo, los cuales se presentan a continuación (Mejía, 2013):

A. Antes de comenzar el proceso.

1. Definir alcance de la planeación estratégica

2. Conformación de comité
3. Definición de funciones de los miembros
4. Diagnóstico del estado actual de la empresa el cual contiene:
 - Descripción de la empresa
 - Unificación de criterios
5. Levantamiento de la información
6. Cultura de identificación y riesgos en la planeación estratégica que contiene:
 - Comunicación
 - Incorporación de un ambiente de aprendizaje, desaprendizaje y evaluación del conocimiento
 - Comprensión de los lineamientos comunicados

B. Cuando se diseña y desarrolla la estrategia.

1. Diseño de la estrategia: recomendaciones sobre aspectos a tener en cuenta en el diagnóstico, formulación de misión, visión y valores teniendo en cuenta:
 - Diagnóstico competitivo: variables internas y externas a la organización
 - Análisis y formulación de la misión, visión, y los valores
 - Identificación de riesgos estratégicos: análisis de escenarios (temido, sorprendente, soñado, probable). Luego de que estos riesgos se identifiquen, por medio de una lluvia de ideas o método Delphi, se seleccionan los riesgos que se van a tener en cuenta
 - Formulación de objetivos estratégicos
 - Análisis y formulación de estrategia
2. Desarrollo de la estrategia: forma en que se alinea la organización con las definiciones de estrategia y planeación de iniciativas estratégicas a nivel operativo teniendo en cuenta:
 - Alineación de la organización

- Despliegue de la estrategia a nivel operativo
- Planeación de iniciativas estratégicas

C. Cuando se realiza la evaluación de la estrategia: monitoreo de riesgos estratégicos para identificar nuevos riesgos por medio de alertas tempranas y evaluación periódica para determinar el de avance de lo planeado (Mejía, 2013).

Uno de los principales beneficios o de las ventajas del uso de PREST es que hace partícipe a la dirección de la identificación y control de los riesgos, lo que agiliza el proceso ya que las decisiones pueden tomarse de forma conjunta. Además, puede adaptarse a todos los tipos de empresa, pues cada una puede decidir si está en capacidad de implementarla completa o si, por el contrario, puede adoptar algunos pasos (Mejía, 2013).

La dificultad o desventaja más grande con la que puede enfrentarse esta metodología es que requiere mucho tiempo de la alta dirección y es claro que este no es su único compromiso. Además, se necesitan expertos en temas de planeación estratégica para su correcta implementación (Mejía, 2013).

5.1.26. Método de la matriz de control

La matriz de control es un método para el análisis de riesgos semicuantitativos. De igual modo, es considerado un modelo para el diseño de controles por su desarrollo orientado a controlar de manera veraz los riesgos a través de la identificación clara de amenazas y componentes claves de las organizaciones y proyectos (Mejía, 2006).

El desarrollo del método está basado en los componentes del método Delphi explicado anteriormente, por medio del cual se realiza la creación de la matriz de control. La matriz consiste en una serie de filas en donde se posicionan los componentes o elementos principales o críticos para la organización y el proyecto, mientras que en las columnas se relacionan todas las posibles amenazas identificadas que atacan el mismo y deben ser controladas (Mejía, 2006).

Cuadro 8. Matriz de control

		Amenazas					
		Amenaza 1	Amenaza 2	Amenaza 3	Amenaza 4	Amenaza 5	Amenaza 6
Componentes	Componente 1						
	Componente 2						
	Componente 3						
	Componente 4						
	Componente 5						
	Componente 6						

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Una vez identificados los componentes y las amenazas se procede con la etapa de calificación de lo identificado. El proceso consiste en la realización de un par de matrices denominadas de priorización de componentes y de priorización de amenazas, por medio de las cuales cada uno de los expertos realiza una votación comparando los componentes con otros y las amenazas con otras. En este proceso se busca identificar cuáles son los componentes más importantes para el proyecto y cuáles son las amenazas más críticas para el mismo según los expertos. Se debe tener en cuenta que es posible que al comparar dos elementos los expertos consideren estos como de igual importancia y por lo tanto se deba dividir su voto entre ambos por partes iguales (Mejía, 2006).

Cuadro 9. Matriz de priorización de componentes

Componente 1	Componente 1	8,5						
Componente 2	1,5	Componente 2	10,5					
Componente 3	0	3	Componente 3	1				
Componente 4	0	3	3	Componente 4	3,5			
Componente 5	2	1	0,5	0	Componente 5	12		
Componente 6	3	0	2,5	0	1,5	Componente 6	9,5	

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Cuadro 10. Matriz de priorización de amenazas

Amenaza 1	Amenaza 1						9
Amenaza 2	2 1	Amenaza 2					9
Amenaza 3	3 0	3 0	Amenaza 3				1,5
Amenaza 4	3 0	3 0	1,5 1,5	Amenaza 4			1,5
Amenaza 5	1 2	0,5 2,5	0 3	0 3	Amenaza 5		11,5
Amenaza 6	0 3	1,5 1,5	0 3	0 3	1 2	Amenaza 6	12,5

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Al finalizar la priorización de debe realizar una matriz nueva en donde se establezca, en orden de importancia los puntajes de mayor a menor obtenidos en la nueva matriz (Mejía, 2006).

Cuadro 11. Priorización de componentes y amenazas en la matriz de control

		12,5	11,5	9	9	1,5	1,5
		Amenazas					
Componentes		Amenaza 6	Amenaza 5	Amenaza 1	Amenaza 2	Amenaza 3	Amenaza 4
12	Componente 5						
10,5	Componente 2						
9,5	Componente 6						
8,5	Componente 1						
3,5	Componente 4						
1	Componente 3						

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Luego de la identificación y la caracterización de los componentes y amenazas sigue la evaluación del proceso. Para esta etapa ya deben estar reconocidos los controles y la matriz final priorizada que muestra el cuadro 11. Con estos controles se procede a la evaluación de la matriz por medio de la multiplicación de los valores obtenidos según los puntajes de cada componente y amenaza en la matriz previamente explicada. Luego se deben clasificar los resultados obtenidos numéricamente, de mayor a menor, asignándoles un número. Si se

obtienen resultados iguales en la multiplicación se les debe asignar el mismo número en la secuencia de clasificación (Mejía, 2006).

Tabla 1. Matriz de evaluación de amenazas completa

Amenazas Componentes		12,5	11,5	9	9	1,5	1,5
		Amenaza 6	Amenaza 5	Amenaza 1	Amenaza 2	Amenaza 3	Amenaza 4
12	Componente 5	150 ¹	138 ²	108 ⁷	108 ⁷	18 ¹⁶	18 ¹⁶
10,5	Componente 2	131,25 ³	120,75 ⁴	94,5 ¹⁰	94,5 ¹⁰	15,75 ¹⁷	15,75 ¹⁷
9,5	Componente 6	118,75 ⁵	109,25 ⁶	85,5 ¹¹	85,5 ¹¹	14,25 ¹⁸	14,25 ¹⁸
8,5	Componente 1	106,25 ⁸	97,75 ⁹	76,5 ¹²	76,5 ¹²	12,75 ¹⁹	12,75 ¹⁹
3,5	Componente 4	43,75 ¹³	40,25 ¹⁴	31,5 ¹⁵	31,5 ¹⁵	5,25 ²³	5,25 ²³
1	Componente 3	12,5 ²⁰	11,5 ²¹	9 ²²	9 ²²	1,5 ²⁴	1,5 ²⁴

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

Para finalizar la evaluación se debe dividir en tres zonas la matriz obtenida, como se muestra en la tabla 1; esto se obtiene tomando el valor máximo de la clasificación numérica y dividiéndolo por cuatro, con lo cual se obtiene el número entero que encerrará los números clarificados hasta dicho valor (incluyendo los repetidos como uno solo), lo cual obtendrá la clasificación de las parejas en combinaciones resultantes críticas, moderadas o bajas.

Una vez completa la etapa de evaluación se prosigue con la asignación de los controles a las parejas de componentes y amenazas para identificar cómo se mitigarían en la materialización de las mismas. Es posible, para el método que se establezca para las parejas, la necesidad de varios controles. A continuación se presenta la matriz organizada para los controles de mitigación (Mejía, 2006).

Tabla 2. Matriz de componentes, amenazas y controles

Componentes Amenazas	Amenaza 6	Amenaza 5	Amenaza 1	Amenaza 2	Amenaza 3	Amenaza 4
	Componente 5	2,3,4,5	3,4	1,3	3,4,5	6
Componente 2	1,2,3,4	3,4,5	3	2,3,5	6	2,6
Componente 6	2,5	4,5,2	2	2,5	6	2
Componente 1	1,2	3	1	1,2,3,4,5,6	6	2
Componente 4	6,2	6,3,4	6	2,6	6	2
Componente 3	6,2	6,3		6	6	2,6

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

Para finalizar la implementación de este método se recomienda terminar con los expertos haciendo un llamado análisis de 6 niveles, el cual pretende hacer la revisión de los niveles críticos, moderados y bajos, al igual que de las combinaciones de amenazas y componentes en busca de mejorar sus mitigaciones a través de la sensibilidad que se genera en ellas sobre el impacto en el proyecto, para lo cual se elaboran las siguientes revisiones puntuales:

- Análisis de la celda más sensible: busca analizar la celda más crítica o sensible para el proyecto, es decir, la celda ubicada en la esquina superior izquierda de la tabla 1, con el fin de determinar si los controles establecidos para dicho peligro o riesgo en la tabla 2 son suficientes para su correcta mitigación, o si es necesario implementar nuevas medidas que ayuden en esta tarea.
- Análisis de la celda menos sensible: para esta revisión se busca realizar lo mencionado en el ítem anterior pero con una celda menos crítica o sensible, la cual está ubicada en la esquina inferior derecha de la tabla 2 y con lo que se busca determinar si este riesgo no está sobreprotegido, para lo cual se deben eliminar los controles y mantener aquellos que son los realmente necesarios.
- Análisis de las celdas con mayor número de controles: se busca revisar aquellos peligros identificados en las parejas con más controles para tener claridad sobre el impacto y si estos son necesarios. Deben ser modificados por algo más eficiente o eliminados ante sobredimensionamiento en las mitigaciones.
- Análisis de las celdas con menor número de controles, incluso ninguno: al igual que en el anterior, el objetivo revisa los riesgos pero en esta oportunidad con menores controles, esto con el fin de determinar si los existentes cumplen con el objetivo o es necesario eliminar, agregar o modificar alguno de los controles seleccionados. En caso de que a algunos de los riesgos de esta categoría no se le hayan asignado control se analiza para determinar que no sea necesario agregar alguno o crear nuevos para esta situación.
- Análisis por componentes: en esta oportunidad se busca revisar las filas de la matriz y con ellas cada uno de sus componentes críticos, para lo cual se evalúa si los controles son suficientes para la protección o si se amerita realizar modificaciones.

- Análisis por amenazas: se realiza la misma revisión anterior pero con las columnas o amenazas independientes, determinando así si todas se encuentran bien controladas o si es necesario agregar o suprimir controles para cada una de ellas.

Es importante conocer la principal ventaja y desventaja del método de la matriz de control de la siguiente manera:

La ventaja principal de la matriz de control es la facilidad para identificar los riesgos, determinar los controles existentes y proponer nuevos. Su principal desventaja es la cantidad de información y cuadros que se deben desarrollar, pues pueden dificultar, complicar o demorar su aplicación. Esta desventaja se ha subsanado con el uso de herramientas computarizadas (Mejía, 2006, p. 65).

5.1.27. Método del análisis de vulnerabilidad

El método está basado en el sistema GIRO de Cesar Duque y puede aplicarse en todas las etapas de la gestión del riesgo, por lo cual ha sido implementado en grandes empresas de diferentes sectores económicos con resultados exitosos (Mejía, 2006).

En la identificación de riesgos este método es muy útil para la claridad de los escenarios de peligro. No obstante, su mayor aporte está en la calificación del riesgo, pues analiza varios factores para dar un valor a la gravedad del mismo (Mejía, 2006).

Para iniciar esta metodología es importante determinar:

- Sistema de referencia: empresa o unidad de negocio a la cual se le realizará el estudio de riesgos
- Ámbito de aplicación: área o proceso, instalación o recurso que será analizada (Mejía, 2006).

