



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.  
Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



### Asegurando el Valor en Proyectos de Construcción: Un estudio de Técnicas y Herramientas de Gestión de Riesgos en la Etapa de Construcción

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

**Luis Fernando Altez Villanueva**

**ASESOR: Ing. Ricardo Del Águila Herrera**

Lima, Marzo del 2009



*A mis padres,  
por ser partícipes activos en mi formación profesional y en  
mis valores como persona, por brindarme su apoyo  
incondicional durante toda mi vida y en especial  
durante mis años de carrera universitaria.*

## ÍNDICE

## PARTE I: INTRODUCCIÓN

Capítulo 1: Introducción	1
• Contexto actual de la construcción	2
• Aspiración, Objetivo y Estrategia de la investigación	4
• Metodología de investigación	6
• Alcances	7
• Estructura del estudio	7

## PARTE II: REVISIÓN LITERARIA

Capítulo 2: Procesos de la Gestión de Riesgos en la Construcción	9
• Definición de la Gestión de Riesgos en la Construcción	10
• Estructura del Proceso de la Gestión de Riesgos	12
• Procesos de la Gestión de Riesgos en la Construcción	20
i. Proceso 1: Identificación de Riesgos	22
ii. Proceso 2: Registro de Riesgos	26
iii. Proceso 3: Análisis de Riesgos	27
Análisis Cualitativo	27
Análisis Cuantitativo	28
iv. Planificación de Respuesta a los riesgos	29
Capítulo 3: Técnicas y Herramientas para la Gestión de Riesgos en la Construcción	31
• Técnicas de Identificación de Riesgos	32
i. Brainstorming o Tormenta de Ideas	33
ii. Técnica Delphi	34
iii. Entrevistas	35
iv. RBS, Checklists y Prompt Lists	36
v. Técnicas de Diagramación	40
vi. Registro de Riesgos	42
• Técnicas y Herramientas de Análisis de Riesgos	45
i. Análisis Cualitativo	45
1. Tablas de probabilidad e impacto de riesgos	46
2. Risk Mapping	47
ii. Análisis Cuantitativo	48
1. Análisis de Sensibilidad	48
2. Análisis del Valor monetario esperado mediante el Árbol de decisiones	49
3. Análisis mediante Simulación de Monte Carlo	51
• Técnicas de Respuesta a los Riesgos	52
i. Estrategias o respuestas para amenazas	52
Evitar, transferir, mitigar, absorber	
ii. Estrategias o respuestas para oportunidades	55
Explotar, compartir, mejorar	

## PARTE III: PROPUESTA

Capítulo 4: Propuesta Técnica: Sistema de Registro de Riesgos	56
• Introducción	56
• Herramienta de gestión: Sistema de Registro de Riesgos RiskLog	57
• Implementación y Propuesta de Proceso de Gestión de Riesgos	58
 Capítulo 5: Caso de Estudio: Gestión de Riesgos en la construcción de estructuras no convencionales: Cúpula de la Iglesia Sagrado Corazón de Jesús.	64
• Estructura del estudio	64
• Antecedentes	64
• Descripción de la problemática	66
• Entendiendo los criterios de valor del cliente	68
• Procesos de Gestión de Riesgos	69
i. Identificación y Registro de riesgos	70
ii. Análisis de riesgos	73
iii. Respuesta a los riesgos	77
iv. Monitoreo y control de riesgos	88
v. Retroalimentación	92
• Resultados	93
• Conclusiones del Caso de Estudio	94
 Capítulo 6: Conclusiones	97
Bibliografía	101
 <u>Anexos</u>	
Anexo I: Panorama general de un proyecto	-1-
• El criterio de valor del cliente y los proyectos	-3-
• El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas	-5-
• La etapa de ejecución y la cadena de valor de un proyecto	-12-
• La gestión del valor y la gestión de riesgos	-14-
Anexo II: Riesgo e Incertidumbre: Definiciones y clasificaciones	-16-
• Riesgo: definición y características	-17-
• Modelos de riesgo	-20-
• Incertidumbre	-23-
• Gestión de la incertidumbre	-24-
• Categorías de Riesgo	-26-
Anexo III: Análisis Cuantitativo de Riesgos empleando la Simulación de Monte Carlo	-32-
Anexo IV: Características y Modos de Uso de la Propuesta Técnica	-55-
Anexo V: Hoja de cálculo de Propuesta Técnica: RiskLog	-66-

## ÍNDICE DE IMÁGENES, TABLAS Y FOTOS.

### PARTE I: INTRODUCCIÓN

#### Capítulo 1: Introducción

- 1.1. Representación de la aspiración, objetivo y estrategia de la investigación 6

### PARTE II: REVISIÓN LITERARIA

#### Capítulo 2: Procesos de la Gestión de Riesgos en la Construcción

- 2.1. Rueda de Deming como estructura cíclica de la Gestión de Riesgos. 12
- 2.2. El Ciclo de la Gestión de Riesgos 13
- 2.3. Procesos de la Gestión de Riesgos 14
- 2.4. Proceso de la Gestión de Riesgos a lo largo del tiempo 15
- 2.5. Proceso de la Gestión de Riesgos según Merna 16
- 2.6. Proceso de la Gestión de Riesgos según el PMI 17
- 2.7. Proceso de la Gestión de Riesgos (Smith y Merrit) 19
- 2.8. Cuadro comparativo de las estructuras de la GRC según diversas fuentes. 20

#### Capítulo 3: Técnicas y Herramientas para la Gestión de Riesgos en la Construcción

- 3.1. Ejemplo de una Estructura de Desglose de Riesgos 37
- 3.2. Ejemplo de un Check List 39
- 3.3. Ejemplo de un Diagrama Causa-Efecto 41
- 3.4. Ejemplo de un Diagrama de flujo 42
- 3.5. Características de reporte de riesgo 43
- 3.6. Formato para registro de riesgos (antes de ocurrir) 44
- 3.7. Formato para registro de riesgos ocurridos. 44
- 3.8. Tablas de Probabilidad e Impacto (Merna) 47
- 3.9. Concepto de Risk Mapping 47
- 3.10. Típico Diagrama Telaraña 48
- 3.11. Típico Diagrama de Árbol de Decisiones 50

### PARTE III: PROPUESTA

#### Capítulo 4: Propuesta Técnica: Sistema de Registro de Riesgos

- 4.1. Propuesta de Sistema de Gestión de Proyectos 58
- 4.2. Proceso de la Gestión de Riesgos. 59
- 4.3. Propuesta de modos de clasificación de riesgos. 60
- 4.4. Rangos de puntaje para diversas probabilidades 61

Capítulo 5: Caso de Estudio: Gestión de Riesgos en la construcción de estructuras no convencionales: Cúpula de la Iglesia Sagrado Corazón de Jesús.

• 5.1. Ubicación del proyecto	65
• 5.2. Vistas del proyecto exterior e interior	66
• 5.3. Principales riesgos identificados en el proyecto	73
• 5.4. LookAhead y Análisis de restricciones integrados	74
• 5.5. Evaluación de presupuestos comparativos para dos Alternativas de vaciado de concreto	74
• 5.6. Visualización de la aplicación de @RISK	76
• 5.7. Principales riesgos y las acciones tomadas como respuesta en el proyecto.	77
• 5.8. Matriz de Riesgo Operacional	80
• 5.9. Cuadro de actividades de control de riesgo operacional	81
• 5.10. Matriz de Control Operacional para la actividad: Excavación Manual	82
• 5.11. (a,b). Imágenes en perspectiva de la Iglesia para el proceso de conceptualización de la cúpula en 3D.	83
• 5.12. (a,b,c,d) Vistas de curvas de nivel en la cúpula en 3D	84
• 5.13. (a,b) Vista en planta y corte de los sectores de vaciado	85
• 5.14. (a,b,c) Vistas en corte y planta del andamiaje de encofrado y vista de implementación de mallas de seguridad	85
• 5.15. (a,b,c) Fotos de la implementación de ensayos y prototipos	87
• 5.16. Formato de planificación diaria	89
• 5.17. Supervisión del trabajo de topografía	89
• 5.18. Antes y después (vista en planta del andamiaje)	90
• 5.19. Trabajo de armado del andamiaje de Ulma	90
• 5.20. Vista interna del encofrado	91
• 5.21. Vista desde la zona exterior	91
• 5.22. Todas las plataformas de trabajo contaron con barandas de seguridad	91
• 5.23. Antes y después (vista exterior de la iglesia acabada)	92
• 5.24. Retroalimentación de procesos constructivos	92
• 5.25. Cuadro comparativo del costo presupuestado y costo final	94
• 5.26. Cuadro de fechas de inicio y fin de las tareas principales	94
• 5.27. Interacción del riesgo, la incertidumbre y la Gestión de Riesgos	95

## Resumen

Hoy en día, las empresas constructoras requieren de un mejor manejo de los riesgos e incertidumbres que afectan sus obras. Las incompatibilidades en los planos, la falta de constructabilidad, el uso de tecnologías nuevas, la falta de seguridad en obra y la falta de comunicación y coordinación son algunas causales de riesgo que amenazan el logro de los objetivos de todo proyecto: satisfacer los criterios de valor del cliente y usuarios, que son usualmente el costo, plazo, calidad y seguridad. Pese a todo ello, no es común ver que se aplique un proceso formal de la Gestión de Riesgos en las organizaciones como parte de la gestión de proyectos.

