

Revisión sistemática de las metodologías para la evaluación de riesgos en proyectos de construcción

José Yeison Bello Durán

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero industrial

Director:

Carlos Eduardo Díaz Bohórquez

Magíster en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2017

Agradecimiento

A Dios, por darme salud, fuerza y llenar mi vida de personas maravillosas. A mi mamá Martha Durán, por ser mi apoyo incondicional y mi ejemplo a seguir, éste logro es para ella.

Me gustaría expresar mi agradecimiento a mi director, Carlos Díaz sin el cual no sería capaz de completar mi tesis, por su incondicional orientación, apoyo, paciencia y tolerancia en cada etapa del presente estudio. Siempre ha sido un privilegio trabajar con él.

Especial agradecimiento a mis hermanos Wilmer Bello y Elkin Bello por sus consejos y querer siempre lo mejor para mí, A mi papá, José Bello por darme muchas lecciones de vida, Debo agradecer a mi novia Alejandra Ruiz por estar siempre a mi lado y animarme en momentos difíciles me hizo fuerte todo el tiempo.

A toda mi familia y amigos, de los cuales aprendí muchas cosas y con los que viví momentos inolvidables.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo general.....	17
1.2 Objetivos específicos	17
2. Generalidades del proyecto.....	18
2.1 Planteamiento del problema.....	18
2.2 Justificación del proyecto	19
2.3 Resultados esperados	20
2.4 Marco teórico	21
2.4.1 Revisión sistemática.....	21
3. Metodología de investigación	25
3.1 Planeación de la Revisión	25
3.1.1 Identificación de la necesidad de una revisión	25
3.1.3 Desarrollo de un Protocolo de la investigación	26
3.1.4 Criterios de calidad	27
3.2 Ejecución de la revisión	28
3.2.1 Identificación de estudios	28
3.2.2 Selección de estudios	28

3.2.3 Evaluación de calidad de los estudios.....	29
3.2.4 Extracción de datos y la vigilancia de los progresos	30
3.2.5 Síntesis de los datos	30
3.3 Reporte y diseminación de resultados.....	34
3.3.1 Análisis Bibliométrico	34
4. Resultados	40
4.1 Concepto de Riesgo	40
4.1.1 Tipos de Riesgos en la Construcción.....	42
4.2 Gestión de Riesgos en la Construcción.....	44
4.2.1 Historia y antecedentes de la gestión de riesgos en la construcción.....	46
4.2.2 Ámbito legal de la gestión de riesgos en la construcción	47
4.3 Análisis de riesgo en proyectos de construcción	49
4.3.1 Evaluación de las Técnicas de Análisis de Riesgo	53
4.3.2 Evaluación de Prácticas para Respuesta de Riesgo	55
4.4 Aplicación de gestión de riesgos en proyectos de construcción.....	58
4.5 Procesos de la Gestión de Riesgos en Proyectos de Construcción	62
4.5.1 Identificación y valoración del riesgo.....	64
4.5.2 Planificación de la respuesta y control de riesgos	76
4.6 Impacto en el desempeño de los proyectos de construcción debido a la implementación de procesos de gestión de riesgos	79
4.7 Herramientas y Técnicas para la gestión de Riesgos en Proyectos de Construcción	84
4.8 Estandarización en la construcción.....	110
4.9 Construcción sin pérdidas o Lean Construction	111

4.10 Modelos de ejecución de proyectos en la construcción	117
4.10.1 Sistema de ejecución de entrega de proyectos constructivos.....	118
4.11 Artículo Científico	120
5. Conclusiones.....	120
6. Recomendaciones	122
Referencias Bibliográficas	124

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Proceso de Selección de Artículos para Revisión Sistemática.....	29
Figura 2. Producción de Artículos por Años de Publicación. Adaptado de VantagePoint.....	34
Figura 3. Aduna de las Palabras Claves. Adaptado de VantagePoint.....	39
Figura 4. Ciclo de vida de la gestión de riesgos (Baker et al. 1997)	50
Figura 5. Análisis de enfoque sistemático de riesgo propuesto. Adaptado de Flanagan y Norman (1993).....	50
Figura 6. Técnicas de análisis de riesgo. Adaptado de Ward y Chapman (1997).	52
Figura 7. Respuesta acerca de Diferentes Técnicas de Análisis de Riesgo. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).....	54
Figura 8. Respuesta acerca de diferentes técnicas de respuesta al riesgo. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).....	56
Figura 9. Uso de dos métodos de transferencia de riesgo en Florida. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).....	57
Figura 10. Ejemplo de un Check List. Adaptado de Project Risk Analysis and Management Guide (PRAM Guide 1997).....	65
Figura 11. Ejemplo de una Estructura de Desglose de Riesgos (RBS). Adaptado de Project Management Institute. PMBOK (2013).....	67
Figura 12. Modelo CRAM (Apostolopoulos et al, 2016).	70

Figura 13. Modelo de identificación de riesgos (Leung et al, 1998)	75
Figura 14. Beneficios de la constructabilidad (Instituto Industria de la Construcción ,2008).....	84
Figura 15. Árbol de Eventos (ETA). Adaptado de H. Cho, H. Choi, and Y. Kim (2002).....	92
Figura 16. Metodología de la lógica difusa. Adaptado de Klir J. George (1995).....	95
Figura 17. Planificación usual en la construcción. Adaptado de Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, Alarcón L.F (2008).....	114
Figura 18. Modelo tradicional de ejecución de proyectos vs modelo integrado. Adaptado de Innovatech build construction (2012).	118
Figura 19. Sistema de entrega de proyectos Lean (Lean Project Delivery System - LPDS). Adaptado de Lean construction Institute, 2013.	119

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.....	16
Tabla 2. Características de la revisión tradicional y la sistemática.....	21
Tabla 3. Creación de la Ecuación de búsqueda.....	27
Tabla 4. Criterios de Inclusión y Exclusión.....	27
Tabla 5. Resumen de los estudios empleados para la revisión	31
Tabla 6. Países con Mayor Número de Publicaciones.....	35
Tabla 7. Autores Principales	36
Tabla 8. Instituciones con Mayor Número de Artículos Publicados.	37
Tabla 9. Revistas con Mayor Número de Publicaciones	37
Tabla 10. Tipos de riesgo en la Industria de la construcción.....	43
Tabla 11. Usos de la gestión de Riesgos en proyectos de construcción	59
Tabla 12. Factores de éxito y fracaso en proyectos de construcción	81
Tabla 13. Técnicas en Gestión de Riesgos en las Etapas del Proyecto.....	86
Tabla 14. Resolución Moderna para Proyectos.	89
Tabla 15. Resolución de problemas por tamaño del Proyecto.....	89
Tabla 16. Tipos de PDRI	103
Tabla 17. Niveles de Definición PDRI	104
Tabla 18. Hojas de Puntuación del Proyecto PDRI	105

Tabla 19. Desperdicios en la construcción 112

Resumen

Título: Revisión sistemática de las metodologías para la evaluación de riesgos en proyectos de construcción*

Autor: Bello Duran, José Jeison**

Palabras claves: Revisión Sistemática, Metodología Evaluación de Riesgos, Gestión de Riesgos.

Descripción:

Éste proyecto presenta una investigación realizada sobre metodologías para la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción, en el cual se desarrolla una revisión sistemática para el establecimiento de un marco teórico de referencia que plasme el estado actual de la literatura en la temática y contribuya a su conceptualización y comprensión como una herramienta que puede ayudar a prevenir y mitigar peligros, que permite cuantificar los posibles impactos negativos en la seguridad y salud laboral causados en el desarrollo de un proyecto de construcción.

El documento expone cada una de las actividades y procesos realizados en la investigación que permitieron el análisis de la dinámica de producción de artículos científicos referentes a la evaluación y gestión riesgos, la comprensión de los conceptos básicos y la identificación de las principales prácticas herramientas y técnicas aplicadas en obras de construcción que se destacaron través del análisis de contenido realizado a los artículosseleccionados.

La investigación desarrollada permitió describir investigaciones realizadas en diversas partes del mundo, en las cuales se explica la importancia de la gestión de riesgos en los proyectos, y la forma en como dicha gestión permite hacer más fiable la ejecución de estos, e incrementa suprobabilidad de éxito, al tener una comprensión completa de los aspectos más relevantes del proyecto de construcción como lo son el alcance, cronograma, costo y calidad.

De la investigación realizada, se puede destacar: la importancia en la identificación y control de riesgos; la utilización de herramientas y técnicas de gestión de riesgos; el desarrollo de modelos matemáticos y aplicaciones de software para apoyar la gestión integral del riesgo; así como los aspectos humanos que influyen en la adecuada administración del riesgo en un proyecto.

* Tesis de grado

** Facultad De Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Carlos Díaz Bohórquez

Abstract

Title: Systematic review of the methodologies for risk assessment in construction projects*

Author: Bello Duran, José**

Keywords: Systematic Review, Risk Assessment Methodology, Risk management.

Description:

This project presents a research of risk assessment and management methodologies in construction projects, using a systematic review methodology to establish a theoretical framework that reflects the current state of the literature and contribute to its conceptualization and understanding as a tool Help prevent and mitigate hazards, which quantifies the potential negative impacts In occupational safety and health, caused in the development of an construction project.

This document sets out each of the activities and processes carried out in the research that enabled the analysis of the dynamics in scientific articles production relating to risk assessment and management, understanding the basic concepts and the identification of the main practices, tools and techniques applied in building works, which were outstanding through the analysis of the selected articles.

The research carried out allowed us to describe research carried out in different parts of the world, explaining the importance of risk management in the projects, and the way in which such management makes the execution of projects more reliable, and increases their probability of success, having a complete understanding of the most relevant aspects of the construction project such as scope, schedule, cost and quality.

Of the research carried out, it is possible to emphasize: the importance in the identification and control of risks; the use of risk management tools and techniques; the development of mathematical models and software applications to support comprehensive risk management; as well as the human aspects that influence the proper administration of risk in a project.

* Degree Project

** Physicomechanical Engineering's Faculty. School of Industrial Engineering and Business Director: Carlos Díaz Bohórquez

Introducción

La industria de la construcción a lo largo de la historia, ha estado sujeta a una constante evolución, en la cual, tanto los procesos y métodos constructivos, como los materiales y el uso de estos, han ido variando en forma muy significativa y constante, los proyectos se desarrollan en condiciones inciertas y en los que una mala gestión en su ejecución puede afectar seriamente la integridad física de los trabajadores. Debido a esto, la evaluación de riesgos ha sido reconocida como una herramienta que puede ayudar a prevenir y mitigar peligros y a lograr la unificación de los objetivos del proyecto (Nieto & Ruz, 2011)

La situación actual conduce a la creciente preocupación por la seguridad y la salud laboral en obras de construcción y la necesaria transformación del sector de la construcción frente al reto de la sostenibilidad, en su entramado normativo, técnico, económico y financiero (De los Pinos & García, 2014) que se encuentran en el marco de realización de un proyecto. Asimismo, pensando en un enfoque de sostenibilidad, se necesitan metodologías que permitan cuantificar los posibles impactos negativos, con el objetivo de prevenirlos o mitigarlos.

En primer lugar, se realizó una búsqueda, recolección y depuración de textos concernientes al tema y analizando los documentos se realizó un marco de la situación actual, del contexto en el que se encuentra esta temática y se señalaron las metodologías principales utilizadas para la evaluación de riesgos en proyectos de construcción aplicadas a sectores específicos. Teniendo en cuenta la importancia que tiene el desarrollo de esta temática se planteó la realización de este trabajo de grado bajo el título, ‘Revisión Sistemática de las Metodologías de Evaluación de

Riesgos en Proyectos de Construcción” perteneciente al Grupo de investigación OPALO de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales de La Universidad Industrial De Santander.

Para el desarrollo de la investigación se escogió la revisión sistemática porque es una metodología de investigación que permite identificar, evaluar y sintetizar grandes volúmenes de información como la relacionada con la literatura científica de evaluación de riesgos para la comprensión de forma estructurada, explícita y sistemática (Tranfield & Denyer, 2003) obteniendo la mejor evidencia posible y presentándola en forma accesible (Centro Cochrane Iberoamericano, 2012), garantizando un protocolo de investigación estructurado y confiable.

Posterior a la introducción, en el documento se presentan 3 capítulos, a partir de los cuales se estructura la revisión sistemática sobre las metodologías de evaluación de riesgos en proyectos de construcción: El capítulo 1 corresponde a las generalidades del proyecto, el marco teórico, los conceptos básicos, encontrando el planteamiento del problema, los objetivos del proyecto; El capítulo 2 hace referencia a la metodología de la revisión sistemática, presentando detalladamente el protocolo de investigación de la revisión sistemática realizada; la ejecución de la revisión sistemática detallando cada una de las actividades realizadas para la consecución de la investigación; el reporte y diseminación de los resultados de la investigación a través de un análisis bibliométrico; el capítulo 3 presenta los resultados de la revisión de la literatura científica de la gestión y evaluación de riesgos, las metodologías utilizadas para la evaluación y gestión de riesgos de un proyecto de construcción; seguido de las conclusiones y recomendaciones de la investigación desarrollada, la lista de referencias bibliográficas utilizadas para la construcción del presente documento y finaliza con el apéndice que contiene el artículo elaborado.

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos

Objetivo	Cumplimiento
Elaborar un protocolo de revisión sistemática, para identificar las publicaciones relacionadas con las metodologías utilizadas para la evaluación de riesgos en proyectos de construcción.	2. METODOLOGIA DE LA REVISION
Hacer un análisis bibliométrico, a partir de la extracción, recopilación y selección de los artículos asociados a las metodologías utilizadas para evaluar los riesgos en proyectos de construcción.	2.2 IDENTIFICACION DE LOS ESTUDIOS
Analizar los resultados de la revisión sobre metodologías para la evaluación de riesgos en proyectos de construcción anteriormente seleccionadas.	3. RESULTADOS DE LA REVISION
Elaborar con base en la investigación un artículo científico	APÉNDICE A. ARTÍCULO CIENTÍFICO

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Elaborar una revisión sistemática de las metodologías utilizadas para la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción, actualidad y tendencias del tema.

1.2 Objetivos específicos

- Elaborar un protocolo de revisión sistemática, para identificar las publicaciones relacionadas con las metodologías utilizadas para la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción.
- Hacer un análisis bibliométrico, a partir de la extracción, recopilación y selección de los artículos asociados a las metodologías utilizadas para evaluar y gestionar los riesgos en proyectos de construcción.
- Analizar los resultados de la revisión sobre metodologías para la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción anteriormente seleccionadas.
- Elaborar con base en la investigación un artículo científico.

2. Generalidades del proyecto

2.1 Planteamiento del problema

La creciente complejidad y dinámica de los proyectos de construcción han opacado la industria de la construcción con riesgos sustanciales y pérdidas significativas, los riesgos no identificados durante las fases tempranas de planeación de los proyectos, es una de las causas más frecuentes para que estos fracasen o no logren los objetivos definidos al momento de su concepción, hay muchos posibles factores de riesgo en la construcción, que conducen a un fracaso del proyecto y estos factores de riesgo deben ser incorporados en el proceso de evaluación, es por lo tanto esencial, el desarrollo de nuevos métodos de análisis de riesgos, identificar y evaluar los riesgos de construcción de una forma aceptable (Zeng & Smith, 2007).

La evaluación de riesgos es uno de los estudios que se pasa por alto en la planificación del proyecto debido a que los gerentes de proyecto no tienen la cultura de identificar y analizar los riesgos. Por ser estos eventos inciertos, su evaluación es más compleja porque se requiere de métodos de evaluación para lidiar con el lenguaje ambiguo e impreciso, que los expertos normalmente no manejan con destreza. Los integrantes de diferentes niveles de la estructura organizativa, realizan su evaluación por medio de su lenguaje natural, que es difícil de cuantificar por ser ambiguo e impreciso.

Esta investigación se basa en la importancia del tema y en la necesidad de que se construya una base de información científica que permita establecer criterios válidos y específicos en el estudio

de la viabilidad de un proyecto, o como tal, en la evaluación de riesgos de dicho proyecto. Adicionalmente, es importante resaltar que la predisposición al riesgo, se ve influenciada por la capacidad de los Gerentes de Proyecto para identificar las situaciones que tienen potencial de causar daño en la ejecución de sus proyectos. Se requiere contar con personal capacitado que además de conocer los aspectos técnicos asociados a la ejecución del proyecto, también cuente con los conocimientos administrativos y gerenciales necesarios para asegurar que haya un correcto liderazgo de los diversos actores del proyecto y se utilicen correctamente los recursos inmersos en él.

Por lo mencionado anteriormente, se evidencia una oportunidad de llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura que permita el conocimiento y comprensión de las metodologías de evaluación de riesgos con el propósito de establecer un marco teórico de referencia que plasme el estado actual de la literatura y contribuya a su conceptualización y comprensión como una herramienta que puede ayudar a prevenir y mitigar peligros, que permite cuantificar los posibles impactos negativos en la seguridad y salud laboral causados en el desarrollo de un proyecto de construcción.

2.2 Justificación del proyecto

Recientemente, la demanda para establecer una evaluación del riesgo para proyectos de construcción ha aumentado más que nunca, se requiere con el fin de garantizar la seguridad, así como la alta calidad en grandes proyectos. Sin embargo, las metodologías prácticas y sistemáticas son nuevas y poco comunes, por ello se realiza un acercamiento por primera vez a través de la utilización de revisiones de la literatura (Cho et al, 2002). Adicionalmente, considerando la poca

literatura enfocada a la evaluación de riesgos en proyectos de construcción y dada la importancia que tiene en la actualidad ésta temática, surge la necesidad en el grupo de investigación **Opalo** de realizar una recopilación de información que sirva como base para futuras investigaciones sobre las metodologías de evaluación de riesgos que se utilizan en proyectos de construcción.

Uno de los aspectos más importantes en los proyectos de construcción, se encuentra enfocado en la implementación de las actividades para la minimización de los impactos de los riesgos que afectan los proyectos, o su eliminación en caso de ser posible. Entre los impactos más comunes de los proyectos, se encuentran los retrasos en el cronograma, sobrecostos (los cuales pueden llegar a ser iguales o superiores al presupuesto del proyecto), pérdida de calidad de los entregables, o el cierre anticipado del proyecto mismo.

Teniendo en cuenta las consecuencias negativas relacionadas con una inadecuada evaluación de riesgos, se hace necesaria la revisión de las buenas prácticas metodológicas para su correcta gestión, contribuyendo de una manera activa a la disminución de imprevistos para los proyectos, aumentando así sus probabilidades de éxito y cumplimiento cabal de los objetivos planteados desde la concepción del proyecto.

Con este trabajo se desea recopilar e integrar la información existente sobre la adecuada evaluación de riesgos, con la finalidad de generar una base de conocimientos que sirva como fuente de consulta para futuros interesados.

2.3 Resultados esperados

Los resultados de ésta investigación, se centran en obtener y recopilar las metodologías y técnicas de evaluación de riesgos así como las buenas prácticas en gestión de riesgos aplicadas a proyectos

de construcción que contribuyan a que los directores de proyecto, consideren el estudio de riesgos como uno de los más importantes en la planeación monitoreo y control del proyecto y así lograr la culturización de esta área de conocimiento que ha sido poco considerada en la ejecución de obras civiles y construcciones, elaborando con base a la investigación un artículo científico.

2.4 Marco teórico

2.4.1 Revisión sistemática. La investigación en Ingeniería requiere con urgencia nuevos recursos, para afrontar de manera satisfactoria la desbordante cantidad de producción bibliográfica, de manera que pueda detectar aquellos estudios verdaderamente fiables y relevantes para sus fines.

La Revisión Sistemática ofrece importantes ventajas con respecto a la revisión tradicional o narrativa, pues mientras esta última se basa en la interpretación y la discusión personal, la revisión sistemática sigue una metodología científica, que facilita la búsqueda y la toma de decisiones al investigador garantizando reproducibilidad de los resultados, aislando posiciones, modelos mentales e inclinaciones del experto (Pérez, 2012).

Tabla 2.

Características de la revisión tradicional y la sistemática

Criterios de comparación	Revisión tradicional o narrativa	Revisión sistemática
Alcance	Muestra solo un lado ‘parcial’ de la literatura	Muestra toda la Evidencia disponible
Posición del revisor	Sesgada; el revisor reúne e interpreta la literatura	Imparcial, muestra la evidencia disponible

Criterios de comparación	Revisión tradicional o narrativa	Revisión sistemática
Estudios incluidos	Razones de incluir estudios pueden ser influenciadas por inclinaciones del revisor. Aquellas que las contradicen pueden ser excluidas	Posibilita incluir estudios que apoyan y otros que contradicen la posición del revisor
Criterios de inclusión y Exclusión	No son Explícitos	Son Explícitos
Escrutinio	No es abierta al escrutinio (no replicable, no verificable)	Presenta todas las Etapas de revisión en el reporte para permitir la evaluación crítica y la replicación
Literatura relevante	No se hace una búsqueda rigurosa de la literatura relevante	Se hace una búsqueda rigurosa con el fin de detectar los estudios más relevantes
Control de calidad	A los estudios usualmente no se les evalúa la calidad antes de incluirlos en la revisión, Puede llevar a interpretaciones incorrectas de la evidencia	Evalúa la calidad antes de incluirlos en la revisión
Eficiencia	Amerita menos tiempo y esfuerzo	Amerita más tiempo y esfuerzo, debido, entre otros factores a la necesidad de localizar y evaluar la literatura

Nota: Adaptado de Pérez, Jorge. (2012), Revisión Sistemática de literatura en la Ingeniería, ciencia y tecnología Universidad de Antioquia.

La metodología de revisión sistemática se compone de tres etapas:

Etapas 1. Planeación de la Revisión

- **Fase 0.** Identificación de la necesidad de una revisión: Se establece el equipo de revisión y se Elige el tema.
- **Fase 1.** Preparación de una propuesta para una revisión: El grupo de revisión a través de un proceso de análisis, valoración y consenso constituye la pregunta de investigación luego se procede con la identificación de palabras clave y términos de búsqueda, que se construyen a partir del estudio de alcance, la literatura y las discusiones dentro del equipo de revisión. El revisor debe entonces decidir sobre las cadenas de búsqueda que son más apropiados para el estudio. La búsqueda sistemática comienza en revistas publicadas, en las bases de datos bibliográficas, El resultado de la búsqueda de información debe ser una lista completa de artículos y documentos (aportes complementarios) en los cuales se basará la revisión (Tranfield et al, 2003):
- **Fase 2.** Desarrollo de un protocolo de Investigación: El protocolo es un plan que ayuda a proteger la objetividad, proporcionando descripciones explícitas de los pasos a seguir. El protocolo contiene información sobre las cuestiones específicas abordadas por el estudio, la población (o muestra) que es el foco del estudio, la estrategia de búsqueda para la identificación de los estudios pertinentes, y los criterios de inclusión y exclusión de los estudios en la revisión (Davies & Crombie, 1998).

Etapas 2. Ejecución de la revisión

- **Fase 3.** Identificación de los estudios: Se debe realizar una búsqueda exhaustiva imparcial para identificar los estudios más relevantes.

- **Fase 4.** Selección de Estudios: El proceso de selección de los estudios en revisión sistemática implica varias etapas. El revisor llevará a cabo inicialmente una revisión de todas las citas potencialmente relevantes identificadas en la búsqueda. Las fuentes pertinentes serán recuperadas para una evaluación más detallada del texto completo y de éstos algunos serán seleccionados para la revisión sistemática. El número de fuentes incluidos y excluidos en cada etapa de la revisión se documenta con los motivos de exclusión.
- **Fase 5.** Evaluación de calidad del estudio: Evaluación de la calidad se refiere a la evaluación de la validez interna de un estudio y el grado en que su diseño, realización y análisis han reducido al mínimo los sesgos o errores.
- **Fase 6.** Extracción de datos y vigilancia de los progresos: El proceso de extracción de datos requiere una documentación de todas las medidas adoptadas, debe incluir detalles de la fuente de información (título, autores, revistas, detalles de la publicación) y cualquier otra característica del estudio como las características de población, el contexto del estudio y una evaluación de la calidad metodológica del estudio.
- **Fase 7.** Síntesis de datos: El objetivo de la síntesis es 'tener un impacto' por ser presentado en una forma accesible y utilizable en el mundo real de la práctica y la política de decisiones (Sandelowski et al, 1997).

Etapa 3. Reporte y diseminación de la revisión

- **Fase 8.** El Análisis Bibliométrico: Una buena revisión sistemática debería hacer más fácil comprender la investigación mediante la síntesis de extensos trabajos de investigación de la que se derivó.

3. Metodología de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la metodología de revisión sistemática, la cual adopta métodos explícitos y sistemáticos para la identificación, selección y evaluación crítica de la información sobre un tema de interés (Thorpe et al, 2006), garantizando que la investigación sea fiable y rigurosa.

3.1 Planeación de la Revisión

3.1.1 Identificación de la necesidad de una revisión Existe la necesidad de investigar sobre las metodologías utilizadas para la gestión de riesgos, las cuales permitan establecer las condiciones que deben cumplir aquellos proyectos que puedan tener un impacto negativo, de acuerdo con el reto de sostenibilidad y la necesaria transformación del sector de la construcción para el desarrollo normativo, técnico, económico y financiero (De los Pinos & García, 2014)

3.1.2 Preparación de una propuesta para una revisión Tomando como base la investigación y análisis desarrollado en la elaboración de los objetivos de proyecto se determinó la pertinencia y el alcance de estudiar la evaluación de Riesgos a través de una revisión sistemática que permitiera revisar la literatura científica enfocándose básicamente en conocer las metodologías utilizadas en la evaluación de Riesgos de proyectos de construcción y el efecto que genera en las Empresas. Establecido el objetivo y alcance de la revisión sistemática se conformó un equipo de revisión

integrado por; el investigador y director. El grupo de revisión a través de un proceso de análisis, valoración y consenso constituyó la pregunta de investigación, **¿Cuáles son las metodologías, herramientas y técnicas más destacadas y útiles para realizar la evaluación y gestión de riesgos de un proyecto de construcción, permitiendo aumentar la probabilidad de su exitosa culminación?**

De acuerdo a esta, se diseñó la ecuación de búsqueda preliminar y se filtraron los resultados, que posteriormente se usaron para extraer los estudios más relevantes que ayudaron a resolver la pregunta planteada.

Con la pregunta de investigación planteada se procedió al establecimiento de las palabras que conformarían la ecuación de búsqueda, el proceso de selección se hizo por parte del investigador de manera manual de acuerdo al análisis obtenido en la revisión exploratoria. Con la elección de las palabras claves se establecieron los operadores booleanos y de posición que integrarían la ecuación de búsqueda. Finalmente, se estructuró la ecuación de búsqueda y se presenta en la revisión sistemática en el protocolo de investigación, puesta a consideración del comité de proyectos y el director quien aprobó su idoneidad para su implementación en la investigación desarrollada.

3.1.3 Desarrollo de un Protocolo de la investigación El protocolo de investigación presenta la ecuación de búsqueda (Ver Tabla 2), los criterios de inclusión y exclusión (Ver Tabla 3) que fueron implementados como directrices de la revisión sistemática desarrollada para la obtención de la mejor evidencia que garantizara la objetividad y calidad de la investigación realizada.

Tabla 3.

Creación de la Ecuación de búsqueda

Periodo de Tiempo	2001-2016
Base de Datos	Web of Science
Términos	Risk Assessment, Risk Management, Construction Projects, Impact Risk, Occupational Safety
Ecuación de Búsqueda (Creada en Web of Science)	
Topic = (("risk assessment") or ("risk management") or ("construction projects") or ("impact risk") or ("occupational safety")) near/5 (methodology or procedure or technique or administration or mitigation or reduction or managing) near/5 ((construction) or (building) or (uncertain) or (uncertainty) or (projects) or (exposure) or (vulnerability))	
Resultados encontrados	446
Total de veces citado	6544
Promedio de citas por elemento	14.67

3.1.4 Criterios de calidad

Tabla 4.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterio de inclusión	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se incluyeron los documentos registrados en todas las bases de datos (Science Citation Index Expanded (Sci-expanded), Social Sciences Citation Index (SSCI) y Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) que conforman la colección central de la Web of Science encontrados en la plataforma virtual de la Web of Science. 2. Se incluyeron los documentos que se encuentren registrados en la Web of Science con intervalo del año 2001 al 2016. 3. Se incluyeron solamente los tipos de documento que son artículos. 4. Se incluyeron artículos en inglés y español.
------------------------------	---

5. Documentos en cuyo abstract o resumen, se encuentren adyacentes las palabras "Risk Assessment" "Risk management" "Construction projects".