Posteriormente, se identifican las posibles amenazas que pueden presentarse en el ámbito de aplicación o proyecto en verificación, para lo cual es posible usar cualquiera de los métodos de identificación vistos anteriormente como la lluvia de ideas, listas de chequeo, Delphi, etc. A las amenazas identificadas se les procede a determinar su significación (qué tan representativas son para el sistema de referencia) (Mejía, 2006). Para lo anterior se utiliza el siguiente cuadro:

Tabla 3. Grados de significación de las amenazas

		Potencial de daño		
		Bajo 1	Medio 2	Alto 3
Tamaño relativo	Bajo 1	1	2	3
	Medio 2	2	4	6
	Alto 3	3	6	9

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

Los valores de las parejas en medio se obtienen de multiplicar el tamaño relativo de la amenaza por el potencial daño que puede causar al sistema de referencia. Una vez se obtienen los resultados de significación se procede a seleccionar las amenazas cuyo valor sea dos o superior, con el fin de analizar solo aquellas que representen un peligro para el sistema o proyecto de referencia (Mejía, 2006).

A cada una de las amenazas a analizar se le asigna un código para luego identificar los recursos que se verán comprometidos en el ámbito de aplicación o proyecto que se estudiará, y se asigna un código diferente al de las amenazas. Teniendo los dos elementos anteriores identificados, amenazas y recursos, se establecen los escenarios como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Escenarios de riesgos

Recurso	Amenaza 1	Amenaza 2	Amenaza 3
Recurso 1	A-1	B-1	C-1
Recurso 2	A-2	B-2	C-2
Recurso 3	A-3		

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Cada una de las celdas del cuadro 9 se convierte en un escenario de riesgos que indica la exposición de un recurso a una amenaza específica. Es posible que no todos los recursos sean afectados por las mismas amenazas, o que incluso no se vean afectados por ninguna. Cada uno de los escenarios se codifica con el código de las amenazas y del recurso para facilitar su trabajo con las variables (Mejía, 2006).

En la calificación del proceso se parte de los riesgos que ya fueron identificados y se procede a determinar su gravedad. Para este método la ponderación del impacto se realiza con dos

variables, frecuencia y consecuencia (Mejía, 2006). Las variables son explicadas a continuación:

- Frecuencia: para ponderar la frecuencia Mejía (2006) muestra la idea o propuesta de Cesar Duque, quien clasifica seis niveles de valor, los cuales comienzan en uno y crecen linealmente. La descripción de la frecuencia para los niveles es:

Cuadro 13. Calificación de frecuencia

Valor	Nivel	Casos por año
1	Improbable	Menos de un caso cada 50 años
2	Remoto	Un caso entre 21 y 50 años
3	Ocasional	Un caso entre 6 y 20 años
4	Moderado	Un caso entre 1 y 5 años
5	Frecuente	Entre 1 y 10 casos al año
6	Constante	Más de 10 casos al año

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

- Consecuencia: para el caso de las consecuencias se propone realizar una serie de tablas de calificación según los factores de vulnerabilidad seleccionados. Estas tablas son las variables que condicionan la gravedad de las consecuencias del riesgo, medido en el impacto para el sistema de referencia (Mejía, 2006). Los factores que pueden analizarse son:
 - Personas
 - Finanzas
 - Operación
 - Ambiente
 - Información
 - Imagen
 - Mercado

Para cada uno de ellos se propone crear una tabla que contenga:

Cuadro 14. Calificación de consecuencias

Valor	Nivel	Descripción
1	Insignificante	
2	Marginal	
5	Grave	
10	Crítico	
20	Desastroso	
50	Catastrófico	

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

La descripción puede generarla cada organización partiendo de sus propios parámetros. Pero Duque (Mejía, 2006) propone algunas genéricas que pueden utilizarse en caso de no tener condiciones particulares.

Es importante aclarar que un riesgo debe ser calificado según las dos variables, frecuencia y consecuencia, esto de acuerdo a los factores que afecten el mismo en caso de materializarse.

En la evaluación se deben desarrollar varias matrices que determinen los resultados, matrices que son presentadas a continuación:

1. Matriz de riesgos: contiene una relación de las tablas de frecuencia y consecuencia. Los valores de la calificación del riesgo (los del centro de la tabla) se obtienen de multiplicar los valores de la frecuencia por la consecuencia (Mejía, 2006).

Tabla 4. Matriz de riesgos para el análisis de vulnerabilidad

Frecuencia	Constante	6	12	30	60	120	300
	Frecuente	5	10	25	50	100	250
	Moderado	4	8	20	40	80	200
	Ocasional	3	6	15	30	60	150
	Remoto	2	4	10	20	40	100
	Improbable	1	2	5	10	20	50
		Insignificante	Marginal	Grave	Crítico	Desastroso	Catastrófico
		Consecuencia					

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

2. Matriz de vulnerabilidad: se construye con base en la matriz de riesgos, y sus valores son calculados a partir de la fórmula de vulnerabilidad que puede expresarse: “como el valor relativo (medido en porcentaje) de un riesgo respecto al riesgo máximo posible en el sistema” (Mejía, 2006, p. 91). Esto significa dividir cualquiera de los valores de la tabla sobre 300 (en este caso el valor mayor de calificación de riesgo). Es decir: “a medida que incrementa el porcentaje de vulnerabilidad aumenta el riesgo para la empresa, y viceversa” (Mejía, 2006, p. 91).

Tabla 5. Matriz de vulnerabilidad

Frecuencia	Constante	2,0%	4,0%	10,0%	20,0%	40,0%	100,0%
	Frecuente	1,7%	3,3%	8,3%	16,7%	33,3%	83,3%
	Moderado	1,3%	2,7%	6,7%	13,3%	26,7%	66,7%
	Ocasional	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
	Remoto	0,7%	1,3%	3,3%	6,7%	13,3%	33,3%
	Improbable	0,3%	0,7%	1,7%	3,3%	6,7%	16,7%
		120	100	80	60	40	20
		Consecuencia					

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

3. Criterios de aceptabilidad: se establecen cuatro zonas de vulnerabilidad:
- Aceptable: los riesgos no requieren intervención o medidas de tratamiento
 - Tolerable: requieren intervención de segundo nivel y las medidas pueden ser a mediano plazo
 - Inaceptable: requieren intervención de primer nivel y acciones a corto plazo
 - Inadmisible: deben ser tratados de inmediato

Cesar Duque (Mejía, 2006) propone los siguientes porcentajes, pero como se explicó anteriormente cada empresa determina los valores que debe asignar a cada una de las zonas y a partir de qué zona decide si hacer algún tratamiento o acción al riesgo.

Cuadro 15. Criterios de aceptabilidad para el método del análisis de vulnerabilidad

Aceptable	Vulnerabilidad hasta del 3%
Tolerable	Vulnerabilidad hasta del 3,1% al 5,0%
Inaceptable	Vulnerabilidad hasta del 5,1% al 30%
Inadmisibile	Vulnerabilidad mayor al 30%

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

- Matriz de aceptabilidad: se construye con base en la matriz de vulnerabilidad y los criterios de aceptabilidad de la siguiente manera:

Cuadro 16. Matriz de aceptabilidad del análisis de vulnerabilidad

Frecuencia	Constante	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Frecuente	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Moderado	Aceptable	Aceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Ocasional	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Remoto	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable
	Improbable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inaceptable
	Aceptable	Tolerable	Inaceptable	Inadmisibile	Desastroso	Catastrófico	
	Consecuencia						

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

En la matriz de aceptabilidad se ubican los riesgos previamente calificados. Esta matriz se convierte en el perfil de riesgos del sistema, y en ella aparecen los escenarios en la zona correspondiente (Mejía, 2006).

Dentro de las diversas ventajas y desventajas que puede tener el método podemos hablar, inicialmente, que una desventaja sustancial es que esta metodología debe estar soportada por herramientas y software, pues su estructura es compleja y esto facilitaría enormemente la recolección de datos. Esto quiere decir que el método puede convertirse en algo robusto que aparte de la subjetividad puede manejar costos altos por implementaciones robustas. Para las ventajas del método, Mejía (2006) nos explica que una de sus grandes ventajas es la utilidad en la identificación de los escenarios y el aporte para la calificación de riesgos, esto introduce variabilidad a los factores en el momento de la calificación de la gravedad de los mismos.

5.1.28. Método SEPTRI

Denominado así por las siglas Sistema de Evaluación y Propuesta del Tratamiento de Riesgos y puede ser usado teniendo los riesgos previamente identificados. Su aplicabilidad se enfoca en empresas que presentan un alto potencial de afectación en el caso de que sus riesgos llegaran a materializarse, por ejemplo, empresas del sector nuclear, químico o aeronáutico, las cuales pueden afectar altamente los procesos si algún riesgo es confirmado (Mejía, 2006).

Para el proceso de calificación de riesgos esta metodología utiliza cuatro variables en donde introduce dos a las normalmente usadas, con el fin de evaluar la frecuencia con que ocurre el riesgo y las condiciones de seguridad que posee la empresa para enfrentarse a dicho evento, y que disminuyen la ocurrencia del mismo. De igual modo, las cuatro variables son esenciales y serán presentadas a continuación:

1. P: coeficiente de probabilidad, el cual está basado o establecido en históricos y datos del sector o país.

Tabla 6. Escala de clasificación coeficiente de probabilidad

Coeficiente de probabilidad (P)	
Periodo de recurrencia (una vez cada)	Coeficiente P
Nunca	0
1.000 años	0,5
500 años	1
100 años	2
50 años	3
25 años	4
10 años	5
5 años	6
1 año	7
1 mes	8
1 semana	9
1 día u horas	10

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

2. E: coeficiente de exposición, basado según la siguiente tabla:

Tabla 7. Escala de clasificación, coeficiente de exposición

Coeficiente de exposición (E)	
Frecuencia	Coeficiente E
Nunca	0
100 años	0,5
50	1
10	2
1	3
6	4
1	5
1	6
1	7
1	8
Continuamente	9
	10

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

3. I: coeficiente de intensidad, el cual es calculado con la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Ecuación para el coeficiente de intensidad

$$I = \frac{I_r + I_p}{2}$$

Los coeficientes para el cálculo de la ecuación son de la siguiente manera:

El coeficiente I_r se obtiene con el análisis de dos columnas, independientemente, así: la columna valor máximo expuesto determina cuánto dinero está expuesto a perder la empresa en caso de materializarse un riesgo, sin contar con las medidas de seguridad. La columna pérdida posible % establece la pérdida que ocasiona el riesgo, en porcentaje de participación del total de la empresa. Al frente del valor escogido y la columna Coeficiente (I_r) se determina el valor del probable. De estos valores se escoge el más alto.

De igual forma se obtiene el coeficiente (I_p), aunque en este caso se tiene en cuenta la pérdida máxima esperada por la materialización del riesgo, en dinero y en porcentaje, teniendo en cuenta que actúan las condiciones de seguridad internas y externas de la empresa (Mejía, 2006, p. 80).

Tabla 8. Escalas de clasificación, coeficiente de intensidad

Coeficiente de Intensidad					
Coeficiente Ir			Coeficiente Ip		
Valor máximo expuesto (en moneda)	Pérdida máxima posible	Coeficiente (Ir)	Valor máximo expuesto (en moneda)	Pérdida máxima posible	Coeficiente (Ip)
La empresa debe decidir los rangos de dinero que ponga en estas celdas. Todo depende de su patrimonio	0	0	Pérdida máxima esperada por la empresa	0	0
		1		10	1
	25	2			2
		3		20	3
		4			4
	50	5		30	5
		6			6
	75	7		40	7
		8			8
		9			9
100	10	Mayor que 50	10		

Fuente: elaborada por los autores con base en Mejía (2006).

4. S: coeficiente de nivel de seguridad. Teniendo en cuenta los factores de seguridad con los que cuente la empresa se asigna el valor correspondiente y luego se suman.

Cuadro 17. Escalas de clasificación, coeficiente nivel de seguridad

COEFICIENTE NIVEL DE SEGURIDAD (S)	
Factor	Coeficiente parcial
Política de seguridad	0 a 1
Programa de gerencia de riesgos	0 a 1
Integración seguridad en diseño, métodos, máquinas, procesos	0 a 1
Programa de control de calidad.	0 a 1
Programa de seguridad: director de seguridad, planes de formación, planes de inspección, revisión y mantenimiento, servicio de vigilancia, equipos de emergencia, planes de emergencia, planes de contingencia	0 a 4
Auditorías periódicas externas	0 a 1
Servicios de socorro externos: bomberos, policía, sanidad, otras empresas	0 a 1
<i>COEFICIENTES S:</i> suma de coeficientes parciales (valor mínimo 1)	

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Con la obtención de todas las variables anteriormente descritas se construye la siguiente fórmula para calcular el valor del riesgo:

Ecuación 5. Ecuación para la evaluación del riesgo

$$R = \frac{P * E * I}{S}$$

El coeficiente de seguridad aparece como denominador ya que su relación con el riesgo es inversamente proporcional y disminuirá el impacto de riesgo a medida que estas alternativas sean de mayor fuerza (Mejía, 2006).