Esta investigación pretende definir y establecer a la Gestión de Riesgos como un sistema estratégico de técnicas y herramientas útiles aplicadas en un proceso ordenado y sistemático para la Gestión de Proyectos, con el objetivo final de asegurar los criterios de valor antes mencionados, tanto del cliente como de la misma organización que la aplica.

El proceso de la Gestión de Riesgos comienza por la identificación de riesgos e incertidumbres como un subproceso constante en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto, seguida por el análisis de riesgos, que puede ser cualitativa o cuantitativa. Entre los métodos de análisis cuantitativo, destaca la simulación de Monte Carlo por ser una herramienta poderosa de gestión de riesgos en la estimación de costos, como se discutirá más adelante. Posteriormente, una vez definidas la probabilidad, el impacto y la vulnerabilidad en la etapa de análisis, se procede a planificar la respuesta a los riesgos. En el caso de tratarse de amenazas, el tipo de respuesta puede ser transferir, evitar, absorber o mitigar. Luego, los riesgos son monitoreados para observar su evolución, y si ocurre algún cambio en las condiciones o en las circunstancias del proyecto, se procede al punto inicial, es decir, identificar y analizar los riesgos y sus nuevas condiciones. Entre cada subproceso, existe el proceso de registro de riesgos, que es el medio de comunicación formal entre los involucrados que contiene información importante sobre la gestión de riesgos.

Finalmente, la propuesta planteada producto de la investigación consiste en que el registro de riesgos se alimente en una base de datos para ser reutilizada a futuro si fuera aplicable, y al mismo tiempo brinde soporte para la gestión de riesgos en el análisis, seguimiento y monitoreo basado en un sistema colaborativo y actualizado.

# Parte I

## ► Capítulo 1

### Introducción

Contexto actual, metodología y alcances

Construir en nuestros tiempos requiere de una gestión eficiente y competitiva. En ese sentido, casi todas las empresas dedicadas al rubro de la construcción son conocedoras de la importancia de la planificación, y es justamente allí donde surge la necesidad de prever y anticiparse a los hechos que puedan ir en contra del buen desenvolvimiento de sus proyectos, ya sea en la etapa de concepción, diseño, construcción o en su puesta en uso. Sin embargo, una buena planificación no necesariamente asegura el éxito de un proyecto. Existen riesgos e incertidumbres asociados a los diversos procesos que se presentan en todas las etapas del proyecto, cuyas consecuencias, sean positivas o negativas, se manifiestan en gran magnitud durante la etapa de construcción. Desde esta óptica, se puede afirmar que los proyectos mal concebidos o mal diseñados presentan riesgos e incertidumbres con mayor frecuencia, los cuales deben ser controlados o evitados con una adecuada Gestión de Riesgos.

Por ejemplo, entre los principales problemas que se presentan en una obra de edificación típica en nuestro medio, podemos mencionar los siguientes:

1. Atrasos y/o obras adicionales por incongruencias entre los planos de distintas especialidades,
2. Merma en la productividad, calidad y seguridad por la falta de constructabilidad en los diseños.
3. Falta de coordinación entre involucrados con el proyecto.
4. Resolución de contratos por conflictos entre las partes, los cuales en la mayoría de los casos son generados por falta de coordinación y comunicación entre las partes.
5. Incompatibilidad con requerimientos municipales o con las Normas Técnicas vigentes. (J. Carlos Vásquez, citado por Orihuela, P., 2005).

Estos riesgos e incertidumbres deberían ser identificados y controlados mediante una adecuada Gestión de Riesgos, que considere la aplicación de métodos y herramientas de gestión, que garanticen que los proyectos tengan el plazo, costo y calidad previstos, asegurando de esta manera el valor del mismo. Identificar tempranamente los riesgos e incertidumbres de un proyecto nos permite poder manejarlos de una manera más efectiva; sin embargo pocas empresas le dan importancia a éste tema, y para cuando el riesgo se manifiesta ya es demasiado tarde para controlarlos, impactando al proyecto de manera negativa.

En este capítulo se explicará el contexto actual de la construcción en nuestro medio; seguido de los objetivos, aspiración y estrategia de la investigación; metodología de investigación y la estructura del estudio.

### 1.1 Contexto Actual de la Construcción

En los últimos años, la construcción en el Perú se ha intensificado de una manera sin precedentes, debido principalmente a iniciativas políticas y a un escenario favorable de la economía. Sin embargo, esto no quiere decir que la construcción haya mejorado. Actualmente, todavía existen muchas deficiencias en los proyectos de construcción en Lima, las cuales se traducen en pérdidas económicas; al mismo tiempo, muchos de ellos no llegan a cumplir los objetivos para los que fueron originalmente planteados.

Tanto en el Perú como en otros países, el diseño y la construcción de un proyecto se llevan a cabo en dos etapas muy aisladas entre sí, y por ende, con poca coordinación. Esto se debe a los bajos niveles de comunicación entre los involucrados, falta de aplicación del concepto de constructabilidad en las etapas de factibilidad o concepción del proyecto, diseño y construcción, así como la falta de herramientas de coordinación y de visualización de los procesos y, en general, a la costumbre de ir solucionando las cosas conforme se vayan presentando (Pablo Orihuela, 2005).

Como comentario, se puede afirmar que dentro de los factores por las cuales suceden problemas en los proyectos de construcción, se tienen, en primer lugar, la falta de una **visión común** de dos partes: por un lado, la visión del proyecto por parte del cliente y de los usuarios, y por otro lado, la visión de los proyectistas y contratistas. Mientras mejor se aproximen ambas visiones, el proyecto estará mejor diseñado a la medida los clientes y usuarios, y por tanto, éstos estarán satisfechos.

En segundo lugar, existe una inadecuada Gestión del Valor durante las etapas de concepción y diseño en la mayoría de los proyectos de edificación. Por ejemplo, un mal análisis de funcionalidad del proyecto disminuye el valor del mismo. En el caso de ser corregido en la etapa de construcción, existen riesgos e incertidumbres que se presentan con las modificaciones en obra.

Además, resalta la falta de compromiso sobre la aplicación de la Gestión de Calidad como parte de la metodología de trabajo habitual de los diseñadores y constructores. Las deficiencias en la calidad del diseño y la construcción de un proyecto influyen directamente en la funcionalidad, estética y economía del mismo.

Como ya se ha visto, un punto importante que ocurre con bastante frecuencia es la incompatibilidad de planos. Las incongruencias entre los planos de distintas especialidades, específicamente en el diseño de elementos o en el espacio físico que ocupan, son unos de los mayores problemas que ocurren durante una obra debido a un mal diseño del proyecto. Asimismo, lo son las modificaciones en obra por fallas de arquitectura, estructuras e instalaciones. Se presentan cuando hay una mala elaboración de planos o falla en el diseño de las especialidades, siendo subsanadas mediante modificaciones en obra. También suelen darse modificaciones en obra por cambios de último momento generados por un giro en la concepción del proyecto o por una mala concepción del mismo.

La falta de constructabilidad en los proyectos es otro factor importante que determina en gran parte los sobrecostos de obra, generando bajos índices de productividad de los procesos constructivos. Es necesaria la participación de profesionales con amplia experiencia en construcción en las etapas de diseño, con el propósito de analizar, solucionar y mejorar las áreas de posible conflicto que se podrían presentar en el proceso de desarrollo de ejecución de obra.

La falta de coordinación y comunicación entre los involucrados del proyecto aporta a generar los problemas antes mencionados, y además ralentiza y vuelve más difícil el desarrollo del proyecto dentro de los plazos planteados desde el inicio.

Otros factores menos frecuentes pero no menos importantes son el incumplimiento de requerimientos municipales y de las normas vigentes.

A pesar de todo lo expuesto, existe una tendencia al cambio. La fuerte competencia en la industria de la construcción induce cada vez más a las empresas constructoras a aplicar nuevas tecnologías y herramientas de gestión, orientadas al mejor manejo de sus proyectos y al logro de sus objetivos.

Queda claro entonces que existe la necesidad de una mejora en la gestión de los proyectos de construcción, desde la etapa de concepción hasta la etapa de operación y mantenimiento. Este estudio está orientado a cubrir dicha necesidad, específicamente durante la etapa de construcción. Los objetivos generales, aspiración y estrategia del estudio se mencionan a continuación.

## 1.2 Aspiración, Objetivo y Estrategia de la investigación

Esta investigación resalta y plantea la necesidad de un mejor manejo de los proyectos de construcción desde el punto de vista del valor generado en ellos, colaborando a que estos se realicen dentro del costo, plazo y calidad especificados. Para esto, ésta tesis tiene como objetivo el generar un proceso de Gestión del Riesgo que ayude a identificar, analizar y dar respuesta positiva a los principales riesgos asociados a un proyecto de construcción, estudiando a la Gestión del Riesgo, así como a sus principales técnicas y herramientas de gestión.