Criterio de exclusión

1. Se excluyeron los artículos basado en el título.
2. Se excluyeron los tipos de documentos basado en el abstract.

3.2 Ejecución de la revisión

La ejecución de la revisión fue la etapa de identificación, selección y evaluación integral y objetiva de los documentos científicos pertinentes para la investigación considerando el plan de acción desarrollado en la etapa de planeación y posteriormente se procedió a la extracción y síntesis de datos que conformaron el documento del proyecto de grado.

3.2.1 Identificación de estudios La identificación de los estudios estuvo precedida por el desarrollo de la estrategia de búsqueda que involucró el uso de la ecuación desarrollada a partir de las palabras claves identificadas por el grupo de revisión y la manipulación de la plataforma virtual de la base de datos de Web of Science.

3.2.2 Selección de estudios La selección de estudios se hizo desde el momento que se generó la búsqueda de documentos científicos en la plataforma de *Web of Science*, la figura 1 muestra el proceso de revisión sistemática y el número de artículos identificados en cada etapa. En la primera etapa, se identificaron los estudios mediante la ecuación de búsqueda diseñada y sus criterios de inclusión, según lo cual se obtuvieron 446. Luego de revisar los títulos de dichos estudios, y escogiendo aquellos que estuvieran relacionados con el tópico del estudio, se llegó a 338. Una vez que se revisó el abstract de cada uno de estos, se encontró que 114 cumplían con lo requerido por

la investigación. Al realizar la lectura crítica y aplicar los criterios de calidad para cada uno de estos textos, fueron 33 los que finalmente se tomaron como referencia para la obtención de los resultados mostrados en el siguiente capítulo.

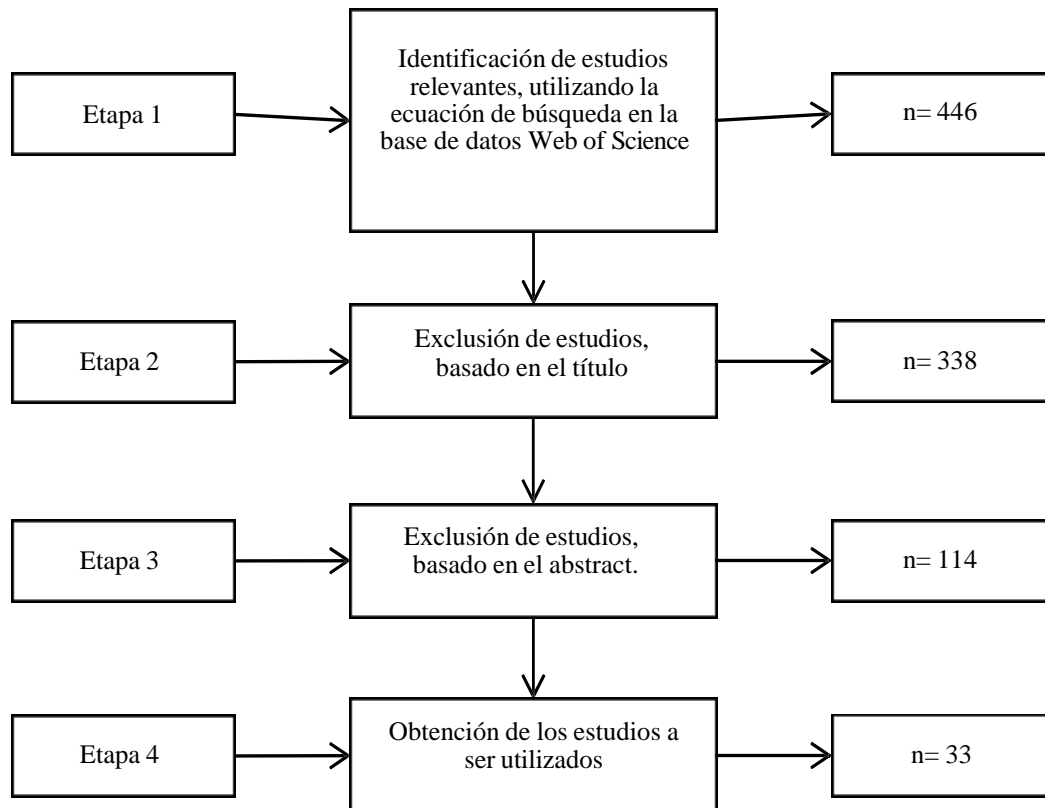


Figura 1. Proceso de Selección de Artículos para Revisión Sistemática.

3.2.3 Evaluación de calidad de los estudios Después de hacer una lectura crítica de la literatura seleccionada, de tal manera que fuese posible establecer si se ajustaba a los requerimientos de la investigación en lo que respecta a su contenido y conveniencia técnica. Para llegar a esto, cada documento resultante se leyó en su totalidad y se escogió de acuerdo a las condiciones descritas a continuación:

- Contribución significativa en el aspecto teórico acerca de la importancia de planificar, identificar y controlar los riesgos que puedan afectar el adecuado desempeño y cumplimiento de metas de un proyecto de construcción.
- Identificación de las condiciones internas o cultura organizacional con la que debe contar la empresa que lleve a cabo el proyecto de construcción, que vayan a favor o en contra del correcto desarrollo de las actividades necesarias para el correcto manejo de los riesgos del proyecto.
- Especificación, establecimiento o descripción de las buenas prácticas que deben implementarse para asegurar la correcta gestión y evaluación de los riesgos durante el desarrollo de un proyecto de construcción.

3.2.4 Extracción de datos y la vigilancia de los progresos La extracción de datos se realizó por medio del software VantagePoint, el cual permite clasificar los artículos por autores, países, años de publicación y palabras claves, adicionalmente arroja el gráfico de Aduna, con el que se puede analizar la relación que existe entre las palabras claves de los artículos seleccionados.

3.2.5 Síntesis de los datos La información recolectada en la investigación provino de la extracción de datos de los artículos seleccionados cumpliendo con los objetivos propuestos al inicio de la elaboración de la revisión y se presentan en el capítulo 3. La información necesaria para la ejecución de la revisión se obtuvo luego del escrutinio de cada uno de los estudios seleccionados previamente, analizando su pertinencia y aporte conceptual, así como verificando la presentación de metodologías relacionadas con la identificación, valoración, control y respuesta

a riesgos. En la Tabla 4 se muestran los estudios que fueron empleados para la realización de la revisión.

Tabla 5.

Resumen de los estudios empleados para la revisión

#	Título del estudio	Autor (es)	Año	Ubicación	Diseño del estudio
1	Risk analysis and management in construction	Akintola S Akintoye, Malcolm J MacLeod	2016	Estados Unidos	Caso de estudio
2	Methodology for Simulation based Construction Safety Risk Assessment	Lee, Hyung Guk, Lim, Tae Kyung	2016	China	Simulación
3	Facilitating organisational decision making: A change risk assessment model case study	Apostolopoulos, C., Halikias, G., Maroukian, K.	2016	Reino Unido	Caso de estudio
4	A study of the impact of project classification on project risk indicators.	Rachel Yim Jason Castaneda Toni Doolen Irem Tumer Richard Malak	2015	EEUU	Caso de estudio
5	Contribution to risk management in the design process of midsize construction companies	Felipe Pinto Barreto, Paulo Pereira	2015	Brasil	Caso de Estudio
6	Enterprise's risk assessment of complex Construction projects	J. Konior	2015	Estados unidos	Caso de estudio
7	Risk and it's management in the Kuwait construction industry: a contractor's perspective	Nabil A. Kartam, Saied A Kartam	2015	Kuwait	Encuesta
8	Risk management for overseas construction projects.	He Zhi	2015	China	Caso de estudio
9	Risk management in small construction projects in Singapore: Status, barriers and impact	Bon-Gang Hwang Xianbo Zhao Li Ping Toh	2014	Singapur	Revisión Sistemática
10	Risk management in construction projects: a knowledge-based approach	Alfredo Federico Serpella, Ximena Ferrada, Rodolfo Howard, Larissa	2014	Chile	Revisión de la literatura

11	Quality risk management model for railway construction projects	LI Qing	2014	China	Caso de estudio
12	Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry	Vitor Sousa, Nuno M. Almeida, Luis A. Dias	2014	Portugal	Caso de estudio
13	Serviceability wind risk assessment of tall buildings including aeroelastic effects	Chiara Pozzuoli, Gianni Bartoli, Udo Peil, Mathias Clobes	2013	Italia	Caso de estudio
14	Análisis de las metodologías de evaluación de riesgos laborales en obras de edificación. Nueva metodología adaptada a edificación	Jose de los Pinos, Maria Gonzales Garcia	2013	España	Caso de estudio
15	Procurement management: analyzing key risk management factors	Howard, R. & Serpell, A	2012	Estados Unidos	Caso de estudio
16	Actors affecting contractors' risk attitudes in construction projects: Case study from China.	Wang J, Yuan H. F	2011	China	Caso de estudio
17	Performance-based Aeolian risk assessment and reduction for tall buildings	Marcello Ciampoli, Francesco Petrini	2011	Italia	Caso de estudio
18	Does risk management contribute to IT project success? A meta-analysis of empirical evidence	Karel de Bakker	2010	Países Bajos	Revisión de la literatura
19	Factors affecting contractors' risk attitudes in construction projects: Case study from China	Jiayuan Wang, Hongping Yuan	2010	China	Caso de estudio
20	A fuzzy approach to construction project risk assessment	A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila	2010	España	Caso de estudio
21	Risk and risk management in software projects: A reassessment.	Bannerman, P.	2008	Australia	Caso de estudio
22	Towards a Methodology for Developing Evidence - Informed Management Knowledge by Means of Systematic	David Tranfield, David Denyer, Palminder Smart	2008	Reino Unido	Revisión Sistemática

23	Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment	Jiahao Zeng , Min An, Nigel John Smith	2007	Estados Unidos	Caso de estudio
24	Understanding the key risks in construction projects in China	Patrick X.W. Zou, Guomin Zhang, Jiayuan Wang	2007	China	Caso de estudio
25	A new perspective on Renn and Klinke's approach to risk evaluation and management	Kristensen, V., Aven, T. and Ford, D.	2006	Noruega	Revisión de la literatura
26	Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects	Irem Dikmen , M. Talat Birgonul, Sedat Han	2006	Turquía	Caso de estudio
27	Metodología en la evaluación de riesgos en la Edificación	David Caballo Bartolomé	2005	España	Caso de estudio
28	ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance	Val'erie de Dianous a ,C'ecile Fi'evéz	2005	Francia	Caso de estudio
29	Factors affecting cost performance: evidence from Indian construction projects	K.C. Iyer, K.N. Jha	2004	India	Caso de estudio
30	Using risk to balance agile and plan-driven methods.	Boehm, B. Turner, R.	2003	Estados Unidos	Caso de estudio
31	Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey	Terry Lyons, Martin Skitmore	2003	Australia	Caso de estudio
32	Modelling global risk factors affecting construction cost performance	Daniel Baloi a, Andrew D.F. Price	2002	Estados Unidos	Caso de estudio
33	A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts	Hyo-Nam Cho , Hyun-Ho Choi , Yoon-Bae Kim	2002	Corea	Caso de estudio

3.3 Reporte y diseminación de resultados

3.3.1 Análisis Bibliométrico El seguimiento realizado a la literatura de la evaluación de Riesgos mediante el análisis bibliométrico permitió la identificación de la dinámica de producción de artículos científicos relacionados con la temática en el mundo considerando los campos bibliográficos de países, autores, revistas e instituciones en un período de tiempo del año 2001 al 2016.

- Producción de artículos:

De acuerdo con la Figura 2, se muestra que la evaluación de Riesgos es una temática con una tendencia creciente en el número de artículos producidos, durante el año 2015. Adicionalmente, se observa que a pesar de que no se ha terminado el año 2016 en el momento que se realizó la búsqueda, se presenta una disminución con respecto al año anterior.

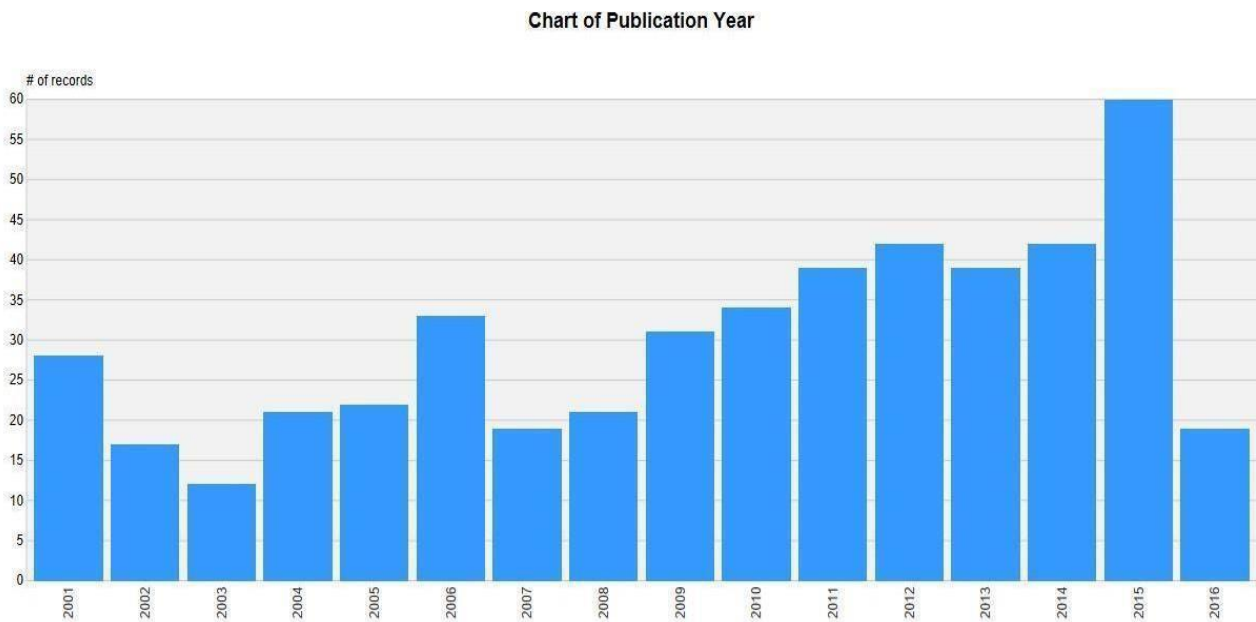


Figura 2. Producción de Artículos por Años de Publicación. Adaptado de VantagePoint.

Según los datos desplegados en la tabla 5, se evidenció que los Estados Unidos con el (39 %) una amplia ventaja sobre los demás países que aparecen allí incluidos, en lo que respecta a la producción intelectual en cuanto a la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción; situación que puede corresponder a la posición a nivel internacional como potencia económica de este país, el cual cuenta con instituciones enfocadas a la investigación en este tópico reconocidas a nivel mundial, tales como el Project Management Institute (PMBOK) con sede en Pennsylvania y el Instituto de la construcción en Austin Texas, seguido por Inglaterra con el (10%), China (8%), Italia (7%), Canadá (6%), Alemania (5%), Australia (4%), Holanda (4%), Corea (4%), Francia (3%), España (3%), Taiwán (3%), Turquía (3%), Suiza (3%), Irán (2%), Singapur (2%), India (2%). Es importante resaltar que Colombia (0.5%) ocupa el puesto número 35 en el ranking, con 2 publicaciones.

Tabla 6.

Países con Mayor Número de Publicaciones.

#	País	Publicaciones	#	País	Publicaciones
1	EE.UU.	187	10	Francia	15
2	Inglaterra	46	11	España	15
3	China	39	12	Taiwan	15
4	Italia	31	13	Turquía	12
5	Canadá	29	14	Suiza	11
6	Alemania	23	15	Irán	11
7	Australia	19	16	Singapur	10
8	Holanda	18	17	India	8
9	Corea	15	35	Colombia	2

Nota: Adaptado de software Vantagepoint.

En la Tabla 6, se presenta el top 14 de los autores principales, el mayor con 4 y el resto con 3 publicaciones. De manera que es evidente la ausencia de autores que lideren la investigación de esta temática, ya que en el top 14 sólo se encuentra el 12% de los artículos totales y el 88% restante se trata de autores diferentes en cada artículo.

Tabla 7.

Autores Principales

Autores	Publicaciones
SCHULZ Amy Couch	4
BERNHAR Aaron	3
MARION Brett	3
BIKSEY Thomas	3
PETERSON Chrissy	3
ABDUL Rahman Hamzah	3
WANG Han-Hsiang	3
WALLINGFORD Km	3
MOSELHI Osama	3
HELTON Jon C	3
ZHANG Louping	3
LANGE Jh	3
ALVALEZ Fj	2
ANDERSEN ME	2

Nota: Adaptado de software Vantagepoint.

En la Tabla 7, se muestran las diez universidades principales en el mundo, la mayoría con 5 publicaciones sobre el tema. Específicamente, el 50% pertenece a universidades de los Estados Unidos, lo que indica el nivel de avance y la ventaja que tiene este país en investigación de evaluación de riesgos. Adicionalmente en la Tabla 8, se encuentra la lista de las principales revistas

científicas con la respectiva cantidad de artículos publicados. Se destaca la revista “JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT ASCE” por ser la que más realiza publicaciones sobre la evaluación de riesgos, convirtiéndose en una fuente actual de literatura, vital para el desarrollo de futuras investigaciones.

Tabla 8.

Instituciones con Mayor Número de Artículos Publicados.

Universidad	País	Publicaciones
NIOSH NATIONAL HEALTH AND SAFETY	EE.UU	16
SINGAPORE NATIONAL UNIVERSITY	SINGAPUR	10
STATE UNIVERSITY OF ARIZONA	EE.UU	7
POLITICAL UNIVERSITY OF HONG KONG	CHINA	6
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY	EE.UU	6
TSINGHUA UNIVERSITY	CHINA	5
UNIVERSITY OF CALIFORNIA IN BERKELEY	EE.UU	5
LOWA UNIVERSITY	EE.UU	5
CHALMERS TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	SUECIA	5
UNIVERSITY OF TEHERAN	IRAN	5

Nota: Adaptado de software Vantagepoint.

Tabla 9.

Revistas con Mayor Número de Publicaciones

Revista	Publicaciones
JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND	26
JOURNAL OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL	17
AUTOMATION IN CONSTRUCTION	13
JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING	12

Revista	Publicaciones
INTERNATIONAL JOURNAL OF PROJECT MANAGEMENT	11
RISK ANALYSIS	10
SAFETY SCIENCE	9
ANNALS OF OCCUPATIONAL HYGIENE	7
JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	7

Nota: Adaptado de software Vantagepoint.

A continuación, se presenta el resultado del gráfico de la Aduna, el cual permite ver la relación que tienen las palabras clave de los artículos analizados en la revisión sistemática, mostrando como resultado los conceptos clave que pertenecen a la temática de evaluación de riesgos y que se desarrollaron más adelante en la revisión.

4. Resultados

4.1 Concepto de Riesgo

De acuerdo a Mark et al. (2004), El riesgo es simplemente la posibilidad de complicaciones y problemas con respecto a la realización de una tarea o proyecto y el logro de un objetivo de esta. Otras definiciones de riesgo están disponibles en la literatura como "la exposición a laposibilidad de pérdida o ganancia económica o financiera, daño físico o lesión, o el retraso, como consecuencia de la incertidumbre asociada a persecución de un determinado curso de acción" (Perry y Hayes, 1985), Jaafari, (2001) lo define como: La probabilidad de pérdidas en una proyecto, Baloi y Price, (2003) como la probabilidad de un acontecimiento perjudicial que ocurre con el proyecto y Hertz y Thomas, (1994) como "un obstáculo para el éxito".

El Oxford Advanced Learner Diccionario (1995) define el riesgo como: La posibilidad de conocer el daño o peligro que produce una pérdida. Un riesgo es un evento futuro que puede o no puede ocurrir debe ser un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto sobre, al menos, uno de los objetivos del proyecto, como el alcance, cronograma, costo o la calidad. En los proyectos de construcción, el riesgo puede ser definido como un acontecimiento perjudicial que ocurre en el proyecto. Dado que los objetivos de los proyectos de construcción suelen expresarse como objetivos establecidos para la función, costo, tiempo y calidad, los riesgos más importantes en la construcción son la falta de cumplimiento de estos objetivos (Baloi & Price, 2003). Sin embargo, los riesgos no siempre están asociados con resultados negativos. Los riesgos pueden

representar oportunidades, pero el hecho de que la mayoría de los riesgos por lo general tienen resultados negativos ha llevado a las personas a considerar sólo el lado negativo.

El concepto de riesgo se divide en dos criterios principales (Williams, 1993):

- (a) La probabilidad, es la posibilidad de una ocurrencia indeseable, como un sobrecosto.
- (b) El impacto, el cual es el grado de seriedad y la magnitud del impacto en otras actividades, si se produce el evento no deseable. Un riesgo puede ser descrito de la siguiente ecuación matemática (Kendrich, 2009):

$$R = P \times I$$

Donde R es el grado de riesgo, dentro de [0,1], P es la probabilidad de que ocurra el riesgo, dentro de [0,1], I es el grado de impacto del riesgo, que se define dentro de [0, 1], (el más grave es el impacto). De la ecuación de riesgo anteriormente, se puede observar que el grado de riesgo es cerca de 0, si un factor de riesgo tiene ya sea poca probabilidad de ocurrencia o poco impacto. Por el contrario, si un factor de riesgo tiene un alto impacto y una alta probabilidad de ocurrencia, su grado de riesgo es muy alto, cerca de 1.

Por lo tanto, el riesgo en el sector de construcción surge de una probabilidad que, de ocasionarse; representa un hecho significativo, ya sea favorecedor o perjudicial para la industria, en los ámbitos de optimización de procesos, reducción de costos y disminución de tiempos y movimientos. Es decir, el riesgo se toma como indicador para aplicación de cambios en pro de la optimización de métodos o mejoras que un proyecto debe aplicar.

Según la Revista de la Construcción (2002), la construcción es una industria muy propensa a los riesgos, y no le va muy bien en su manejo. Como consecuencia de esto, aquellos que participan en la industria, han soportado los resultados del fracaso cuando se presenta demora en la entrega de proyectos, con un costo que sobrepasa el presupuestado y en ocasiones no logran cumplir con

los estándares de calidad y las exigencias operacionales. Así entonces, un análisis y gestión de los riesgos asociados a la construcción sigue siendo un gran desafío para aquellos que se dedican a la construcción pues afectan los puntos clave que determinan dentro de una empresa la obtención de resultados óptimos acorde a lo inicialmente planteado.

Toda actividad o acción humana involucra riesgo. En la vida cotidiana, las personas se enfrentan a una diversidad de situaciones que implican muchos factores desconocidos, inesperados, con frecuencia no deseados y en muchas ocasiones no predecibles. Estos factores se pueden agrupar convenientemente bajo la categoría de riesgo (Hertz y Thomas, 1983). La industria de la construcción está sujeta a más riesgo e incertidumbre que muchas otras industrias. El proceso de tomar un proyecto desde el inicio (evaluación de la inversión), hasta llevarlo a término y ponerlo en marcha resulta complejo. Generalmente involucra procesos de diseño y de producción que consumen tiempo. Requiere de una multitud de personas con diferentes habilidades e intereses y la coordinación de una amplia gama de actividades que, siendo muy diferentes, están interrelacionadas. Esto se hace aún más complejo debido a muchos factores externos no controlables (Flanagan y Norman, 1983). La industria de la construcción tiene una mala reputación en cuanto al manejo de riesgos, muchos proyectos no logran cumplir las metas y los objetivos de costo. Los clientes, contratistas, el público y otros padecen las consecuencias de esto. (Edwards 1995).

4.1.1 Tipos de Riesgos en la Construcción El riesgo en la construcción se percibe, por lo general, como eventos que ejercen influencia sobre los objetivos de costo, de tiempo y de calidad de los proyectos. Algunos de los riesgos asociados al proceso de construcción son fáciles de predecir o de identificar, pero hay otros que resultan totalmente imprevistos. Al-Bahar (1990)

describe diferentes categorías de riesgos que se encuentran con frecuencia en los proyectos de construcción. (Ver Tabla 9).

Tabla 10.

Tipos de riesgo en la Industria de la construcción

Fuerza Mayor	Físico	Financiero y Económico	Político y de medio Ambiente	De diseño	Relacionado con la construcción
-Inundación.	-Daño a la Estructura.	-Inflación.	-Cambios en leyes y Reglamentos.	-Diseño Incompleto.	-Demoras ocasionadas por el clima.
-Terremoto.	-Daño al Equipo.	-Disponibilidad de Fondos.	-Guerra y Desordenes civiles.	-Diseño defectuoso de la obra.	-Disputas laborales y huelgas.
-Deslizamiento de Tierra.	-Accidentes Laborales.	-Fluctuación en tipo de Cambio.	-Requisitos, Permisos y autorizaciones.	-Errores y omisiones.	-Condiciones de terreno distintas
-Incendio.	-Incendio y Robo de Materiales y Equipos.	-Incumplimiento	-Contaminación y normas de seguridad.	-Especificaciones inadecuadas.	-Trabajo defectuoso
-Daño Causado por el viento.		-Fraude	-Expropiación.	-Condiciones de Terreno distintas.	-Cambios en el diseño
-Rayos.			-Embargos.		-Fallas en el Equipo

Nota: Adaptado de Al-bahar, J.F. (1990), “Systematic Risk Management Approach for Construction Projects”.

En efecto, como se puede apreciar en la tabla 9, los tipos de riesgo de la construcción son innumerables, comprenden factores externos e internos, lo cual indica que la industria debe tener una provisión de gastos destinada a los riesgos incontrolables ajenos a la misma, en caso de que se presenten y evitar al máximo cometer errores dentro del proceso y las proyecciones realizadas al inicio de la obra.

En el caso particular de daños en los materiales (rotura de maquinaria, incendio, etc.), es necesario tener en cuenta entre otros aspectos, el tipo de obra que se está ejecutando (infraestructura, residencial, comercial, etc.), su localización geográfica y los factores climatológicos también inciden de manera importante en el resultado final del proyecto. En el área financiera se deben analizar, el tipo de garantías que exige el contratante y los riesgos en el manejo de fondos de la empresa por parte de la administración de la obra.

En cuanto a los riesgos físicos (lesiones corporales, responsabilidad civil por daños a terceros), es importante considerar que la mano de obra del sector de la construcción tiene un alto grado de exposición al riesgo por el tipo de trabajo que se ejecuta, y la frecuente rotación del trabajador en el lugar donde desarrolla el proyecto. Por tal razón, la duración de muchas obras y el tiempo de permanencia del trabajador en la obra tiende a aumentar. Esto implica que el riesgo de accidentes de trabajo se complica por las continuas variaciones en el medio y se dificulta la utilización y monitoreo de programas de seguridad y salud ocupacional.

4.2 Gestión de Riesgos en la Construcción

La gestión de riesgo se puede definir como un proceso para controlar el nivel de riesgo y para atenuar sus efectos. Es un enfoque sistemático para identificar, evaluar y responder a los riesgos

que presenta un proyecto (Nummedal et al., 1996). Merna (2004) lo define así: La Gestión de Riesgos es una herramienta usada cada vez más frecuentemente por empresas y organizaciones en los proyectos para aumentar la seguridad, confiabilidad y disminuir las pérdidas. El objetivo de la Gestión de Riesgos es identificar los riesgos específicos y responder a ellos de la manera apropiada. Para Male y Kelly (2004) es un proceso planificado y sistemático de identificación, análisis y control de los riesgos y sus consecuencias, con el fin de lograr el objetivo planeado y por consiguiente maximizar el valor del proyecto.

Por otro lado, Smith (2002) brinda una visión más amplia, pues asegura que el término Gestión de Riesgos es usado por diferentes sectores industriales para describir actividades discretas que ocurren tanto en diferentes puntos del ciclo de vida del proyecto como en procesos cíclicos o repetitivos implicando diferentes niveles de certeza y posiblemente diferentes metodologías. Acerca de los objetivos y propósitos de la Gestión de Riesgos, el PMI (PMBOK, 2000) indica que los objetivos de la Gestión de Riesgos son aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos del proyecto, y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos adversos para el proyecto. Chapman y Ward (1997), agregan que el propósito esencial de la Gestión de Riesgos es mejorar el desarrollo de un proyecto a través de una sistemática identificación, evaluación y gestión de los riesgos del proyecto. Smith (2002) añade que este sistema provee información que sirve como base para que el Gerente de Proyecto tome una mejor decisión acerca del proyecto en cualquier momento de su ciclo de vida. Finalmente, Krause (1993) dice que el objetivo principal de la gestión de riesgos es reducir la incertidumbre y por lo tanto mejorar la toma de decisiones. Klir y Fogler (1988) discuten dos tipos de incertidumbre, la ambigüedad y la vaguedad.