Durante la evaluación del método, y partiendo del resultado obtenido luego de aplicar la Ecuación 5, anteriormente explicada, se ubica el valor en el siguiente cuadro, que recomienda algunas medidas para su tratamiento (Mejía, 2006).

Cuadro 18. Evaluación de riesgos según el método SEPTRI

Grupos de riesgo	Calificación	Orientación del tratamiento
Riesgos insoportables	Valor del riesgo: superior a 300	Se precisa eliminación del riesgo o la supresión de la operación que lo genera
Riesgos extremos	Valor del riesgo: entre 200 y 300	Se precisan medidas exhaustivas de eliminación o reducción del riesgo. Se precisa la transferencia financiera del riesgo
Riesgos muy graves	Valor del riesgo: entre 100 y 200	Se precisan medidas sustanciales de reducción. Puede establecerse una retención parcial mínima. Se precisa transferencia financiera del riesgo
Riesgos graves	Valor del riesgo: entre 30 y 100	Se precisan medidas normales de reducción. Se recomienda una retención parcial y, en algunos casos, total. Se precisa transferencia financiera del riesgo, excepto si se aplica retención total
Riesgos soportables	Valor del riesgo: entre 0 y 30	No se precisan medidas adicionales de reducción. Se recomienda la retención total y, en algunos casos, la asunción. No se precisa la transferencia financiera del riesgo

Fuente: elaborado por los autores con base en Mejía (2006).

Las ventajas y desventajas del método van relacionadas, esto ya que es un método muy completo por el tratamiento que se da a los riesgos, pero la subjetividad y la especificidad de los procesos indica que puede ser impactante su implementación para las compañías.

5.2. Métodos cuantitativos

5.2.1. Método de las cadenas de Markov

En la etapa de diseño de un proyecto aún no se tienen históricos del comportamiento de la variable en estudio, por lo tanto debe recurrirse a revisiones que se hayan generado en proyectos similares o basándose en datos del sector en el cual se establecerá la idea. Estos procesos se denominan estocásticos, pues dependen del resultado inmediatamente anterior para la obtención de un resultado actual y es en el cual el método de las cadenas de Markov está basado (Arya & Lardner, 2002). Es decir, el principio de las cadenas de Markov es que todos los estados futuros son independientes entre sí, excepto del estado inmediatamente anterior.

El desarrollo del método parte de la identificación previa de los riesgos y de las probabilidades actuales para el estado en donde las mismas se encuentran, es decir, se debe construir un vector fila con la información actual del estado en donde están cada una de las variables según las posibles posiciones o estados que pueden obtener al comienzo del desarrollo. Adicionalmente, se debe construir lo que denomina el método como la matriz de transición, la cual corresponde a las probabilidades de que las variables salten de su estado inicial a cualquiera de los estados siguientes en el intervalo de tiempo definido por el mismo (Acevedo, 2011 y Rojo y Miranda, 2009). El tamaño de la matriz dependerá de la cantidad de estados que puede obtener una variable. A continuación se presenta el formato de la matriz de transición:

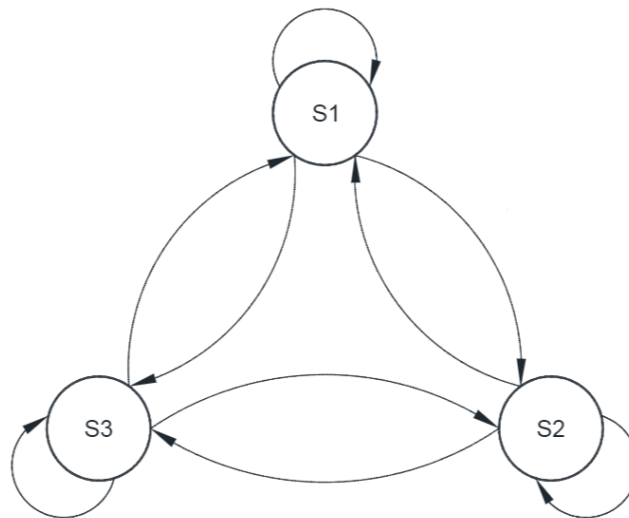
Figura 15. Matriz de transición

$$P(\Delta t) = \begin{matrix} & i/j & 0 & 1 & \dots\dots & m \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ m \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccc} p_{00} & p_{01} & \dots\dots & p_{0m} \\ p_{10} & p_{11} & \dots\dots & p_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m0} & p_{m1} & \dots\dots & p_{mm} \end{array} \right. \end{matrix}$$

Fuente: Rojo y Miranda (2009).

Es importante, para el entendimiento de los cambios posibles de las variables, realizar para cada una de ellas el denominado diagrama de Markov, el cual permite evidenciar de manera gráfica cómo es la intercomunicación de los cambios de estado de las variables según las probabilidades estipuladas (Icontec Internacional, 2013). A continuación se presenta un ejemplo de diagrama con una variable de tres estados:

Figura 16. Diagrama de Markov



Fuente: Icontec Internacional (2013).

Finalmente, el proceso consiste en la multiplicación del vector fila por la matriz de transición, del cual se obtendrá un nuevo vector que representará la probabilidad de que la variable esté en el nuevo estado en el intervalo de tiempo inmediatamente siguiente.

El proceso se debe repetir con el vector final obtenido como el inicial para, en conjunto con la matriz de transición, lograr obtener las probabilidades o valores de la variable en los eventos futuros.

Vale la pena destacar que durante el proceso de tabulación de datos se puede encontrar con algunos estados para las variables, dos de los más importantes son:

- Estado absorbente: se denomina un estado absorbente o recurrente cuando una variable después de infinitas transiciones, continúa otorgando el mismo valor anterior, es decir, no importa la transición siempre que dicha variable regrese al estado anteriormente obtenido (Rojo y Miranda, 2009).
- Estado transitorio: se considera un estado transitorio a aquellas variables que luego de infinitas transiciones tienen probabilidades nulas de retornar al estado actual, es decir, siempre existirá un cambio hacia una situación diferente de las ya identificadas en el proceso (Rojo y Miranda, 2009).

Debido a lo anteriormente explicado es importante destacar que el éxito de esta metodología radica en una identificación de riesgos muy bien estructurada y de una consecución de datos verídicos, comprobables y oportunos acerca del comportamiento de las variables, los cuales permitan un desarrollo eficaz para la mitigación de riesgos.

La ventaja obtenida con la utilización de este método es la capacidad de calcular las probabilidades en sistemas en donde las variables pueden obtener gran cantidad de estados, otorgando así conocimiento y predicciones más amplias para la mitigación de riesgos (Icontec Internacional, 2013).

Dentro de las desventajas del método se encuentra que este se basa en el comportamiento futuro de las variables partiendo de estados inmediatamente anteriores, no incluye la probabilidad de que ocurra un evento que nunca ha pasado y que en caso de materializarse

podría alterar todos los análisis y ser riesgoso para los proyectos. De igual forma, este análisis asume que el comportamiento de las variables será igual durante todos los periodos de estudio, es decir, las probabilidades transicionales no varían, situación que generalmente no se cumple y que al ocurrir cambios significativos no tabulados puede generar peligro para el desarrollo de las actividades. Por último, es de tener en cuenta que su aplicación debe contar con un gran conocimiento de los elementos matriciales, no obstante, el método recomienda el uso de programas especializados para los proyectos complejos, los cuales pueden además encarecer los costos del mismo (Acevedo, 2011; Icontec Internacional, 2013 y Rojo y Miranda, 2009).

Este método se diferencia de la serie de eventos ya que como se explicó anteriormente los resultados futuros dependen de los resultados anteriores.

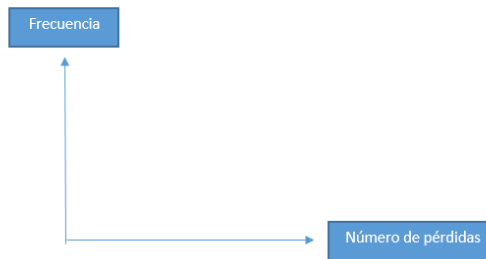
5.2.2. Método de las curvas FN

Esta no es una metodología para identificar o calificar riesgos. Las curvas FN proporcionan una opción para representar los resultados obtenidos de un análisis cuantitativo, de forma gráfica.

Generalmente expresan el número de víctimas afectadas por la materialización de un riesgo ya que su desarrollo está elaborado para sistemas de seguridad y salud en el trabajo (Coello, 2010).

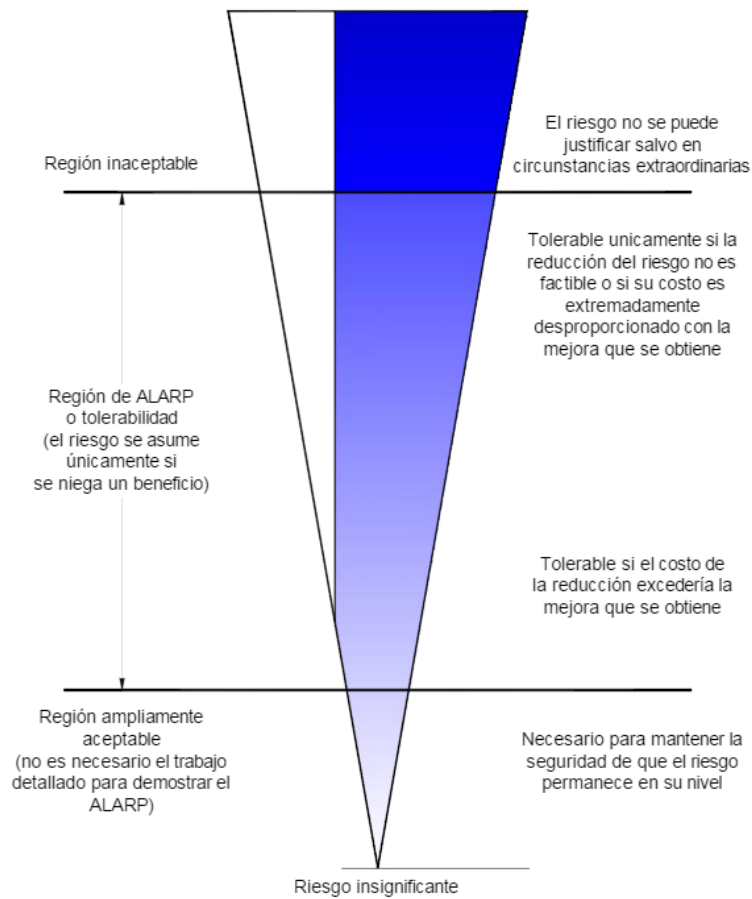
Para crearla se parte de datos de entrada que pueden ser el resultado de análisis cualitativos donde se muestren las probabilidades estimadas para ciertos números de pérdidas (Icontec Internacional, 2013), o también pueden ser creadas con datos históricos. Luego se dibuja una gráfica, en el eje Y se ubican las frecuencias de ocurrencia del evento y en el eje X el número de pérdidas, de la siguiente forma:

Figura 17. Frecuencia de ocurrencia vs número de pérdidas



Sobre la anterior figura se monta la región ALARP (de tolerabilidad) para determinar las zonas aceptables e inaceptables.

Figura 18. Concepto de ALARP



Fuente: Icontec Internacional (2013).

Es importante tener en cuenta que el origen de los datos que se usen determinará la aplicabilidad de la curva FN de la siguiente manera:

Cuadro 19. Origen de los datos curvas FN

Tipo de curva	Teóricas	Reales
Origen de datos	Obtenidos a partir de simulaciones estadísticas (métodos cuantitativos)	Pérdidas anteriores (accidentes o incidentes que ya ocurrieron)
Puntos que se obtienen	Proporcionan puntos por extrapolación o interpolación	Puntos fijos y precisos de pérdidas conocidas
Etapas del proyecto en la que es más útil	Diseño	Gestión

Fuente: elaborado por los autores con base en Icontec Internacional (2013).

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos de una forma u otra son muy diferentes, por lo que no se recomienda compararlos ni tomar decisiones basados en balances entre ellos.

La fortaleza más valiosa consta de su representación básica a nivel gerencial, la cual permite tomar decisiones con base en las frecuencias y sobre el riesgo y sus niveles de seguridad adecuados para las mitigaciones de los sistemas. Se debe tener en cuenta que las comparaciones de situaciones de riesgo a través de este método deben ser desarrolladas con los mismos estándares para asegurar datos de calidad.