En ese sentido, se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Resaltar la necesidad de una mejor Gestión del Valor en la etapa de Construcción en nuestro medio,
- Proponer una adecuada Gestión del Valor, utilizando herramientas de Gestión de Riesgos para asegurar el éxito de los proyectos de construcción,
- Proponer una herramienta de Retroalimentación de la Construcción, asegurando de esta manera el aprendizaje continuo tanto de la Gestión de Proyectos como de los procesos constructivos, y reduciendo cada vez más la probabilidad de ocurrencia de errores en la etapa de construcción.

La visión que se plantea en esta investigación es:

*Maximizar el valor de los proyectos de construcción en el Perú utilizando la Gestión de Riesgos, asegurando de esta forma la satisfacción de los interesados, tanto clientes y usuarios como contratistas, en todas las etapas de sus ciclos de vida.*

El proceso de Gestión del Riesgo se presentará a manera de propuesta, el cual será aplicado y comprobado en un proyecto real en el área de edificaciones. Los resultados servirán como base para futuras investigaciones, así como guía práctica. A continuación se presenta la figura 1.1, mostrando de manera integral la meta, aspiración, objetivos y estrategia de la investigación.

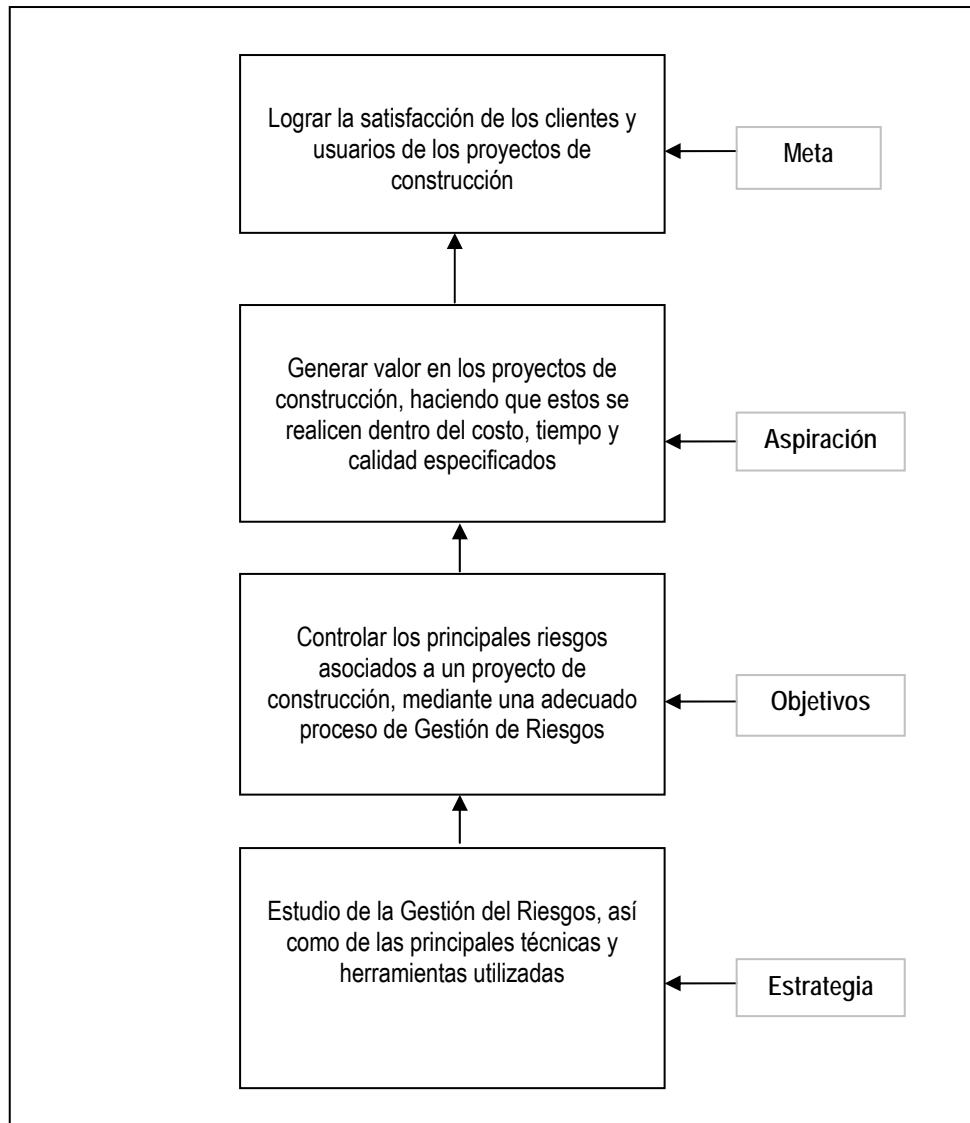


Figura 1.1.- Representación de la aspiración, objetivo y estrategia de la investigación.

Fuente: El autor

### **1.3 Metodología de investigación**

La investigación empieza con la revisión de libros, revistas y artículos de probada credibilidad relacionados con el contexto actual de la construcción en el Perú. Enseguida, se identifican los problemas típicos en los proyectos de edificación y las causas por las que ocurren.

Por otro lado, se hace una revisión y análisis de la bibliografía a usarse, tomando en cuenta que debe ir de acuerdo con la visión de la investigación. Se toma como

referencia literatura de reconocidas instituciones como el APM, PMI, IVM, así como de autoridades de la ingeniería reconocidas en el mundo, en los campos de la Gestión del Valor y la Gestión de Riesgos.

Asimismo, el estudio toma en cuenta, entre otros documentos y publicaciones, dos seminarios: 'Ventajas competitivas en la Construcción' y 'Nuevos Horizontes en Construction Management', a partir de los cuales se ha hecho un análisis y se ha extraído las principales ideas orientadas con la visión de esta investigación.

Finalmente, la investigación culmina con la Propuesta técnica y el Caso de Estudio. Se plantea la aplicación real de la propuesta de la investigación en un proyecto de edificación en la ciudad de Lima, en la cual se explica el contraste de lo aplicado realmente versus lo que se aplicaría según la propuesta técnica, respecto a los procesos y herramientas de la Gestión de Riesgos.

#### 1.4 Alcances

Las definiciones, procesos, técnicas y herramientas descritas en el estudio están desarrolladas desde el punto de vista de un equipo de Gerencia de Proyectos. Sin embargo, no está limitada a una empresa dedicada a la Gerencia de Proyectos; también es extensible a las propias empresas contratistas y subcontratistas que requieran un sistema de Gestión de Riesgos según la necesidad o envergadura de los proyectos.

Por otro lado, el uso de las herramientas y técnicas desarrolladas en la investigación y en la propuesta se limitan, dentro del marco del ciclo de vida de los proyectos, desde la etapa de planificación de la ejecución de los proyectos de construcción hasta el momento en que culmina la obra.

#### 1.5 Estructura del estudio

Esta investigación consta de tres partes:

-Parte I: Introducción.

Capítulo 1: Introducción: contexto, metodología y alcances.

-Parte II: Revisión literaria.

Capítulo 2: Gestión del Riesgo en la Construcción

Capítulo 3: Técnicas y herramientas para la GRC

-Parte III: Propuesta.

Capítulo 4: Propuesta Técnica

Capítulo 5: Caso de estudio

Capítulo 6: Conclusiones

-Anexos I, II, III, IV y V.

En la Parte I se ha presentado en este capítulo la problemática actual de la construcción en el Perú, se definieron la visión, misión, objetivos y alcances de la investigación, y se culminó estableciendo la metodología de la investigación.

En la Parte II, se presentan los diversos procesos de la Gestión de Riesgos (capítulo 2), desde diferentes puntos de vista de renombradas instituciones y profesionales vinculados con el rubro. En el capítulo 3, se estudian las técnicas y herramientas de cada uno de los procesos de la Gestión de Riesgos.

Finalmente, en la Parte III se presenta la Propuesta Técnica de Gestión de Riesgos en la Construcción, explicando la metodología a seguir y las herramientas a usarse para prevenir y erradicar los riesgos e incertidumbres (capítulo 4). La propuesta está basada en la revisión y optimización de las técnicas descritas en la Parte II, adecuándolas para su aplicación en los proyectos de construcción de edificaciones e infraestructura. Seguidamente, se presenta el Caso de Estudio (capítulo 5), en el cual se ha observado y analizado los diferentes problemas asociados a una mala concepción y/o diseño de un proyecto de edificación, y el impacto que tienen en la etapa de construcción. Por último, en el capítulo 6 se exponen las conclusiones.