- La ambigüedad es un estado en el que una expresión o una palabra puede tener varios significados distintos y sólo el contexto puede ayudar a aclarar el significado real.

- La vaguedad surge cuando el resultado de un experimento no se puede observar correctamente. Una expresión vaga está mal definida y carece de precisión o nitidez.

De todo lo anterior se puede afirmar que: La Gestión de Riesgos en la Construcción es una herramienta que se aplica para realizar una serie de acciones y procesos coordinados a lo largo del ciclo de vida del proyecto con la finalidad de reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados y reducir el impacto de los mismos, consiguiendo de esta manera los objetivos del proyecto y asegurando su valor.

En términos de administrar un proyecto, los efectos más serios del riesgo se pueden resumir de la siguiente manera:

- Incumplimiento de mantenerse dentro de la estimación de costos
- Incumplimiento de la fecha requerida de término
- Incumplimientos de lograr la calidad y exigencias operacionales requeridas

El propósito del análisis y de gestión de riesgo es ayudar a los accionistas a evitar estos incumplimientos (Thompson y Perry, 1992). Haslam et al. (2005) analizó 100 accidentes en la industria de la construcción e identificó que la falta de una gestión adecuada del riesgo es uno de los factores más relevantes, según estos autores, el 84% de los accidentes se podría haberprevisto y evitado si la gestión de riesgos se hubiera llevado a cabo correctamente.

4.2.1 Historia y antecedentes de la gestión de riesgos en la construcción La naturaleza de la construcción ha impuesto incertidumbres sustanciales y actividades subjetivas en el proceso de análisis de riesgos, el cambio constante en el medio ambiente, el aumento de la complejidad de las técnicas de construcción, la exposición directa a fuentes peligrosas, horarios exigentes, alta presión, los costos, el error humano, los datos y la información disponible; han dificultado la

aplicabilidad de los muchos métodos de evaluación de riesgos que son ampliamente utilizados en la industria de la construcción (Zeng, Un, Chan, & Lin, 2004). Cada vez es más difícil manejar los riesgos por numerosos factores ya sean humanos, de lugar de trabajo, condiciones meteorológicas, características del suelo, materiales y de equipamiento (Zeng, Un, & Chan, 2005). Raftery (1994) señaló que los proyectos de construcción tienen mala fama de tener excesivos tiempos y sobrecostos.

Morris y Hough (1987), durante un estudio de los proyectos financiados por el Banco Mundial entre 1974 y 1988, encontraron que el 63% de los proyectos habían experimentado excesos de costes significativos. Kaming et al. (1977) estudiaron los factores que influyen en el tiempo y desempeño de los costos en proyectos de gran altura en Indonesia y llegaron a la conclusión de que los excesos de costes y de tiempo eran muy frecuentes (Salud y Seguridad (HSE), 2001).

En consecuencia, la evaluación de riesgos debe abarcar todos los aspectos y las áreas que manifiesten probabilidad de riesgo en el proceso de construcción, Posterior a ello, es importante especificar cómo los riesgos involucrados deben ser minimizados. Para lograrlo, una estrategia a implementar consiste en la elaboración de carteles con indicaciones que muestren los riesgos con el potencial de arruinar el proyecto y así en el desarrollo de actividades, tomar las medidas apropiadas hasta reducirlos a nivel mínimo.

4.2.2 Ámbito legal de la gestión de riesgos en la construcción Como fundamentos legales hay que partir de una evaluación inicial obligatoria para la seguridad y salud de los trabajadores, teniendo en cuenta la actividad, características de los puestos de desempeño y de los trabajadores, los equipos, las sustancias y las condiciones de trabajo. Esta evaluación debe actualizarse periódicamente y cuando se modifiquen las condiciones de trabajo o se detecten daños para la

salud. En el sector construcción se concretan las acciones de identificación y, en su caso, evaluación de los riesgos y planificación de la actividad preventiva.

Siguiendo la tendencia de la literatura reciente, las actividades relacionadas con la gestión de riesgos pueden ser identificadas a partir de la norma de referencia ISO 31000 (Souza, Almeida, & Dias, 2012), que proporciona un marco conceptual para el análisis de riesgos que tiene en cuenta las políticas y prácticas de la compañía y se incorpora en ellos tanto a nivel estratégico y operativo. Se divide en los requisitos, acciones y procesos, y dará lugar a la introducción de mecanismos de mejora continua en los procesos de gestión, tal como se presenta por el PMBOK (Project Management Institute, 2013), o la Norma Práctica para la Gestión de los Riesgos del Proyecto (Project Management Institute, 2009).

Varias normas de gestión de riesgos se han desarrollado en las empresas de gestión de la construcción durante años, mejoradas por la norma ISO 9001 (Zavadskas, Turskisb, & Tamošaitienec, 2010) para minimizar, monitorear y controlar la probabilidad y/o el impacto de eventos desafortunados en la construcción.

A nivel mundial, se ha producido una mejora sustancial en la seguridad y salud ocupacional en el sector de la construcción, en general motivado por la publicación y aplicación en curso de las dos normas más relevantes en el campo, la OIT-OSH 2001 y el OHSAS 18001 para la prevención de riesgos laborales. Sin embargo, los accidentes siguen ocurriendo en el sector de la construcción a un ritmo mayor que en la mayoría de las otras industrias y con graves consecuencias, tanto para los trabajadores y el público.

4.3 Análisis de riesgo en proyectos de construcción

La industria de la construcción, tal vez más que la mayoría, está particularmente plagada de riesgos (Flanagan y Norman 1993), pero estos riesgos a menudo no son tratados adecuadamente, por lo que los malos resultados son palpables con el aumento de los costos y los retrasos (Thompson y Perry 1992). Los proyectos de construcción son cada vez más complejos y dinámicos en su naturaleza, y la introducción de nuevos métodos han hecho que muchos contratistas se hayan visto obligados a replantearse el concepto de la forma en que los riesgos son tratados en el marco de sus proyectos y organizaciones. La atención se ha centrado en el análisis cuantitativo de riesgos basado en la estimación de probabilidades y distribuciones de probabilidad para el tiempo y el análisis de costos. (J.tah y V. Carr 2004).

El proceso de análisis de riesgos comienza por la identificación de riesgos, seguida por el análisis de riesgos, que puede ser cualitativa o cuantitativa. Posteriormente, una vez definida la probabilidad y el impacto, se procede a evidenciar la respuesta a los riesgos y finalmente, lo obtenido en la respuesta a los riesgos debe ser parte de las lecciones aprendidas y servir como un proceso de retroalimentación para la organización.

La Figura 4, muestra el ciclo de vida de la gestión de riesgo, éste ciclo genera un entorno de riesgo controlado (Baker et al., 1997).

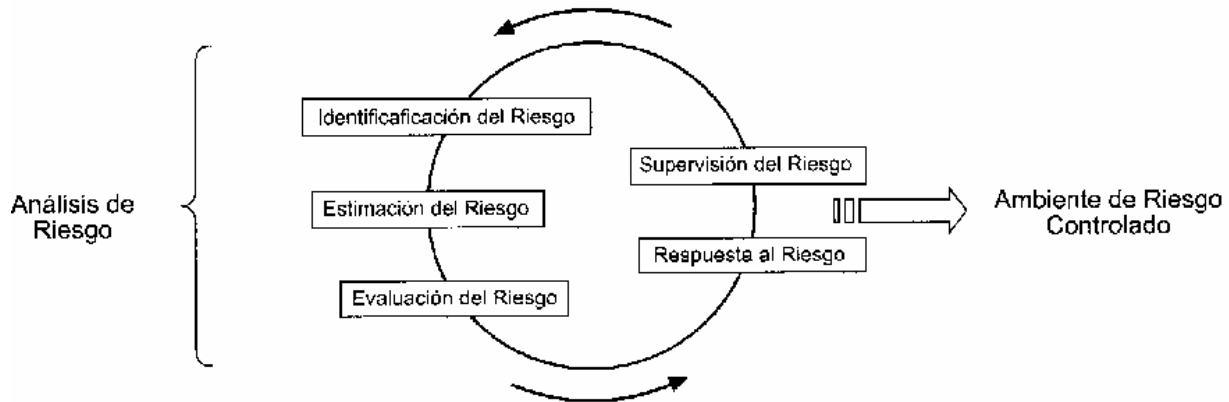


Figura 4. Ciclo de vida de la gestión de riesgos (Baker et al. 1997)

Con respecto al ciclo de vida de la gestión de riesgos, importante resaltar la ejecución simultánea de cada una de las actividades en mención para mantener el equilibrio del riesgo y reducir al mínimo la manifestación de este.

Por otra parte, el análisis de riesgo ayuda a estimar los impactos potenciales del riesgo y a tomar decisiones que permitan definir cuáles riesgos deben mantenerse y cuáles se deben transferir a terceros. La Figura 5 muestra un enfoque sistemático en 6 pasos del análisis de riesgo propuesto por Flanagan y Norman (1993).

PASO 1	Identificar todos los riesgos posibles asociados a un proyecto
PASO 2	Considerar la actitud para con el riesgo del que toma decisiones
PASO 3	Considerar los riesgos identificados que son controlables y su probable impacto
PASO 4	Medición de riesgos (tanto cuantitativos como cualitativos)
PASO 5	Interpretación de los resultados del análisis y desarrollo de una estrategia para abocarse a los riesgos
PASO 6	Decidir qué riesgos se deben conservar y que riesgos deben ser asignados a terceros

Figura 5. Análisis de enfoque sistemático de riesgo propuesto. Adaptado de Flanagan y Norman (1993).

Por consiguiente, el anterior enfoque mediante la aplicación de los 6 pasos, permite analizar el impacto que ocasiona un riesgo durante su ejecución en la industria, demanda analizar hasta qué punto se puede manejar y en qué grado afecta el desarrollo de las actividades hasta impedir que se realicen de manera oportuna y eficaz. Durante este transcurso la toma de decisión de conservarlo o transferirlo se manifiesta.

Para ampliar el concepto al que hace referencia el paso 4 de la Figura 5, con respecto a las técnicas cuantitativas y cualitativas para el análisis de riesgo, se resalta lo siguiente. Los métodos cuantitativos se fundamentan en la distribución de probabilidad de los riesgos y pueden brindar resultados más objetivos que los métodos cualitativos, si existen suficientes datos disponibles. Por otra parte, los métodos cualitativos dependen del criterio personal y experiencias pasadas del analista y los resultados pueden variar de una persona a otra, tal como se muestra en la Figura 6 (Ward y Chapman, 1997).

Por ende, los datos cuantitativos al basarse en el riesgo y lo que este ocasiona en el momento en que se presenta, genera mayor exactitud y a diferencia de los cualitativos, no permite que un mismo riesgo sea evaluado de manera subjetiva por personal de la construcción, que, según las condiciones y factores, brinda su opinión acerca del impacto del riesgo. Es por ello que la mayoría de los analistas prefieren los métodos cuantitativos, que también son recomendados por Ward y Chapman (1997).

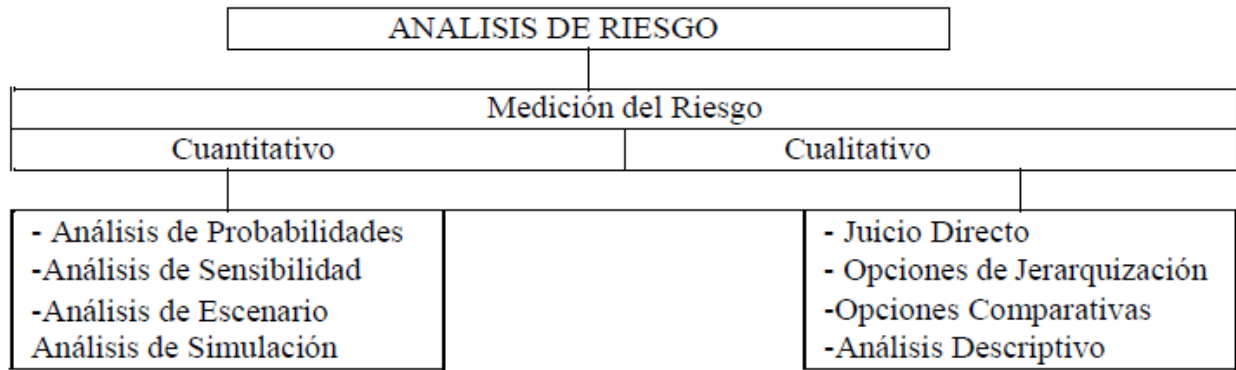


Figura 6. Técnicas de análisis de riesgo. Adaptado de Ward y Chapman (1997).

Sin embargo, el análisis de riesgo cuantitativo es habitualmente ignorado en la gestión de los riesgos de construcción, a pesar de numerosas técnicas disponibles. Una de las deficiencias cuantitativas convencionales de las técnicas de análisis de riesgo es que sólo pueden analizar tanto la duración o costo. En vista de ello, un conjunto de costos influye entre la duración y los parámetros de construcción de cada tarea desarrollada. La naturaleza de los riesgos puede ser investigada en el proceso de elaboración de modelos de riesgo para el desempeño de duración integrando costo, riesgo y utilizando modelos de simulación en el futuro. (Y. Poh y J. Tah, 2006).

La diferencia de los análisis de sensibilidad en comparación con otras técnicas formales de análisis de riesgos del proyecto es que proporciona respuestas a toda una gama de preguntas "what if" (que pasa sí), y es comparativamente fácil de usar y tiene la capacidad de concentrarse en una en particular Flanagan & y Norman, 1993). La técnica proporciona información sobre las variables de riesgo de proyectos que se consideran de impacto potencialmente grave en las estimaciones de tiempo y costo del proyecto de construcción (García de Jalón, Unda, & Avelló, 1986). El análisis de sensibilidad ayuda a determinar qué riesgos tienen el mayor impacto potencial en el proyecto (Project Management Institute, 2013), Ayuda a comprender la correlación que existe entre las variaciones en los objetivos del proyecto y las variaciones en las diferentes incertidumbres. Por

otra parte, evalúa el grado en que la incertidumbre de cada elemento del proyecto afecta al objetivo que se está estudiando y resulta útil para comparar la importancia y el impacto relativo de las variables que tienen un alto grado de incertidumbre con respecto a las que son más estables (Project Management Institute, 2013).

4.3.1 Evaluación de las Técnicas de Análisis de Riesgo Las técnicas de análisis de riesgo, no son más que herramientas que permiten establecer, mediante el análisis; controles, recomendaciones y cambios para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Según una encuesta realizada a 200 empresas en la ciudad de Florida EEUU en la que se estableció la forma más adecuada de manejar los riesgos en la construcción para asegurar que los proyectos se lleven a tiempo, cumpliendo con los presupuestos, con menos conflictos y mejores rentabilidades (Revista de la Construcción 2002). Se efectuó una comparación con contratistas de Georgia (GA), Carolina del Norte (NC), Illinois (IL) y Nueva York (NY), por considerar que éstos tienen una industria rentable y moderna (US Construction Statistics, 2000). Basado en los resultados de la encuesta, las 6 técnicas de análisis de riesgo de mayor uso por la mayoría de las compañías (alrededor del 85%) se resumen en la Figura 7.

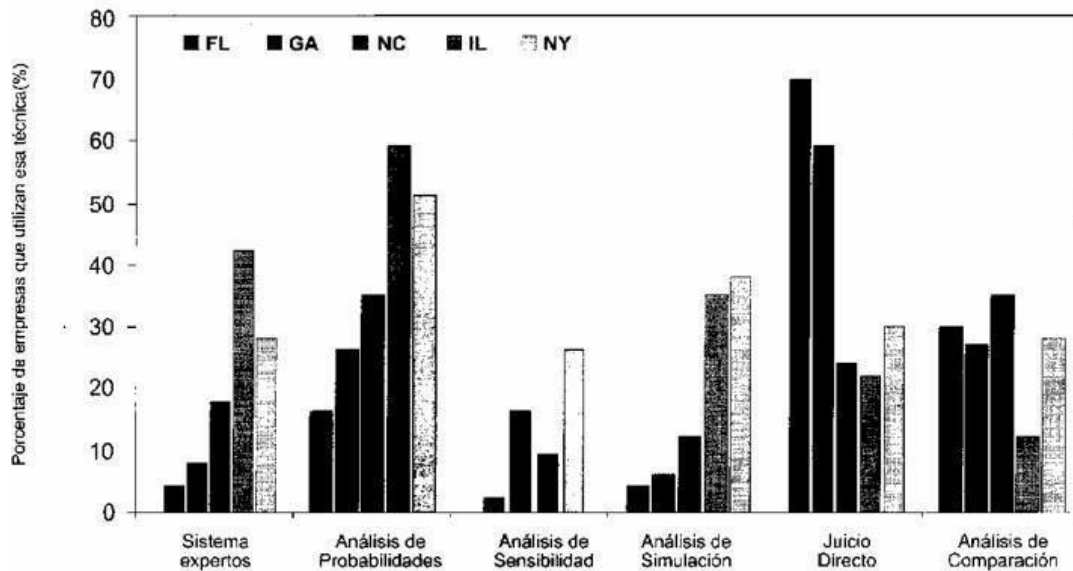


Figura 7. Respuesta acerca de Diferentes Técnicas de Análisis de Riesgo. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).

Los resultados indican que la mayoría de las compañías (más del 70%) en Florida dependen de la intuición/criterio/experiencia para administrar los riesgos involucrados en la construcción. Las técnicas computacionales no se usan en realidad y de hecho la mayoría de las compañías (alrededor del 81%) ni siquiera están conscientes de la existencia de estas técnicas. Sin embargo, la situación es a la inversa en Carolina del Norte, Illinois y Nueva York en dónde la mayoría de las compañías (más del 80%) utilizan los métodos computacionales en forma más intensa.

Después de analizar la encuesta, las razones del porqué no se utilizan algunas de estas técnicas en las compañías de Florida, se presentan a continuación.

- Falta de familiaridad con las técnicas de gestión de riesgo.
- El grado de refinamiento involucrado en las técnicas no garantiza que pueda ser comparado con el tamaño del proyecto.
- Existen dudas acerca de si estas técnicas son aplicables a la industria de la construcción.

- La mayoría de los riesgos son contractuales o relacionados con el proceso de la construcción, y son bastante subjetivos, de ahí que se abordan mejor sobre la base de experiencias obtenidas en contratos anteriores.
- Los clientes en muy raras ocasiones han solicitado el análisis de riesgo en proyectos anteriores, esperan que la gerencia de proyecto maneje en forma práctica el riesgo.
- Las técnicas de gestión de riesgo requieren la disponibilidad de datos sólidos, los que resultan difíciles de recolectar para asegurar confianza.

La falta de familiaridad, está entre las principales razones dadas por los encuestados para no usar las técnicas de análisis de riesgo formales en Florida (Revista de la Construcción, 2002). El segundo lugar lo ocupa la queja de la cantidad de cálculos involucrados en el uso de las técnicas que insatisface los objetivos de costo, tiempo y calidad del proyecto. La falta de confianza en la aplicación de estas técnicas es otra razón importante considerando la falta de capacitación formal en análisis de riesgo y en técnicas de gestión que muestran la mayoría de los encuestados en Florida.

4.3.2 Evaluación de Prácticas para Respuesta de Riesgo Basados en los resultados del cuestionario, a los encuestados en Florida EEUU se les consultó también, cuál era el método o los métodos de respuesta al riesgo que sus respectivas compañías empleaban. La respuesta a los cuatro principales métodos, es decir, eliminación, transferencia, retención y reducción. (Ver Figura 8).

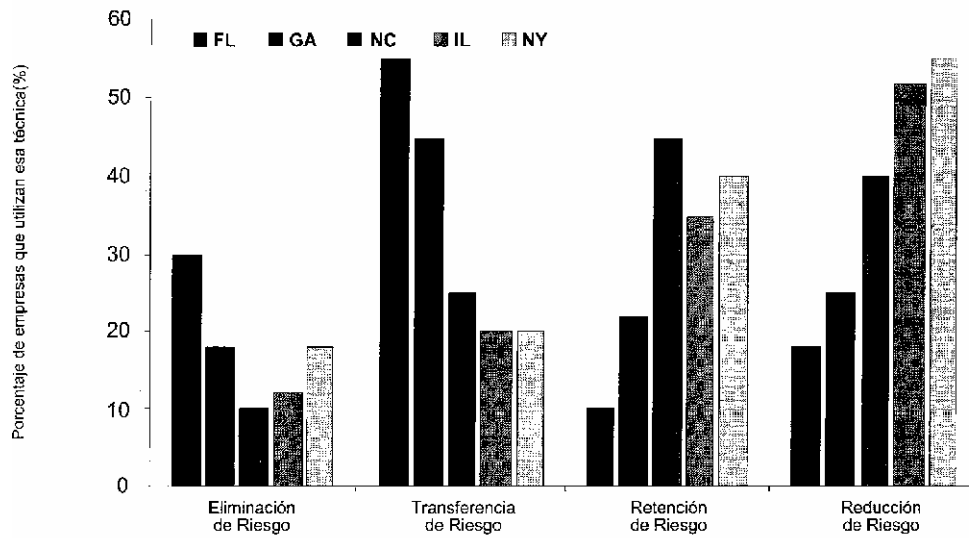


Figura 8. Respuesta acerca de diferentes técnicas de respuesta al riesgo. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).

Los resultados revelan que la eliminación y transferencia del riesgo son los dos métodos favoritos de respuesta al riesgo empleados por los contratistas generales en Florida (Revista de la Construcción, 2002), con una tasa de respuesta de 85%. Sobre la base de las entrevistas estructuradas, se estableció que cuando estas compañías tratan de eliminar los riesgos, lo hacen evadiendo una propuesta de trabajo.

La transferencia de riesgo fue elegida por más de un 55% de los encuestados en Florida como estrategia de gestión de riesgo. En las entrevistas, se investigó la frecuencia de transferencia de riesgo, ya sea a un subcontratista especializado o a través de medios financieros tales como el seguro. Los resultados se muestran en la Figura 9.

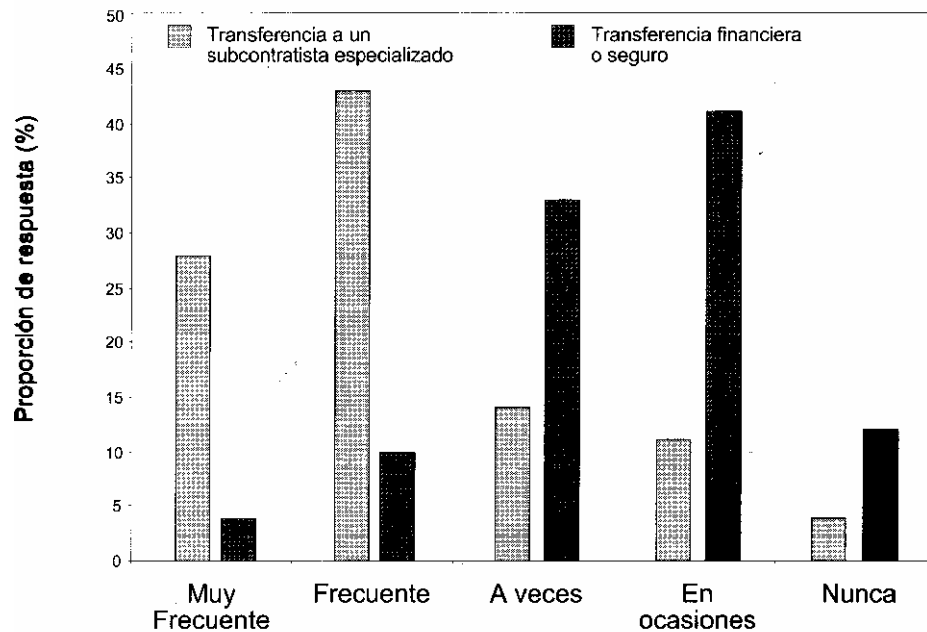


Figura 9. Uso de dos métodos de transferencia de riesgo en Florida. Adaptado de Revista de la Construcción (2002).

Los contratistas generales en la industria de la construcción en Florida usan ambos métodos, pero favorecen la transferencia a un subcontratista especializado cuando la pérdida prevista es mayor. Si bien, se reconoce generalmente que el riesgo debe ser transferido a la parte que se encuentra en la mejor posición para abordarla, la situación donde un contratista general trata de transferir todos los riesgos involucrados en un proyecto, puede apuntar a menos incentivos para la innovación. Las entrevistas revelan que esta situación también lleva a una menor productividad, a una calidad deficiente y demoras en los proyectos (Revista de la Construcción, 2002).

4.4 Aplicación de gestión de riesgos en proyectos de construcción

Mientras que en la literatura se encuentran numerosos escritos sobre el tema de la gestión de riesgos, existe poca información sobre el uso actual y real de la gestión de riesgos en la práctica (Lyons T, 2004). Se realizó un estudio entre 1987 y 1997 en varios países, Estados Unidos, Reino Unido, Australia, Canadá e Israel (Ahmad I, 1988). En el que se exponen los usos de la gestión de riesgos en proyectos de construcción (Ver tabla 10). Se encontró una preferencia general para el uso de los métodos cualitativos de análisis de riesgos por delante de los métodos cuantitativos. Como lo indica (Uher y Toakley, 1999) quienes encontraron "una preferencia por el uso de métodos cualitativos en la obtención de datos y técnicas de análisis de riesgo".

Las herramientas que se utilizan con mayor frecuencia para identificar los riesgos son una lluvia de ideas, el enfoque basado en casos y listas de verificación. Raz y Michael Israel (2001). Encontraron que las técnicas de evaluación de riesgo, la intuición, juicio y la experiencia son los más utilizados, lo cual es consistente con los hallazgos de Akintoye y MacLeod (1997). Uher y Toakley (1999), También descubrieron que la identificación del riesgo es el componente más conocido y el uso de la gestión de riesgos y la planificación se encuentran en las etapas del ciclo de vida de ejecución del proyecto. La reducción del riesgo es el método de respuesta de riesgo más utilizado, seguida por la transferencia del riesgo, la eliminación de riesgos y la retención de riesgo. Este resultado lo define Baker (1999).

Tabla 11.