La debilidad más grande es que las curvas están basadas en la cantidad de personas imputadas y sus frecuencias, mas no en los efectos que generan estos riesgos, lo cual puede ocasionar que no se identifiquen por completo las causas raíces reales de los problemas. Adicionalmente, la dificultad y especificidad del método exige mano de obra altamente calificada por lo que genera elevación de costos de implementación.

5.2.3. Método de la matriz de consecuencia y probabilidad

El desarrollo del método busca la unificación por medio de una matriz de los análisis cualitativos y semicualitativos, con el fin de evaluar los riesgos, las fuentes de riesgo o los tratamientos para el riesgo que han sido asignados durante la identificación de la totalidad de los mismos pero únicamente con base en el nivel de peligro (Icontec Internacional, 2013).

El proceso consiste en la utilización de dos tablas previamente construidas y que serán el punto de partida para el desarrollo de la matriz final. En primer lugar se debe contar con una matriz que represente las consecuencias de las materializaciones del riesgo desde su punto mínimo hasta la consecuencia de impacto mayor, es decir, una caracterización tipo mapa de las causas hasta los efectos finales.

Cuadro 20. Ejemplo de criterios de consecuencia

Calificación	Impacto financiero	Rendimiento de la inversión	Salud y seguridad	Ambiente y comunidad	Reputación	Legalidad y cumplimiento
6	\$ 100 m + pérdida o ganancia	\$ 300 m + pérdida o ganancia	Múltiples fatalidades o efectos importantes irreversibles para el 10% de las personas	Daño irreversible en el ambiente a largo plazo. Indignación de la comunidad-acción potencial con clase de gran escala	Información de la prensa internacional durante varios días. Pérdida total del apoyo de los accionistas que actúan para no invertir. Salida del jefe ejecutivo y reestructuración de la junta	Litigio máximo con daños de \$ 50 m + más costos significativos. Sentencia de custodia para el ejecutivo de la compañía. Prolongado de operaciones ordenado por las autoridades
5	\$ 10 m + \$ 99 m pérdida o ganancia	\$ 30 m + \$ 299 m pérdida o ganancia	Una sola fatalidad o incapacidad grave irreversible para una o más personas	Impacto ambiental prolongado. Se origina preocupación de alto perfil en la comunidad. Se requieren medidas remediabiles significativas	Información de la prensa nacional durante varios días. Impacto sostenido en la reputación de los accionistas. Pérdida del apoyo de los accionistas	Liquidación mayor con un costo de \$ 10 m + investigación por parte de los clientes regulares
4	\$ 1 m + \$ 9 m pérdida o ganancia	\$ 3 m + \$ 29 m pérdida o ganancia	Lesiones extensas			

Fuente: elaborado por los autores con base en Icontec internacional (2013).

En segundo lugar se debe contar con una escala de probabilidades la cual tiene como objetivo, sin importar la cantidad de ítems que contenga, cubrir los rangos pertinentes y tener claro que la probabilidad mínima debe ser aceptable y coherente para el máximo efecto o consecuencia esperada (Icontec Internacional, 2013).

Figura 19. Ejemplo matriz de criterios de probabilidad

Índice de Probabilidad	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	II	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
	1	2	3	4	5	6	
	Índice de Consecuencia						

Fuente: elaborada por los autores con base en ICONTEC (2013).

Con la información completa se asignarán los niveles de riesgo de las combinaciones de probabilidades y consecuencias para dar criterio final y establecer calificaciones cuantitativas para la matriz resultado. Esto quiere decir que la persona que desarrolla la matriz para calificar el riesgo primero revisa el descriptor de consecuencia asignado y, posteriormente, busca definir la probabilidad de presentarse y así obtener el nivel de riesgo a partir de la matriz de probabilidad (Icontec Internacional, 2013).

El método entrega una evaluación de la importancia o la calificación del riesgo; es por eso que se utiliza comúnmente para la validación real de los riesgos identificados y así determinar cuáles son realmente necesarios de mitigaciones o cuales son posibles de asumir (Icontec Internacional, 2013).

Tabla 9. Ejemplo de matriz de consecuencias y probabilidades

MATRIZ DE EVALUACIÓN INTEGRADA									
CONSECUENCIA				PROBABILIDAD					
				1	2	3	4	5	
Rango	Seguridad y salud ocupacional	Daños a la propiedad	Ambiente	Rara vez	Ocasional	Poco probable	Probable	Muy probable	
1	Insignificante	P.A / Lesión / Efecto Leve Hasta 1.000	Efecto leve	1 Menor	2 Menor	3 Menor	4 Menor	5 Moderado	
2	Menor	A.M / Lesión / Efecto Menor 1.001 a 5.000	Efecto menor	2 Menor	4 Menor	6 Moderado	8 Moderado	10 Significativo	
3	Moderado	ATR / Lesión / Efecto Mayor 5.001 a 25.000	Efecto localizado	3 Menor	6 Moderado	9 Moderado	12 Significativo	15 Significativo	
4	Mayor	ATP / incapacidad permanente 25.001 a 50.000	Efecto mayor	4 Menor	8 Moderado	12 Significativo	16 Significativo	20 Alto	
5	Critico	Fatalidad (+) 50.000	Efecto masivo	5 Moderado	10 Significativo	15 Significativo	20 Alto	25 Alto	

Fuente: elaborada por los autores con base en Velasco (s. f.).

La fortaleza del método está basada en la rapidez de su uso y la facilidad del mismo. No obstante, conlleva esto a sus desventajas, pues la matriz debe ser cuidadosamente diseñada para lograr la probabilidad real ya que la subjetividad es muy marcada en el ejercicio. Adicionalmente, si no hay un buen nivel de detalle en las construcciones iniciales los resultados no reflejarán una combinación clara de consecuencias y categorías, impidiendo un análisis certero de riesgos (Icontec Internacional, 2013).

5.2.4. Método del análisis costo-beneficio

El análisis costo-beneficio se basa en un principio simple: compara los beneficios y los costos de un proyecto particular y si los primeros exceden a los segundos entrega elementos de juicio inicial que indican su aceptabilidad. Si, por el

contrario, los costos superan los beneficios el proyecto debe ser en principio rechazado (Cohen y Franco, 1992, p. 171).

Es entonces cuando es posible hablar que el análisis costo-beneficio consiste en la implementación o la incursión numérica de los beneficios o costos de actividades que, para el objeto de estudio, pueden ser para evaluación o mitigación del riesgo. Esta incursión permite el análisis directo de las diferencias de los costos y consecuencias en unidades computables o calificables (Drummond, 2001). Este método puede ser implementado además durante cualquiera de las siguientes etapas de un proyecto: estudio de perfil, análisis de prefactibilidad, análisis de factibilidad, diseño, ejecución u operación (Cohen y Franco, 1992).

El proceso de implementación consiste en un análisis de los costos directos e indirectos, los cuales están catalogados como aquellos que intervienen de manera vertical o se asocian con el riesgo o como los que de manera transversal o no asociada afectan el mismo (Icontec Internacional, 2013). “Se trata de conseguir el mayor valor posible en relación a la inversión realizada” (Fleitman, 2008, p. 62).

Si bien el método nació como una herramienta para el análisis de proyectos en general, puede ser implementado a la evaluación de riesgos si dentro de la gerencia de proyectos se lleva a cabo un análisis del valor o del costo de la implementación de métodos de mitigación, esto en conjunto con otros análisis de prioridades o de niveles de riesgo ya que permite aclarar cómo la gestión sobre los peligros puede cambiar y ser necesaria, relevante o poco importante para el desarrollo del proyecto con relación a los costos.

Las técnicas para la evaluación están basadas en todas las herramientas de evaluación financiera como son el Valor Presente Neto (VPN), Costo de Capital (CAPM), Valor Económico Agregado (EVA), Tasa Interna de Retorno (TIR), Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE), entre otros; esto con el fin de generar información fiel y que permita facilitar la toma de decisiones no solo de los resultados a obtener, sino también de los caminos a seguir más económicos y que sean mejores para el control necesario y los resultados esperados.

Las fortalezas del método son concentradas en la transparencia que genera para los inversionistas un control de riesgos manejado con vigilancia de presupuestos, lo cual permite que los proyectos estén enfocados en obtener el resultado esperado con las intervenciones necesarias, según los escenarios relevantes seleccionados (Icontec Internacional, 2013).

La debilidad del método es que depende de un análisis para la identificación de riesgos y sus mitigaciones muy bien estructurado, ya que caminos no viables o riesgos poco claros, con sus consecuencias, pueden orientar el método en intervenciones o casos no necesarios que incrementen los costos y generen panoramas poco reales, afectando considerablemente los resultados finales y esperados.

5.2.5. Método del análisis de decisión multicriterio (MCDA)

El método tiene como objetivo la parametrización de una serie de alternativas u opciones con el fin de establecer, a través de una serie de criterios, un orden de preferencia para las opciones disponibles y analizadas. Lo anterior se realiza por medio de la creación de una matriz que permite comparar múltiples opciones para las preferencias, o para casos en donde se presentan conflictos de intereses en donde los diferentes criterios que evalúan la alternativa disponen escenarios diferentes llevando al consenso de las partes (Icontec Internacional, 2013).

Existen diferentes métodos mediante los cuales se pueden evaluar los resultados obtenidos o identificados en la matriz creada con este método, sin embargo, según Seppälä (1999, mencionado en “Capítulo 3”, 2016) todos los casos poseen un proceso general que está basado en los siguientes pasos.

1. Estructuración del problema: se identifican los factores de incertidumbre, se aclaran las ideas y los problemas y se definen claramente los criterios presentados y nuevos para las alternativas.
2. Construcción del modelo de decisión preferencia: este es el proceso más crítico para todos los métodos, esto pues es acá en donde debe sintetizarse toda la

información para ser presentada de manera coherente y lógica, la cual permita la evaluación de las alternativas. La definición es entregada de la siguiente manera:

En un enfoque multi-criterio se usan modelos de preferencia, los elementos de éstos modelos son las alternativas a_1, \dots, a_n y los objetivos o atributos X_1, \dots, X_m . Aquí se define x_i como un nivel específico de X_i , de tal forma que el posible impacto por seleccionar una alternativa puede ser caracterizado por la consecuencia $x = (x_1, \dots, x_m)$. El modelo de preferencia busca ordenar las alternativas de decisión por orden de preferencia (“Capítulo 3”, 2016, p. 59).

No es posible alcanzar el mejor nivel para todos los casos, pero sí debemos encontrar el equilibrio entre lo que se está dispuesto a arriesgar y hasta dónde hacerlo para obtener los mejores beneficios (“Capítulo 3”, 2016).

3. Análisis de sensibilidad: en esta etapa los resultados son analizados y examinados para la obtención de los resultados finales, los cuales estarán dependientes por completo de la calidad de datos ingresados (“Capítulo 3”, 2016). Se debe tener en cuenta que dado que el puntaje otorgado es subjetivo los resultados reflejan las influencias sobre las opciones preferenciales otorgadas (Icontec Internacional, 2013).

El método entrega entonces un rango de opciones desde la más viable o la considerada la máxima preferencia hasta la más mínima. Si se realiza por medio de la construcción de una matriz se entregan criterios ponderados subjetivamente sobre las relevancias de las opciones (Icontec Internacional, 2013).

La fortaleza del método es la sencillez que entrega los datos para la toma de decisiones, lo cual hace manejable las características de problemas complejos y ayuda a alcanzar acuerdos entre los objetivos involucrados. Por otro lado, las desventajas se balancean hacia el sesgo de los resultados por los diferentes puntos de vista que logran ocultar la verdad de los hechos

y hacia lo poco concluyente que puede llegar a ser el método en sus análisis (Icontec Internacional, 2013).

5.2.6. Método de Monte Carlo

Este método es una opción cuando las técnicas analíticas no están en capacidad de entregar resultados relevantes; esto sucede porque se tiene incertidumbre en los datos de entrada. Por lo general, la información que ingresa es determinística, pero para esta simulación se introducen variables que pueden tomar diferentes valores, y para eso se le debe dar un tratamiento estadístico particular a cada una de ellas. También encontramos una definición, como la que se expresa a continuación:

Esta técnica permite llevar a cabo la valoración de los proyectos de inversión considerando que una, o varias, de las variables que se utilizan para la determinación de los flujos netos de caja no son variables ciertas, sino que pueden tomar varios valores (Martín, 2016).