En los anexos se presentan la relación que hay entre los involucrados y el ciclo de vida de un proyecto, desde el punto de vista de la gestión del valor y la gestión de riesgos (anexo I); se estudia la definición y clasificación de riesgo e incertidumbre (anexo II); también se presenta la aplicación de la simulación de Monte Carlo usando el software @RISK como método de análisis cuantitativo de riesgo en la estimación de costos, previamente estudiando los parámetros y consideraciones definidos para su uso en la construcción por parte del ASTM (anexo III); y por último en los anexos IV y V se presentan los detalles de la propuesta técnica, como su modo de uso, características y la hoja de cálculo en la que fue diseñada.



## Parte II

---

### ► Capítulo 2

## Procesos de la Gestión de Riesgos en la Construcción

La Gestión de Riesgos en la Construcción (GRC) es, en nuestro país, un concepto que relativamente muy pocas empresas en el campo conocen. Muchas de ellas aplican algún tipo de herramienta o metodología orientada a minimizar o erradicar los riesgos en la construcción, sin que necesariamente haya un proceso formal o establecido. Las técnicas y métodos que utilizan para lograr estos objetivos son, en la mayoría de las veces, parte del *know-how* de las empresas.

La GRC no plantea solucionar los problemas en la construcción ni predecir exactamente qué acontecimientos negativos sucederán en la ejecución de una obra. La GRC es una herramienta como complemento de la Gestión del Proyecto para controlar los riesgos potenciales e incertidumbres de un proyecto, mediante el uso de técnicas y metodologías. La sofisticación en el uso de dichas técnicas depende normalmente del nivel de complejidad y magnitud de los proyectos, así como de la cantidad de riesgos e incertidumbres que se generan por las diversas

variables que los rodean. Para una mejor referencia en el estudio de los siguientes capítulos, se ha desarrollado en los anexos I y II las definiciones de riesgo e incertidumbre, sus clasificaciones y la interacción que tienen con el ciclo de vida de los proyectos y los involucrados o interesados.

Siendo la Gestión de Riesgos comúnmente usada en muchos sectores industriales, el sector construcción no es ajeno a ella. Como se sabe, los riesgos e incertidumbres son inherentes a la construcción; es por ello que las técnicas usadas en la Gestión de Riesgos en general pueden aplicarse perfectamente en el sector Construcción. Por tal motivo, toda mención a la Gestión de Riesgos por parte de diferentes fuentes pueden extrapolarse a la Gestión de Riesgos en la Construcción.

En el presente capítulo se explica primero qué es la Gestión de Riesgos, para luego entender su estructura y los procesos involucrados. Para estos últimos puntos, se presenta primero diversos esquemas de procesos de la GRC que se consideraron los más relevantes para esta investigación, y luego se explican cada uno de los procesos involucrados desde diversos puntos de vista de fuentes reconocidas.

## 2.1. Definición de la Gestión de Riesgos en la Construcción

Antes de entrar a detalle sobre los procesos de la Gestión de Riesgos, se debe definir primero qué significa, cuál es su propósito y qué implicancias tiene.

Existen actualmente muchas definiciones de la Gestión de Riesgos, siendo algunas de las más importantes las que se presentan a continuación:

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 arte de la Gestión de Riesgos es identificar los riesgos específicos y responder a ellos de la manera apropiada.”*

Male y Kelly (2004) definen así la Gestión de Riesgos:

*“La Gestión de Riesgos 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:

*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:

*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:

*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.”*

Finalmente, Smith (2002) añade:

*El propósito de la Gestión de Riesgos es proveer información que sirva como base para que el Gerente de Proyecto tome una mejor decisión acerca del proyecto en cualquier momento de su ciclo de vida.”*

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 si es que ocurriesen, consiguiendo de esta manera los objetivos del proyecto y asegurando su valor.*

#### Comentario:

La Gestión de Riesgos no debe entenderse como un proceso imaginario o una especie de filosofía para la Gestión del Proyecto. La GRC en sí es una herramienta para la Gestión del Proyecto que involucra una metodología de trabajo ordenada en la cual intervienen profesionales competentes que se valen de su experiencia y de

la aplicación de técnicas para gestionar los riesgos e incertidumbres asociados a la fase de construcción de un proyecto determinado.

## 2.2. Estructura del Proceso de la Gestión de Riesgos

Smith (2002) señala que entender cómo funciona la Gestión de Riesgos es difícil por dos motivos:

- La falta de claridad del propósito de la Gestión de Riesgos
- La Gestión de Riesgos es un proceso iterativo que refleja la naturaleza dinámica de los riesgos a lo largo del ciclo de vida útil.

De esta forma, resulta imprescindible que la GRC tenga una estructura definida de los procesos involucrados, a manera de diagrama de flujo, la cual debe ser comprendida por cada miembro del Equipo de Proyecto. Sobre esto, existen diversos esquemas y opiniones acerca de la estructura ideal del proceso de la Gestión de Riesgos. Sin embargo, casi todos concuerdan con el siguiente esquema básico: los riesgos son primero identificados, luego registrados, cuantificados, y finalmente controlados hasta el final de la etapa de construcción.

Kliem y Ludin (1997) presentan a la Rueda de Deming (Deming et al.) como esquema del proceso de la Gestión de Riesgos:

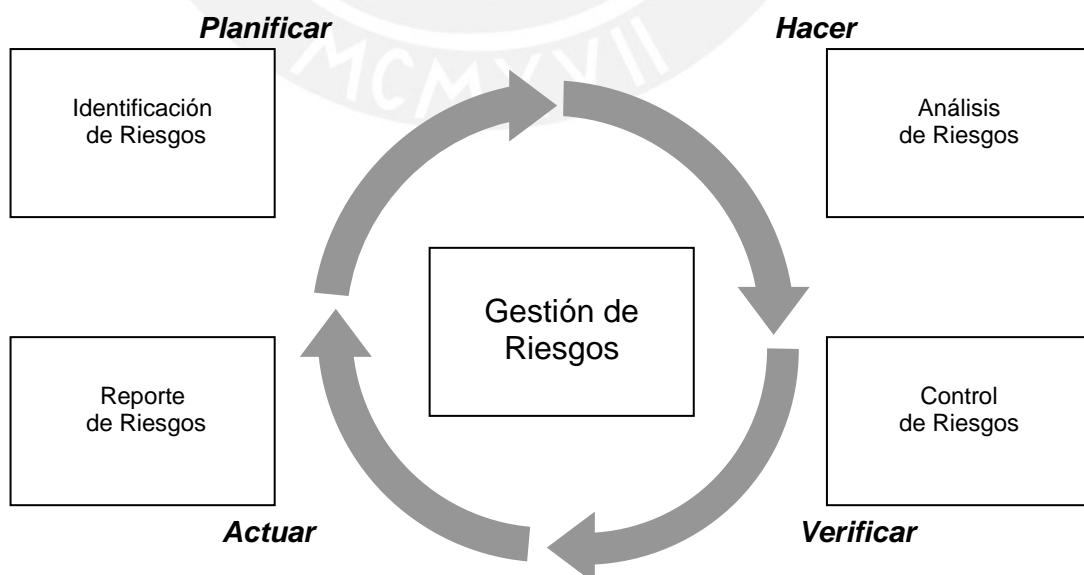


Figura 2.1. Rueda de Deming como estructura cíclica de la Gestión de Riesgos.

De este esquema, se destaca que la GRC no es un proceso lineal, sino que es un proceso cíclico-repetitivo donde se identifican, analizan, controlan y reportan los riesgos.

Por otro lado, el APM (PRAM, 1997) formula lo siguiente:

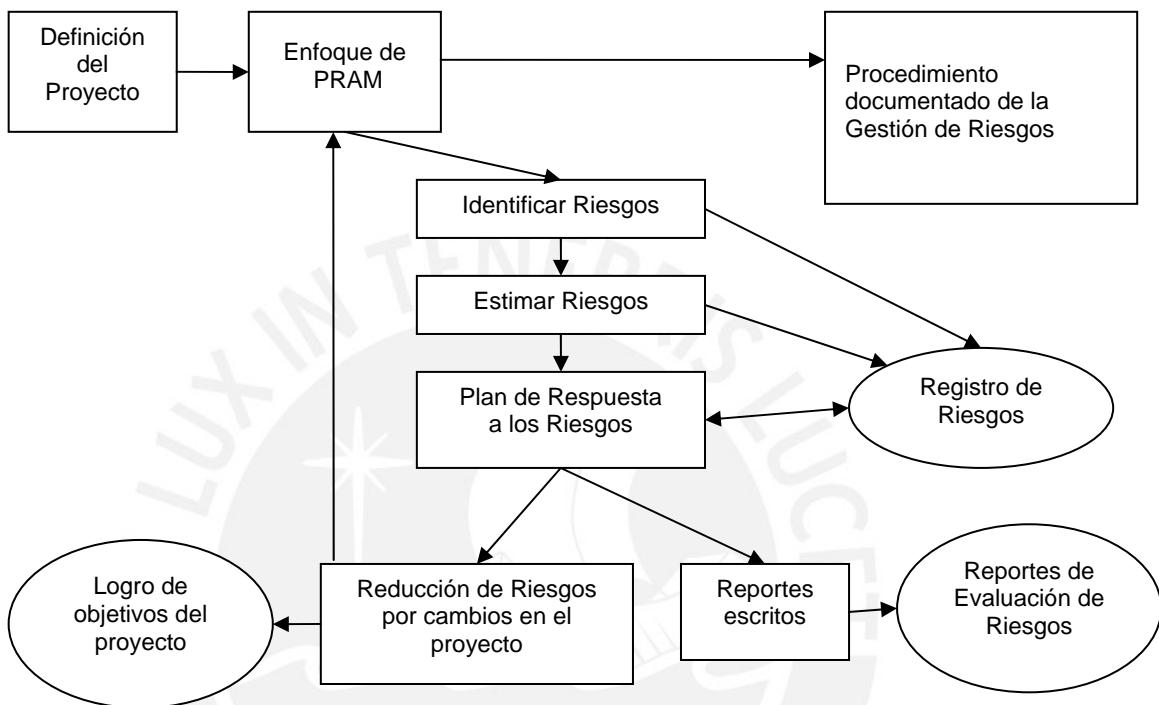


Figura 2.2. El Ciclo de la Gestión de Riesgos (PRAM, 1997)