Usos de la gestión de Riesgos en proyectos de construcción

Lyons y Skitmore, Queensland (2004)	Akintoye y MacLeod, Reino Unido (1994)	Uher y Toakley, Australia (1997)	Baker et al, Reino Unido (1995)
<p><i>Percepción de la Gestión de Riesgos</i></p> <p>Las organizaciones emprenden un proceso de asignación de riesgos la mayor parte del tiempo.</p> <p>Los factores que impiden a las organizaciones la implementación de la gestión de riesgos son debido a "Falta de tiempo" y los "costos".</p> <p>Los equipos de proyecto son los más susceptibles de ser utilizados para el análisis de riesgos, por delante de especialistas y consultores internos.</p> <p>Una preferencia general fue identificada por el uso de métodos cualitativos de análisis de riesgos por delante de métodos cuantitativos.</p>	<p>La industria de la construcción es en su mayoría es de aversión al riesgo.</p> <p>La industria de la construcción utiliza algunas técnicas formales de análisis de riesgos y de gestión que implica cálculos debido a la falta de familiaridad con el manejo de riesgos, el fijar cada tiempo del proyecto es una de las principales razones para no utilizar técnicas de análisis y gestionar los riesgos.</p> <p>Las principales limitaciones encontradas con mayor frecuencia para la aplicación del análisis de riesgos incluyen que los gerentes tienen una "inadecuada comprensión del enfoque de análisis de riesgos".</p> <p>Un inconveniente importante de técnicas de análisis de riesgo es que se requiere, más datos y tiempo.</p>	<p>La mayoría se identifica, como evasores de riesgo o neutrales al riesgo.</p> <p>Los contratistas generales tienen mayor preferencia al riesgo. Por el contrario, los consultores fueron en gran medida de aversión al riesgo.</p> <p>Preferencia por el uso de métodos cualitativos en técnicas de obtención de datos y análisis de riesgos.</p> <p>La identificación del riesgo es el componente más conocido de gestión del riesgo y más utilizada en la fase conceptual de un ciclo de vida del proyecto.</p> <p>La aplicación de gestión de riesgos en la fase conceptual del ciclo de vida del proyecto es relativamente baja.</p>	<p>Al transferir el riesgo, la industria de la construcción prefiere utilizar tanto los especialistas como la transferencia financiera.</p> <p>Seguros y exclusión de indemnización o cláusulas en los contratos son la forma más popular de la transferencia de riesgos.</p> <p>La reducción del riesgo fue el método de respuesta de riesgo más frecuentemente utilizado. Más del 90% de las empresas sugiere el uso constante de las técnicas de reducción del riesgo.</p> <p>En general, los métodos de respuesta a los riesgos se ven favorecidos en el orden de reducción de riesgos, la transferencia del riesgo, la retención y eliminar los riesgos.</p> <p>Reducción y transferencia de riesgos son los métodos que dominan las respuestas de la industria de la construcción, con (91%) y (60%).</p>

Lyons y Skitmore, Queensland (2004)	Akintoye y MacLeod, Reino Unido (1994)	Uher y Toakley, Australia (1997)	Baker et al, Reino Unido (1995)
<p>Identificación de riesgos y evaluación de riesgos son los elementos de gestión de riesgo más frecuentemente usados por delante de respuesta al riesgo y la documentación de riesgo.</p> <p>Se encontró que el uso de la gestión de riesgos en la ejecución y planificación, en las etapas del ciclo de vida del proyecto es mayor que en la fase conceptual o de terminación.</p> <p>Las herramientas más utilizadas para identificar los riesgos son la lluvia de ideas; enfoque basado en casos y listas de comprobación</p> <p>Entre las técnicas de evaluación de riesgos, la intuición, el juicio y la experiencia son los más utilizados. La reducción del riesgo es el método de respuesta a los riesgos de uso más frecuente seguida de cerca por la transferencia del riesgo la eliminación de riesgos y la retención de riesgo.</p>	<p>Industria de la construcción perciben riesgos en la construcción como la probabilidad de acontecimientos imprevistos que ocurren y que podrían afectar negativamente la finalización del proyecto, es decir, en términos de costo, tiempo y calidad.</p> <p>La industria de la construcción se ha acercado a la gestión del riesgo en términos de la intuición individual, juicio y experiencia adquirida en contratos anteriores.</p> <p>Los Contratistas transfieren los riesgos a sus subcontratistas nacionales y especializadas a través de las primas de seguros. Los administradores de proyectos recurren al seguro de responsabilidad profesional para transferir los riesgos asociados con los servicios prestados a los clientes</p>	<p>Las Tecnologías de la información se utiliza ampliamente en la fase conceptual de un ciclo de vida del proyecto de construcción, pero sobre todo para aplicaciones como la contabilidad de costes, bases de datos, y en la programación y previsión.</p> <p>El uso de la tecnología de la información e integración de los diversos sistemas de información parecen tener una más positiva influencia sobre el uso de la gestión de riesgos en la fase conceptual de un ciclo de vida del proyecto que el tipo de estructura de la organización.</p> <p>La mayoría de los encuestados estaban familiarizados con el concepto de gestión de riesgos</p>	<p>Dentro de la reducción del riesgo, en la industria de la construcción es de gran importancia ser competente (la educación y la formación), para alertar de riesgos potenciales, para mejorar las condiciones de trabajo con mucho éxito y así reducir riesgos.</p> <p>El 82% de las constructoras creen que los seguros son la mejor manera de transferir los riesgos y el 85% creen que se deben retener activamente sus riesgos, la principal razón de porque la prima de seguro requerida es demasiado alta.</p> <p>Actualmente se ve favorecida la reducción del riesgo si se mejora la educación y formación; para identificar nuevos riesgos siendo las técnicas más utilizadas la probabilidad de riesgo y la lluvia de ideas.</p>

<p>Lyons y Skitmore, Queensland (2004)</p>	<p>Akintoye y MacLeod, Reino Unido (1994)</p>	<p>Uher y Toakley, Australia (1997)</p>	<p>Baker et al, Reino Unido (1995)</p>
<p>Entre las técnicas de respuesta al riesgo, este estudio ha encontrado una preferencia por (contingencias) y transferencia contractual y más seguros. Se encontró que el uso de las bases de datos para registrar los riesgos del proyecto debe ser moderada, junto con el uso de datos de riesgo en otros proyectos</p>	<p>Los contratistas tienen una tendencia a subcontratar todos los paquetes de trabajo que participan en un proyecto para subcontratistas y emprenden la 'gestión de contratos' como parte de una estrategia para reducir o eliminar el riesgo. El aumento de la disponibilidad de los ordenadores no parece haber hecho un gran impacto en las herramientas que se utiliza para el análisis de riesgos y la gestión en el proceso de construcción.</p>	<p>Las Tecnologías de información se utiliza ampliamente en la fase conceptual de un ciclo de vida del proyecto de construcción, pero sobre todo para aplicaciones como la contabilidad de costes, bases de datos, y en la programación y previsión. El uso de la tecnología de la información e integración de los diversos sistemas de información parecen tener una más positiva influencia sobre el uso de la gestión de riesgos en la fase conceptual de un ciclo de vida del proyecto que el tipo de estructura de la organización.</p>	<p>La herramienta más utilizada para la identificación del riesgo es la Lluvia de ideas. La herramienta más utilizada para el análisis de riesgos es la evaluación del impacto del riesgo. La herramienta más utilizada para la respuesta al riesgo es la asignación de Responsabilidades.</p>
<p>Tecnología Información</p>	<p>Se encontró que el uso de ordenadores debe ser consistentemente para la gestión de riesgos de costes.</p>	<p>La industria de la construcción ocupa un mal lugar en términos de actividades de investigación</p>	<p></p>

La gestión de riesgos es una parte fundamental de la gestión de proyectos dado que los riesgos no manejados o mitigados son una de las causas principales de fracaso del proyecto, además la gestión de riesgos en proyectos de construcción se considerada como un factor útil que contribuye a la toma de decisiones. En general, la gestión del riesgo del proyecto incluye tres fases: identificación, evaluación y respuesta al riesgo (Fan et al, 2008). La identificación del riesgo se refiere al reconocimiento y documentación de los riesgos asociados. La evaluación del riesgo se refiere al examen de los riesgos identificados, a la definición de los riesgos y a la estimación del valor de los riesgos. La respuesta al riesgo se refiere a la generación e implementación de estrategias adecuadas para prevenir y controlarlos (Zhi-Ping Fan et al, 2015). Una vez identificados y evaluados los riesgos del proyecto, se deben generar y adoptar estrategias adecuadas para su respuesta (Zou et al, 2007). A menudo se considera que la gestión de riesgos es crucial para el éxito del proyecto, ya que fomenta el control de eventos o situaciones que pueden amenazar su correcta ejecución (De Bakker et al, 2011).

4.5 Procesos de la Gestión de Riesgos en Proyectos de Construcción

Varios autores han formulado diferentes enfoques de gestión de riesgos. (Cooper y Chapman, 1987) identificaron el enfoque de gestión de riesgos como un análisis de riesgo multifásico que cubre la identificación, evaluación, control y gestión de riesgos. (Hertz y Thomas, 1983) lo propusieron como una secuencia lógica de pasos consistentes en la identificación de riesgos, la medición de riesgos y la evaluación y reevaluación de riesgos. Además, vinculaban la gestión de riesgos con la planificación estratégica y la gestión. Por otra parte, (Charette, 1989) trató el análisis de riesgo y la gestión del riesgo como dos conceptos separados, y definió la ingeniería de riesgos

como un proceso que consistía en análisis y gestión del riesgo. (Boehm, 1991) sugirió un proceso que consta de dos fases principales: la evaluación del riesgo, que incluye la identificación, análisis y priorización, y el control del riesgo, que incluye la planificación de la gestión de riesgos, el seguimiento y la acción correctiva. (Fairley, 1994) habla de siete pasos: (1) Identificar factores de riesgo; (2) Evaluar las probabilidades y los efectos del riesgo; (3) Desarrollar estrategias para mitigar los riesgos identificados; (4) Monitorear los factores de riesgo; (5) Invocar un plan de contingencia, (6) Gestionar la crisis; (7) recuperarse de la crisis.

El Instituto de Ingeniería de Software (Dorofee AJ et al, 1996), una fuente líder de metodologías para la gestión de proyectos de desarrollo de software, considera la gestión de riesgos del proyecto en cinco fases distintas (identificación, análisis, planificación de la respuesta, seguimiento y control). El Project Management Institute (PMI, 1996) presenta cuatro fases del proceso PERM: identificación; cuantificación; respuesta y control.

Los autores Kliem y Ludin (1997) describen un proceso de cuatro fases (identificación, análisis, control y presentación de informes) que se asemeja a los cuatro pasos de Deming para la gestión de la calidad (planear, hacer, verificar y actuar). (Chapman y Ward, 1997) esbozan un proceso de gestión de riesgos genérico que consta de nueve fases: definir los aspectos clave del proyecto; centrarse en un enfoque estratégico de la gestión de riesgos; Identificar dónde pueden surgir los riesgos; estructurar la información acerca de los supuestos y relaciones de riesgo; asignar la propiedad de los riesgos y las respuestas; estimar el grado de incertidumbre; evaluar la magnitud relativa de los diversos riesgos; planificar las respuestas y gestionar mediante el seguimiento y control de la ejecución.

Los procesos que comprenden la gestión de riesgos en la construcción se repiten constantemente durante la etapa de ejecución de una obra, ya que el proceso de identificación y

registro de riesgos se da permanentemente. Desde este punto de vista, se puede decir que la Gestión de Riesgos en la Construcción es un gran proceso cíclico que se desarrolla desde la etapa de planeamiento de la construcción y se pone en marcha en la etapa de ejecución de un proyecto.

4.5.1 Identificación y valoración del riesgo Para la identificación de riesgos existe una herramienta muy utilizada por los gerentes de proyecto llamada Checklist o Lista de Control que consiste en listar o enumerar todos los riesgos posibles del proyecto, cuyo desarrollo se basa en información histórica o en el conocimiento acumulado de proyectos anteriores similares y otras fuentes de información (Project Management Institute, 2013). Por el mismo hecho de que un Checklist debe ser una referencia rápida y sencilla, es imposible elaborar una que sea completa o exhaustiva. La lista de control debe actualizarse siempre, especialmente al cierre de un proyecto con el fin de mejorarla para su uso en próximos proyectos (PMBOK, 2004).

La Association for Project Management APM (Simon, Hillson, & y Newland, 1997) establece que un Checklist es elaborado para permitir al Gerente de Proyecto considerar riesgos que fueron identificados en proyectos pasados, determinar si son aplicables al proyecto actual y analizar si la respuesta a los riesgos previamente puede ser efectiva para el proyecto en curso.

Sobre las fuentes de los Checklist, el APM señala que se pueden conseguir a través de diversas organizaciones según la industria, sin embargo, es recomendable de que cada empresa desarrolle su propio Checklist, debido a que de esta manera se obtiene información muy particular y específica, lo que contribuye a una mejor aproximación en la identificación de riesgos (The Association for Project Management. 1997).

El Checklist provee un buen comienzo para la identificación de riesgos brindando información actualizada de la gestión de riesgos (Chapman & Ward, 1997), sobre su uso, el APM (Simon et al,

1997) indica que los ítems del Checklist se suelen presentar a manera de preguntas o temas a ser considerados. Si se usa el formato de pregunta, están las opciones de orientar la pregunta positiva o negativamente. La forma positiva es más común (por ejemplo, “¿los alcances del contrato están claramente definidos?”), ya que para una respuesta negativa como “No” o “Desconocido” identifica si hay un riesgo o incertidumbre (Evenson et al, 1980).

Check List

- para la identificación de Riesgos -

Proyecto:

Fecha:

Consultor:

Revisiones:

Tipo de Riesgo	Área de Riesgo	Ítem	Respuesta N.A. / Si / No / Desconocido	Acción a tomar
1. Requerimientos	1.1. Claridad	¿Los requerimientos son bien entendidos?		
	1.2. Volatilidad	¿Son los requerimientos estables?		
	1.3. Especificaciones	¿Son todas las especificaciones alcanzables y adecuadas?		
	1.4. Condiciones	¿Se han definido y aceptado todas las condiciones?		
	1.5. Usuario	¿Se han definido todas las condiciones del usuario?		
2. Complejidad	2.1. Proyecto	¿La complejidad del proyecto es aceptable, por ejemplo, para que no cause problemas?		
	2.2. Tamaño	¿El tamaño del proyecto es aceptable, por ejemplo, para que no cause problemas?		
	2.3. Integración	¿Se ha destinado el suficiente tiempo y esfuerzo para la integración del sistema?		
	2.4. Subsistemas	¿Son definidas y aceptables todas las interacciones del sistema?		
	...etc.	(...)		

Figura 10. Ejemplo de un Check List. Adaptado de Project Risk Analysis and Management Guide (PRAM Guide 1997).

Sobre la estructura de un Checklist, el APM afirma que no pueden ser muy largos porque se vuelven imprácticos y perderían su esencia (Smid, Verloo, Barker, & Havelaar, 2010). La

estructura de un Checklist puede basarse en un RBS (*Risk Breackdown Structure o Estructura Desglose de Riesgos*) o en un Prompt List (*Lista específica*), agrupando los riesgos por áreas o tipos similares.

En conclusión, el control del riesgo se basa en la reducción de la frecuencia de ocurrencia de los principales fenómenos peligrosos teniendo en cuenta las barreras de seguridad, como lo es el checklist; de manera que dichos fenómenos peligrosos (riesgos) se definen como eventos aceptables a ocurrir que deben mitigarse, en lo posible; al mínimo.

El RBS (Risk Breackdown Structure o Estructura de Desglose de Riesgos) es definido por el PMI como una estructura jerárquica de los riesgos identificados del proyecto, organizados por categoría de riesgo (PMBOOK, 2004). Una estructura de desglose de riesgos (RBS) ayuda al equipo del proyecto a tener en cuenta las numerosas fuentes que pueden dar lugar a riesgos del proyecto en un ejercicio de identificación de riesgos (Project Management Institute, 2013, pág. 317). Diferentes estructuras RBS resultarán adecuadas para diferentes tipos de proyectos. Una organización puede utilizar un marco de categorización a medida elaborado previamente, el cual puede consistir en una simple lista de categorías o en una estructura RBS (Project Management Institute INC, 2008). El RBS es una representación jerárquica de los riesgos según sus categorías. La figura 11 muestra un ejemplo.

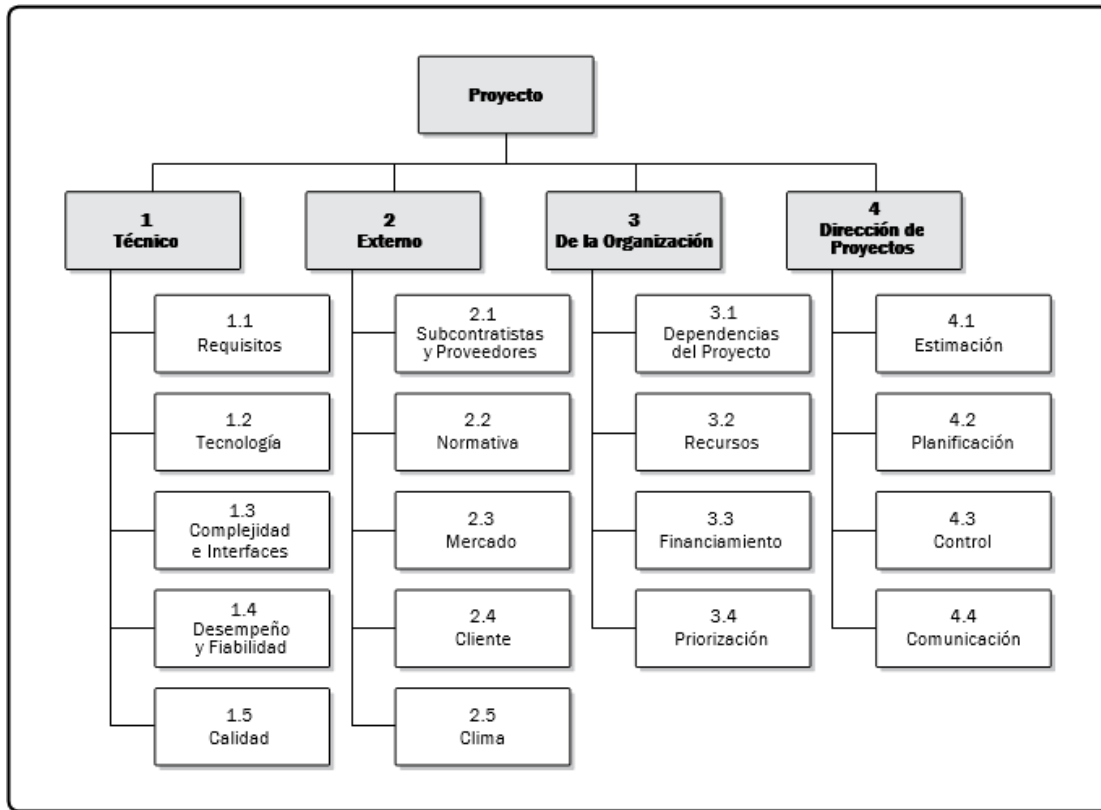


Figura 11. Ejemplo de una Estructura de Desglose de Riesgos (RBS). Adaptado de *Project Management Institute. PMBOK (2013)*.

Por consiguiente, la identificación de riesgos basándose en la estructura organizacional, debe realizarse, en lo posible por áreas, pues dependiendo de estas se presentan amenazas que en ocasiones no son aplicables a las demás. De igual manera, la estructura jerárquica permite abordar todos los campos posibles a afectación de riesgo sin dejar alguno sin cobertura y admite establecer con mayor claridad la posibilidad de transferir un riesgo a otra dependencia dentro de la compañía.

Así mismo, durante el 2016, desde la Universidad Estatal de Sao Paulo, se desarrolló una investigación relacionada con el uso de la Estructura de Desglose de Riesgo - RBS para contribuir a la identificación de riesgos, considerando las oportunidades y amenazas en un proyecto, para potenciar los efectos beneficiosos de las oportunidades y evitar los efectos nocivos de las

amenazas. Para la evaluación de los resultados se realizó la mejora de un sistema denominado Sistema de Ayuda a la Gestión de Proyectos - SAPM, con el fin de apoyar la ejecución automatizada de la gestión de riesgos con énfasis en el proceso de identificación de riesgos, ya que esta es una etapa crucial para la gestión de riesgos en los proyectos de construcción. Como resultado del trabajo, se observó que el uso de RBS, permite que el proceso de identificación de riesgos pueda ser realizado de forma rápida y segura a través del anonimato de los involucrados y la visualización global del proyecto (De Godoi et al, 2016).

El Prompt List o lista específica se usa en la identificación de riesgos para asegurar que todos los aspectos de un proyecto sean cubiertos o revisados. Un Prompt List es una estructura de clasificación de riesgos predefinida por áreas o tipos según determinados tipos de proyectos, y pueden presentarse más de uno para un mismo proyecto (Project Management Institute INC, 2008). Por ejemplo, un prompt list puede fijarse en varios aspectos de un proyecto (legal, comercial, financiero), mientras que otro puede fijarse en las tareas o actividades inherentes al proyecto (diseño, construcción). Un prompt list puede ser desarrollado en las siguientes categorías: Recursos humanos, Aspecto técnico, Aspecto administrativo, Gestión, Aspecto legal, Calidad, Aspecto financiero, Aspecto de comunicaciones, Aspecto comercial, Aspecto ambiental y Otros aspectos según el tipo de proyecto. Los Prompt list pueden usarse como base para elaborar un RMS (Desglose de Riesgos), como soporte para cubrir todas las áreas posibles en la identificación de riesgos (Project Management Institute, 2013)

Investigadores de la Universidad de la Ciudad de Londres, publicaron en 2015 un estudio en el cual se propone un nuevo modelo llamado CRAM (Change Risk Assessment Model - Modelo de Evaluación del Riesgo del Cambio), el cual busca contribuir a la falta de formalidad de los modelos

de negocio, especialmente en el área de evaluación del riesgo asociado a los cambios y la toma de decisiones. Una de las motivaciones para proponer este modelo, estuvo fundamentada en la relación tan estrecha existente entre la identificación de riesgos y la aparición de cambios a lo largo del proyecto, ya sea por el normal avance en el desarrollo de sus etapas, o por la toma de decisiones que de alguna manera afecten los costos, tiempo, alcance o cronograma del proyecto.

Este modelo está basado en la construcción de un árbol de jerarquía de riesgos del cambio, para descomponer y poblar racionalmente los nodos padre/hijo con atributos más detallados (Ver Figura 12). La única restricción en la disposición jerárquica de elementos, es que cualquier elemento en un nivel, debe ser capaz de estar relacionado con algunos elementos en el siguiente nivel superior; esto sirve como un criterio para evaluar el impacto relativo de los elementos en el nivel inferior.

Con la ayuda de la modelización y especialmente de CRAM, los riesgos asociados a los cambios del negocio o proyecto se pueden evaluar numéricamente y ser priorizados. Se identificaron y categorizaron varios factores de riesgo y atributos relacionados. Esto faculta a los directores de proyecto u otras partes interesadas para tomar las decisiones adecuadas sobre si asumir o abandonar los cambios respectivos de la organización o del proyecto (Apostolopoulos et al, 2016).

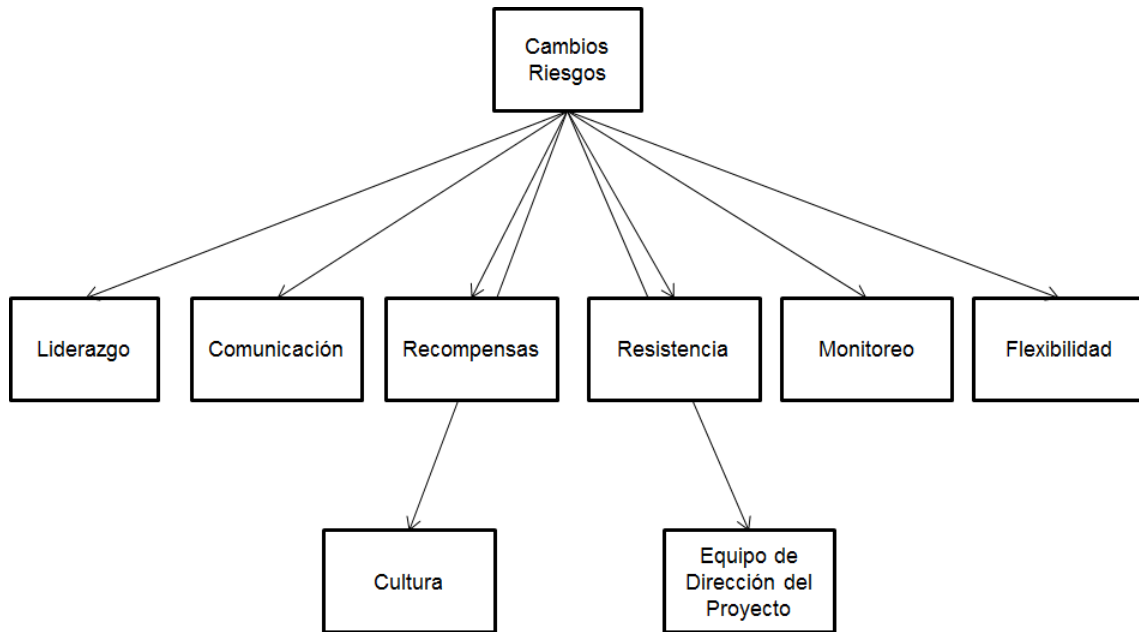


Figura 12. Modelo CRAM (Apostolopoulos et al, 2016).

Este modelo trata un enfoque novedoso, tanto teórica como prácticamente, que añade la noción de evaluación de riesgos para la gestión de proyectos de construcción. CRAM intenta tener en cuenta varios factores de riesgo que rodean al ambiente del proyecto, y que influye en su éxito del proyecto. Estos factores de riesgo son modelados y pueden ser evaluados numéricamente en un enfoque de modelo jerárquico de arriba hacia abajo. Sin embargo, no todos los riesgos son iguales o tienen las mismas prioridades. Una aplicación útil del modelo, por ejemplo, ayudará al gerente de proyecto a comprender las relaciones entre los diferentes factores del modelo y mejorar su capacidad de juzgar, medir y evaluar los riesgos.

Los insumos del modelo incluyen factores de riesgo que están relacionados con los cambios del proyecto o de la organización y en un contexto más amplio para la gestión del cambio.

La importancia del método CRAM radica en que puede ser considerado como un método global de evaluación del riesgo asociado a los cambios, que pueden aplicarse independientemente del tipo de proyecto, tamaño u organización.

En el primer trimestre de 2016, se publicó en la Universidad de Puerto Rico, una investigación titulada: “Planificación de Riesgos en Proyectos paraproyectos de construcción”; esta investigación presenta la implementación y demostración de un esquema modificado de gestión de riesgos para proyectos que integra el esquema propuesto por el Project Management Institute (PMI) con la simulación Monte Carlo para mejorar la eficacia de proyectos de construcción (Cruz, 2016).

Una simulación de proyecto utiliza un modelo que traduce las incertidumbres detalladas especificadas para el proyecto en su impacto potencial sobre los objetivos del mismo. Las simulaciones se realizan habitualmente mediante la técnica Monte Carlo. En una simulación, el modelo del proyecto se calcula muchas veces (mediante iteración) utilizando valores de entrada (p.ej., estimaciones de costos o duraciones de las actividades) seleccionados al azar para cada iteración a partir de las distribuciones de probabilidad para estas variables. Para un análisis de riesgos de costos, una simulación emplea estimaciones de costos. Para un análisis de los riesgos relativos al cronograma, se emplean el diagrama de red del cronograma y las estimaciones de la duración (Cruz, 2016).

La gestión de riesgos utilizando marcos genéricos combinados, como la gestión del riesgo de proyectos de PMI, y la simulación Monte Carlo, proporciona una manera efectiva de evaluar los resultados objetivos de los proyectos complejos. Este enfoque conduce a un sistema de análisis en el que los escenarios basados en variabilidades en los elementos de la tarea pueden trazar muchas consecuencias posibles: la interacción entre el costo, el cronograma y las medidas de desempeño impulsa el análisis. Los eventos de riesgo son intrínsecos en los proyectos de desarrollo de nuevos productos, que se basan en algunas suposiciones y estimaciones que reflejan la comprensión de la organización de la situación actual en la fase de formulación del proyecto. Sin embargo, los

acontecimientos raramente van según el plan, así que el proyecto debe adaptarse a un ambiente siempre cambiante.

El marco de gestión de riesgos del proyecto que incluye la simulación de Monte Carlo, proporcionó un proceso sistemático para identificar, analizar y responder a los riesgos del proyecto. La eficacia del marco modificado se demostró a través de un caso de estudio para un proyecto de construcción. El marco revisado presentado en este estudio se basa en la literatura existente y adopta un enfoque más analítico para la evaluación del riesgo, basado en proyectos similares de desarrollo de nuevos productos, bajo el cual la empresa redujo la incertidumbre de la duración y costo del proyecto.

En 2013, se llevó a cabo una investigación para determinar si la clasificación de los proyectos puede ser utilizada por los directores de proyectos para identificar proactivamente los eventos de riesgo en los proyectos de diseño de ingeniería. Este estudio comparó los tipos de eventos de riesgo experimentados durante el proyecto, utilizando indicadores de riesgo, al emprender dos tipos diferentes de proyectos: operativos y estratégicos. Se desarrollaron indicadores de riesgo para captar las circunstancias (eventos de riesgo) con potencial predictivo sobre la probabilidad de que ocurriera un riesgo durante un proyecto dado. (Yim et al, 2015).

Otro de los indicadores común de riesgo, se relacionó con la necesidad de una mejor comprensión de cómo las tareas individuales del proyecto afectan a toda la organización. Este código de indicador de riesgo se asignó a un texto que capturaba instancias cuando los impactos de las tareas del proyecto no eran bien comprendidos. (Vidal & Marle, 2008) afirmaron que las interdependencias dentro de un sistema de proyectos aumentan la complejidad del proyecto, y esta creciente complejidad, puede amenazar su éxito. Debido a la gran cantidad de proyectos

realizados, los directores de proyecto y los miembros del equipo del proyecto a menudo no entendían cómo las tareas específicas cabían dentro de un contexto organizacional más amplio.

Del mismo modo, (Chow & Cao, 2008) citaron que la mala definición del alcance y la deficiente planificación del proyecto, como factores que contribuyen a su fracaso del proyecto. Cuando el alcance de un proyecto está claramente definido, es más fácil la planificación adecuada del proyecto. Cuando se trabaja en sistemas complejos, los proyectos de diseño a menudo implican hacer cambios en uno o varios sistemas simultáneamente, mientras se mantienen otras interacciones dentro del producto. Los miembros del equipo del proyecto pueden no poseer el conocimiento de cómo interactúan actualmente diferentes subsistemas. Parece que una comprensión clara de tales interdependencias entre sistemas es importante para reducir el riesgo del proyecto.