El modelo corre un determinado número de veces establecido por las necesidades de la empresa y por la exactitud requerida en la misma, en las que las variables pueden tomar ciertos valores siguiendo una distribución de probabilidad estadística, las cuales luego realizan las operaciones entre las variables arrojando en cada simulación resultados que son posteriormente procesados para obtener datos como la media, mediana, intervalos de confianza, desviaciones, etc.

Las distribuciones probabilísticas son la forma en que se pueden agrupar los datos de las muestras, las cuales pueden ser distribuciones uniforme, normal, triangular, cuadrada, normal logarítmica, Weibull, entre otras (Sarmiento, s. f.).

Dada la cantidad de iteraciones que pueden hacerse se requiere una herramienta que facilite el procesamiento de los datos, pues los resultados más completos se obtienen realizando un gran número de iteraciones en cada caso. Actualmente, se cuenta con aplicaciones informáticas específicas, como es el caso del programa @Risk de Palisade, o el Cristal Ball (Martín, 2016), las cuales permiten agilizar el análisis de datos partiendo de las relaciones que existen entre las variables (también es como un dato de entrada al sistema). Estas aplicaciones funcionan mediante el uso del método Latin Hypercube que genera valores

aleatorios controlados para un parámetro, asegurando que exista una buena cantidad representativa de datos en cada una de las zonas (Keramat & Kielbasa, 1997).

Su metodología de aplicación es la siguiente:

1. Estimación de variables

- Selección del modelo matemático: para el caso de evaluación de proyectos comúnmente se usan TIR y VPN, para determinar si el proyecto es rentable
- Determinar las variables que tomarán valores aleatorios y la relación que existe entre ellas
- Determinar la función de probabilidad para cada variable
- Determinar la función de distribución que más se adapte a la distribución de probabilidades
- Se corre la aplicación y se recopilan datos para el análisis

2. Estimación del tamaño de la muestra

En este punto la utilidad de un software y herramientas facilita el desarrollo de esta metodología, ya que con el uso de este no es necesario restringirse en el número de iteraciones al no realizar un cálculo manual. “En estos métodos el error es igual a $1/\sqrt{N}$, donde N es el número de pruebas y, por tanto, ganar una cifra decimal en la precisión implica aumentar N en 100 veces” (“Método de Montecarlo”, 2016).

Su fortaleza se basa en la facilidad de la consecución del software para la ejecución, lo cual le permite el uso de diversas distribuciones de probabilidad entregando una exactitud válida para los análisis requeridos. Por otro lado, las desventajas están basadas en que el método puede llegar a ser tan robusto, por la complejidad del proyecto, que requerirá de tiempos de implementación largos y de inversiones en servidores de alto costo para la consecución final y verídica de los resultados (Icontec Internacional, 2013).

5.2.7. Método de Markowitz

El método de Markowitz es un modelo usado comúnmente para la selección de carteras de títulos-valores con liquidez inmediata. Durante su implementación, el enfoque matemático

del mismo busca como aplicación una ayuda para mitigar el riesgo de cartera, entregando un panorama más rentable de inversión para aquellos que usan el método.

A pesar de ser este método un desarrollo tan completo no es tan usado como se esperaría, algunas de estas razones son:

no tiene en cuenta los costes de transacción ni los impuestos, considera la perfecta divisibilidad de los títulos-valores seleccionados y además, no proporciona ninguna herramienta para que el inversor valore su actitud ante el riesgo y deduzca su función de utilidad, necesaria para la elección de su cartera óptima (Mendizábal, Miera y Zubia, 2002, p. 34).

Aunque este problema o inconveniente puede ser solucionado incluyendo más variables al modelo, esto hace que se reduzca la frontera eficiente del mismo, además, en el caso de algunos gestores de cartera, el uso del modelo para la selección hace que su trabajo parezca simple y no requiera la experiencia y recorrido que normalmente generan el valor agregado a la hora de escoger un gestor; es por esto que pasa a ser relegado a un lado en ciertas operaciones (Mendizábal *et al.*, 2002).

Esta metodología está basada entonces en el principio racional del inversionista, quien desea rentabilidad y rechaza el riesgo, por lo cual el modelo busca la mayor rentabilidad partiendo de un nivel de riesgo dado, y de forma inversa, calcula la cartera con menor riesgo (volatilidad) para un nivel de rentabilidad dado (Mendizábal *et al.*, 2002). Lo que propone la metodología para alcanzar este ideal es diversificar las acciones en diferentes mercados y plazos, con lo cual busca lograr que las fluctuaciones en la rentabilidad total de la cartera sean mínimas (“Modelo de Markowitz”, 2016).

El desarrollo matemático que entrega el método está basado en las siguientes ecuaciones complejas:

Ecuación 6. Modelo de Markowitz

$$R_p = \sum_{i=0}^n w_i R_i \Rightarrow E(R_p) = \sum_{i=0}^n w_i E(R_i)$$

$$\sigma = \sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n w_i w_j \sigma_{ij} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^n w_i w_j \sigma_i \sigma_j \rho_{ij}$$

Donde: R = Rentabilidad y W = Peso asignado a los activos.

Desde su origen, el modelo fue pensado para la gestión de carteras de inversión, pero podría extrapolarse también su uso para tramitar portafolios de proyectos como una alternativa de inversión, portafolios que son definidos por el PMI como:

El término portafolio se refiere a un conjunto de proyectos o programas y otros tipos de trabajos que se agrupan para facilitar la dirección eficaz de ese trabajo para cumplir con los objetivos estratégicos del negocio. Los proyectos o programas del portafolio no son necesariamente interdependientes ni están directamente relacionados. Por ejemplo, una compañía de infraestructura que tiene el objetivo estratégico de “maximizar el rendimiento de su capital invertido” puede incluir en un portafolio una combinación de proyectos en el ámbito del petróleo y gas, la energía, el agua, los caminos, ferrocarriles y aeropuertos (Project Management Institute, Inc., 2008, p. 40).

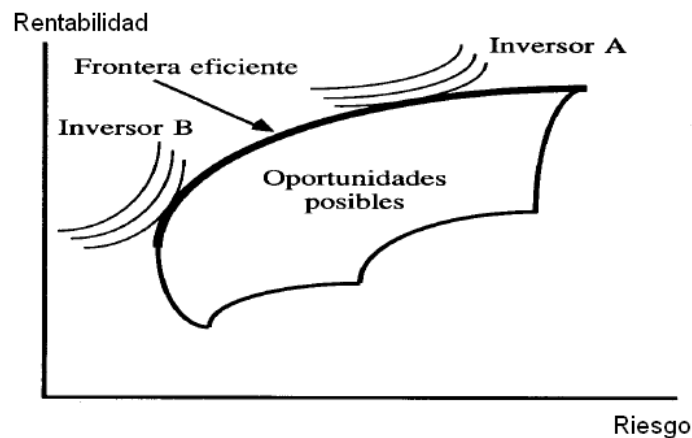
Al extrapolar las variables de la Ecuación 6 podemos validar los portafolios de proyectos a través de este método. Lo anterior consiste en considerar el portafolio como una serie de decisiones, las cuales se está interesado en evaluar para determinar en cuál de los proyectos que allí se contienen se pretende invertir o seguir adelante, y en cuáles no. Para esto se obtiene la variable de Rentabilidad (R) de las evaluaciones previas en la factibilidad de los proyectos, y el peso de los activos se puede obtener de la contribución del proyecto a los objetivos estratégicos de la compañía obtenida con la ayuda de algún software como el PWA. Así, se consiguen las variables clásicas para la ecuación de Markowitz y las rentabilidades maximizadas, contando con el riesgo involucrado para las definiciones de realización final. Según lo anterior, la rentabilidad del portafolio se convertirá en la TIR y el Riesgo del Portafolio se convertirá en el riesgo del proyecto para calcular la rentabilidad final de estas combinaciones. La ecuación que describe lo anterior y transforma extrapolando el método de Markowitz sería:

Ecuación 7. Modelo de Markowitz extrapolado a proyectos

$$TIR_{PP} = \sum_{i=0}^n w_{ip} R_{ip} \Rightarrow E(R_p) = \sum_{i=0}^n w_{ip} E(R_{ip})$$

Al igual que los títulos-valores un proyecto tiene una rentabilidad y unos riesgos asociados; partiendo de estas dos variables podría correrse el algoritmo que Markowitz propone y los resultados arrojarían los proyectos que se ubiquen dentro de lo considerado por la Enciclopedia Financiera (“Modelo de Markowitz”, 2016) como la frontera eficiente. Dentro de esta frontera la rentabilidad estaría representada por la TIR y el riesgo representa la volatilidad de la TIR. Estas variables podrían obtenerse como resultado de la aplicación de diferentes modelos como por ejemplo Montecarlo y CAPM, entre otros. Esta decisión depende de la certidumbre sobre las variables de entrada y del costo de capital y arrojará al final el portafolio con menor riesgo para ser implementado por la empresa o los inversionistas y que al igual maximiza la rentabilidad según la tolerancia al riesgo que corresponda en cada caso.

Figura 20. Frontera eficiente



Fuente: “Modelo de Markowitz” (2016).

Esta necesidad está muy arraigada por el desarrollo organizacional que se vive actualmente en las empresas, en donde como parte del crecimiento se generan ideas para implementar proyectos institucionales, lanzamiento de nuevos productos, etc., y todas ellas requieren de una inversión; si se tiene en cuenta que los recursos de la empresa son finitos se deben priorizar los proyectos y los criterios que la implementación del método podrían entregar como resultados. Adicionalmente, este análisis podría incluir otra variable que es clave en las organizaciones y que hoy en día es el lineamiento de la gestión de proyectos, y es el aporte

de las alternativas de proyecto a los objetivos estratégicos de la empresa, significando el nivel de aporte que realiza cada proyecto individual planteado al cumplimiento de los objetivos que surgen de la planeación estratégica que realiza la organización para dirigir el futuro de la misma.

La fortaleza del método es su predictibilidad para entregar combinaciones de carteras o proyectos en donde se puede minimizar el riesgo y maximizar la rentabilidad. No obstante, su debilidad se origina en este mismo camino, pues si no se tiene claridad en la inserción de datos y la fiabilidad de los mismos, no se obtendrán resultados satisfactorios o simplemente confiables. Adicionalmente, para combinaciones de carteras o portafolios de proyectos, puede requerir un conocimiento avanzado y un desarrollo computacional elevado para que los datos puedan ser extrapolados.

5.2.8. Método de los índices de riesgo

El índice de riesgos es un método cualitativo que permite una migración a una etapa numérica o semicuantitativa por medio de la cual se busca una migración u obtención de resultados para facilitar el análisis y la evaluación de los riesgos, ya que los índices buscan tener la apertura de realizar comparaciones de criterios que intervengan en los mismos ámbitos a través de escalas ordinarias. El análisis en general busca entonces identificar riesgos potenciales y su calificación asociada a una actividad, con lo cual pretende delimitar el alcance a través de valorar su nivel de riesgo (Icontec Internacional, 2013 e “Índice de riesgo”, 2016).

Como el proceso de desarrollo de los índices de riesgo requiere de elementos como las fuentes de riesgo, las trayectorias y los efectos sobre los diversos puntos del proyecto, es posible la utilización de herramientas que colaboren con la entrega de estos datos para su continuidad con la asignación numérica; estas herramientas pueden ser los árboles de eventos o de fallos, entre otros, las cuales sirven como soporte y entregan unos insumos de partida para verificación que permiten validar el índice (Icontec Internacional, 2013).

El proceso de implementación consiste en la asignación de puntajes para los elementos mencionados anteriormente, mediante los cuales sea posible realizar una combinación y

obtener un índice compuesto. Estas combinaciones deber estar permitidas por trayectorias de afectación provenientes de un riesgo o viceversa (Icontec Internacional, 2013).

Los puntajes se pueden sumar, restar, multiplicar o dividir de acuerdo con este modelo de alto nivel. Los efectos acumulativos se deben tener en cuenta mediante la suma de los puntajes (por ejemplo sumando los puntajes de diferentes trayectorias). Es estrictamente no válido aplicar las fórmulas matemáticas a las escalas ordinales. Por lo tanto, una vez se ha desarrollado el sistema de puntaje el modelo se debería validar aplicándolo a un sistema conocido. El desarrollo de un índice es un enfoque reiterativo y se pueden probar varios sistemas diferentes para combinar los puntajes (Icontec Internacional, 2013, p. 93).