A diferencia del esquema anterior, este esquema indica que cada subproceso básico de la Gestión de Riesgos (identificación, estimación y respuesta) está ligado con el proceso de registro de riesgos. Además, señala como resultados del proceso de Respuesta a los Riesgos los siguientes outputs: reducción de riesgos (que contribuyen al logro de los objetivos) y reportes escritos (que generan documentos de control y evaluación de riesgos).

El APM indica que antes de empezar con la identificación de riesgos, está el proceso de “Enfoque de PRAM” y Definición del Proyecto. El Enfoque de PRAM, cuyas siglas en inglés provienen de Project Risk Analysis and Management, son las pautas y estrategias a tomar en cuenta para la Gestión de Riesgos de los proyectos, considerando para esto sus objetivos, políticas, procedimientos,

organización, herramientas disponibles y recursos humanos. Toda esta información, así como toda decisión que se toma sobre la estrategia de la Gestión de Riesgos, debe ser documentada en el denominado Risk Management Plan o Plan de Gestión de Riesgos (PRAM, 1997).

Chapman (1997) recoge una estructura detallada del proceso de la Gestión de Riesgos desarrollado por un grupo de interés del APM (APM-SIG), que ha sido evaluado y usado por muchas organizaciones durante varios años con relativo éxito. Esta estructura es compatible con la anterior, y es presentada como diagrama de flujo, compuesta por nueve fases:

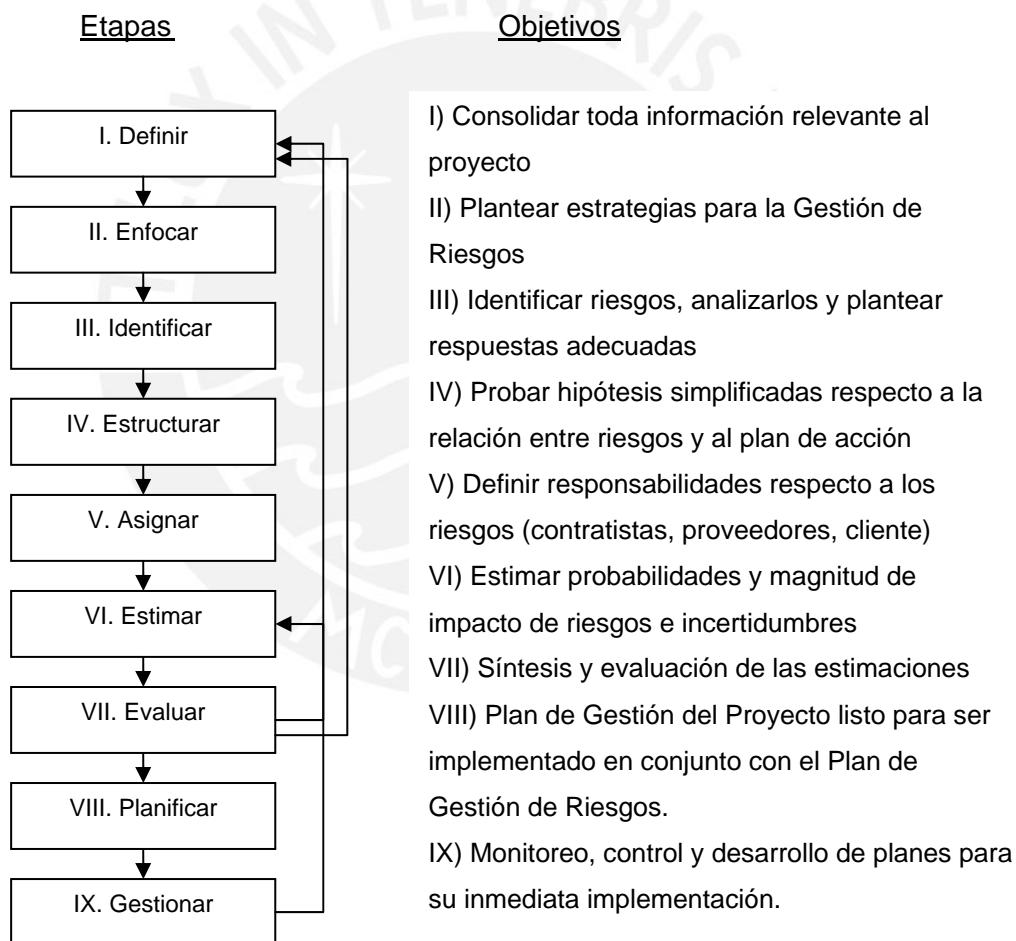


Figura 2.3. Procesos de la Gestión de Riesgos (Adaptación de Chapman, 1997)

Chapman (1997) indica que el proceso de la Gestión de Riesgos debe ser aplicado por el cliente (propietarios del proyecto) y contratistas, en todas las etapas del ciclo

de vida del proyecto. Asimismo, señala que si bien se muestran las fases secuencialmente, éstas realmente se desarrollan en paralelo e interactúan entre sí, tal como lo muestra el siguiente gráfico.

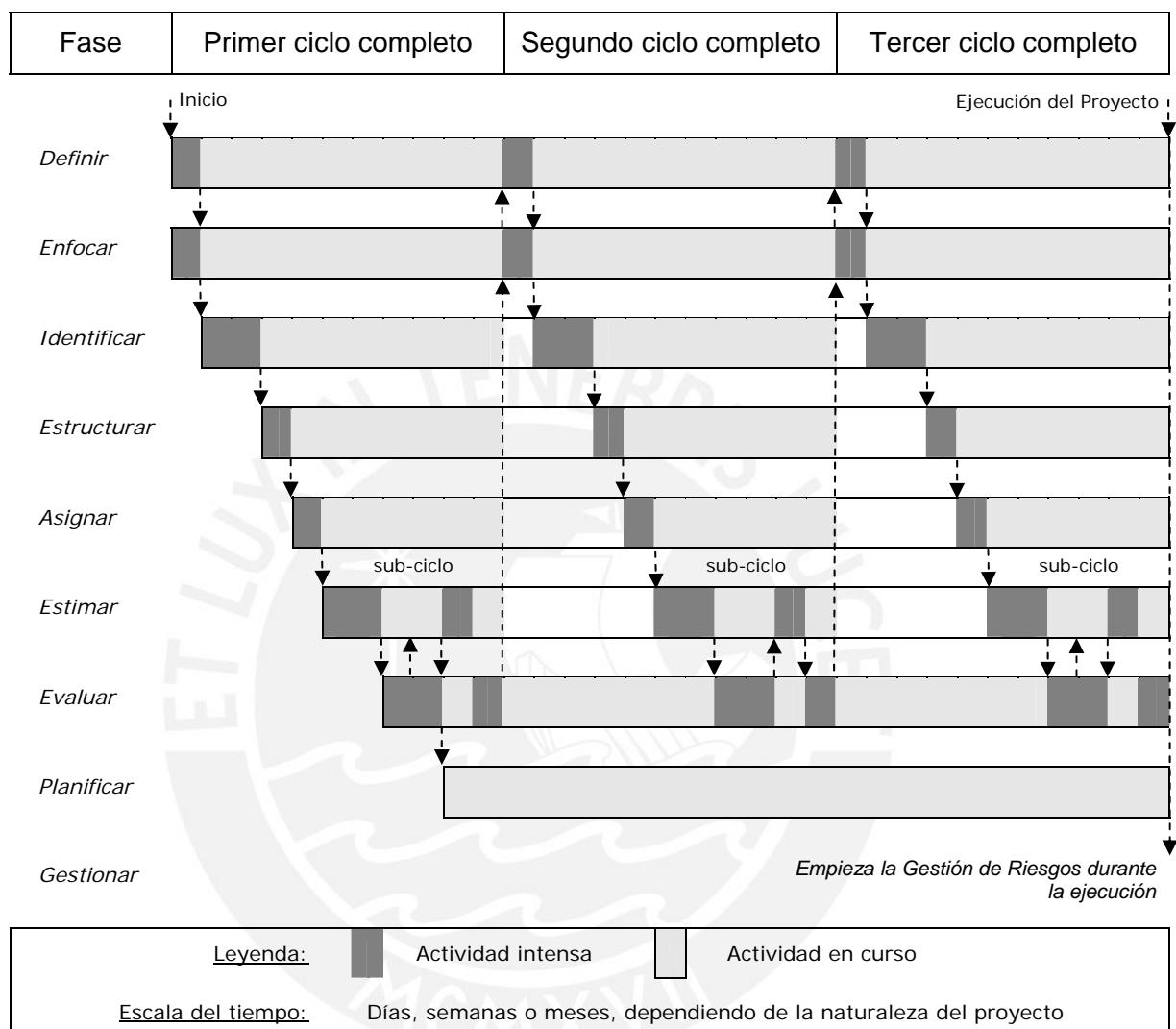


Figura 2.4. Proceso de la Gestión de Riesgos a lo largo del tiempo (PRAM, 1997)