En 1998 se publicó por parte de investigadores de la Universidad de Michigan y la Universidad de la Ciudad de Hong Kong, un estudio en el cual se proponía un sistema basado en el conocimiento para identificar los riesgos potenciales del proyecto, el cual es un programa de computador, enriquecido con la sabiduría y la experiencia humana que ha sido probado en situaciones y proyectos anteriores y es usado para modelar la resolución de problemas. Dicho sistema tiene dos módulos principales: una base de conocimientos y un motor de inferencia. La base de conocimientos contiene conocimientos altamente especializados de las áreas problemáticas según lo previsto por los expertos. Incluye hechos problemáticos, reglas, conceptos y relaciones. Por su parte, el motor de inferencia es el procesador de conocimiento que trabaja con la información disponible de un problema dado, junto con el conocimiento almacenado en la base de conocimientos, para sacar conclusiones o proporcionar recomendaciones.

Este modelo explica la causalidad del riesgo y se utiliza para determinar el conocimiento del riesgo que debe ser adquirido y representado en la base de conocimiento. Como se muestra en la Figura 13, el conocimiento de riesgo de dominio se clasifica en términos de factores de riesgo, riesgos de proyecto y efectos de riesgo. Los factores de riesgo, que pueden clasificarse como internos o externos, pueden influir en los factores de éxito del proyecto, tales como el costo, el cronograma y el desempeño técnico. A estas influencias se les conoce como riesgos del proyecto. Los impactos de estos riesgos se denominan efectos de riesgo. Mediante el uso de la estructura de desglose del trabajo (EDT), es posible vincular los paquetes de trabajo que están relacionados con el riesgo identificado.

Además, el sistema puede reducir considerablemente el tiempo dedicado a realizar análisis de riesgos y recomendar acciones apropiadas de respuesta al riesgo para controlar y manejar los factores de riesgo identificados.

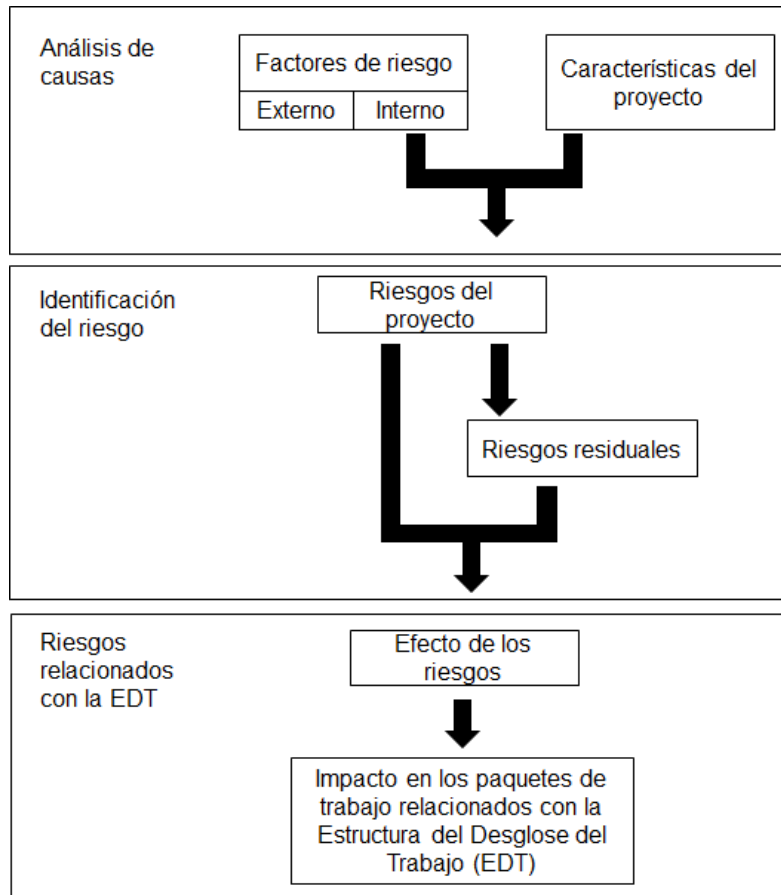


Figura 13. Modelo de identificación de riesgos (Leung et al, 1998)

Además, la base de conocimientos se puede actualizar y se pueden desarrollar más reglas de producción, si es necesario, sin mucha dificultad. La disponibilidad de sistemas como éstos permitiría a más directores de proyecto o ingenieros, utilizar procesos de gestión de riesgos a menudo para identificar y evaluar los riesgos del proyecto y desarrollar acciones de respuesta a los mismos; y por lo tanto puede ayudar a reducir el impacto de las barreras para usar las herramientas de gestión de riesgos (Leung et al, 1998).

Muchas de estas ideas se basan en extensas investigaciones empíricas. Sin embargo, se concluye que la pregunta central de esta investigación (relacionada con el papel de la gestión de riesgos para alcanzar el éxito de un proyecto de construcción), no puede ser respondida usando el

enfoque de evaluación de la gestión de riesgos como el único instrumento para abordar la cuestión, ya que este enfoque se centra en encontrar factores de riesgo más que en cómo manejar los riesgos.

Por lo tanto, la contribución del enfoque de evaluación al éxito del proyecto sigue siendo poco clara. La literatura indica que el conocimiento de los riesgos por sí solo no es suficiente para contribuir al éxito del proyecto (Bakker, 2010).

4.5.2 Planificación de la respuesta y control de riesgos La literatura describe opciones genéricas de respuesta a los riesgos del proyecto. Dentro de estas opciones de alto nivel, se pueden formular respuestas específicas según las circunstancias del proyecto, la amenaza, el costo de la respuesta y los recursos requeridos para la respuesta. Normalmente, las estrategias de respuesta al riesgo apuntan a reducir o eliminar la probabilidad de que ocurra la amenaza, limitar el impacto del riesgo si este se materializa, o una combinación de ambos. Estas estrategias se formulan e implementan en respuesta a nuevos riesgos cuando son identificados y evaluados como una amenaza que debe ser controlada. En la literatura se encuentran cuatro estrategias comunes de respuesta al riesgo en proyectos de construcción:

✓ Eliminar: La eliminación de riesgo con frecuencia describe cómo evitar el riesgo. Un contratista que no se presenta a una propuesta pública, un dueño que no lleva a cabo el financiamiento del proyecto y no asumir obras en laderas son ejemplos de eliminación total del riesgo. Hay muchas otras maneras con las cuáles se puede evitar el riesgo, por ejemplo, cuando una de la partes, compañía o contratista asumen ciertos riesgos, pero sin asumir obligaciones sobre la parte de riesgo alto del contrato (Kelly, 1996).

✓ Transferir: La transferencia de riesgo puede asumir dos formas básicas: (1) la propiedad o actividad responsable del riesgo puede ser transferida, es decir dar los servicios a un subcontratista

para que trabaje en un proceso peligroso, o 2) la actividad puede ser conservada, pero el riesgo financiero se transfiere, por ejemplo los seguros (Thompson and Perry, 1992).

✓ Retener: Este es el método en el que la compañía que asume la responsabilidad del proyecto y así mismo, el manejo de riesgos, ya sean previstos o no previstos, son controlados y sus impactos financieros son cubiertos por la compañía o el contratista. Hay dos métodos para retener el riesgo, activo y pasivo. La retención activa (hace referencia a un auto-seguro) es una estrategia de gestión después de una evaluación consciente de las posibles pérdidas y costos de las formas alternativas de manejar el riesgo. La retención pasiva (denominada no-seguro) se produce por negligencia, ignorancia o ausencia de una decisión, por ejemplo, un riesgo no ha sido identificado y el manejo de las consecuencias de dichos riesgos deben ser soportadas por el contratista que ejecuta el trabajo (Kelly, 1996).

✓ Reducir: La reducción de riesgo es una técnica dentro del proceso global de gestión de riesgo, y permite introducir mejoras en los mecanismos físicos (utilización de cascos), de procedimiento (crear turnos de trabajo), educacionales y de capacitación de una compañía. Los mecanismos físicos pueden ser mejorados por la permanente actualización de los mecanismos. El efecto de mejorar los mecanismos de procedimiento puede ser significativo. Medidas simples de bajo costo como un buen manejo interno, procedimientos de primeros auxilios y seguridad pueden llevar a un mejor clima en la organización, mejores relaciones laborales y a una mayor productividad. La educación y la capacitación dentro de cada departamento de un negocio son importantes, especialmente en términos de reducir los efectos nocivos de riesgos en el entorno del trabajo. La prevención de pérdidas consume recursos, y con mejores mecanismos de educación y capacitación, el efecto puede minimizarse, liberando capital para inversiones más productivas (Carter y Doherty, 1974).

En general, las estrategias de respuesta al riesgo son eficaces para proporcionar opciones generales a considerar en la formulación de respuestas a las amenazas previstas del proyecto. Cada una de ellas requiere que se formule, ejecute y reevalúe una respuesta específica a lo largo del proyecto conforme se desarrolle la naturaleza del riesgo o este cambie significativamente (Bannerman, 2008).

Tomando el estado de la investigación de gestión de riesgos en la literatura como el punto de referencia, este estudio encontró que las organizaciones tienden a demorar la plena aplicación de este conocimiento en la práctica. Por ejemplo, después de la identificación de riesgos al inicio del proyecto, al documentar el plan de gestión del proyecto, la gestión de riesgos tiende a ser relegada al director del proyecto, quien a menudo solo se encarga de actualizar superficialmente el registro de riesgos antes de cada reunión del comité directivo. Además, las listas de chequeo tendían a ser utilizadas ingenuamente y la práctica de gestión de riesgos a menudo no se mantendría a lo largo de todo el proyecto ni se evaluaría al finalizar. Si este hallazgo puede generalizarse a otras organizaciones, surgen varias implicaciones prácticas para los gestores de proyectos y las partes interesadas.

Una estrategia que puede aumentar la adopción y hacer tomar conciencia es incluir explícitamente la evaluación del papel y la contribución de la gestión del riesgo en las revisiones posteriores a la implementación.

4.6 Impacto en el desempeño de los proyectos de construcción debido a la implementación de procesos de gestión de riesgos

En un estudio llevado a cabo por la Universidad de Singapur en 2015, se expone que la gestión de riesgos debe implementarse en proyectos de construcción para asegurar el logro de sus objetivos, independientemente de su tamaño. Este estudio tuvo como objetivo investigar cómo se lleva a cabo la gestión de riesgos en pequeños proyectos en Singapur en términos de estatus, barreras e impacto de la gestión de riesgos en el desempeño del proyecto.

Para alcanzar los objetivos de dicha investigación, se aplicó un cuestionario y se recolectaron datos de 668 proyectos presentados por 34 empresas. Los resultados del análisis indicaron un nivel relativamente bajo de implementación de gestión de riesgos en proyectos pequeños, la "falta de tiempo", "falta de presupuesto", "margen de beneficio bajo" y "poco económico", eran las barreras sobresalientes. Además, los resultados informaron la correlación positiva entre la implementación de técnicas de gestión de riesgos y la mejora en la calidad, el costo y el desempeño de la programación de los proyectos pequeños, respectivamente (Bon-Gang et al, 2014).

Los pequeños proyectos son propensos a más riesgos, ya que enfrentan más desafíos que los grandes proyectos debido a sus características inherentes, tales como limitaciones de recursos, cronograma de proyecto apretado, competencia y bajo margen de beneficio. Por lo tanto, los pequeños proyectos deben ser manejados con diligencia para evitar retrasos en su cronograma e incurrir en exceso de costos. Sin embargo, la gestión de riesgos se pasa por alto a menudo porque es una estrategia tediosa y costosa que implica la recopilación y análisis intensivo de información (Mubarak, 2010). En Hong Kong, (Mok et al, 1997) descubrieron que sólo el 35% de los directores de proyecto hacían hincapié en la gestión de riesgos en proyectos que cuestan menos de 10

millones de dólares, mientras que más del 90% reconoció la importancia de la gestión de riesgos en proyectos por valor de más de 100 millones de dólares.

Estudios previos indicaron que los pequeños y medianos contratantes, los cuales ejecutan principalmente proyectos pequeños, no otorgan suficiente importancia a la gestión de riesgos en los mismos, debido a que sus contratistas carecían de suficiente conocimiento respecto a esta (Ho & Pike, 1992), especialmente sobre la aplicación de técnicas de análisis de riesgo (Frey & Patil, 2002). Además, debido a la desproporción entre los recursos necesarios para llevar a cabo una adecuada gestión de riesgos y el bajo margen de beneficio de pequeños proyectos, se desalentó a muchas empresas a hacer inversiones en dicha herramienta (Griffith & Headley, 1997). Por otra parte, la intensa competencia obliga a las empresas a pagar sus ofertas tan bajas que no pueden tener un exceso de presupuesto para contingencias (Smith & Bohn, 1999).

Varios estudios revelaron que los beneficios de la gestión de riesgos, eran enormes en proyectos de construcción. Por ejemplo, estos podrían mejorar la calidad de la estimación de costos y la toma de decisiones (Mills, 2001), ayudar a los proyectos a completarse a tiempo y dentro del presupuesto (Klemetti, 2006). Pese a esto, pocos estudios han indicado sus beneficios en pequeños proyectos y el impacto en el desempeño en cuanto a la calidad, los costos y el cronograma que es lo que determina el éxito o fracaso en un proyecto de construcción (ver tabla 11). Los resultados de esta investigación pueden aplicarse a proyectos de otros sectores de la industria, dado que la buena planificación y gestión de riesgos, permitirá aumentar la probabilidad de alcanzar los objetivos operativos y financieros definidos inicialmente para el proyecto.

Tabla 12.

Factores de éxito y fracaso en proyectos de construcción

Autor	Resumen de los últimos trabajos
Rubin y Seeling (1967)	<p>Los autores evalúan el impacto de la experiencia jefe de proyecto para el éxito / fracaso. Utilizan técnicas de realización del proyecto como una medida del éxito y la conclusión es la siguiente:</p> <p>(A) La experiencia previa del jefe de proyecto tiene un impacto mínimo en el rendimiento del proyecto</p> <p>(B) Tamaño del proyecto gestionada previamente hace una actuación más eficaz.</p>
Avots (1969)	<p>Realizo un estudio teórico para entender las razones para el fracaso del proyecto. El autor concluye que la mala elección del director del proyecto, la terminación del proyecto no planificada, y el no apoyo de la Alta dirección son las principales razones de fracaso</p>
Sayles y Chandler (1971)	<p>Los autores concluyen que los factores críticos para el éxito de un proyecto son:</p> <p>Competencia, mala programación de actividades, sistemas y responsabilidades de control, seguimiento y retroalimentación continuada en el proyecto.</p>
Martín (1976)	<p>El Autor concluye que los factores críticos para el éxito de un proyecto son:</p> <p>Definir objetivos, seleccionar la filosofía de organización de proyectos, servicios de gestión general, organizar y delegar la autoridad, seleccionar el equipo de proyecto, asignar los recursos, prever mecanismos de control e información, planificación y revisión</p>
Baker et al. (1983)	<p>Los autores sugieren que, en lugar de tiempo, costo y desempeño los criterios de éxito del proyecto, son el rendimiento percibido y debe utilizarse como criterio de éxito. Ellos observan los siguientes factores de éxito: Metas claras, compromiso del equipo de proyecto, director del proyecto en el sitio, una financiación adecuada para la terminación adecuada, técnicas de capacidad del equipo de proyecto, cálculo de costes iniciales, puesta en marcha, planificación y control.</p>
Cleland y King (1983)	<p>Los autores identifican los siguientes factores de éxito:</p> <p>Resumen del proyecto, concepto operacional, apoyo de la dirección, apoyo financiero, las necesidades logísticas, instalaciones, apoyo y técnicas de mercado, el cronograma del proyecto, el desarrollo y la formación ejecutiva, mano de obra y organización, adquisición, canales de información y comunicación.</p>

- Locke (1976) El Autor identifica los siguientes factores de éxito:
Hacer compromisos de avance del proyecto, autoridad del proyecto, nombrar director de proyecto competente, establecer mecanismos de control (horarios, etc.) y reuniones de avance.
- Hughes (1986) El autor identifica que los proyectos fracasan debido a los principios básicos de gestión inadecuada, tales como: el enfoque incorrecto del sistema de gestión, acciones equivocadas y la falta de comunicación de las metas.
- Morris y Hough (1987) Los autores identifican los siguientes factores de éxito a través de un estudio de ocho proyectos grandes y complejos con gran impacto económico potencial pero mal dirigidos que son: Los objetivos del proyecto, la innovación técnica, incertidumbre, la política, horarios, duración, contrato financiero problemas legales y problemas de implementación.
- Schultz et al. (1987) Los autores clasifican los factores críticos de éxito en dos grupos como se indica a continuación y la conclusión de que estos grupos en un proyecto son:
(1) El Grupo estratégico y táctico enfocados en la misión del proyecto (2) Apoyo de la dirección y programación de proyectos
- Pinto y Slevin (1989) Continuando con el trabajo de los autores anteriores evaluando la importancia relativa de grupo táctico y el grupo estratégico durante el ciclo de vida del proyecto. Llegan a la conclusión de que cuando se emplean medidas de éxito externas, los factores de planificación dominan los factores tácticos durante todo el ciclo de vida del proyecto
- Chua et al. (1999) Se le da la importancia primaria al estudio y ejecución del presupuesto. Los autores identifican los ocho importantes atributos de gestión de proyectos relacionados con la consecución de éxito y la ejecución del proyecto (1) El número de niveles de organización ; (2) Diseño detallado completado en el inicio de la construcción; (3) El número de reuniones de control durante la fase de construcción; (4) El número de cambios en el presupuesto; (5) La implementación de un programa de factibilidad de construcción; (6) El volumen de trabajo del equipo; (7) Dinero gastado en el control del proyecto; (8) La experiencia técnica del director del proyecto. También afirman que su modelo puede ser utilizado como una herramienta de predicción para pronosticar la ejecución del presupuesto de un proyecto de construcción.
- Chan et al. (2001) Identifican un conjunto de factores de éxito en el diseño y construcción de proyectos y examinan la importancia relativa de estos factores en el resultado. Mediante un análisis, los resultados de 53 constructoras en 31 variables fueron seis factores de éxito del proyecto. Estos son: el compromiso de equipo del proyecto, Competencias de los contratistas, la evaluación de los riesgos y responsabilidades, las necesidades de los usuarios finales y las limitaciones impuestas por los usuarios finales. El compromiso del equipo de proyecto, y las competencias de los contratistas resultaron ser los más importantes para el éxito de los proyectos.
-

En cuanto a los factores de éxito en los proyectos, los autores tienen algo en común, las empresas constructoras no tienen un adecuado manejo de los riesgos que afectan sus obras. Las incompatibilidades en los planos, la falta de constructabilidad, el uso de tecnologías nuevas, la falta de seguridad en obra, la ausencia de una adecuada logística de materiales y la falta de comunicación y coordinación entre los involucrados, son algunos de los factores de riesgo que amenazan el logro de los objetivos del proyecto. Pese a ello, no es frecuente que se apliquen procesos formales del análisis de riesgos en las organizaciones, esta situación es el principal objetivo a cumplir en el menor tiempo posible para que los proyectos sean más rentables, aprovechen mejor los recursos y aumenten su probabilidad de éxito.

El CII (Construction Industry Institute – Instituto Industria de la construcción, 2008), define la Constructabilidad como un sistema para conseguir una óptima integración del conocimiento y experiencia, constructivos en las operaciones de planificación, ingeniería y construcción; orientado a tratar los imprevistos de la obra y las restricciones del entorno con la finalidad de alcanzar los objetivos del proyecto. En otras palabras, la constructabilidad es la incorporación y óptimo uso del conocimiento y juicio experto de la construcción en las fases de un proyecto para alcanzar los objetivos globales (costo, tiempo y calidad), debe ser usada desde las fases más tempranas del proyecto, de manera que influya positivamente en los propietarios, diseñadores, planificadores y proveedores. La constructabilidad influye en el costo final del proyecto de acuerdo a las etapas en que es aplicada (ver figura 14).

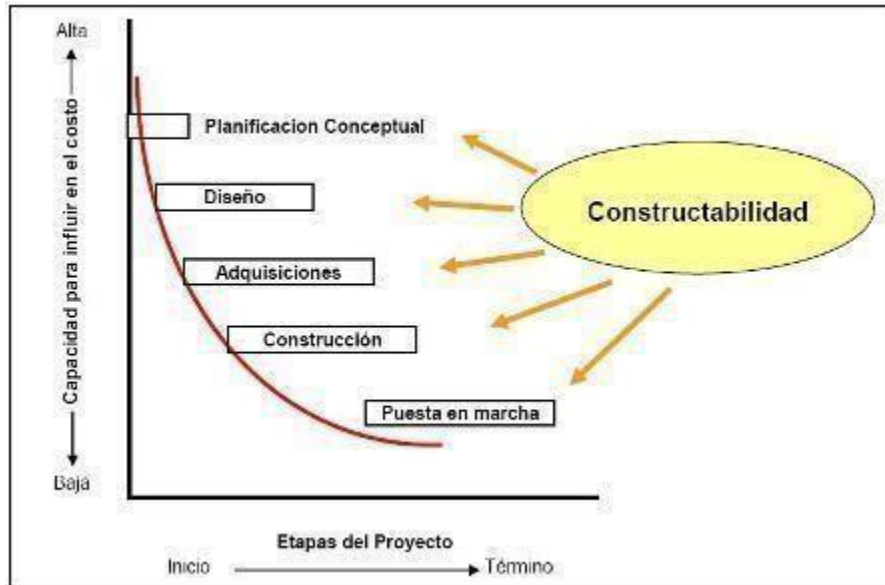


Figura 14. Beneficios de la constructabilidad (Instituto Industria de la Construcción ,2008)

De acuerdo a investigaciones del CII se ha encontrado reducción de costos del 6% al 23% y reducciones de las demoras en los cronogramas. Esto incluye cronogramas más precisos, mejora de la productividad del contratista, de las secuencias de construcción, de la calidad, trabajos más seguros, además los esfuerzos de la constructabilidad temprana resultan en un significativo retorno de dinero al proyecto, considerando la optimización de los espacios para almacenamiento, campamentos provisionales, talleres de trabajo, caminos de acceso y evacuaciones de emergencia.

4.7 Herramientas y Técnicas para la gestión de Riesgos en Proyectos de Construcción

Las técnicas de gestión de riesgos son ampliamente utilizadas como una herramienta para la identificación de los factores de riesgo en la industria de la construcción. El proceso de análisis de riesgos, incertidumbres y subjetividades ha dificultado la aplicabilidad de los diferentes métodos de gestión de riesgos ya que requieren datos de alta calidad. Por ejemplo, los enfoques cualitativos

confían plenamente en las decisiones de los expertos, para determinar la probabilidad de la ocurrencia de un evento, mientras que los cuantitativos se basan totalmente en los métodos matemáticos, donde las relaciones entre los elementos se expresan a través de variables y parámetros.

Un proceso de gestión de riesgos en proyectos es una cadena racional de prácticas mediante la cual los encargados de la toma de decisiones, planifican y ejecutan acciones y controlan los resultados para mantener la implementación del proyecto bajo ciertas condiciones (parámetros de tiempo, costo y calidad), con el fin de proporcionar directrices para la selección de las mejores prácticas teniendo en cuenta la madurez organizacional y la complejidad del proyecto. Rodrigues-Silva (2014) propuso un estudio en el cual se llevó a cabo una revisión de la literatura relacionada con la gestión del riesgo en cuanto a las herramientas y técnicas que podrían aportar de una mejor manera al éxito del proyecto. Mediante dicha investigación, fue posible identificar los estudios más relevantes aplicados a proyectos de construcción, de los cuales se extrajo 60 técnicas con las cuales planteó un marco teórico para clasificar y asociar esas prácticas a cada fase del ciclo de vida del proyecto y a cada proceso de gestión del riesgo del proyecto. Entre las técnicas identificadas en este estudio, se encuentran:

Tabla 13.

Técnicas en Gestión de Riesgos en las Etapas del Proyecto

ETAPA	PROCESO	TÉCNICA
PLANEACIÓN	Plan de Riesgo	Juicio de expertos Reuniones Comunicación y Consulta Interna Establecimiento Contexto del Riesgo (Externo e Interno)
	Identificar los riesgos	Revisión de documentación Técnicas de recolección de información (<i>brainstorming, delphi, entrevistas, causa raíz</i>) Análisis de supuestos Técnicas de diagramado (causa efecto, procesos, influencias) Análisis DOFA Juicio de expertos Entrevistas Lista de chequeo Técnica Delphi Análisis primario de riesgo FMEA(Análisis de Modo de fallas y efectos) FTA (Análisis de Árbol de Fallas) ETA (Análisis del árbol de eventos) LOPA (Análisis de Capas de Protección) BTA (Análisis de Corbatín) Análisis de Causas Principales Estudio de operatividad y peligro HAZOP

		<p>Análisis de peligros y puntos críticos HACCP Evaluación del ambiente del riesgo Estructura – Que pasa si? Análisis de escenario Perfil del Riesgo Análisis de causa efecto Análisis de confiabilidad humana Confiabilidad centrada en mantenimiento Matriz de consecuencia y probabilidad</p>
		<p>Evaluación de probabilidad e impacto Matriz de probabilidad e impacto Evaluación de calidad de la información Categorización del riesgo Evaluación urgente de riesgo Juicio de expertos Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) Evaluación del ambiente de riesgo Estructura - Que pasa si? (SWIFT) Confiabilidad centrada en mantenimiento Técnicas de recolección y representación de información (entrevistas)</p>
	Análisis cualitativo Análisis cualitativo	<p>Análisis cuantitativo y técnicas de modelado (distribuciones de probabilidad, análisis de sensibilidad, análisis de valor monetario esperado) Juicio de expertos Simulación de Monte Carlo Estadísticas de Bayesiana y Redes de Bayes Curvas FN Lógica difusa Índices de riesgo Valor esperado PDRI (Índice de definición del proyecto) Árbol de probabilidad</p>
RESPUESTA	Respuesta a los riesgos	<p>Estrategia para riesgos negativos (evitar, transferir, mitigar, aceptar) Estrategia para riesgos positivos (explotar, mejorar, compartir, aceptar) Juicio de expertos</p>
SEGUIMIENTO Y CONTROL	Controlar los riesgos	<p>Revaluación del riesgo Auditoría a los riesgos Análisis de tendencia y variación (valor ganado) Técnica de medida del desempeño Análisis de reserva (reserva Vs riesgo remanente) Reuniones</p>

Nota: Adaptado de Rodrigues-da-Silva (2014). The project risk management process.

Las herramientas mostradas en este estudio, se encuentran categorizadas según su nivel de utilización y sirven como un marco de referencia a las que se podrían llegar a utilizar en la ejecución de un proyecto de construcción, dado que esta investigación estuvo enfocada en definir las herramientas que podrían llegar a ser utilizadas según la fase del proceso de gestión de riesgos en la que se estuviera el proyecto.

Debido a la cantidad de proyectos de construcción que no logran su objetivo final o simplemente sobrepasan tiempo y costo, la gestión de riesgos es indispensable desde la planeación del proyecto ya que su objetivo es añadir valor sostenible a todas las actividades en la empresa de construcción, y ayuda a mitigar las causas que no permiten alcanzar los objetivos propuestos en los proyectos. Según cifras de “The Standish Group” en su reporte Chaos Report (2015) donde se estudiaron 50.000 proyectos de todo el mundo, los cuales van desde pequeñas mejoras a mega proyectos de re-ingeniería, se obtiene que el porcentaje de proyectos exitosos en los últimos 5 años (ver tabla 13) en promedio es de 28,8% de proyectos terminados satisfactoriamente, calificando como satisfactorios aquellos proyectos que alcanzan sus objetivos a tiempo y dentro del presupuesto. Igualmente, el reporte revela que en cinco años los porcentajes no han mejorado ya que para el año 2011 el 29% de proyectos fueron exitosos y para el año 2015 el porcentaje es el mismo, pero si hay una variación entre los proyectos que fueron totalmente fallidos durante estos dos años, en el 2011 un 22% y para el año 2015 un 19% esto debido a la aplicación de buenas prácticas en materia de gestión de riesgos.

Tabla 14.

Resolución Moderna para Proyectos.

Año	2011	2012	2013	2014	2015
Exitoso	29%	27%	31%	28%	29%
Diseño Cambiado	49%	56%	50%	50%	52%
Fallido	22%	17%	19%	19%	19%

Nota: Adaptado de The Standish Group Chaos (2015).

Estos resultados confirman que, para realizar una adecuada gestión sobre los proyectos, se debe efectuar una excelente gestión del riesgo desde la planeación del proyecto. Además, tener técnicas y herramientas bien definidas para alcanzar los objetivos propuestos. A continuación, se mencionan las técnicas de gestión de riesgos más utilizadas en proyectos de construcción:

Tabla 15.

Resolución de problemas por tamaño del Proyecto.

Tamaño	Exitoso	Diseño cambiado	Fallido
Grandioso	2%	9%	17%
Grande	6%	17%	24%
Mediano	9%	26%	31%
Moderado	21%	32%	17%
Pequeño Total	62%	16%	11%
	100%	100%	100%

Nota: Adaptado de The Standish Group Chaos (2015).