Los datos resultantes son índices combinados representados por unas series de números que relacionan las fuentes de riesgo con los efectos de los mismos de manera individual y que pueden ser revisados u optimizados por medio de análisis de sensibilidad para determinar en un comparativo cuáles son los elementos más sensibles y que requieren mayores o menores intervenciones (Icontec Internacional, 2013).

La fortaleza del método radica en la posibilidad de evaluar cómo diferentes riesgos pueden afectar de manera conjunta un resultado y, por ende, incrementar los niveles de riesgo para mayores tratamientos de mitigación (Icontec Internacional, 2013).

La desventaja del método es que los valores de salida o resultantes se recomiendan sean validados a través de otras metodologías, esto ya que elementos sin un significado importante que sean incorporados y factores no definidos correctamente pueden generar inconsistencias e intervenciones sobre elementos no necesarios, o evitar aquellos que sí son importantes (Icontec Internacional, 2013).

5.2.9. Método de los árboles binomiales

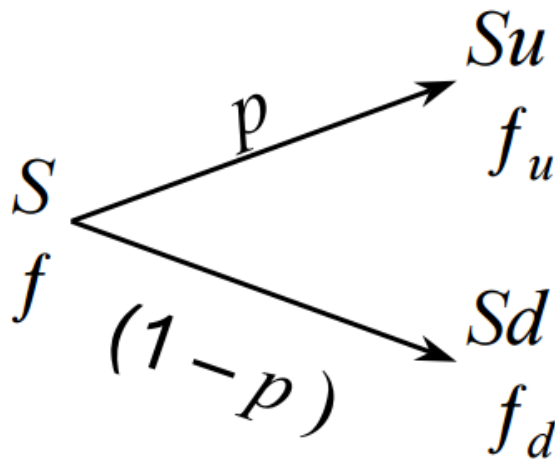
Los árboles binomiales son una metodología de evaluación enfocada principalmente en el mercado financiero; es decir, en proyectos de inversión financiera en donde se busca evaluar la volatilidad de los mercados y su impacto sobre el riesgo de aumento o disminución del costo de los títulos valores.

“Los árboles binomiales son una representación gráfica que muestra resultados posibles de una serie de experimentos y sus respectivas probabilidades” (Martínez, Herazo y Corredor, 2007, p. 178).

Para proyectos en general, el método busca obtener un valor futuro de la variable para determinar el riesgo de la misma ante su crecimiento o decrecimiento, y así buscar la mitigación de esta probabilidad de afectación en el desarrollo o finalización del mismo.

El diagrama que soporta el método es igual a cualquier otro árbol que se presente en los análisis normales, la diferencia es que a medida que se desarrolla, los posibles cambios en las ramas muestran las probabilidades del cambio del valor de la variable. El árbol modelo se presenta a continuación:

Figura 21. Modelo de los árboles binomiales



Fuente: Universidad de Valencia (s. f.).

Donde S representa el valor actual de la variable, mientras que p y $(1-p)$, que se destacan en la trayectoria en la figura 21, son catalogados como las probabilidades de riesgo neutral de los movimientos al alza o a la baja del valor de la variable evaluada para la obtención de los valores futuros S_u y S_d .

Es necesario entonces revisar algunas ecuaciones que componen el método con el fin de determinar los valores importantes que necesita y que son usados para los cálculos de las probabilidades.

Delta (Δ) es la proporción de la variable con la que se cuenta y que está en tiramiento o evaluación de su riesgo de valor futuro. Está representada así:

Ecuación 8. Proporción de la variable para árboles binomiales

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{S_u - S_d}$$

Donde f_u y f_d son los valores de diferencia entre el valor de la variable futura tanto al subir como al bajar su valor; no obstante, es importante aclarar que si el valor mínimo futuro es menor que el valor inicial dicha variable es tomada como cero (0).

EL valor inicial de la variable puede ser expresado en términos de su valor final y el intervalo de tiempo de cálculo, además depende de la tasa libre de riesgo actual y la proporción de la misma. Esta se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 9. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #1

$$(S_u \Delta - f_d) e^{-i \Delta t} = f^*$$

o:

Ecuación 10. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #2

$$f = S \Delta - (S_u \Delta - f_u) e^{-rT}$$

o:

Ecuación 11. Valor inicial de la variable del árbol binomial dependiente de su valor final #3

$$f = [p f_u + (1 - p) f_d] e^{-rT}$$

Es importante poder calcular las probabilidades que dan fin al método, las cuales consisten en el uso de lo ya explicado y de otras dos variables como son: en primer lugar la u , la cual es el valor mayor obtenido por la variable dividido su valor original, lo que se considera factor de incremento, mientras por el otro lado se encuentra la variable d , la cual es lo inverso de u , es decir, el valor menor obtenido dividido por el valor original o factor de disminución de la misma variable inicial (Universidad de las Américas Puebla, s. f.).

Ecuación 12. Cálculo de la probabilidad de riesgo en un árbol binomial

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}$$

Con el desarrollo de la cadena de cálculos anteriores es posible determinar la cadena deseada en el valor de la variable y establecer, según lo obtenido, cuáles serán aquellas que tendrán una mitigación más profunda que otras o cuáles no ameritan ser trabajadas; por lo tanto, se asume como riesgo su probabilidad de ocurrencia.

Las ventajas y desventajas se describen de la siguiente manera:

Una ventaja de los árboles binomiales es que requieren de álgebra sencilla [...]. La mayor desventaja de árboles binomiales es que necesitan mucho mayor trabajo de cálculo que introducir cinco variables en un modelo. Sin embargo, sus enormes ventajas y el desarrollo de técnicas y programas que simplifican las operaciones han sentado las bases para un auge de la técnica (Ketelhöhn, 2004, p. 201).

5.2.10. Método CAPM

Conocido como CAPM por sus siglas en inglés (Capital Asset Pricing Model) o en español como valoración de activos financieros. Es un método utilizado para calcular las tasas de retorno de un activo financiero. Es por esto que puede ser una herramienta que complementa el método de Markowitz, ya que nos entrega una tasa que puede ser usada como variable de entrada al mismo.

Para aplicar el método se parte de dos diferentes definiciones del riesgo:

1. Riesgo sistémico: este es un riesgo que no puede ser mitigado ya que corresponde a la incertidumbre de la economía general (Sogorb, 2016).
2. Riesgo no sistémico: es un riesgo específico de la empresa o el sector económico al que se pertenece. Este riesgo puede ser disminuido por medio de la diversificación (“Riesgo no sistemático”, 2016).

Esta metodología consiste en la aplicación de la siguiente ecuación:

Ecuación 13. Rendimiento esperado del activo para CAPM

$$E[r_i] = r_f + \beta_i(E[r_M] - r_f)$$

Donde:

- $E(r_i)$ es la tasa de rendimiento esperada de capital sobre el activo i
- β_{im} es el Beta (cantidad de riesgo con respecto al portafolio de mercado)
- (r_m) Rendimiento del mercado
- (r_f) Rendimiento de un activo libre de riesgo

Posteriormente, teniendo el rendimiento esperado (porcentaje), puede usarse para traer todos los valores flujo de caja dado a un valor neto actual y poder realizar un análisis de inversión.

La ventaja más grande del método es que ayuda a reducir el riesgo con la diversificación, por lo cual la variación de los retornos disminuye asegurando un ingreso estable, lo que lleva a una valorización de los activos financieros.

Como desventaja para el método se dan ocasiones donde se comporta de manera muy lineal, lo cual no siempre está relacionado con los cambios de mercado, generando interpretaciones no muy ajustadas con la realidad.

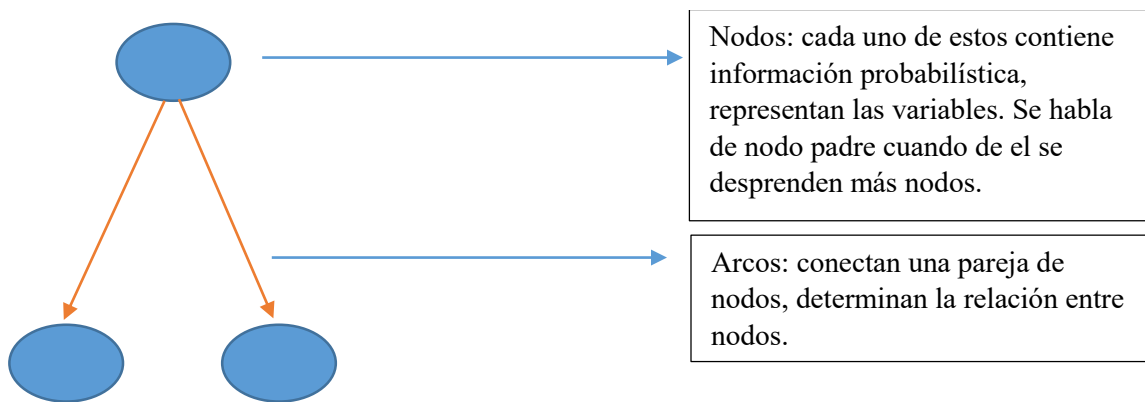
5.2.11. Método de las redes bayesianas

Las redes bayesianas son un modelo probabilístico que representa la distribución de varias variables aleatorias y la relación entre ellas. Este es un método que está compuesto por un análisis cualitativo complementado con una fracción cuantitativa.

- **Cualitativo:** se encarga de identificar las variables y las relaciones que existen entre ellas. Esto permite determinar cuándo un resultado depende de la condición de otra variable. A esto se le conoce como inferencia (Pérez, 2016). Para hacer esta determinación se basa en evidencias o datos históricos.
- **Cuantitativo:** mide la fuerza entre las relaciones antes mencionadas.

La red está conformada por los siguientes elementos:

Figura 22. Esquema general de las redes bayesianas



“Cada nodo X_i tiene una distribución de probabilidad condicional: $P(X_i | \text{Padres}(X_i))$ que mide el efecto de los padres de ese nodo” (Pérez, 2016).

Entonces, por medio del principio de la “inferencia” es posible hallar el valor de una variable, conociendo el valor de otras y esparciéndolo a través de la red. Estos problemas de inferencia se pueden resolver aplicando dos tipos de algoritmos:

- Exactos: permiten conocer de forma exacta la distribución de una variable deseada
- Aproximados: calculan de forma aproximada la inferencia que se desea por medio de simulaciones

El modelo para la solución de este método será diferente en cada caso y deberá depender de las relaciones que se establezcan entre las variables.

Su aplicación como herramienta de gestión del riesgo tiene mucha acogida en el sector financiero ya que la consideración de un alto número de variables permite conocer las condiciones probabilísticas por medio de la inferencia.

La ventaja más significativa de aplicación de las redes bayesianas “radica en la utilidad que se le da para la toma de decisiones, actualmente su uso es frecuente porque se obtienen resultados más acertados en el contexto de parámetros desconocidos” (Rivera, 2016).

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Luego de la investigación realizada, en donde se identificaron los métodos explicados previamente, es posible caracterizar los mismos de acuerdo a su utilidad o implementación en las diferentes etapas de la gestión del riesgo. Dicha clasificación se explica a continuación.

Inicialmente, se presenta una tabla comparativa en donde es posible observar cómo para cada una de las etapas de la gestión del riesgo se implementan tipos de análisis diferentes. Los números evidenciados representan la cantidad de métodos descritos en este trabajo y por tipología que pueden implementarse en cada etapa.

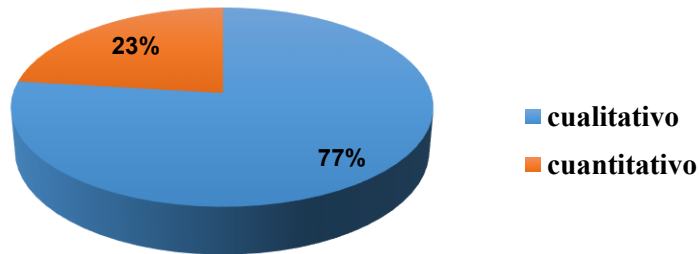
Tabla 10. Clasificación de la cantidad de métodos oficiosos por tipo de análisis

Tipo de análisis	Calificación	Evaluación	Identificación	Medidas de Tratamiento
cualitativo	10	10	15	11
cuantitativo	3	9		1
Total métodos por etapa	13	19	15	12

Los anteriores resultados son explicados a continuación con cada etapa de la gestión del riesgo y su respectivo gráfico que expone el porcentaje de los métodos que aplican para cada uno de ellos.