La Gestión de Riesgos debe comenzar una vez que el proyecto esté claramente definido y planificado. Implementar el proceso de la Gestión de Riesgos previamente a la etapa de planeamiento o en paralelo con la concepción es en general más difícil, porque el proyecto es más flexible, y no está del todo definido. Un proyecto más flexible involucra que haya más grado de libertad en cuanto a diseño, más alternativas que considerar, incluyendo alternativas que se eliminarán en tanto el proyecto madure por razones ajenas a los procesos de la Gestión de Riesgos (Chapman, 1997).

De otro lado, Merna (2004) ilustra los procesos involucrados en cada nivel de una organización, la participación de los involucrados y las técnicas de gestión de riesgos correspondientes.

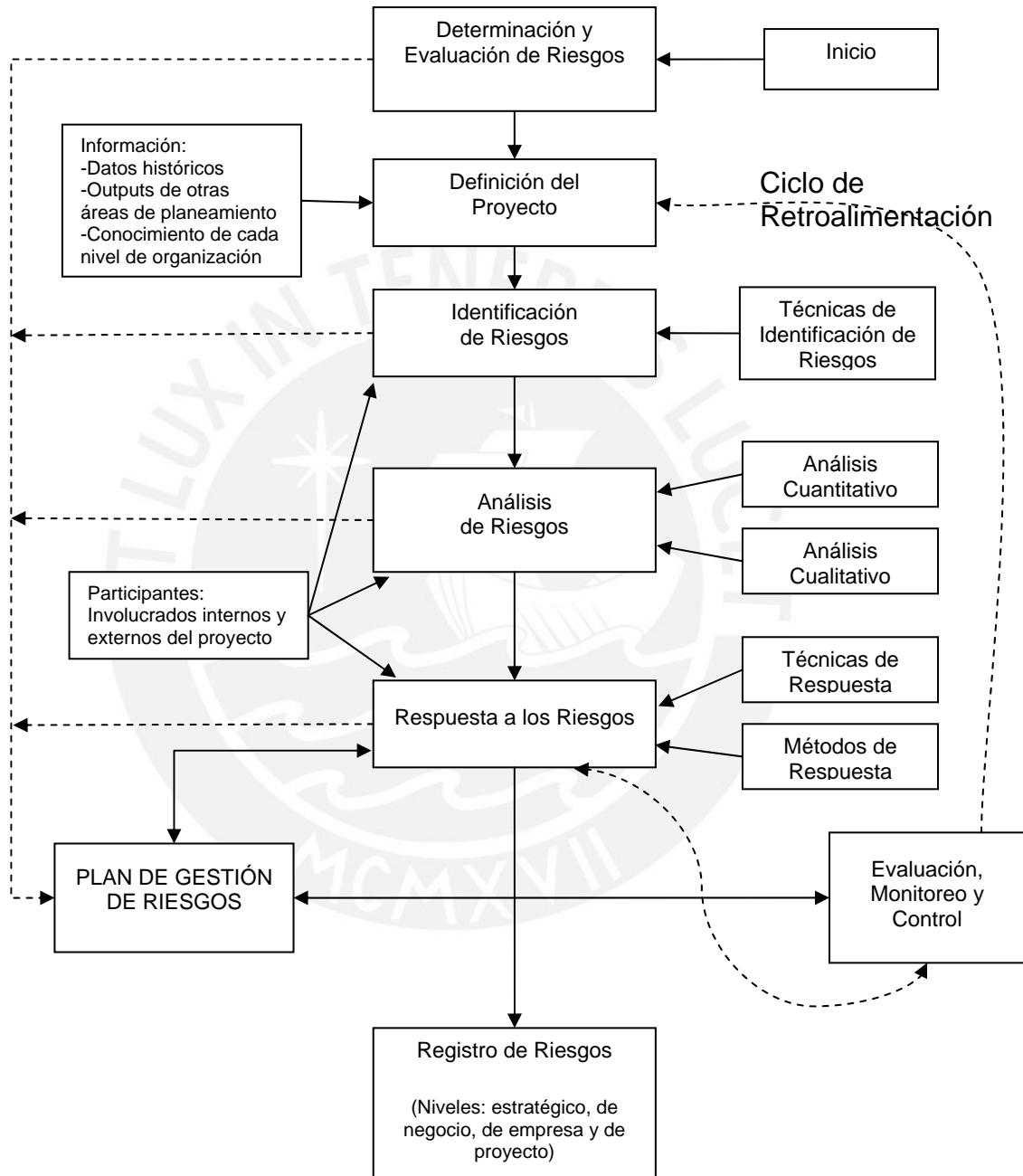
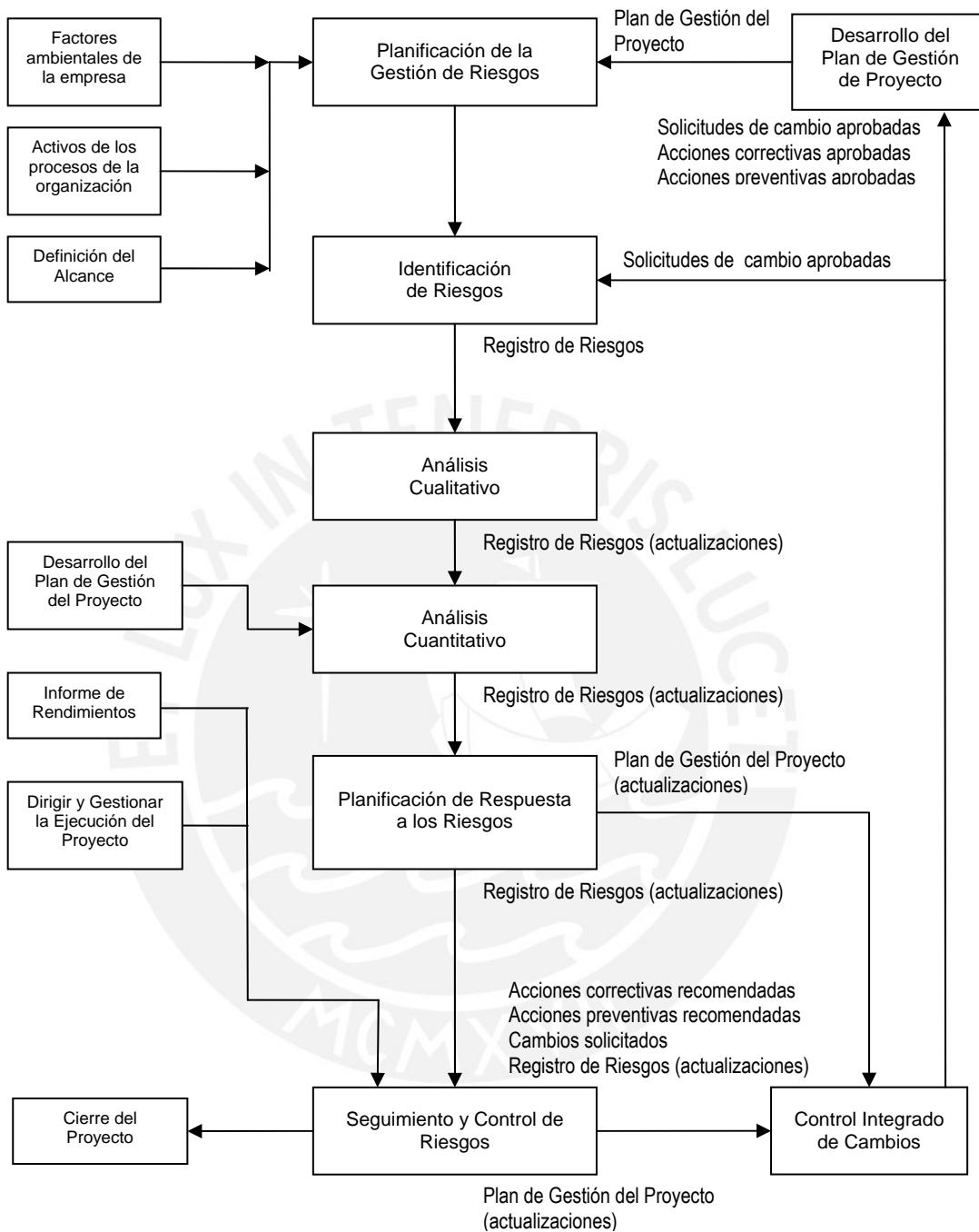