Estos resultados confirman que para una gestión de riesgo exitosa se debe tener técnicas y herramientas bien definidas para poder realizar una adecuada gestión sobre los proyectos, se debe

realizar una excelente gestión del riesgo desde la planeación del proyecto con el fin de lograr alcanzar los objetivos propuestos. A continuación se mencionan las técnicas de gestión de riesgos más utilizadas y que son tendencia en proyectos de construcción:

El Árbol de eventos (ETA) es uno de los pocos estudios importantes sobre las aplicaciones a los riesgos de construcción (Hadipriono, Lim, & Wong, 1986). Muestra una secuencia de opciones conocidas (una serie de alternativas) y sus posibles resultados gráficamente en forma de árbol de tal manera que el tomador de decisiones puede identificar las mejores alternativas que permitan alcanzar los objetivos del proyecto. (Thompson & Perry, 1979). Proponen un nuevo enfoque para la evaluación de riesgos y para la incorporación de incertidumbres, ya que en pocos casos se consideran las condiciones del lugar y características de la construcción, en esta metodología se incorporan las características actuales, las condiciones del sitio y de la construcción. Hadipriono (1986) introdujo análisis de árbol de eventos (ETA) para identificar los eventos que causan fallas de estructuras temporales para evitar sus fallos durante la construcción. Fujino (1994) ha demostrado la aplicabilidad del análisis del árbol de eventos (ETA) para algunos estudios de casos de accidentes en obras de construcción en Japón.

La incertidumbre se refiere a la cuantificación explícita de probabilidades y consecuencias potenciales basándose en toda la información disponible sobre los riesgos que se traten. En los proyectos de construcción, sin embargo, las incertidumbres de los eventos de riesgo pueden ser atribuidas a la aleatoriedad inherente a la naturaleza y a la falta de suficientes datos relacionados con las posibilidades de su ocurrencia y a las consecuencias potenciales. Como resultado de estas incertidumbres, los riesgos no se pueden predecir con certeza (Cho, Choi, & Kim, 2002).

La metodología ETA o árbol de eventos hace referencia en la causa inicial del suceso iniciador a los efectos finales del evento. Cada rama de un árbol de eventos representa un efecto separado

(secuencia de eventos) que es un conjunto de relaciones funcionales claramente definidas. ETA ofrece una manera precisa de grabación de las secuencias de accidentes y la definición de las relaciones entre el suceso iniciador y los eventos sub-secuentes que tienen que combinarse con el resultado de un accidente (Cho, Choi, & Kim, 2002). Por lo tanto, el árbol de eventos ETA es una forma modificada de los árboles de decisión utilizados tradicionalmente en aplicaciones de negocio, y se adoptó para proyectos de construcción (Al-Bahar, 1988).

En general, el procedimiento de ETA se puede resumir de la siguiente forma (Cho, Choi, & Kim, 2002):

- Identificar el suceso iniciador que permite eventos de interés.
- Construir las ramas o acontecimientos posteriores.
- Realizar un análisis cuantitativo (evaluar la probabilidad de ocurrencia de cada ruta) de la ruta de árbol de eventos mediante el uso de técnicas de análisis de probabilidad.
- Evaluar el riesgo de cada ruta como el producto de la pérdida económica y probabilidad de ocurrencia. La probabilidad de ocurrencia de un camino específico se puede obtener multiplicando las probabilidades de todos los acontecimientos posteriores existentes en un camino y finalmente, la sumatoria de cada ruta resultará en el riesgo total.

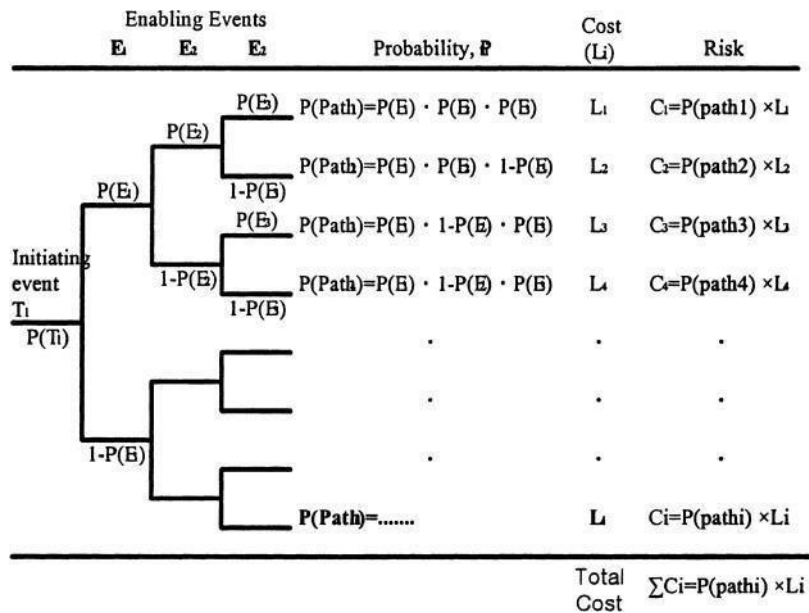


Figura 15. Árbol de Eventos (ETA). Adaptado de H. Cho, H. Choi, and Y. Kim (2002).

La etapa de diseño, ETA se utiliza para verificar el criterio para mejorar el rendimiento del sistema; para obtener fundamentada información mental de las operaciones y la gestión de las pruebas e identificar métodos útiles para proteger un sistema de fracaso. Es aplicable no sólo a diseño, construcción, y las etapas de funcionamiento, sino también para el cambio de la operación y el análisis de las causas de accidentes (Ang & Tang, 1984).

Dos técnicas bien conocidas de identificación y análisis de riesgos son el Análisis de Modo de Falla y Efectos (FMEA) y el Árbol de Fallas (FTA). Estos pueden ser utilizados para evaluar el riesgo en cualquier etapa del proyecto. Sin embargo, su utilidad suele ser limitada en las primeras etapas cuando los detalles del proyecto son en gran parte desconocidos. En general, muchas técnicas para la identificación de riesgos requieren un conocimiento profundo de los proyectos anteriores y se basan en análisis retrospectivos por parte de expertos en la materia. El desarrollo de técnicas más predictivas de identificación de riesgos podría proporcionar una tremenda visión a los directores de proyecto (Teoh, 2004).

El análisis del riesgo en proyectos de construcción ha sido un tema debatido por los investigadores en gerenciamiento de proyectos porque han evidenciado la importancia de efectuar un estudio por la gran variedad de riesgos que se encuentran presentes en su realización. La aplicación de la lógica difusa en proyectos de construcción proporciona una herramienta para manejar las incertidumbres y las subjetividades que surgen en el proceso de construcción (Zeng, An, & Smith, 2007), El principal inconveniente que han tenido, es que los expertos no cuentan con una valoración exacta para estos eventos inciertos, es decir, sus juicios son ambiguos y no conocen de herramientas para cuantificar estas evaluaciones. Para dar solución a esta necesidad, se han desarrollado metodologías de evaluación de riesgos en donde se emplea la lógica difusa para considerar el juicio de los expertos en su lenguaje natural. Los datos se pueden definir en términos lingüísticos, estos términos no pueden ser definidos de manera significativa con un valor único preciso, pero esta teoría proporciona los medios por los que estos términos puedan ser definidos formalmente en la lógica matemática y así cuantifican el nivel de riesgo (Zadeh, 1965).

El análisis de riesgos de la construcción es complicado, especialmente en las primeras etapas del proyecto, debido a que el riesgo es por lo general afectado por numerosos factores incluyendo error humano, los datos y la información disponible (Torno GM, 2002). La metodología incorpora los conocimientos y la experiencia adquirida de muchos expertos, que llevan a cabo la identificación de los riesgos y su estructuración, así como los juicios subjetivos de los parámetros que se consideran para evaluar el factor de riesgo global: impacto del riesgo, la probabilidad de riesgo y discriminación del riesgo. Todos estos factores se expresan por escalas cualitativas que se definen por números difusos trapezoidales para capturar la imprecisión en las variables lingüísticas (Nieto-Morote & Ruz-vila, 2011).

También, se llevaron a cabo varios estudios anteriores sobre la evaluación de riesgos de los proyectos de construcción y la prevención de errores utilizando enfoques difusos. Blockley (1975) hizo un estudio de seguridad en ingeniería estructural e introdujo conceptos difusos para el análisis de las causas de los accidentes estructurales. Brown (1980) utiliza un proceso de construcción en el que las probabilidades objetivas se alteran a una medida difusa con base a la información subjetiva. Lee y Halpin (2003) desarrollaron una herramienta de software para trabajar con datos de expertos en materia de seguridad y salud en el trabajo utilizando un enfoque de lógica difusa. Yao (1980) utiliza conjuntos difusos para evaluar el daño sísmico de estructuras. Además, Cui y Blockley (1990) aplicaron la teoría del intervalo de probabilidad (IPT) con enfoques difusos, para la evaluación de los elementos de acero, su corrosión y dañado.

En 2007, Zeng, An y Smith, crean una metodología cuyo resultado es la cuantificación de la magnitud total de los riesgos, por medio de un sistema tradicional de lógica difusa, en donde existe una base de conocimiento formada por reglas difusas, un motor de inferencia y una interface que genera el valor de la magnitud. La metodología empleada inicia con el establecimiento de un grupo de valoración de riesgo en donde cada miembro, posee experticia en alguna actividad relacionada en la ejecución de proyectos de construcción. A estos se les asigna un factor de contribución, dependiendo del impacto de su decisión en el proyecto. Se definen las etiquetas lingüísticas para que los expertos puedan hacer la evaluación a los riesgos identificados y clasificados según los factores involucrados; llevados a una estructura jerárquica, se procede a calcular los pesos a cada riesgo, que permitirá la priorización de estos.

En el año 2011, Idrus, Fadhil y Rohman, desarrollaron un sistema experto basado en lógica difusa como método para evaluar el nivel del riesgo por medio de la estimación del costo de contingencia del proyecto utilizando el juicio subjetivo del contratista. Este costo de contingencia

se refiere a la función del nivel de los factores de riesgo identificados denominado como magnitud del riesgo (RM). RM se mide en dos variables de riesgo, probabilidad de riesgo y gravedad del riesgo. Otro criterio mencionado es Riesgo Mayor (MR) que es usado para clasificar RM y se puede representar como la sumatoria de RM. Una vez identificados y clasificados los riesgos, se construyen las funciones de pertenencia que evaluarán los riesgos. El siguiente paso corresponde a la especificación de las reglas base que componen el proceso racional del sistema difuso. Con los anteriores pasos realizados (ver figura 16), se puede llevar a cabo la inferencia difusa en este caso utilizando la inferencia que emplea la implicación MIN y la agregación MAX. El valor generado corresponde al costo de contingencia. El modelo fue realizado en la herramienta de Matlab para lógica difusa y fue ejecutado haciendo cambios en las funciones de pertenencia para así demostrar que es aceptable.

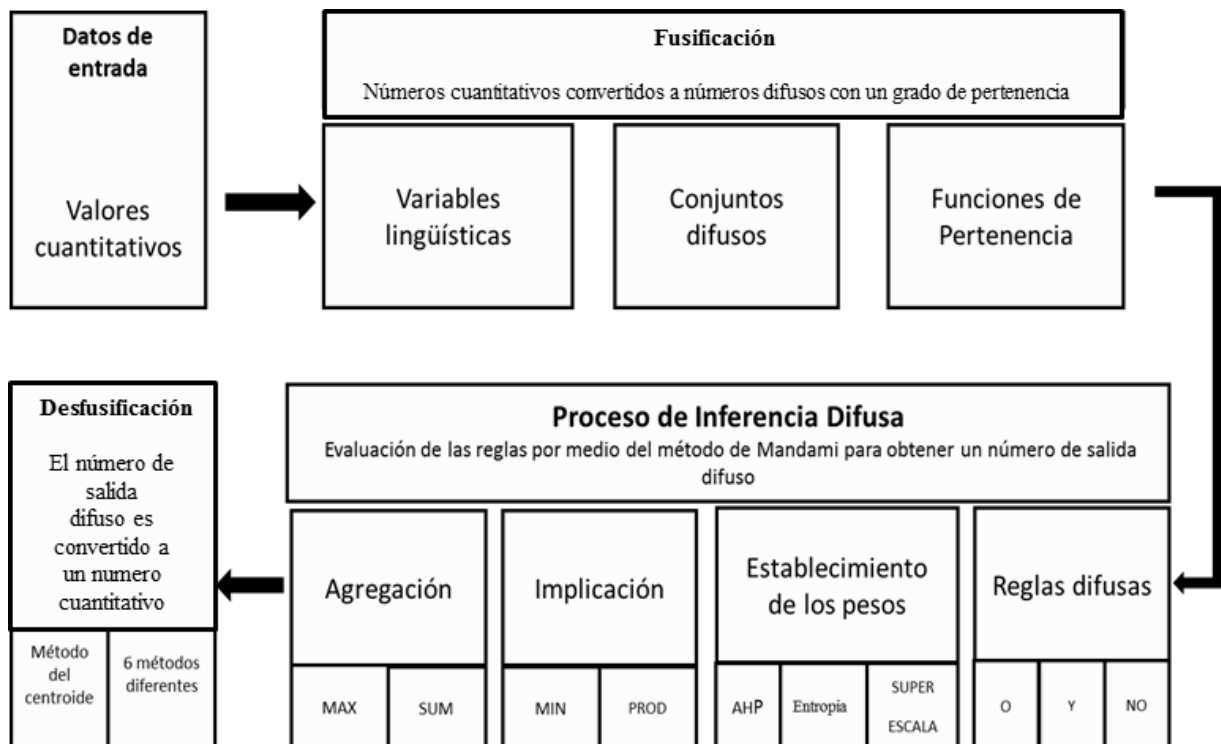


Figura 16. Metodología de la lógica difusa. Adaptado de Klir J. George (1995).

Debido al elevado costo que implica tomar acciones para reducir las amenazas en los objetivos de proyectos de construcción, Nieto-Morote y Ruz- Vila en el año 2011, desarrollaron una herramienta, que soporta el proceso de priorización de riesgos utilizando variables lingüísticas que permiten trabajar con la incertidumbre y con las evaluaciones vagas que puedan dar los expertos. Esta herramienta ayuda al mejoramiento en la ejecución del proyecto, puesto que las acciones se enfocan en los riesgos de mayor prioridad. Para este modelo, el establecimiento de un grupo de valoración de riesgos, es de vital importancia. Cada miembro es experto en un área específica en la ejecución de proyectos de construcción, para que estos puedan participar en cada fase del modelo planteado. Para ello, se llevó a cabo la fase de identificación y construcción de la estructura jerárquica de los riesgos, que permitió organizar por medio de grupos las características en común.

La siguiente fase es la evaluación de los riesgos utilizando parámetros que emplean variables lingüísticas que pueden manejar el lenguaje ambiguo de los expertos. Estos parámetros son el impacto del riesgo, la probabilidad de riesgo y la discriminación del riesgo. El Impacto del Riesgo investiga los efectos potenciales del riesgo en un objetivo del proyecto tal como programación, costos, calidad, etc. La probabilidad de riesgo mide el porcentaje de posibilidad de que el riesgo evaluado ocurra. La discriminación del riesgo provee una perspectiva adicional porque mide el impacto del riesgo en toda la estructura del proyecto. Para conocer el número difuso para discriminación del riesgo se realizan juicios comparativos dentro del mismo nivel de jerarquía y se va haciendo agregación de valores desde los niveles bajos de la jerarquía hasta los más altos. Estos tres parámetros generan un valor para cada riesgo al que después de aplicar el método de Centro de Masa da como resultado un valor numérico exacto para cada riesgo y los valores más altos, son los que afectan en mayor proporción los objetivos del proyecto.

Khazaeni, Khanzadi y Afshar en el año 2012, desarrollan un método cuyo objetivo principal es abordar cuantitativamente la asignación de los riesgos en la industria de la construcción. Fundamentado en el método del proceso analítico jerárquico difuso, intentando introducir un modelo numérico para identificar la más apropiada división para soportar un riesgo con la menor contingencia. Este procedimiento permite transferir la responsabilidad a aquellas partes que pueden manejar de forma más efectiva el riesgo. Entonces los criterios lingüísticos, el conocimiento cualitativo de expertos por medio de la técnica delphi y la teoría de conjuntos difusos que permite la cuantificación del lenguaje natural de los expertos, serán los componentes esenciales del proceso de asignación de riesgos.

En el año 2013, Kuo y Lu emplean nuevas herramientas como toma de decisión con múltiples criterios difusos para evaluar los riesgos, relaciones de preferencia difusa consistentes para medir e investigar el impacto relativo de los riesgos en la ejecución del proyecto y la puntuación directa de diversos atributos difusos para analizar la probabilidad de ocurrencia de múltiples factores de riesgo. Los riesgos son identificados y llevados a una estructura jerárquica, para evaluar su probabilidad de ocurrencia, empleando números difusos para este caso triangulares, variables lingüísticas para que los expertos puedan usar su lenguaje natural. Con estos valores conseguidos, se efectúan operaciones matriciales que llevarán a cada riesgo a un valor, que luego se ordenará de mayor a menor, para saber que riesgos son más importantes o afectan en mayor medida a los objetivos del proyecto.

La aplicación de esta metodología de lógica difusa en la evaluación de riesgos para el caso de un proyecto de rehabilitación de una construcción en la Universidad de Cartagena lleva a las siguientes conclusiones (Nieto-morote and Ruz-vila, 2011): El costo del proceso de desarrollo de las acciones para reducir las amenazas a los objetivos del proyecto es muy alta. Por esta razón, es

crucial una mejora en el proceso de priorización de riesgos, pues el desempeño del proyecto es posible cuando las acciones de las respuestas a los riesgos del plan, se centran en los riesgos de alta prioridad que deben centrarse fundamentalmente en la falta de un proceso adecuado, los miembros del equipo sin experiencia, error de diseño y el retraso en el suministro. Estos datos demuestran que el equipo de gestión de proyectos debe prestar especial atención a la composición del grupo de evaluación de riesgos y sus actividades.

Un ejemplo de un caso de evaluación de riesgos en la construcción es presentado por Zeng y Smith (2007) en el que un equipo de gestión de riesgos del proyecto está formado para gestionar los riesgos en la construcción de un centro comercial. De acuerdo con el programa de construcción, el montaje de acero de la superestructura es identificado como un evento crítico para cumplir el objetivo de la duración. Por lo tanto, el tiempo de desbordamiento del trabajo de construcción en acero es identificado como un riesgo importante necesario para ser evaluado para asegurar el éxito del proyecto. Al revisar el proceso de evaluación, en el resultado final la magnitud de riesgo general es 5.0260 bajo el sistema de escala definida, se encontró fiable y ese resultado proporciona al equipo del proyecto de gestión de riesgos una información valiosa para la toma de decisiones de respuesta al riesgo.

La metodología desarrollada es aplicable al problema de evaluación de riesgos en proyectos de construcción en la que se necesita una clasificación de riesgos, las ventajas de aplicar lógica difusa en proyectos de construcción se pueden resumir en: (1) Puede manejar el conocimiento experto, los criterios de ingeniería y los datos históricos para la evaluación del riesgo de una manera coherente; (2) el riesgo se puede evaluar directamente con el uso de términos lingüísticos que se emplean en la evaluación de riesgos; y (3) la introducción de la lógica difusa permite tomar las decisiones para llevar a cabo un análisis de riesgos del entorno a la construcción de manera que se

puede obtener un resultado más fiable (Nieto-morote and Ruz-vila, 2011), el método proporciona una forma sencilla y eficaz para los problemas de evaluación del riesgo que implican el modelado de evaluaciones subjetivas de los miembros del grupo de evaluación de riesgos.

En todo proyecto, se presenta la incertidumbre, los gerentes de proyectos se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto tiempo tomará el proyecto?
- ¿Cuál será el costo total del proyecto?

Pero, antes que un proyecto comience y mientras se está desarrollando, ninguna de las preguntas anteriores puede ser respondida, y los gerentes de proyectos y los clientes están preocupados con la incertidumbre de las respuestas y el impacto de las posibles desviaciones. Un proyecto de construcción en su ejecución está sujeto a factores que tienden a alterar la duración de las actividades que la componen, estos factores pueden ser internos (faltas en el personal, bajo rendimiento) y factores externos como alteraciones climáticas y falla en el suministro de los materiales. Dichos factores son difíciles de predecir por el gerente del proyecto, lo cual ocasiona que se tenga un alto grado de incertidumbre en lo que respecta a la determinación de los tiempos de duración de cada una de las actividades del proyecto lo cual impacta directamente en el costo total del mismo. Se han aplicado distintas técnicas de programación para determinar los tiempos de ejecución de cada una de las actividades de una obra civil, entre ellas, las más usuales: PERT y Simulación de Monte Carlo siendo esta última la más utilizada en el análisis de riesgos en proyectos de construcción.

Yauri (2012) estableció que, para implementar la simulación de Monte Carlo en su estado puro, la cual está fundamentada en la generación de números aleatorios, se deben seguir los siguientes pasos:

- Determinar las variables aleatorias y sus distribuciones.
- Iterar tantas veces como sean necesarias:
 - Generar un número aleatorio.
 - Uniforme [0,1].
 - Determinar el valor para el número aleatorio generado de acuerdo al rango o clases que se especifiquen.
- Calcular media, desviación estándar o métodos estadísticos comparables.
- Analizar los resultados.

David M. Wall (2004) dice: “El uso de la simulación Monte Carlo en los análisis de costos de construcción es de gran importancia”. También el mismo David M. Wall recalca que los profesionales de la construcción han incrementado su interés en las técnicas apropiadas del análisis de riesgos. Flanagan y Norman (1993) y Raftery (1994), introducen a los métodos analíticos de análisis de riesgos la simulación Monte Carlo. Los autores ven este método como el apropiado para el uso en el sector de la construcción y lo consideran como una herramienta poderosa para el análisis de riesgos asociados con la estimación de los costos de proyectos.

El Análisis de Monte Carlo es un método cuantitativo para el desarrollo de análisis de riesgos (Flanagan & Norman, Risk Management and Construction, 1993). Consiste en generar un número determinado de posibles escenarios mediante un software, presentando una serie de gráficos de probabilidad que sirven para el análisis y la toma de decisiones. Los usos más comunes son la estimación de costos y de tiempos. El uso de este método de probabilidad se obtiene mediante la realización de una serie de iteraciones, dependiendo del grado de confianza requerido, exige la cuantificación de la probabilidad de ocurrencia y distribución de probabilidad de los factores de

riesgo antes de que los procedimientos que intervienen en los cálculos puedan llevarse a cabo. (Flanagan & Norman, 1993).

Nasir et al. (2003) desarrollaron un método para ayudar en la determinación de los valores de duración de la actividad de la construcción inferior y superior para el análisis de riesgos del cronograma por simulación Monte Carlo. Según Seila, A.F. (2001) la simulación Monte Carlo en proyectos crea un modelo matemático del sistema, en el proceso de riesgos en la construcción, identificando aquellas variables (entradas del modelo) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Una vez identificados dichas entradas o variables aleatorias, se lleva a cabo un experimento consistente en generar, con ayuda del ordenador, muestras aleatorias (valores concretos) para dichas entradas, y analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir n veces este experimento, se dispondrán de n observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo, el análisis será tanto más preciso cuanto mayor sea el número n de experimentos que se lleven a cabo.

Por otro lado, Conley William (2007) hace énfasis de que la importancia de la simulación en este siglo XXI no puede subestimarse, así mismo, la optimización es de vital importancia en la construcción. Este campo suele requerir el análisis de conjuntos de datos para ver si las variables están correlacionadas y si dichos datos pueden ser utilizados en la predicción. El método Monte Carlo es muy adecuado para utilizarlo en estos análisis, sobre todo porque se adecúa perfectamente a proyectos de construcción.

El primero en aplicar la técnica de Monte Carlo a la planificación de proyectos fue (McGo wan 1964). Recomienda su utilización diciendo: “Debería utilizarse la simulación en cualquier

proyecto grande o complejo, ya que las técnicas de análisis matemático tradicionales no toman en cuenta la duración del proyecto”.

La literatura apunta al hecho de que el diagnosticar y explicar los procesos de identificación y análisis de riesgos es un paso previo a la introducción de mecanismos sistémicos y formales de gestión de riesgos (Sábada et al, 2014). A partir de este paso, los planes y las acciones se pueden desarrollar para mejorar la gestión del proceso de diseño y el diseño de los proyectos, con una mejor definición del objetivo de las actividades del proyecto y la introducción de métodos y herramientas de coordinación que reduzcan la incertidumbre especialmente en lo relativo a costos, plazos y el alcance de los proyectos (Cho; Gibson, 2001). Otras investigaciones sugieren que la forma en que los riesgos están identificados en las primeras etapas de los proyectos tendrá un gran impacto en cómo van a ser mitigados y monitoreados en la fase de construcción y operación (Chapman, 2001).

El PDRI (Project Definition Rating Index- Índice de definición del proyecto) se configura como una herramienta para evaluar el nivel de detalle (o nivel de la configuración de actividades del proceso de diseño) se identifican y se describen los elementos críticos que afectan el nivel de riesgo, con el fin de mejorar los procesos de diseño de las empresas de construcción, introduciendo mecanismos de gestión del riesgo en una etapa temprana de proyectos de construcción (Cho, Furman, & Gibson, 1999). El Instituto de la Industria de la Construcción (C.I.I – Construction Industry Institute), ha desarrollado con base a múltiples experiencias de ejecución en proyectos, la metodología PDRI, para evaluar los proyectos y anticipar riesgos en su ejecución (Instituto de la Industria de la Construcción, 2008).

El entorno competitivo de la industria de la construcción conduce a un creciente interés en mejores resultados en términos de garantía de calidad de las construcciones. Están asociadas con

la mejora de la etapa de diseño, el rendimiento de las ganancias, dimensión, importancia, así como garantizar los tiempos y costos de entrega de proyectos (Roberto and Andery 2015). Prins y Owen en el año 2010 hacen énfasis en la aplicación de procedimientos sistémicos, con o sin los sistemas de gestión de la calidad, que van desde la fase de diseño para la elaboración de presupuestos y planificación de las operaciones en obras de construcción, es decir, las actividades de "trabajo previo". Finalmente, El PDRI es importante para evaluar el grado de madurez de la fase de diseño y desarrollo de proyectos, así como aclarar los mecanismos y tratamiento de riesgos o que se pueden implementar de identificación existente, ya que el esfuerzo para mejorar el proceso de diseño afecta directamente en reducir el nivel de incertidumbre y riesgo durante todo el ciclo de vida del proyecto (Marques et al Andery, 2013). Se establece una clasificación de tres tipos de PDRI, para diferentes clases de proyectos cada uno se divide en secciones, categorías y elementos (Cho, Furman, & Gibson, 1999):

Tabla 16.

Tipos de PDRI

PDRI	Infraestructura	Construcción	Industria
Secciones	3	3	3
Categorías	13	11	15
Elementos	68	64	70

Nota: Adaptado de Cho, J. Furman, y GE Gibson, (1999). Desarrollo de la Clasificación Definición del Índice de Proyecto (PDRI) para proyectos de construcción.

Estructura del PDRI (Instituto de la Industria de la Construcción, 2008).

- Sección 1. Bases de decisión del proyecto.
- Sección 2. Bases de diseño del proyecto.

- Sección 3. Enfoque en la ejecución.

Para Proyectos de construcción las Secciones se dividen en 11 categorías. Las categorías se dividen a su vez en 64 elementos. Cada elemento se pondera en función de su importancia (Gibson & Dumont, June 1996). Los elementos se describen de forma individual en las hojas de puntuación (Ver tabla 16). Los elementos deben tener una calificación numérica de 0 a 5 y debe ser realizada por un equipo familiarizado con el proceso. Los niveles se definen de la siguiente forma (Alignment, August 1997):

Tabla 17.

Niveles de Definición PDRI

Nivel	Concepto para clasificación
0	No aplica para el proyecto
1	Definición completa del proyecto
2	Deficiencias Menores
3	Algunas deficiencias Deficiencias
4	Mayores
5	Definición Incompleta del proyecto

Nota: Adaptado de Pre-Project Planning: Beginning a Project (1994). Construction Industry Institute.