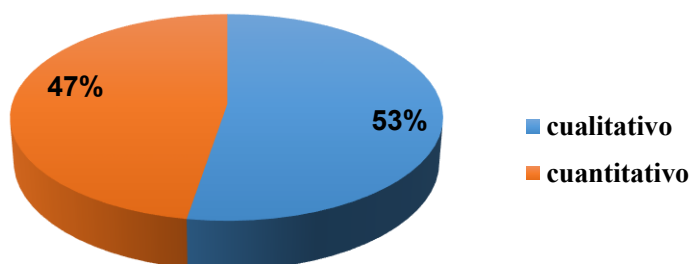
- **Calificación:** esta etapa define la severidad de las consecuencias que trae la materialización de un riesgo y de acuerdo a esto se definen prioridades para su tratamiento. El tipo de análisis que más se emplea para determinar este criterio es de tipo cualitativo.

Figura 23. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de calificación



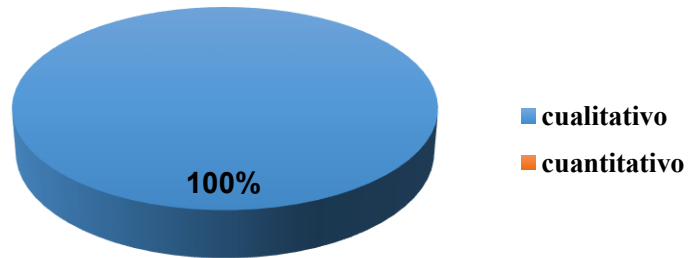
- Evaluación: en esta etapa se miden las pérdidas que ocasionan la materialización de los riesgos y para su desarrollo se parte de dos parámetros, la probabilidad de ocurrencia y la magnitud o severidad de la pérdida. Los resultados más precisos se obtienen con los análisis de tipo cuantitativo, pero dado el rigor y conocimiento que estos requieren para su aplicación los análisis cualitativos aún siguen siendo de uso frecuente aunque en menor proporción.

Figura 24. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de evaluación



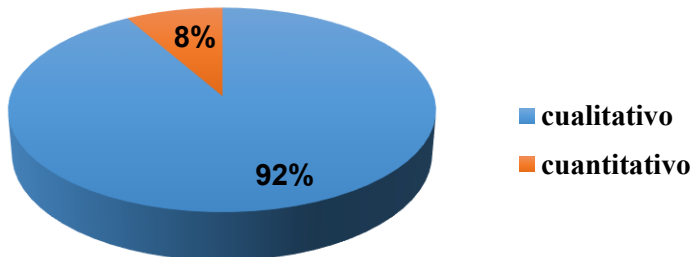
- Identificación: en esta etapa se identifican los eventos potenciales y la frecuencia con la que podrían ocurrir. Para identificar los riesgos solo se emplean herramientas de tipo cualitativo.

Figura 25. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de identificación



- Medidas de tratamiento: esta podría considerarse la etapa que sintetiza toda la administración del riesgo, ya que es aquí es donde se buscan estrategias y planes de acción para evitar que los posibles eventos negativos se materialicen o que su impacto sobre los objetivos estratégicos sea el menor posible. Estas medidas que se empleen deberán ser evaluadas constantemente para determinar su efectividad. Los métodos cualitativos son los más recomendados para esta fase.

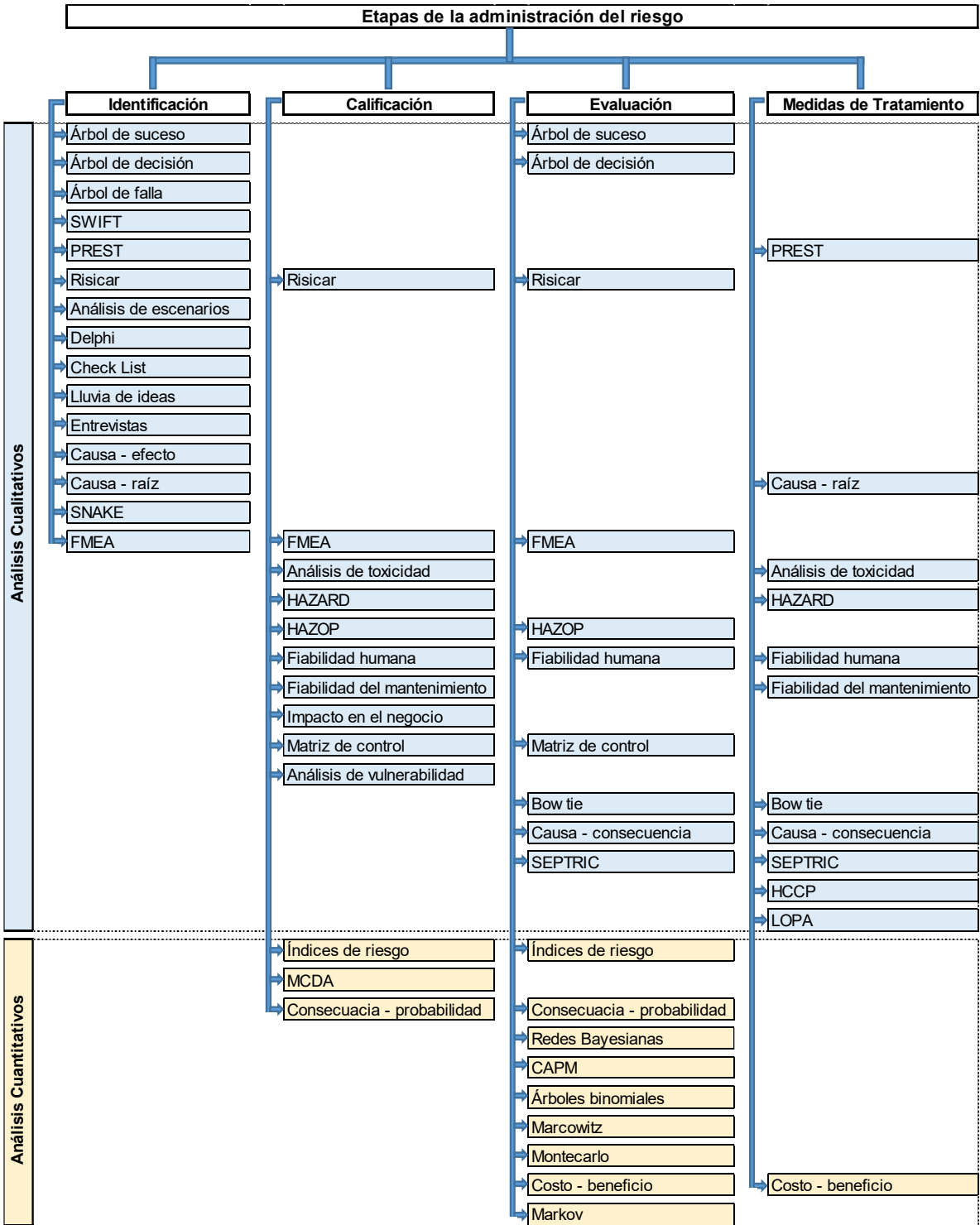
Figura 26. Porcentaje de implementación de los tipos de análisis en la etapa de medidas de tratamiento



Es importante entonces aclarar cuáles son los métodos por tipo de análisis y por etapa del proceso de gestión o administración del riesgo que fueron consultados y aplican según las

figuras, la tabla y las definiciones previas. El cuadro 21 expone el resumen de cómo cada uno de los métodos consultados en este documento es aplicado a dichas etapas.

Cuadro 21. Caracterización de los métodos cualitativos y cuantitativos para el análisis de riesgos en proyectos



7. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación realizada y los resultados obtenidos se pueden formular las siguientes conclusiones:

- Se logró descubrir, identificar y explicar la totalidad de veintiocho (28) métodos cualitativos para el análisis de riesgo y once (11) métodos cuantitativos para realizar la caracterización de implementación según las etapas de la gestión del riesgo.
- La subjetividad es una constante para todos los métodos investigados, lo cual genera que la profundidad de los análisis se vea comprometida y que no sea posible alcanzar resultados 100% soportados más allá del conocimiento propio de unos cuantos.
- En la actualidad, la gran mayoría de métodos desarrollados basan sus resultados en los expertos y los históricos, es decir, en proyectos en donde no se cuenta con documentación sustentable al respecto; el análisis de riesgo y la gestión misma puede verse comprometida por la alta necesidad de estos parámetros en los desarrollos actuales.
- Un análisis de riesgos no se puede considerar completo si no se tiene un soporte matemático calificado que complemente todo lo investigado y analizado, lo cual permita minimizar la subjetividad y obtener resultados más exactos sobre los riesgos tratados.
- Es posible observar cómo, durante la administración del riesgo, predominan los diferentes tipos de análisis, siendo el cualitativo el que más herramientas proporciona para la etapa inicial y final, y durante las etapas intermedias el cuantitativo aporta el rigor numérico que justifica la toma de decisiones.
- La transición de un análisis a otro hace que en el trascurso se generen brechas por la subjetividad producida por la asignación de valores que luego son empleados para

análisis cuantitativos, lo que otorga a la administración del riesgo un grado considerable de incertidumbre.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. A. (2011). *Aplicación de cadenas de markov para el análisis y pronóstico de series de tiempo*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. y Zepeda, F. (2016). "Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe". Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/riesgos.pdf>
- Aguilar, J. R. (2011). *Análisis de capas de protección (LOPA) conforme a la IEC-61511*. Villahermosa, México: Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V.
- Alfonso, C., Pérez, Y. y Sarabia, I. I. (2013). *Aplicación del método de BowTie para la evaluación de seguridad en la práctica de perfilaje de pozos*. Río de Janeiro, Brasil: Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN).
- "Análisis Causa-Raíz o RCA" (s. f.). Recuperado de <http://www.terotecnic.com/formacion/analisis-causa-raiz.html>
- "Análisis funcional de operatividad (AFO): hazard and operability (HAZOP)" (2016). Recuperado de http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm
- Aquino, N. (2014). "El árbol de decisiones en el análisis de riesgos del proyecto" (s. f.). Recuperado de <http://www.eoi.es/blogs/madeon/2014/01/20/el-arbol-de-decisiones-en-el-analisis-de-riesgos-del-proyecto/>
- Arboleda, G. (2013). *PROYECTOS - Identificación, formulación, evaluación y gerencia*. Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana S. A.
- Arya, J. C. y Lardner, R. W. (2002). *Matemáticas aplicadas: a la administración y a la economía*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.
- Astigarraga, E. (s. f.). *El Método Delphi*. San Sebastián, España: Universidad de Deusto.
- Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. México D. F., México: Mc Graw Hill.
- Bravo, Ó. y Sánchez, M. (2012). *Gestión integral de riesgos*. Bogotá, Colombia: Bravo & Sánchez.
- Calancha, N. A., Carrión, R. B., Cori, R. M. y Villa, R. F. (2010). *Breve aproximación a la técnica de árbol de decisiones*. Cusco, Perú: Universidad Andina del Cusco.
- Camacho, A., Fernández, I., Gsaco, C. J., Macías, A. M., Martín, M. Á., Reyes, G. y Rivas, J. (2013). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso, sistemas*

instrumentados de seguridad y análisis SIL. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.

"Capítulo 3" (2016). Recuperado de

<http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6846/04LPgh04de09.pdf?sequence=4>

Centro de Recursos del Departamento de Seguros de Texas (s. f.). *El análisis de fallas con diagramas de árbol*. Dallas, Estados Unidos: Departamento de Seguros de Texas.

Cisneros, E. (2012). ¿"Qué es un FMEA?". Recuperado de <http://innovando.net/que-es-un-fmea/>

Coello, C. (2010). "Herramientas sobre evaluación de riesgos". *CNIC Informa*, (4), 64-66.

Cohen, E. y Franco, R. (1992). *Evaluación de proyectos sociales*. Madrid, España: Siglo XXI.

Crawley, F. & Tyler, B. (2003). *Hazard Identification Methods*. Rugby, Reino Unido: Antony Rowed Limited, Eastbourne.

Crawley, F. & Tyler, B. (2015). *HAZOP: Guide to Best Practice*. Amsterdam, Países Bajos: Elsevier Ltd.

De Oca, J. M. y Pérez, M. D. (2014). Comparación de metodologías de gerencia de proyectos PRINCE2 y PMBOK5. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Díaz, I. C. (2016). "Ingeniería y gerencia XXI: uso del HAZOP como herramienta para el proyecto y los objetos". Recuperado de

<http://ingenieriayperenciaxxi.blogspot.com.co/2014/03/uso-del-hazop-como-herramienta-para.html>

Diberardinis, L. (1999). *Handbook of Occupational Safety and Health, Second Edition*. Nueva York: Wiley & Sons.

Drummond, M. F. (2001). *Métodos para la evaluación económica de los programas de asistencia sanitaria*. Sevilla, España: Ediciones Díaz de Santos.