Figura 2.5. Proceso de la Gestión de Riesgos según Merna (2004)

El PMI (PMBOK, 2004) muestra el siguiente diagrama de flujo de Procesos de la Gestión de Riesgos:



\*Nota: No se muestran todas las interacciones ni todo el flujo de datos entre los procesos

Figura 2.6. Proceso de la Gestión de Riesgos según el PMI (PMBOK, 2004)

Este proceso, como los anteriores, presenta un esquema parecido: se identifican los riesgos, se analizan, se planifican sus respuestas y luego se hace el seguimiento, siempre actualizando la información de registro de riesgos. Sin embargo, resalta el hecho de presentar como proceso inicial la Planificación de la

Gestión de Riesgos. El PMI lo define como el proceso de decidir cómo abordar y llevar a cabo las actividades de gestión de riesgos de un proyecto, y se plasma en el Plan de Gestión de Riesgos, el cual se actualiza después de realizar los procesos de Planificación de Respuesta a los Riesgos y Seguimiento y Control de Riesgos. El Plan de Gestión de Riesgos incluye lo siguiente:

- Metodología. Define los métodos, herramientas y fuentes de información que se van a tomar como referencia para la gestión de riesgos del proyecto.
- Roles y responsabilidades. Define el líder y las funciones de cada miembro del Equipo de Proyecto para cada tipo de actividad y proceso.
- Preparación del presupuesto. Asigna recursos y estima costos para la GRC.
- Periodicidad. Define cuándo y con qué frecuencia se llevarán a cabo las actividades de la GRC dentro el cronograma del proyecto.
- Categorías de Riesgo. Proporciona una estructura que garantiza la identificación sistemática de los riesgos usando métodos como Checklists, RBS (Risk Breakdown Structure o Estructura de Deglose de Riesgos), entre otros.
- Definiciones de probabilidad e impacto de riesgos, los cuales se adaptan a cada proyecto para usarlas en el proceso de análisis de riesgos.
- Matriz de probabilidad e impacto, en la cual se priorizan los riesgos según su importancia (a mayor probabilidad de ocurrencia e impacto, mayor importancia).
- Tolerancias revisadas de los interesados.
- Formatos de Informe, donde se describe el contenido y formato del Registro de Riesgos, así como también describe la forma en que se documentarán, analizarán y comunicarán los resultados de los procesos de la GRC.
- Seguimiento. Se describe la forma en que las actividades de la GRC serán registradas y monitoreadas para futuras referencias.

La Planificación de los Procesos de Gestión de Riesgos es importante para garantizar que los esfuerzos a invertir en la GRC sean acordes con los riesgos y la importancia del proyecto para la organización, a fin de proporcionar recursos y tiempo suficientes y necesarios para las actividades de la GRC, y para establecer una base de criterios adecuada para evaluar los riesgos durante el ciclo de vida del proyecto. (PMBOK, 2004)

Finalmente, para Smith y Merrit (2002), el proceso de la Gestión de Riesgos está formado por cinco “pasos a seguir”, que se ilustran a continuación:

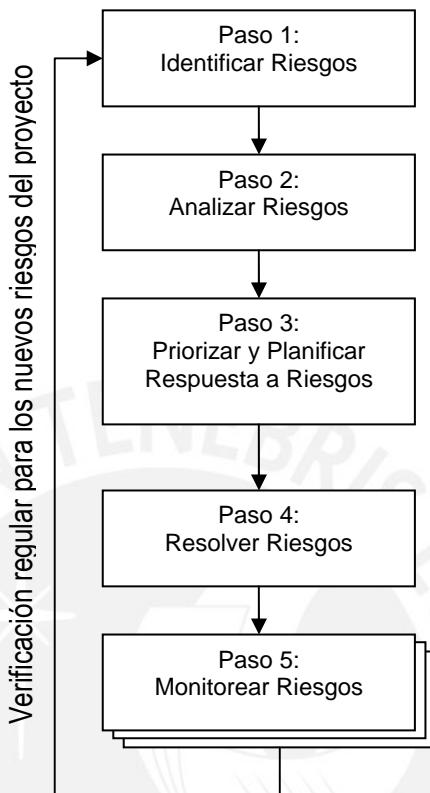


Figura 2.7. Proceso de la Gestión de Riesgos (Smith y Merrit, 2002)

Cabe destacar que el último de los pasos se realiza continuamente, mientras los demás se hacen una sola vez, para cada riesgo en particular.

Comentario:

De los esquemas mostrados de los procesos de la Gestión de Riesgos se concluye que todos tienen en común los procesos de identificación, análisis, respuesta a los riesgos, control y retroalimentación. Los procesos de planificación de la Gestión de Riesgos y el registro de riesgos están presentes en tres de los seis procesos estudiados.

A continuación, se presenta un cuadro que resume las fases de la GRC que fueron tomadas en cuenta por cada autor citado en el presente capítulo.

Fase / Autor	Kliem y Ludin (1997)	APM (PRAM,1997)	Chapman y Ward (1997)	Merna (2004)	PMI (PMBOK 2004)	Smith y Merrit (2002)
Estrategia / Planificación de la GRC		✓	✓		✓	
Identificación	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análisis / Estimación	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Respuesta a los Riesgos	✓ (*)	✓	✓	✓	✓	✓
Monitoreo / Control	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Registro de Riesgos		✓		✓	✓	
Reporte / Retroalimentación	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(\*) El autor no hace explícito este proceso, pero se asume que al caracterizar con el verbo 'actuar' se hace referencia a la acción de Respuesta a los riesgos, la cual es previa al proceso formal de Reporte de Riesgos.

Figura 2.8. Cuadro comparativo de las estructuras de la GRC según diversas fuentes.

#### Comentario:

Tanto el PMI como el APM presentan un esquema completo e integral de la Gestión de Riesgos como parte de la Gestión del Proyecto, presentando el proceso de Planificación de la Gestión de Riesgos y el Registro de Riesgos.

Esta investigación se enfocará en el estudio de los procesos inherentes de la GRC, los cuales son identificación, registro, análisis, respuesta a los riesgos y control.

### 2.3. Procesos de la Gestión de Riesgos en la Construcción

Como ya se ha explicado, la GRC exige una metodología de trabajo ordenada y secuencial, en la que los riesgos e incertidumbres son gestionados a lo largo de diferentes procesos: se inician en el momento en que se identifican hasta que son monitoreados y controlados, pasando por las etapas de análisis y planeamiento de las acciones de respuesta a los riesgos.

Esta serie de procesos dinámicos permiten que los riesgos de un proyecto de construcción sean controlados adecuadamente durante su ejecución, mediante un buen manejo del flujo de información y de comunicación, análisis, investigación y

revisión de documentos, aplicando para todo ello una serie de técnicas en los procesos involucrados.

Los procesos que comprenden la GRC 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 GRC 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.

De las diferentes estructuras de la GRC estudiadas en el acápite anterior, se tomarán en cuenta los siguientes procesos para efectos de esta investigación:

- **Identificación** de los riesgos del proyecto, proceso que implica estudiar las variables que envuelven el proyecto, realizar entrevistas a profesionales de campos específicos, etc.
- **Registro** de riesgos en una base de datos, el cual sirve como referencia para el proyecto en curso y también para futuros proyectos.
- **Análisis** de Riesgos, mediante herramientas de Priorizar los riesgos del proyecto según un puntaje calculado a partir de la probabilidad de ocurrencia y la magnitud que representa.
- **Planificación** de Respuesta a los Riesgos, etapa en la cual se plantean de acciones para minimizar el impacto de los riesgos más importantes. También se realiza delegación de responsabilidades a los miembros del Equipo de Trabajo.
- **Seguimiento y Control** de Riesgos. Este proceso se enfoca en monitorear y controlar los principales riesgos, a través de ratios definidos por el Equipo de Proyecto, así como la puesta en marcha de los planes de respuesta a los riesgos.

Si bien se ha presentado a los procesos ordenados de manera secuencial, lo que sucede en realidad es que éstos interactúan entre sí e incluso se superponen. Cada proceso implica la participación de los miembros del Equipo de Proyecto, los cuales pueden realizar labores de uno o más procesos al mismo tiempo, sin llegar a afectar al flujo de información inherente a esta cadena de procesos. Esta es otra razón por la cual la estructura del proceso de la GRC debe estar correctamente definida.