La aplicación del PDRI se relaciona con el nivel de riesgo y el fracaso del proyecto, traducido en términos de aumento de los costos y/o fecha límite de ejecución, la herramienta permite dar prioridad a las actividades que necesitan un mejor nivel de definición o de detalle (Alignment Handbook, December 1997) sirviendo de apoyo a los líderes de proyectos en la evaluación de la calidad y completitud de la definición del alcance y planificación de proyectos, contribuyendo así a la toma de decisiones en sus primeras fases. Una lista de elementos PDRI (Tabla 17) con sus

respectivos pesos en un total de 1.000 puntos que corresponde a la peor situación posible, es decir, la máxima exposición al riesgo. Cuanto menor sea la puntuación de los elementos, menor es la puntuación total, lo que significa una mejor definición del proyecto y una menor exposición al riesgo (Gibson & Dumont, June 1996). (Una puntuación PDRI de 200 o menos aumenta en gran medida la probabilidad de éxito del proyecto).

Tabla 18.

Hojas de Puntuación del Proyecto PDRI

SECCIÓN I - DECISIÓN DEL PROYECTO						
CATEGORÍA	Nivel definición					Puntuación
Elemento	0	1	2	3	4	5
A. ESTRATEGIA DE NEGOCIO (Máximo = 214)						
A1. Uso del edificio	0	1	1	2	3	4
A2. Justificación del negocio	0	1	8	1	2	2
A3. Plan de negocios	0	2	8	1	2	2
A4. Análisis Económico	0	2	6	1	1	2
A5. Requisitos de las instalaciones	0	2	9	1	2	3
A6. Consideraciones futuras de expansión / Alteración	0	1	7	1	1	2
A7. Consideraciones de selección de sitio	0	1	8	1	2	2
A8. Declaración de Objetivos del Proyecto	0	1	4	8	1	1
CATEGORÍA TOTAL A						
B. FILOSOFÍAS DEL PROPIETARIO (máximo = 68)						
B1. Filosofía de fiabilidad	0	1	5	1	1	1
B2. Filosofía de mantenimiento	0	1	5	9	1	1
B3. La filosofía de operación	0	1	5	8	1	1
B4. Filosofía de diseño	0	1	6	1	1	1
CATEGORÍA TOTAL B						
C. REQUISITOS DEL PROYECTO (máximo = 131)						
C1. Proceso de análisis del valor	0	1	6	1	1	1
C2. Criterios de diseño del proyecto	0	1	7	1	1	2
C3. Evaluación de las instalaciones existentes	0	2	7	1	1	2

C4. Ámbito de trabajo general	0	1	5	9	1	1
C5. Cronograma del proyecto	0	2	6	1	1	2
C6. Estimación de Costos del Proyecto	0	2	8	1	2	2

CATEGORÍA TOTAL C

Sección I Puntuación máxima = 413 SECCIÓN I

TOTAL SECCION I

SECCIÓN II - DISEÑO DEL PROYECTO						
CATEGORÍA	Nivel definición					Puntuación
Elemento	0	1	2	3	4	5

D. INFORMACIÓN DEL SITIO (máxima = 108)

D1. Plano del sitio	0	1	4	7	1	1
D2. Estudios de sitio	0	1	4	8	1	1
D3. Información Civil / Geotécnica	0	2	6	1	1	1
D4. Que regula los requisitos regulatorios	0	1	4	8	1	1
D5. Evaluación ambiental	0	1	5	9	1	1
D6. Fuentes de utilidad con las condiciones de oferta	0	1	4	7	1	1
D7. Consideraciones de seguridad del sitio Vida	0	1	2	4	6	8
D8. Agua especial y Tratamiento de Residuos	0	1	3	6	8	1

CATEGORÍA TOTAL D

E. PROGRAMACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN (Máximo = 162)

E1. Declaración del programa	0	1	5	9	1	1
E2. Creación de listas espacio Resumen	0	1	6	1	1	2
E3. Esquemas generales de adyacencia	0	1	3	6	8	1
E4. Diagramas de apilamiento	0	1	4	7	1	1
E5. Crecimiento y desarrollo por fases	0	1	5	8	1	1
E6. La circulación y los requisitos de espacio abierto	0	1	4	7	1	1
E7. Funcional diagramas de relación / cuarto por cuarto	0	1	3	5	8	1
E8. Carga / descarga / instalaciones de almacenamiento	0	1	2	4	6	8

E9. Requisitos de transporte	0	1	3	5	7	9
E10. Acabados de construcción	0	1	5	8	1	1
E11. Hojas de Datos de habitaciones	0	1	4	7	1	1
E12. Muebles y artículos	0	1	4	8	1	1
E13. Tratamiento de la ventana	0	0	2	3	4	5

CATEGORÍA TOTAL E

F. CONSTRUCCIÓN / PROYECTO PARÁMETROS DE DISEÑO (Máximo = 122)

F1. Civil / Diseño del Sitio	0	1	4	7	1	1
F2. Diseño arquitectónico	0	1	7	1	1	2
F3. Diseño estructural	0	1	5	9	1	1
F4. Diseño mecánico	0	2	6	1	1	2
F5. Diseño Eléctrico	0	1	5	8	1	1
F6. Requisitos de seguridad de la construcción Vida	0	1	3	5	8	1
F7. Análisis de factibilidad de construcción	0	1	4	8	1	1
F8. La sofisticación tecnológica	0	1	3	5	7	9

CATEGORÍA TOTAL F

G. EQUIPO (máximo = 36)

G1. Lista de equipo	0	1	5	8	12	15
G2. Ubicación del Equipo	0	1	3	5	8	10
G3. Requisitos de Utilidad equipos	0	1	4	6	9	11

CATEGORÍA TOTAL G

Sección II Puntuación máxima = 428 SECCIÓN II

TOTAL SECCION II

SECCIÓN III - EJECUCIÓN						
CATEGORÍA	Nivel definición					Puntuación
Elemento	0	1	2	3	4	5

H. LA ADQUISICION DE ESTRATEGIA (máximo = 25)

H1. Identificar Equipo y materiales	0	1	4	7	1	1
H2. Procedimientos de Contratación y Planes	0	1	3	6	9	1
CATEGORÍA TOTAL DE H						
J. DOCUMENTACIÓN (máximo = 11)						
J1. Requisitos CAD / Modelo	0	0	1	2	3	4
J2. Documentación / entregables	0	1	2	4	6	7
CATEGORÍA TOTAL DE J						
K. CONTROL DEL PROYECTO (máximo = 63)						
K1. Proyecto de Garantía y Control de Calidad	0	1	3	4	6	8
K2. Control de Costes del Proyecto	0	1	4	7	1	1
K3. Control de Horarios proyecto	0	1	4	8	1	1
K4. Gestión de riesgos	0	1	6	1	1	1
K5. Procedimientos de seguridad	0	1	3	5	7	9
CATEGORÍA TOTAL DE K						
L. PLAN DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO (máximo = 60)						
L1. Organización del proyecto	0	1	3	5	8	1
L2. Requisitos de la aprobación del propietario	0	1	4	6	9	1
L3. Envío del Método Proyecto	0	1	5	8	1	1
L4. Diseño / Plan de construcción y Enfoque	0	1	4	8	1	1
L5. Requisitos terminación sustancial	0	1	3	5	7	9
CATEGORÍA TOTAL DE L						
Sección III Puntuación máxima = 159 SECCIÓN III	TOTAL SECCION III					
PDRI Puntuación máxima = 1000 PDRI TOTALES	PUNTUACIÓN FINAL					

Nota: Adaptado de Pre-Project Planning: Beginning a Project (1994). Construction Industry Institute.

De este modo, se establece una jerarquía de actividades en función de su impacto en términos de riesgo. Una comparación de los pesos nos permite identificar cuales actividades tienen el mayor

impacto en la gestión de riesgos. La planificación de proyectos temprana mejora el rendimiento del proyecto en términos de coste y el calendario (Project Definition Rating Index, 1999). La mayoría de los participantes de la industria reconocen la importancia de la definición del alcance durante las primeras etapas de un proyecto y su potencial impacto en el éxito del proyecto (Definición del Proyecto clasificación del Índice de Proyectos Industriales, 1996). Sin embargo, en la industria de la construcción ha faltado un método práctico, para la determinación del grado de desarrollo de alcance en un proyecto. El PDRI para proyectos de construcción es la primera herramienta a disposición del público de este tipo en este sector (Manual de Planificación Pre-Proyecto, 1995) el cual, permite que un equipo de planificación de proyectos pueda cuantificar, calificar y evaluar el nivel de alcance del proyecto antes de comenzar el desarrollo de la construcción. El PDRI se debe utilizar mínimo dos veces durante la planificación del proyecto (Herramientas de planificación pre-proyecto, 1997)

El PDRI es rápido y fácil de usar. Es una herramienta de "mejores prácticas" que proporcionará numerosos beneficios a la industria de la construcción (Gibson & Dumont, 1996). Los resultados después de aplicar el PDRI apuntan al hecho de que las empresas no tienen mecanismos adecuados para la gestión de riesgos en la fase de diseño, y estos mecanismos se concentran principalmente en la etapa de análisis de la viabilidad económica de los proyectos. La explicación de las acciones involucradas en la gestión de riesgos, puede ser un primer paso para que las empresas implementen modelos de gestión del riesgo en las primeras etapas de desarrollo. En general, las empresas no hacen presupuestos o trabajos de planificación teniendo en cuenta las tasas históricas de la productividad, lo que implica el aumento de la incertidumbre y el riesgo. Esto quiere decir que, la falta de integración entre el diseño, construcción y ejecución de obras, genera imprecisiones e incluso errores en los presupuestos y horarios físicos y financieros, que pueden traer más

incertidumbre en el proceso de planificación de la ejecución. Weinstein et al. (2005) demostró que la prevención de accidentes de trabajo debe comenzar en la etapa de diseño de la participación de diseñadores y contratistas. De acuerdo a Días (2009), en la Unión Europea, el 60% de los accidentes de trabajo mortales en la construcción podríaser evitado previamente a través de la correcta definición de medidas adecuadas, durante la fase de diseño y la planificación y organización de las obras de construcción.

4.8 Estandarización en la construcción

Usualmente la mayoría de componentes que se emplean en la construcción se elaboran dentro de la obra, sin embargo, una mejor alternativa es fabricar la mayor cantidad posible de estos componentes en talleres o fábricas, permitiendo así una mejora en la calidad y productividad. La industrialización es un proceso evolutivo orientado al perfeccionamiento de una actividad industrial (J. Konior ,2015). Por lo tanto, al aplicar esto a la construcción puede incrementar la productividad y el nivel de producción en los proyectos sin afectar las condiciones económicas. Para lograrlo es necesario optimizar el uso de los materiales, aprovechar mejor la mano de obra, evitar las rutinas ineficientes, eliminar los desperdicios, planificar las operaciones y lograr que los diseños arquitectónicos y estructurales se adapten a los sistemas.

Por consiguiente, la industrialización empieza cuando la producción va dependiendo menos de la utilización masiva de mano de obra y cuando se empieza a dar preferencia a la fabricación de más componentes fuera del sitio de ensamblaje. Pero, para que este proceso se desarrolle, es importante que estos componentes sean modulares y estandarizados, de tal manera se obtendría el

beneficio de adquirirlos bajo condiciones industriales (A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, 2010), lo que asegura una mayor calidad.

La estandarización en la construcción, consiste en elaborar productos y procesos con características similares, para fabricar modelos repetidos que cumplan una misma función, con el fin de simplificar y reducir el costo de la producción de componentes de la construcción, los cuales podrían ser fabricados industrialmente (Daniel Baloi a, Andrew D.F. Price, 2002).

De igual manera, la industrialización hace uso de tecnología que sustituye la habilidad del hombre, es decir, una máquina está en capacidad de producir objetos con reducida mano de obra, pues pueden ser manejadas por pocos obreros especializados, o pueden ser máquinas automáticas. La industrialización en la construcción reduce las actividades sobre el terreno, al mismo tiempo que la constructabilidad es mejorada cuando los diseños de los elementos están estandarizados.

4.9 Construcción sin pérdidas o Lean Construction

Según el Lean Construction Institute (ILC), Lean construction (LC) es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen. Por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos (Lean Construction Institute, 2013). Entendiéndose por residuos todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva, LC clasifica los residuos de construcción en siete categorías como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 19.

Desperdicios en la construcción

Defectos
Demoras
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Nota: Adaptado de de Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry.

Para la implementación de Lean Construction en los proyectos es necesario iniciar con el compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción para que al aplicar los principios “Lean” correctamente mejoren la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto (Issa, 2013). Es decir, para que LC funcione se deben aplicar sus principios en forma concreta a las actividades del proyecto. Lauri Koskela propone once principios para evitar desperdicios en la construcción (Botero, 2013):

- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor
- Incremento del valor del producto
- Reducción de la variabilidad
- Reducción del tiempo del ciclo
- Simplificación de proceso.
- Incremento de la flexibilidad de la producción.
- Transparencia del proceso

- Enfoque del control al proceso completo
- Mejoramiento continuo del proceso
- Mejoramiento del flujo de trabajo
- Referenciación.

De esta manera, Lean Construction es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción (Bertelsen, 2004). En la fase de construcción por ejemplo, la reducción de los tiempos de ejecución en las actividades de obra, el control del desperdicio de los materiales y la prevención de accidentes laborales son los objetivos más importantes que si se logran cumplir agregarán valor a esta fase.

Para controlar la variabilidad en la planificación la filosofía LC propone el Sistema del Último Planificador (SUP) o Last Planner System (LPS). Alan Mossman define el SUP como un sistema para la gestión colaborativa requerido para la coordinación de la programación, producción, planificación y ejecución de los proyectos (Mossman, 2005).

El SUP fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell como un sistema de planificación de la producción, diseñado para generar un flujo de trabajo predecible y rápido en la programación, diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos (Lean Construction Institute, 2013). Básicamente el SUP es un enfoque práctico en el cual los gerentes de construcción y los jefes de equipo preparan planes de trabajo que son ejecutados con un alto grado de fiabilidad para mejorar la estabilidad del trabajo. El último planificador SUP es la persona o grupo responsable de la planificación operativa, es decir, de la estructuración del diseño de productos para facilitar un mejor flujo de trabajo y el control de las unidades de producción, lo que equivale a la realización de los trabajos individuales en el nivel operativo (Salem et al, 2005).

Ballard fue pionero en el desarrollo del Sistema Último Planificador (SUP) en 1999, basado en el concepto de reducción de los niveles jerárquicos de la gestión en la construcción para optimizar el proceso de asignación de recursos disponibles en la planeación semanal, programación y ejecución de los trabajos. Lo que hace el SUP es considerar el conjunto de actividades que realmente pueden hacerse de una manera más específica para controlar de cerca los impedimentos que eviten su adecuada ejecución, de esta forma la probabilidad de que las actividades programadas se lleven a cabo es muy alta y como consecuencia la incertidumbre de no poderlas hacer disminuye y se evitan retrasos en la realización de los trabajos en obra.

Luis F. Alarcón en el 2008 establece este hecho gráficamente. Como se observa en la Figura 17, los tres estados teóricos de la planificación son: lo que se debería hacer, lo que se puede hacer y finalmente lo que se hará en la obra.

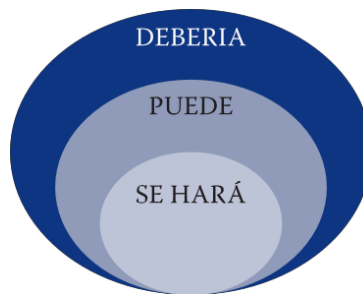


Figura 17. Planificación usual en la construcción. Adaptado de Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, Alarcón L.F (2008).

En donde el conjunto de las actividades que se harán son mayores a las que realmente pueden hacerse; la diferencia entre los dos conjuntos planteados serán actividades que quedarán sin hacer, es decir los retrasos.

De esta forma el SUP controla de una manera más efectiva la ejecución de las actividades necesarias para completar el proyecto, asegurándose de que lo que se planea hacer en la obra

realmente será hecho y así evitar paros en obra que conllevan a pérdidas de tiempo que retrasan el proyecto y se traducen en pérdidas económicas. Aseguran los expertos en el tema que el cambio provoca mejoras en los flujos de trabajo y facilita el control de la variabilidad de los proyectos de construcción.

La estructura del Sistema del Último Planificador, se desarrolla en tres niveles distintos de planificación:

➤ **Planificación general o programa maestro**

La planificación general es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos, entre otros que hacen parte del proyecto. La programación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt (Andrade M. y Arrieta B, 2011), estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar la etapa de construcción en los proyectos.

➤ **Planificación intermedia**

La planificación intermedia es el segundo nivel en la aplicación del Sistema Último Planificador que permite desglosar la programación general para evitar perder tiempo y material, además, se destacan aquellas actividades que deberían hacerse en un futuro cercano. Aquí se controlan la coordinación de diseño, los proveedores, los recursos humanos, los requisitos previos para hacer las actividades y la información para que las cuadrillas de trabajo cumplan con sus objetivos en obra.

Para hacer la planificación intermedia deben seguirse los siguientes procesos:

- Definición del intervalo de tiempo: Es medido por semanas, su número depende de las características del proyecto y de los tiempos para adquirir información, materiales, mano de obra y maquinaria.

- Definición de las actividades que serán parte del plan intermedio
- Análisis de restricciones: Una vez identificadas las tareas que serán parte del plan intermedio es necesario asegurar que estén libres de restricciones para que puedan ser llevadas a cabo en el momento fijado.

➤ **Planificación semanal**

El programa de trabajo semanal, como su nombre lo indica; contiene las actividades que serán realizadas durante la semana, es la última fase de planificación del SUP y presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de un trabajo. Es realizada por los administradores de obra, jefes de terreno, jefes de obra, capataces y todos aquellos que supervisan directamente la ejecución de los trabajos en obra. Se mide el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC) para saber porcentualmente cual fue el número de actividades programadas que realmente se ejecutaron en la obra y así medir que tan efectiva fue la planificación semanal y además tabular las causas por las cuales el PAC no fue del 100% para corregirlas en la siguiente semana.

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal el sistema último planificador mide el cumplimiento de lo programado en el plan mediante el Porcentaje de Programa Cumplido (PPC). Para calcular el PPC es necesario tener el total de actividades que realmente se pudieron completar en obra, por tal motivo se debe llevar un formato donde cada actividad programada tendrá solo un estado de dos posibles: actividad completada o no completada, de esta forma se obtienen los totales de actividades cumplidas y no cumplidas. El PPC se calcula como:

$$\text{PPC} = \frac{(\text{TOTAL ACTIVIDADES CUMPLIDAS})}{(\text{TOTAL ACTIVIDADES PROGRAMADAS})} \times 100$$

Antes de dar inicio a cada semana de trabajo se debe realizar una reunión para planear y discutir asuntos de planificación semanal.

4.10 Modelos de ejecución de proyectos en la construcción

Los modelos de ejecución de proyectos son diversos y se emplean para facilitar la construcción de edificaciones. La elección del modelo depende del propietario del proyecto y los entes que conocen lo que se ejecutará en la obra.

Hacia 1990, surge el modelo Integrated Project Delivery (IPD), lo que se traduce como Ejecución Integrada de Proyectos. El IPD pretende solucionar la falta de cooperación entre las partes que intervienen en el proyecto y cambiar las actitudes de individualismo que generan ineficiencias y pérdidas, y se constituyen en obstáculos para alcanzar el objetivo común.

El modelo IPD compite con el modelo tradicional de ejecución de proyectos que se conoce como licitación - construcción, y que generalmente tiene como metodología de implementación la ruta (diseño - licitación - construcción). En la Figura 18 se pueden observar los contrastes de ambas metodologías. En el modelo tradicional los constructores de procesos superiores no ejecutan el proyecto hasta que el diseño se ha completado sustancialmente, en el modelo IPD todo el equipo entiende lo que el cliente quiere y cómo se entregará el proyecto antes de iniciar la obra (Mossman et al, 2010).

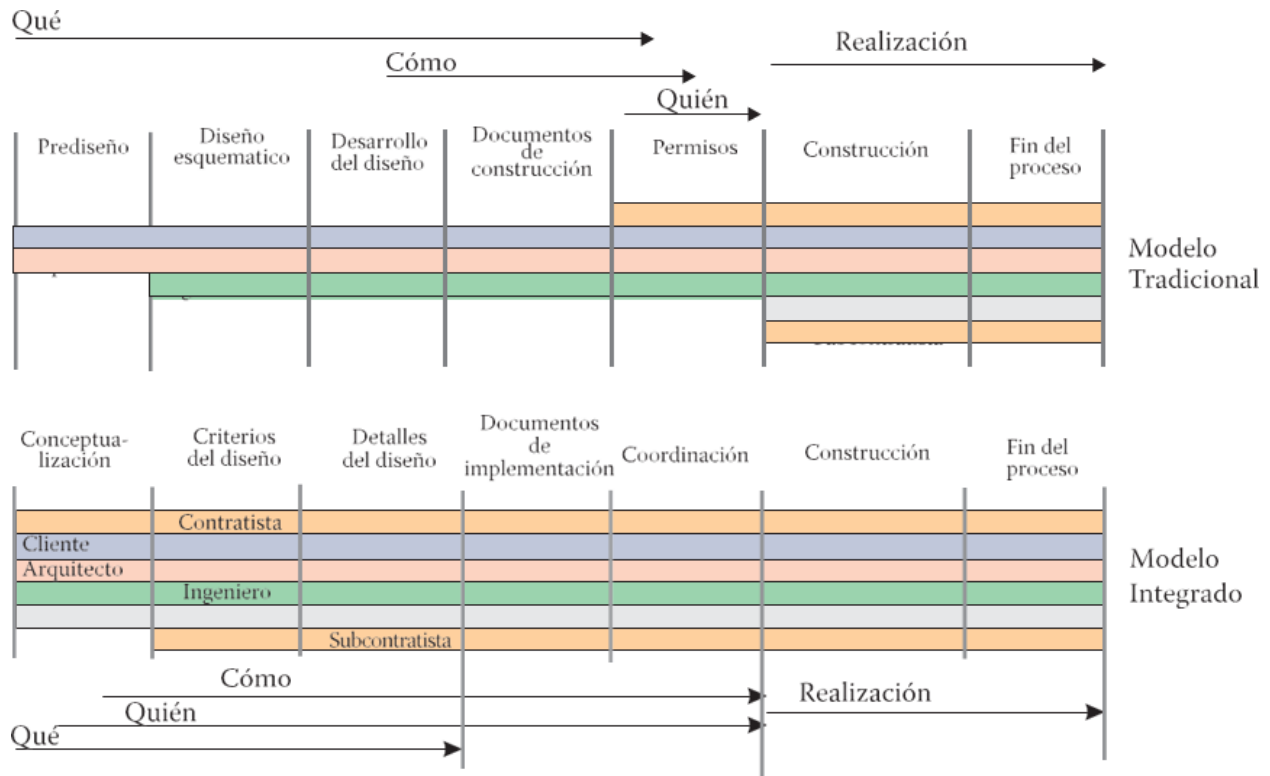


Figura 18. Modelo tradicional de ejecución de proyectos vs modelo integrado. Adaptado de Innovatech build construction (2012).

Muchos estudios señalan la importancia del proceso de diseño de los edificios en términos de mejorar los rendimientos de la industria de la construcción (Tzortzopoulos y Formoso, 1999), señalando que una de las fases más importantes en la generación de un proyecto de construcción es su definición, un proceso en el cual se establece el propósito del proyecto y el desarrollo de los medios para cumplirlo. El proceso produce, en una primera etapa, las fases de planificación y el diseño de instalaciones físicas que requieren inversión de capital (Whelton, 2004).

4.10.1 Sistema de ejecución de entrega de proyectos constructivos La ejecución del Sistema de Entrega de Proyectos Lean o modelo LPDS (Lean Project Delivery System), se basa en alinear personas, sistemas, procesos de negocio y prácticas con el fin de aprovechar los talentos e ideas

de los participantes para optimizar valor para el cliente, reducir residuos y maximizar la eficacia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción (Ballard y Howell, 2003).

El modelo teórico de LPDS se describe en la Figura 19 como un conjunto de cinco fases y once etapas de desarrollo práctico que son controladas por un módulo de aprendizaje continuo para ir aprendiendo de los errores cometidos en cada etapa de aplicación de LPDS al proyecto.

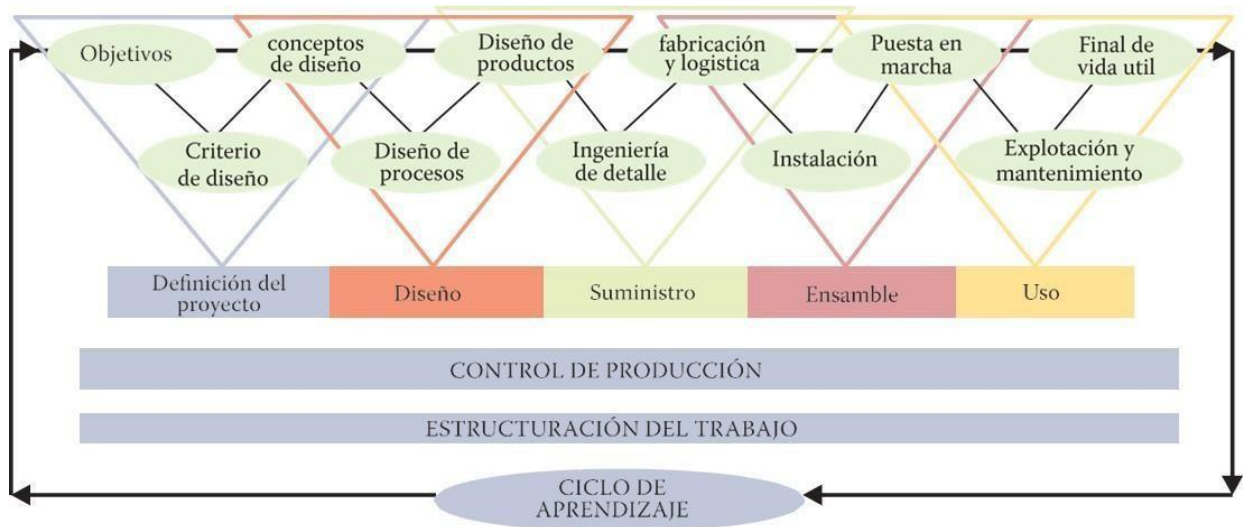


Figura 19. Sistema de entrega de proyectos Lean (Lean Project Delivery System - LPDS). Adaptado de Lean construction Institute, 2013.

Desarrolla el proyecto en fases más completas y pretende solucionar problemas que ocurren en el modelo tradicional en la fase de diseño, por ejemplo, generalmente los diseñadores plantean planos sin tener claro lo que el cliente desea y al llegar la etapa de construcción cuesta mucho dinero arreglar las fallas detectadas, errores ineludibles que se ocasionan debido a falta de comunicación entre los involucrados en ambas fases, en consecuencia, lo que propone LPDS es la formación de un único equipo conformado por el cliente, arquitectos, constructores y otros

participantes importantes que se encuentran en la búsqueda de un objetivo común, y este sería el avance del proyecto para culminarlo en un mejor tiempo.

4.11 Artículo Científico

Una vez recopilados y analizados los estudios, se redactó un artículo científico en el que se hizo una descripción de la metodología empleada para la realización de esta revisión, así como los hallazgos obtenidos después de su ejecución. Este Artículo puede apreciarse en el Apéndice A en medio magnético.

5. Conclusiones

La identificación de los estudios, permitió obtener 446 resultados de la base de datos Web of Science, de los cuales luego de aplicar los criterios de exclusión de acuerdo a su título y lo ajustado al objetivo de la investigación de la información contenida en su abstract, se encontró que 33 de ellos contaban con el rigor investigativo aceptable, credibilidad y relevancia para ser utilizados en la discusión y presentación de resultados.

Los estudios se enmarcaron en siete grupos temáticos: el proceso general de gestión de riesgos; el impacto positivo de la aplicación de las estrategias de gestión de riesgos en la construcción; el análisis, identificación, planificación y control de riesgos; las herramientas de análisis utilizadas comúnmente para la gestión del riesgo; la estandarización de la construcción; el Lean Construction

(construcción sin pérdidas) y el sistema de entrega de proyectos constructivos. Cada uno de estos tópicos contribuye con importantes y muy útiles puntos de vista respecto a lo que debe ser llevado a cabo para aumentar las probabilidades de éxito de un proyecto, desde la óptica de la administración de los riesgos que lo puedan afectar, tanto positiva como negativamente.

El desarrollo en la construcción ha provocado incertidumbres y subjetividades sustanciales en el proceso de análisis de riesgos haciendo cada vez más difícil su resolución, en consecuencia, se ha generado la necesidad de establecer herramientas adecuadas que permitan a los tomadores de decisión realizar juicios informados en todas las etapas de realización de una construcción, haciendo énfasis en el uso de técnicas debido a que hacen más probable iluminar los problemas potenciales.