"Evaluación de la toxicidad" (2016). Recuperado de

<http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c3-3-2.html>

Faig, J. (2003). *Fiabilidad humana: evaluación simplificada del error humano*. Madrid, España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo España.

Fernández, R. (2006). *Sistemas de gestión de la calidad, ambiente y prevención de riesgos laborales. Su integración*. San Vicente, España: Editorial Club Universitario.

Fleitman, J. (2008). *Evaluación integral para implantar modelos de calidad*. México D.F., México: Editorial Pax México.

- Freedman, P. (2016). "HAZOP como metodología de análisis de riesgos". Recuperado de <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnica/2003-2/Hazop.pdf>
- Frett, N. (2013). "El análisis Bow Tie en el trabajo de auditoría". Recuperado de <http://nahunfrett.blogspot.com.co/2013/09/el-analisis-bow-tie-en-el-trabajo-de.html>
- García, O. (2006). *La confiabilidad humana en la gestión del mantenimiento*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Reliability Word 2006.
- Ghosh, S., Forrest, D., DiNetta, T., Wolfe, B. & Lambert, D. C. (2012). *Enhance PMBOK® by Comparing it with P2M, ICB, PRINCE2, APM and Scrum Project Management Standards*. Maryland, Estados Unidos: PM World Today.
- "Guía técnica: métodos cualitativos para el análisis de riesgos" (2013). Recuperado de http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta22/guiatec/Metodos_cualitativos/cuali_213.htm
- "Herramientas de mantenimiento" (2014). Recuperado de http://herramientasdemtto.blogspot.com.co/2014_05_01_archive.html
- Horn, C. V. (s. f.). *Lluvia de ideas creativas con el método SCAMPER*. Falls Church, Estados Unidos: Escuelas Públicas del Condado de Fairfax.
- Ibarra, E., Goya, F., Guerra, B., Dupin, M. y Pérez, L. (2015). "Caracterización y usos de las técnicas cuantitativas de valoración de riesgos en los procesos químicos industriales". *Centro Azúcar*, 42(4), 12.
- Icontec Internacional (2013). *Norma Técnica Colombia NTC-IEC/ISO: 31010*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- "Índice de riesgo" (2016). Recuperado de https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/Ind_Riesgo.htm
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (1995). *NTP 333: análisis probabilístico de riesgos: metodología del "Árbol de fallos y errores"*. Madrid, España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España.
- ISO (2009). *ISO 31000:2009*. S. d. ISO.
- Keramat, M. & Kielbasa, R. (1997). *Latin Hypercube Sampling Monte Carlo Estimation of Average Quality Index for Integrated Circuits*. París, Francia: Ecole Supérieure d'Electricité (SUPELEC).
- Ketelhöhn, W. (2004). *Inversiones*. Santiago de Chile, Chile: Editorial Norma.
- Krajewski, L. J. y Ritzman, L. P. (2000). *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. Naucalpan de Juárez, México: Pearson Educación.

- Lewis, S. & Hurst, S. (2005). "BowTie, An Elegant Solution?" *Strategic Risk*, 8-10.
- Lidón, I., Rebollar, R. y Pérez, A. (2012). "Identificación de causas de riesgo en la gestión de grandes proyectos de construcción en España". *DYNA - Ingeniería e Industria*, 10.
- Lledó, P. y Rivarola, G. (2007). *Gestión de proyectos*. Buenos Aires, Argentina: Pearson Education S. A.
- López, G. (2003). *Planificación y análisis del riesgo del proyecto*. Buenos Aires, Argentina: Universidad del CEMA [Recuperado de http://www.ucema.edu.ar/u/gl24/Slides/Analisis_de_escenarios_proyectos.pdf].
- Lyon, B. K. y Hollcroft, B. (2012). *Evaluaciones de riesgos, las 10 deficiencias principales y consejos para mejorar*. Illinois, Estados Unidos: The American Society of Safety Engineers.
- Maeso, A. (2014). "Gestión de riesgos. Guía para la investigación de riesgos". Recuperado de <http://www.netmind.es/knowledge-center/gestion-de-riesgos-guia-para-la-identificacion-de-riesgos/>
- Martín, S. (2016a). "Simulación de Monte Carlo". Recuperado de <http://www.expansion.com/diccionario-economico/simulacion-de-monte-carlo.html>
- Martín, S. (2016b). "Análisis de escenarios en valoración de inversiones". Recuperado de <http://www.expansion.com/diccionario-economico/analisis-de-escenarios-en-valoracion-de-inversiones.html>
- Martínez, C., Herazo, G. y Corredor, Á. (2007). *Estado del arte de las finanzas*. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Martínez, O. (2012). *Gestión de los Riesgos del Proyecto*. San José, Costa Rica: s. e.
- Mejía, R. C. (2006). *Administración de riesgos, un enfoque empresarial* (vol. 1). Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Mejía, R. C. (2013). *Identificación de riesgos*. Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Méndez, R. (2014). *Formulación y evaluación de proyectos. Enfoque para emprendedores*. Bogotá, Colombia: Rafael Méndez Lozano.
- Mendizábal, A., Miera, L. M. y Zubia, M. (2002). *El modelo de Markowitz en la gestión de carteras*. San Sebastián, España: Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
- "Método de Montecarlo" (2016). Recuperado de https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/carlosp/html/pid/montecarlo.html

- "Modelo de Markowitz" (2016). Recuperado de <http://www.encyclopediainfinanciera.com/gestioncarteras/modelomarkowitz.htm>
- Moisoff, R. L. (2006). *Business impact analysis*. Mona, Estados Unidos: The University of the West Indies.
- Montoya, J. (2008). *Análisis de riesgo con la metodología HAZOP a subestaciones eléctricas de CFE*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Moreno, J. D. y Gutierrez, M. (2016). "El modelo de valoración de activos CAPM". Recuperado de <http://ocw.uc3m.es/economia-financiera-y-contabilidad/economia-financiera-1/material-de-clase-1/tema-5-el-modelo-de-valoracion-de-activos-capm>
- Moro, J. (2012). *Descubre ISO 31000 para la gestión de riesgos*. Recuperado de <http://www.slideshare.net/gedpro/descubre-la-iso-31000-para-la-gestion-de-riesgos>
- Mosquera, L. F., Andrade, D. J. y Sierra, L. M. (2013). "Guía para apoyar la priorización de riesgos en la gestión de proyectos de tecnologías de la información". *Gerencia Tecnológica Informatica*, 19.
- Mulcahy, R. (2010). *Risk Management, Tricks of the trade for Project Managers and PMI-RMP Exam Prep Guide*. Nueva York, Estados Unidos: RMC Publications, Inc.
- Mun, J. (2004). *Applied Risk Analysis, Moving Beyond Uncertainty in Business*. Nueva Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Murcia, J., Díaz, F., Medellín, V., Ortega, J., Santana, L., González, M., . . . Baca, C. (2009). *Proyectos, formulación y criterios de evaluación*. Bogotá, Colombia: Alfaomega Colombiana S. A.
- MyS Asociados (s. f.). *Mantenimiento centrado en confiabilidad MCC*. Cúcuta, Colombia: MyS Asociados.
- Ohara, S. (2004). *P2M, A Guidebook of Project & Program Management for Enterprise Innovation*. Recuperado de https://articulospm.files.wordpress.com/2013/01/p2mguidebookvolume1_060112.pdf
- "OHSAS 18001: el análisis preliminar de riesgos" (2015). Recuperado de <http://www.nueva-iso-45001.com/2015/02/ohsas-18001-el-analisis-preliminar-de-riesgos/>
- Pastor, A., Otero, M., Repeto, D., Viguera, J. L., Acros, Á. y Portela, J. M. (2013). "Análisis crítico del estándar internacional ISO 21500:2012, de guía en la Dirección de Proyectos". *DYNA - Ingeniería e Industria*, 88(3), 285-289.

- Pastrana, F., Ávila, A. & Muñoz, F. (2015). *Nano-Safety approach at Universidad de los Andes*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Peñaloza, A. (2011). *Análisis cuantitativo y cualitativo de riesgos*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, F. (2016). "Redes bayesianas". Recuperado de <https://fdoperez.webs.ull.es/doc/Conocimiento5.pdf>
- Pérez, M. (2010). "Taller técnicas de identificación de peligros". Recuperado de http://www.cnh.gob.mx/_docs/transparencia/Taller_tecnicas_de_identificacion_peligros.pdf
- Project Management Institute, Inc. (2008). *Fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)*. Pensilvania, Estados Unidos: Project Management Institute, Inc.
- Rea, R., Rodríguez, R. C., Sandoval, S., Velasco, R. y García, M. (2012). "Metodología para realizar análisis de mantenimiento basado en confiabilidad en centrales hidroeléctricas". *Tendencia tecnológica*, 143-149.
- "Realizar el análisis cuantitativo de riesgos" (2015). Recuperado de <http://myslide.es/documents/taller-de-preparacion-para-la-certificacion-pmi-rmp-realizar-el-analisis-cuantitativo-de-riesgos.html>
- "Reliability Services in the Design Phas" (2016). Recuperado de http://www.opsalacarte.com/Pages/reliability/reliability_des_sneakcircuit.htm
- "Riesgo no sistemático" (2016). Recuperado de <http://www.economia48.com/spa/d/riesgo-no-sistemico/riesgo-no-sistemico.htm>
- "Riesgos químicos. Metodologías de análisis de riesgos" (2013). Recuperado de <http://www.proteccioncivil.org/metodos-cualitativos>
- Rivera, M. (2016). "El papel de las redes bayesianas en la toma de decisiones". Recuperado de http://www.urosario.edu.co/Administracion/documentos/investigacion/laboratorio/miller_2_3.pdf
- Rojo, H. y Miranda, M. (2009). *Cadenas de Markov*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Rubio, J. C. (2004). *Métodos de evaluación de riesgos laborales*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Rubio, J. C. (2005). *Manual para la formación de nivel superior en prevención de riesgos laborales*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

- Sánchez, G. (2003). *Técnicas participativas para la planeación*. Mexico D.F.: Fundación ICA, A.C.
- Sánchez, J. A. (2009). *Patógenos emergentes en la línea de sacrificio de porcino*. Madrid, España Ediciones Díaz de Santos.
- Sánchez, R., Gamboa, O. y Díaz, J. A. (2008). "Modelos empleados para la toma de decisiones en el cuidado de la salud". Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642008000100017
- Sarabia, A. (1996). *La investigación operativa: una herramienta para la adopción de decisiones*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.
- Sarmiento S., J. A. (s. f.). *Simulación modelos DE*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Scarpatti, F. (s. f.). *AMFE - Análisis de Modos de Falla y sus Efectos*. Córdoba, España: Scarpatti y Asociados - Consultores en Gestión Organizacional.
- Seppälä, J. (1999). "Decision Analysis Frameworks for Life-Cycle Impact Assessment". *Journal of Industrial Ecology*. s. d.
- Snedaker, S. (2011). *Business Continuity and Disaster Recovery Planning for IT Professionals*. Burlington, Estados Unidos: s. e.
- Sogorb, F. (2016). "*Riesgo sistemático*". Recuperado de <http://www.expansion.com/diccionario-economico/riesgo-sistematico.html>
- Storch, J. M. y García, T. (2008). *Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Taipe, J. (s. f.). *Estudios para el análisis y evaluación de riesgos*. Lima, Peru: s. e.
- "Técnica BowTie para análisis de riesgos" (s. f.). Recuperado de http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Analisis_Bow_Tie.pdf
- "Technical Risk Analysis and Hazard Studies" (2016). Recuperado de <http://broadleaf.com.au/work/services/technical-risk-analysis-and-hazard-studies/>
- Universidad de las Américas Puebla (s. f.). *Modelo binomial*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Universidad de Valencia (s. f.). *Valoración de opciones con árboles binomiales*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Velandia, G. A. y Londoño, N. (2014). *Árbol de sucesos (ETA)*. Bucaramanga, Colombia: s. e.

Velasco, A. (2011). "Claves para la gestión de riesgos". Recuperado de <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/gr2.pdf>

Villarreal, I. y Viltard, L. A. (2015). "Un camino unificado hacia el manejo de proyectos". *Palermo Business Review*, 18.

"What is Sneak Circuit Analysis" (2016). Recuperado de <http://www.sohar.com/sca/whatis-sca.html>

Yepes, V. (2015). "Análisis cualitativo de los riesgos de un proyecto ". Recuperado de <http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/01/analisis-cualitativo-de-los-riesgos-de-un-proyecto/>