Los países en desarrollo tienen sólo un número limitado de sistemas de gestión para la evaluación de riesgos en pleno funcionamiento. Es por esto que se asegura que la única área de la toma de decisiones donde la evaluación de impacto de riesgos juega un papel consistente, es en el establecimiento de condiciones de permisos de planificación. Lo que confirma la hipótesis de que la evaluación y gestión de riesgos sólo se tiene en cuenta como un requisito legal en la realización de un proyecto de construcción, mas no como estrategia global enfocada en la seguridad y sostenibilidad.

La dirección de la investigación de la evaluación y gestión de riesgos en proyectos de construcción va orientada a conocer los principales conceptos que definen la evaluación de riesgos, las diferentes técnicas y herramientas que existen, y su énfasis en el ámbito global de la construcción sostenible.

Las principales líneas de investigación en la literatura de metodologías utilizadas para la evaluación de riesgos son la definición de los conceptos asociados a la evaluación de riesgos, las

metodologías existentes en un sector específico, aplicadas a un estudio de construcción y el ámbito legal que incluye la investigación del desarrollo de leyes y normativas enfocadas a la sostenibilidad.

Una cooperación más estrecha entre el director de proyecto, los miembros del equipo, evaluadores de riesgos y expertos permitiría obtener información más eficaz en el proceso de evaluación de riesgos. La evaluación de impacto de los riesgos es considerada típicamente como un factor útil que contribuye, pero que no es totalmente integrada en los modelos institucionales de toma de decisiones en el desarrollo de proyectos de construcción.

La realización del proyecto presentó una restricción importante debido a que durante la búsqueda primaria de los estudios, a pesar de que algunos de estos cumplían con las condiciones de para ser incluidos en la investigación final debido a la importancia del tema que trataban, no pudieron descargarse debido a que los servicios de las bases de datos de la Universidad Industrial de Santander no cubrían su costo; por lo que fue necesario omitirlos y buscar otros que sí pudieran ser utilizados.

6. Recomendaciones

Debido a que la evaluación y gestión de riesgos es parte primordial en el desarrollo de una construcción sostenible y es un campo de la investigación que está en desarrollo, en el cual cada día se hacen avances y se crean nuevas metodologías aplicables a proyectos de construcción, se debería continuar realizando investigaciones sobre los diversos sectores económicos, que permitan

una mejor comprensión y contextualización de las metodologías para evaluación y gestión de riesgos utilizadas en la actualidad.

Dada la amplitud e importancia del tópico de evaluación y gestión de riesgos en la dirección de proyectos, es importante que desde el grupo de investigación OPALO, se fomenten y apoyen iniciativas dirigidas a investigar acerca de las buenas prácticas para la gestión de riesgos implementadas en países desarrollados a nivel mundial en los diversos sectores productivos existentes Santander y Colombia, cuyos resultados puedan servir en un futuro para fortalecer la industria nacional.

Se recomienda a las directivas de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, el diseño de una asignatura electiva enfocada en la gestión de riesgos en la dirección de proyectos, dado que este tema es de vital relevancia para la correcta ejecución de un proyecto, y para la cual se cuenta con diversas técnicas de análisis tanto cualitativo como cuantitativo, que difícilmente podrán ser abordados en las sesiones de la asignatura de Gestión de Proyectos, dado el poco tiempo con el que se cuenta para tratar la amplia y variada temática que implica la formulación, evaluación y gerencia de un proyecto. Además de ello, permitirá dotar a los estudiantes de conocimientos que serán de gran utilidad durante su vida profesional, en caso de optar por la rama de gestión de proyectos, control de procesos y calidad.

Se recomienda a las directivas de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales, el diseño de una asignatura electiva relacionada con la enseñanza de las metodologías de investigación para la realización de revisiones sistemáticas, teniendo en cuenta que esta es una herramienta eficaz para obtener nuevos conocimientos respecto a los diversos avances relacionados con el amplio temario de la Ingeniería Industrial, y que sería de gran utilidad para fortalecer las asignaturas existentes en el plan de estudios de la carrera y contribuir a la enseñanza

Referencias Bibliográficas

- Alarcón, L., Armiñana, E., (2008). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas, *Revista de Obras Públicas*, 3.496, 45–52.
- Al-Bahar J.F. (1998). Enfoque de gestión de riesgo para proyectos de construcción: un enfoque analítico sistemático para los contratistas. Tesis doctoral. Universidad de California, Berkeley, EE.UU.
- Al-bahar, J.F. (1990), “Systematic Risk Management Approach for Construction Projects”. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116(3), págs. 49-55.
- Akintoye AS, MacLeod MJ. (1997) El análisis de riesgos y la gestión de la construcción. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*; 15 (1): 31-8.
- Alignment Handbook, (1997). Implementation Resource 113-3, Construction Industry Institute, Austin, TX, December.
- Ang, A.H.-S., Tang, W.H., (1984). *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Andrade, M., Arrieta, B. (2011). Last Planner en subcontrato de empresa constructora, *revista de la construcción*, 10-1, 36–52.
- Apostolopoulos, C., Halikias, G., Maroukian, K., & Tsaramirsis, G. (2016). Facilitating organisational decision making: A change risk assessment model case study. *Journal of Modelling in Management*, 11(2), 694-721.
- Avots I. (1969) ¿Por qué fracasa la gestión de proyectos? *California Administrar Rev*; 12 (1).

- Baloi, D., Precio, A.D.F., (2003). Modelado factores de riesgo global de un funcionamiento de coste de construcción y siguientes ejan. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*.
- Baker, BN, Murphy DC, Fisher D. (1983) Factores de éxito del proyecto. *Manual de gestión de proyectos*. Nueva York: Van Nos-trand Reinhold; p. 669-85.
- Bakker, K. (2010) Does risk management contribute to IT project success? A meta-analysis of empirical evidence. *International Journal of Project Management* 28 493–503
- Baker, Ponniah, d, y Smith, s. (1997), “Risk Response Techniques Employed Currently for Major Projects”, *Construction Management and Economics*, Vol. 17, págs. 205-213.
- Baker, S, D Ponniah, (1999) Técnicas de respuesta de riesgos Smith S. empleados actualmente para grandes proyectos. *Gestión de la Construcción y Economía*, Londres; 7 (2): 205-13.
- Ballard, G., Howell, J. A. (2003). Lean Project management, *Building Research y Information*, 31, 1–15.
- Bannerman, P. (2008) Risk and risk management in software projects: A reassessment. *The Journal of Systems and Software* 81 2118–2133
- Bertelsen, S, (2004). Lean Construction: where are we and how to proceed? , *Lean Construction Journal*, 1, 46-69.
- Brown. (1980) La fusión de información difusa y crujiente. *J Engng Mech Div, ASCE*; 106 (EM1) 123 - de 33.
- Boehm BW. (2014) Software risk management: principles and practices. *IEEE Software* 1991;8:32-41. Bon-Gang Hwang a, Xianbo Zhao, Li Ping Toh. Risk management in small construction projects in Singapore: Status, barriers. and impact. *International Journal of Project Management* 32 116–124
- Blockley DI. (1975) La predicción de la probabilidad de accidentes estructurales. *Actas de la Institución de Ingenieros de Caminos*, Parte 2, vol. 59, Londres, Inglaterra,. p. 659.

- Carter, R.L., y Doherty, N.A. (1974), *Handbook of Risk Management*, Kluwer-Harrap Handbooks, Londres.
- Centro Cochrane Iberoamericano, traductores. (2012). Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones, versión 5.1.0 [actualizada en marzo de 2011] [Internet]. Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano.
- Chan APC, Ho DCK, Tam CM. (2001) El diseño y el éxito del proyecto de construcción factores: el análisis multivariante. *J Construct Eng Manage*; 127 (2): 93-100.
- Chaos report. Using expert opinion for risk assessment: a case study of a construction project utilizing a risk (2015)
- Chapman, C. y Ward, S. (1997). *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. School of Management, University of Southampton. John Wiley & sons, Edición.
- Chapman, R. (2001) El control de las influencias en la identificación de riesgos eficaz y evaluar el diseño de la construcción. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos*, Londres, v. 19, no. 3, p. 147-160 de.
- Charette, R. N., (1989) *Software Engineering Risk Analysis and Management*, Intertext Publications. McGraw-Hill, New York,.
- Cho, Furman, Jeffrey C. & Gibson, G. Edward. (Diciembre de 1999). Desarrollo de la Clasificación Definición del Proyecto Índice (PDRI) para proyectos de construcción - Un informe del Instituto de la Industria de la Construcción. La Universidad de Texas en Austin. La Universidad de Texas en Austin.
- Cho, H.; Choi, H. and Kim, Y. (2002). "A risk assessment methodology for incorporating uncertainties using fuzzy concepts," vol. 78 págs. 173–183).
- Cho, c.; Gibson, E. (2001) Proyecto de creación de Definición del Alcance del Proyecto Uso de definición del índice de Calificación. *Diario de ingeniería arquitectónica*, vol. 12, no. 1, p. 115-125,.

- Chow, T., Cao, D.-B., (2008). A survey study of critical success factors in agile software projects. *J. Syst. Softw.* 81 (6), 961–971
- Chua DKH, Kog YC, Loh PK. (1999) factores críticos de éxito para los objetivos del proyecto Erent di ff. *J Construct Eng Manage*; 125 (3): 142-50.
- Cleland DI, Rey WR. (1983) *El análisis de sistemas y gestionar el proyecto de unificación*. Nueva York: McGraw-Hill;
- Conley, William. (2007) Departments of Business Administration and Mathematics, University of Wisconsin, Green Bay, 54311-7001 USA, tomado de: *International Journal of Systems Science*; Dec, Vol. 38 Issue 12, p1013-1019
- Cooper, D. and Chapman, C., (1987) *Risk Analysis for Large Projects: Models, Methods and Cases*, Wiley,Chichester,.
- Cruz, J. (2016), "Project risk planning in high-tech new product development", *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, Vol. 29 Iss 2 pp. 110 – 124. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1108/ARLA-11-2015-0297>. Consultado el 30 de noviembre de 2016.
- Cui W, Blockley DI. (1990) Teoría de la probabilidad intervalo para respaldar dicha información. *Int J Syst Intell*; 5 183 - de 92.
- David M Wall. (2004), *Aplicación de la simulación en el análisis de riesgos para la planeación de proyectos m.c. José Manuel Carrillo Hernández*.
- Davies, H. T. O. and I. K. Crombie (1998). 'Getting to Grips with Systematic Reviews and Meta-Analyses', 59 (12)
- De Bakker, K., Boonstra, A., Wortmann, H., (2011). Risk management affecting IS/IT project success through communicative action. *Proj. Manag. J.* 42, 75–90
- De Godoi Contessoto, A., Sant Ana, L. A., De Souza, R. C. G., Valêncio, C. R., Donegá, G. F., Amorim, A. R., & Esteca, A. M. N. (2016). Improving risk identification process in project management. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on

- Software Engineering and Knowledge Engineering, SEKE, 2016-January 555-558.
doi:10.18293/SEKE2016-180
- De los Pinos, A. C. and García, N. G. “(2014). Análisis de las metodologías de evaluación de riesgos en obras de edificación. Nueva metodología adaptada a edificación,”
- Definición del Proyecto clasificación del Índice de Proyectos de Construcción, (Julio de 1999). Recursos Implementación 155-2, Industria Instituto de la Construcción, Austin, TX
- Dias, L. D., (2009). Inspección de Seguridad y Salud Ocupacional en la Industria de la Construcción. Centro Internacional de Formación (CIF), Organización Internacional del Trabajo (OIT), Turín, Italia.
- Dorofee AJ, Walker JA, Alberts CJ, Higuera RP, Murphy RL, Williams RC. (1996)Continuous Risk Management Guidebook. Pittsburgh: Carnegie Mellon University,.
- Dumont, Peter R., Gibson, G. Edward & Fish, John R. (1997). Uso de Proyecto de definición del índice de Calificación. Diario de Gestión de Ingeniería, 13 (5).
- Edwards, L. (1995), *Practical Risk Management in the Construction Industry*, Thomas Telford, Londres.
- Evenson, R.C., Holland, R.A., Mehta, S. y Yasin, F. (1980). Factor analysis of the Symptom Checklist- 90. Psychological Reports, 46 (3, Pt 1)
- Fan, M., Lin, N. P., & Sheu, C. (2008). Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model. International Journal of Production Economics, 112(2), 700–713. Fairley R. Risk Management for Software Projects. IEEE Software 1994;5-67.
- Flanagan R, Norman G. (1993). La gestión del riesgo y la construcción. Victoria, Australia: Blackwell Science Pty Ltda.
- Flanagan, R. & Norman, G. (1993) Risk Management and Construction. Blackwell, Oxford. Frey, C.H., Patil, S.R., 2002. Identification and Review of Sensitivity Analysis Methods. North Carolina State University, Raleigh, NC.

- Fujino T. (1994) El desarrollo de un método para accidentes en obras de construcción investigación mediante el análisis de árbol de fallas difusa. Tesis doctoral. La Universidad Estatal de Ohio, EE.UU.,.
- García de Jalón, J., Unda, J., Avelló, A., (1986). Natural coordinates for the computer analysis of multibody systems, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 56, pág. 309-327.
- Gibson, G. E. and Dumont, P. R. (June 1996). Project Definition Rating Index (PDRI), A report to the Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, Research Report 113-11.
- Griffith, A., Headley, J.D., (1997). Using a weighted score model as an aid to selecting procurement methods for small building works. *Construction Management & Economics* 15 (4), 341–348.
- Hadipriono, FC.; Lim, CL.; Wong, KH. (1996). Análisis de árbol de sucesos para evitar fallas en las estructuras temporales. *J Construir Engng Gestión* de 1986; 112 (4): 500-13.
- Haslam, R. A., Hide, S.A., Gibb, A.G.F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., Duff, A. R. (2005). Los factores que contribuyen en los accidentes de construcción. *Appl. Ergon.* 36, 401-415
- Herramientas de planificación pre-proyecto: PDRI y alineación, (Agosto de 1997). Resumen de la investigación 113-1, Industria Instituto de la Construcción, Austin, TX.
- Hertz, d.b., y Thomas, h. (1983), *Risk Analysis and its Application*, John Wiley e Hijos, Inc., Nueva York.
- Hertz, D. B., Thomas, H., (1994). Análisis de Riesgos y sus aplicaciones. John Wiley & Sons, Detroit.
- Hertz, D. B. and Thomas, H., (1983) *Risk Analysis and Its Application*, Wiley, Chichester,.
- Ho, S.S.M., Pike, R.H., (1992). Adoption of probabilistic risk analysis in capital budgeting and corporate investment. *Journal of Business Finance and Accounting* 19 (3), 387–405.

- Hughes MW. (1986) ¿Por qué fracasan los proyectos: los e ECTS y siguientes de ignorar lo obvio. Ind Esp; 18: 14-8.
- Idrus, Arazi, Fadhil Nuruddin, Muhd, Rohman, M. Arif. (2011) Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system. En: Expert System with Applications. Vol 38, p. 1501-1508
- Instituto de la Industria de la Construcción. (2008). Proyecto Índice Definición Clasificación; Proyectos de construcción. Austin: University of Texas en Austin. Informe sobre la Aplicación 155-2.
- Issa, U.H. (2013). Implementation of Lean Construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time, Alex- andria Engineering Journal.
- J. TAH y V.Carr (2004).- Project Systems Engineering Research Unit, School of Construction, South Bank University, Wandsworth Road, London SW 8 2JZ, UK
- Jaafari, A., 2001. La gestión de riesgos, incertidumbres y oportunidades de proyectos: es hora de un cambio fundamental. Revista Internacional de Gestión de Proyectos 19, 89-101.
- Kaming PF, Olomolaiye PO, Holt GD, Harris FC. 1997 Factores que influyen en el tiempo de construcción y sobrecostos en proyectos de gran altura en Indonesia. Gestión de la Construcción y Economía; 15: 83-94.
- Kelly, P.K. (1996), *Team Decision-making Techniques*, Richard Chang y Asociados, Inc., Estados Unidos.
- Kendrick, T. (2009), *Identifying and Managing Project Risk*, 2nd ed., Amacon, New York, NY.
- Khazaeni, Garshasb. Khanzadi, Mostafa. Afshar, Abas. (2012) Fuzzy adaptive decision making model for selection balanced risk allocation. En: International Journal of Project Management. Vol. 30, p. 511-522
- Klemetti, A., (2006). Risk Management in Construction Project Networks. Helsinki University of Technology, Helsinki.

- Klir, J. George. (1995) "Fuzzy Sets And Fuzzy Logic Theory and Applications". Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey..
- Klir GJ Folger TA. (1997) Fuzzy Sets, la incertidumbre y la información Englewood-Cliffs de 1988. Kliem RL, Ludin IS. Reducing Project Risk. Gower,.
- Krause P, Clark D. (1993) En representación de conocimiento incierto: un enfoque inteligencia artificial. Oxford: Inteligencia Press,.
- Kuo, Yao-Chen., LU, Shig-Tong. (2013) Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. En: International Journal of Project Management. Vol 31, p. 602-614.
- Lee, S., Halpin, D., (2003). Herramienta de predicción para estimar el riesgo de accidentes. J. Constr. Lean Construction Institute. What is Lean Construction, consultado 5 de Octubre 2013.
- Locke D. (1976) Proyecto de gestión. Nueva York: St. Martin's Press
- Lyons, T., & Skitmore, M. (2004). Project risk management in the Queensland engineering construction industry.
- Male S. S Kelly. y Graham, D. (2004) *Value Management of Construction Projects. Blackwell.*
- Marques, T.; Starling, C.; Andery, P. (2013) Gestión de los factores de riesgo y la incertidumbre que afecta el éxito del desarrollo inmobiliario Empresas Aplicando la definición del proyecto Clasificación Índice. En: Simposio Internacional Sobre La Calidad Del Proyecto,
- Mark, W., Cohen, P. E., Glen, R. P., (2004). Proyecto de Identificación de Riesgos y Gestión. AACE transacción internacional. INT.01.1-5.
- Martin. (1976)Gestión de proyectos. Nueva York: Amaco;
- Manual de Planificación Pre-Proyecto, (Abril de 1995). Publicación Especial 39-2, Industria Instituto de la Construcción, Austin, TX.

McGowan (1964). Monte Carlo Techniques Applied to Pert Networks / L. L. McGowan. Texas A & M University, M. Sc. Thesis in Statistics, 1964

Merna, Tony. (2004) *Risk Management in projects and organizations*.

Mok, C.K., Tummala, V.M.R., Leung, H.M., (1997). Practices, barriers and benefits of risk management process in building services cost estimation. *Construction Management and Economics* 15 (2), 161–175.

Morris P, G. Hough (1987). *La anatomía de los grandes proyectos*. Nueva York: John Wiley.
Mossman A. (2005). *Last Planner overview: collaborative program coordination*, Lean Construction Institute.

Mossman A., Ballard G., Pasquire C, (2010). Lean Project Delivery- innovation in integrated design and delivery, *Lean Construction Journal*, 1–26.

Mills, A., (2001). A systematic approach to risk management for construction. *Structural Survey* 19 (5), 245–252.

Mubarak, S., (2010). *Construction Project Scheduling and Control*. John Wiley & Sons, New York.
Nasir, D, McCabe, B y Hartano, L (2003), la evaluación de riesgos en el modelo de construcción- horario (ERIC-S): modelo de riesgo cronograma de construcción. *Asce Revista de Ingeniería y Gestión*, 129 (5), 518- 527 de construcción.

Nieto-Morote, A. and Ruz-vila, F. (2011). “A fuzzy approach to construction project risk assessment,” *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 29, no. 2.

Nummedal, T.a., Hide, a. Y Heyerdahl, R. (1996), “Cost Effective Risk Management on Ageing Offshore Installations”. *Proceedings of the International Conference on Health, Safety and Environment*, Asociación de Ingenieros del Petróleo, Richardson, Vol. 2, págs. 557-65.
Oxford Advanced Learner Diccionario (1995).

Revista Ingeniería De Construcción (2002) Evaluacion De Las Practicas De Gestion De Riesgo De Los Contratistas Generales De Florida, Volumen 17 N°1, Pág 4-10

Roberto, Paulo, and Pereira Andery. (2015). “Contribuição À Gestão de Riscos No Processo de Projeto de Incorporadoras de Médio Porte.” : 71–85.

Rodrigues-da-Silva, L. (2014) The project risk management process, a preliminary study. *Procedia Technology* 16 943 – 949

OIT-OSH 2001, (2001). Directrices para la seguridad y Salud Ocupacional Sistemas. Internacional del Trabajo Oficina (OIT), Ginebra, Suiza.

OHSAS 18001 Utilidad y aplicación practica

Pérez, Jorge. (2012), Revisión Sistemática de literatura en la Ingeniería, ciencia y tecnología Universidad de Antioquia.

Perry, J. G., Hayes, R. W., (1985). Riesgo y su gestión en los proyectos de construcción. *Procedimiento de ingenieros civiles Institución*, 499-521.

Pinto JK, Slevin DP. (1989) factores críticos de éxito en proyectos de I + D. *Res Technol Manage* (enero-febrero): 31-5.

PMBOOK Project Management Institute. (2000) *Construction Extension to, A guide to the project management Body of Knowledge*, PMBOK Guide.

PMI. (1996) A Guide to the Project Management Body Of Knowledge. Project Management Institute, 130 South State Road, Upper Darby,.

Pre-proyecto de planificación. (Diciembre de 1994). A partir de un proyecto de la manera correcta, Publicación 39-1, Industria Instituto de la Construcción, Austin, TX.

Prins, m. Owen, r. (2010) Integrado de entrega y Diseño Ingeniería y Gestión del Diseño Solutions. *Architectural*, Londres, v. 6, no. 4, p. 227- 231 de.

Project Definition Rating Index, (July 1999). *Building Projects, Implementation Resource* 155-2, Construction Industry Institute, Austin, TX.

Project Management Institute INC. (2008). *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos PMBOK*. 14 Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 EE.UU.

- Project Management Institute, (2009). *Práctica estándar para la Gestión de los Riesgos del Proyecto*. Newtown Square: Instituto de Gestión de Proyectos.
- Raftery, J. (1994). *Análisis de Riesgos en Gestión de Proyectos E & FN* Spon, Reino Unido. Royer, PS. *Gestión de riesgos: Undiscovered Dimensión de Gestión de Proyectos*. PM Red 2000; 14: 31-40, 36770 edición.
- Rodrigues-da-Silva, L. (2014) *The project risk management process, a preliminary study*. *Procedia Technology* 16 943 – 949
- Rubin IM, Seeling W. (1967) *Experiencia como un factor en la selección y ejecución de los directores de proyectos*. *IEEE Trans Eng Manage*; 14 (3): 131-4.
- Sábada, S. et al. (2014) *Proyecto de Metodología de Gestión de Riesgos para las pequeñas empresas*. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos, Londres*, v. 32, no. 1, p. 327-340,.
- Salud y Seguridad (HSE). (2001). *Mejorar la salud y la seguridad en la construcción: Fase 1: la recopilación de datos, revisión y estructuración*. HSE Books: *Informe de investigación por contrato 387*. Sudbury, Su ff olk.
- Salem O., Solomon J., Genaidy A., Luegring M. (2005). *Site implementation and assessment of Lean Construction techniques*, *Lean Construc- tion Journal*, 2 (1), 1–21.
- Sandelowski, M., Docherty, S. and Emden, C. (1997). 'Qualitative Metasynthesis: Issues and Techniques', 20 (4).
- Sayles, MK (1971)Chandler. *La gestión de grandes sistemas*. Nueva York: Harper and Row
- Schultz RL, Slevin DP, Pinto JK. (1987) *Estrategia y táctica en un modelo de proceso de ejecución del proyecto*. *Interfaces*; 17 (3): 34-46.
- Seila, A.F. (2001): *Spreadsheet Simulation*. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, pp. 74-78.

Simon, Hillson, & y Newland (1997), project risk analysis and management –APM

Smid, J.H.; Verloo, D.; Barker, G. C.; Havelaar, A. H. (2010). Strengths and Weaknesses of Monte Carlo Simulation Models, Risk Assessment. International Journal, 139.

Smith, N. (2002) *Best Value in Construction, chapter 6: Risk Management*. Blackwell Publishing
Smith, G.R., Bohn, C.M., 1999. Small to medium contractor contingency and assumption of risk. Journal of Construction Engineering Management 125 (2), 101– 109.

Souza, V.; Almeida, N.; Dias, L. (2012). Riesgo Marco de gestión para la industria de la construcción De acuerdo con ISO 31000: Revista de Análisis de Riesgo y Respuesta a las Crisis, v. 2, no. 4 Pags. 261-273.

The Association for Project Management. (1997) *Project Risk Analysis and Management Guide (PRAM Guide)*. Editado por Simon, P., Hillson, D., y Newland, K. Publicado por The APM Group Limited.

Thompson, P.; y Perry, J. (1979). Riesgos de Ingeniería de la Construcción - Una guía al proyecto de análisis y gestión del riesgo Thomas Telford Servicios, Londres, Reino Unido.

Thompson, P., y Perry, j. (1992), *Engineering Construction Risks: A Guide to Project Risk Analysis and Risk Management*, Thomas Telford, Londres.

Thorpe, R.; Holt, R.; Pittaway, L.; Macpherson, A. (2006). Knowledge within small and medium sized firms: A systematic review of the evidence. En: International Journal of Management Reviews. Vol. 7, No. 4.

Tranfield, David; Denyer, David.; Smart, Palminder. (Septiembre, 2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. En: British Journal of Management. Vol. 14, No 3.

Tranfield, D. Denyer, and P. Smart, (2003). “Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review *,” vol. 14.

Torno GM. (2002) La gestión de proyectos de construcción: un enfoque de procesamiento de información. Oxford: Blackwell Science.

- Tzortzopoulos P., Formoso C.T, (1999). Considerations on application of Lean Construction principles to design management. En: Seventh Conference of the International Group for Lean Construction, California- USA, IGLC, Paper 7.
- Uher TE, Toakley AR. (1999) La gestión del riesgo en el conceptual fase del ciclo de desarrollo del proyecto. *Revista Internacional de Gestión de Proyectos* 17 (3): 161-70
- Us construction statistics. (2000), [www. Construction.com](http://www.Construction.com).
- Vargas, G. Y Calvo, G. (1987). Seis modelos alternativos de investigación documental para el desarrollo de la práctica universitaria en educación... el caso del proyecto de extensión REDUC - Colombia en la Universidad Pedagógica Nacional. *Revista Educación superior y desarrollo* 5.
- Vidal, L.A., Marle, F., (2008). Understanding project complexity: implications on project management. *Kybernetes* 37 (8), 1094–1110
- Ward, S.C. Y chapman, C.B. (1997), *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*, John Wiley e Hijos, Chichester, Reino Unido.
- Whelton M.G, (2004). The development of purpose in the project definition phase of construction projects- implications for project management, University of California Berkeley, USA.
- Yauri (2002), Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. *Accident Analysis and Prevention*, 55, 242 – 255.
- Yao JTP. (1980) La evaluación de daños de las estructuras existentes. *J Engng Mech*; 106 (4) 785 - de 99.
- Yim, R et al. (2015) A study of the impact of project classification on project risk indicators. *International Journal of Project Management* 33 863–876
- Y. Poh y J. Tah (August 2006) *Construction Management and Economics* 24, 861–868.
- Zadeh, L. A. (1965). Los conjuntos difusos. *La información de control* 8.

- Zavadskas, E.K.; Turskis, Z.; Tamošaitienec, J. (2010). "Evaluación de riesgos de los proyectos de construcción", *Revista de Ingeniería Civil y Administración*.
- Zeng J.; Un, M.; Chan, AHC, Lin, Y. (2004). Una metodología para la evaluación de riesgos en el proceso de construcción. En: Khosrowshahi F, editor. *Actas de la conferencia anual XX. Asociación de Investigadores en Administración de la Construcción (ARCOM)*. Edimburgo, Reino Unido.
- Zeng, J.; An, M., and Smith, N. J. (2007). "Project Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment," vol. 25.
- Zeng, J.; Un, M.; Chan, AHC. (2005). Un razonamiento difuso basado en la toma de decisiones enfoque multi-juicio de expertos para el análisis de riesgos del proyecto de construcción. En: Khosrowshahi F, editor. *Actas de la conferencia anual de veinticinco primeros. Asociación de Investigadores en Administración de la Construcción (ARCOM)*. Londres, Reino Unido.
- Zeng, Jiahao, An, Min, Smith, Nigel John. (2007) Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. En: *International Journal of Project Management*. Vol 25, p. 589-600.
- Zhi-Ping Fan, Yong-Hai Li, Yao Zhang. (2015) Generating project risk response strategies based on CBR: A case study. *Expert Systems with Applications* 42 2870–2883
- Zou, P. X. W., Zhang, G., & Wang, J. (2007). Understanding the key risks in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, 25(6), 601–614.