A continuación se estudiará cada uno de los procesos básicos de la Gestión de Riesgos en la construcción y los lineamientos y criterios para la aplicación de herramientas y técnicas, las cuales se verán en el próximo capítulo.

### ***Proceso 1: Identificación de Riesgos***

La identificación de los riesgos que pueden afectar el proyecto constituye el primer paso que se da al ejecutar un Plan de Gestión de Riesgos, y resulta fundamental ya que a partir de su reconocimiento el Equipo de Proyecto puede emprender acciones para erradicarlos o minimizar sus efectos. Otra razón de su importancia es que los riesgos e incertidumbres que no han sido identificados desde la etapa inicial del proyecto pueden generar grandes pérdidas económicas y de tiempo durante la etapa de ejecución, además de generar nuevos riesgos que surgen del evento ya ocurrido.

La identificación de riesgos e incertidumbres es efectuado por cualquier miembro del Equipo de Proyecto, y debe ser parte habitual de la cultura de la Gestión de Proyectos. La predisposición para identificar riesgos e incertidumbres que pueda tener cada miembro del Equipo de Proyecto puede influir notablemente la capacidad de análisis y evaluación en etapas posteriores, afín de obtener un correcto seguimiento, plan de contingencia o erradicación de riesgos.

El Project Management Institute (Guía del PMBOK, 2004) establece que la acción de identificar riesgos es iterativa, ya que no se realiza únicamente al planificar la ejecución de obra, sino también durante la misma fase de construcción, pues siempre se identifican nuevos riesgos según como va avanzando el proyecto y según como varían los factores que pueden afectar el proyecto.

Los riesgos e incertidumbres se clasifican según el tipo del proyecto al que pertenecen, sin que esto impida la posibilidad de que ciertos proyectos comparten los mismos riesgos. Las categorías son establecidas antes de identificar los riesgos, tomando como base proyectos parecidos, o durante el mismo desarrollo de la obra, si se diera el caso.

#### Comentario:

La creatividad y en análisis de las circunstancias de un proyecto son fundamentales para la identificación de riesgos. Puede haber muchas fuentes de información,

como se verá a continuación, pero lo importante es lograr clasificarlas para hacer un buen seguimiento posteriormente.

Según el PMI (2004), las referencias que se pueden tener para dar soporte al proceso de identificación de riesgos pueden ser:

- Fuentes propias de la empresa, como por ejemplo archivos guardados e investigaciones académicas, publicaciones propias o adquiridas, bases de datos comerciales, y sobretodo la experiencia de cada profesional de la empresa.
- Información de proyectos anteriores de similares características o envergadura, con lo cual pueden obtenerse datos interesantes y aprender de los errores que se cometieron para no repetirlos en el proyecto en curso.
- Alcances y objetivos del proyecto, establecidos en la definición del proyecto y en la memoria descriptiva, a partir de los cuales pueden identificarse riesgos e incertidumbres.
- Plan de Gestión de Riesgos, en el que se definen los roles y tareas de los miembros del Equipo de Proyecto, las actividades a realizarse y la categoría de riesgos, esquematizada en un RBS (Risk Breakdown Structure).
- Plan de Gestión del Proyecto, de donde se pueden identificar riesgos e incertidumbres a partir de la comprensión del cronograma, presupuestos y otros procesos como: gestión de calidad, seguridad, medio ambiente, etc.

Para Smith (2002), existen tres fuentes principales para la identificación de riesgos:

- Información de proyectos pasados, de la cual no siempre se puede confiar pues las técnicas aplicadas o las circunstancias en que sucedieron diversos eventos pueden no ser aplicables al proyecto en curso. Además, se sabe que los proyectos tienen alcances y objetivos distintos, por tal motivo se debe ser cuidadoso al seleccionar la información.
- Checklists, usualmente obtenidos de instituciones académicas o estatales, investigadores y empresas dedicadas a industrias especializadas.
- Sesiones de Brainstorming con el Equipo de Proyecto, es decir, realizar talleres de Lluvia de Ideas, la cual en sí es una de las herramientas de identificación de riesgos e incertidumbres que se explicará más adelante.

Como complemento, el APM (PRAM, 1997) recomienda que se hagan consultas a todos los involucrados importantes del proyecto y otras fuentes externas para enriquecer la lista riesgos e incertidumbres, no sólo en cuestión de cantidad sino también en precisión.

Por otro lado, Rossi (2006) establece que las fuentes para la identificación de riesgos se dan bajo el 'principio de las triples restricciones', con lo cual se tienen:

- Riesgos debidos al alcance del proyecto, en el que se enmarca, entre otras cosas, las especificaciones del proyecto y sus objetivos específicos.
  - Una técnica que puede ayudar a identificar potenciales riesgos es la WBS (Work Breakdown Structure), que es un esquema que descompone el proyecto en una serie de sub-proyectos, identificando específicamente para la etapa constructiva las tareas a realizar para estos sub-proyectos.
  - Los riesgos se manifiestan cada vez que se vuelve difícil descomponer las tareas en elementos más simples y manejables. Con esto, se deja entrever que la falta de experiencia en el diseño o construcción de algún elemento no convencional es un riesgo.
- Riesgos debidos a la programación, que se subdividen en tres categorías:
  - Riesgos relativos a los atrasos, debido a la falta de disponibilidad de materiales o productos cuando se necesitan, atrasos causados por materiales o equipos defectuosos que aún llegando a tiempo requieren reparación, atrasos en la toma de decisiones, a veces causado por discusiones, indecisiones o falta de información y experiencia.
  - Riesgos relativos a las dependencias, es decir, que alguna parte del proyecto depende de procesos o actividades externas que dan soporte al proyecto y que no son considerados.
  - Riesgos relativos a las estimaciones, las cuales pueden afectar al plazo previsto de un proyecto. Esto concierne especialmente para actividades o trabajos especiales de los cuales no se tenga información disponible, como por ejemplo, rendimientos hora/hombre y rendimientos de materiales.

- Riesgos debidos a los recursos, que se subdividen en tres categorías:
  - Riesgos asociados a los recursos humanos, como por ejemplo:
    - Perder personal definitivamente o temporalmente a mitad de desarrollo del proyecto, causado por renuncias, reasignación a otro proyecto o reducción de personal.
    - Falta de personal calificado para determinadas tareas, debido a la escasez de éstos o a la política de la empresa de no invertir en personal especializado pues puede ser muy costoso.
    - Falta de disponibilidad de personal en el momento en que se requieren, atrasando el cronograma.
    - Falta de motivación del personal en general
  - Riesgos asociados a los equipos y maquinaria, generalmente relacionado a la selección de los equipos adecuados según las necesidades del proyecto, considerando costos, productividad, características y soporte técnico. La mayoría de los riesgos relacionados a los recursos humanos pueden extenderse a los riesgos relacionados a los equipos.
  - Riesgos asociados al capital económico, especialmente en lo que se refiere al control financiero del proyecto. Aspectos inherentes a este rubro son el control del efectivo, el flujo de caja y sobretodo el capital de trabajo, que se define como el dinero necesario para pagar al personal, materiales y equipos sin haber recibido todavía el dinero de las valorizaciones pendientes. Un riesgo que puede ser grave es el atraso en los pagos por parte del Cliente, que puede traer como consecuencias: multas, atrasos de obra y, en el peor de los casos, la suspensión del proyecto.

### **Proceso 2: Registro de Riesgos**

Según Male y Kelly (2004), el Registro de Riesgos es el resultado de una serie de reuniones y talleres realizados por el Equipo del Proyecto que resume las decisiones tomadas y registra lo siguiente:

- Descripción del Riesgo
- Impacto del riesgo y su probabilidad de ocurrencia
- Soluciones de respuesta para cada riesgo, planteadas por el Equipo de Trabajo
- Designación de un responsable encargado de la acción a tomar en la siguiente etapa del proceso de la GRC
- Tiempo o costo requeridos para tenerlos en cuenta como parte de la contingencia del proyecto

En este proceso, el Gerente de Proyecto y su equipo revisan todos los riesgos identificados para seleccionar los que serán tomados en cuenta en la Gestión de Riesgos del proyecto en curso. En ese sentido, el APM (1997) propone que después de que los riesgos se hayan identificado, se haga una verificación de la veracidad de la fuente y de la exactitud de la descripción del riesgo. Además, señala que es importante hacer prevalecer la objetividad de las fuentes de donde se identifican los riesgos e incertidumbres ya que eso influencia en las decisiones toman en etapas posteriores.

Una vez que los riesgos se registran, se puede especificar una breve descripción, consecuencias y escenarios en los que pueden ocurrir. Con esto, se introduce información más precisa para poder realizar de una mejor manera el análisis de riesgos. Ejemplo de esto puede ser el financiamiento o el tipo de cambio de moneda local, que tienen que ver con el aspecto financiero del proyecto y cuya variabilidad depende de una serie de factores: ambiente político, inestabilidad de la moneda extranjera, expectativas de tasas de interés, entre otros. Otro ejemplo puede ser la falta de disponibilidad de recursos de un proveedor específico, que puede afectar el plazo de ejecución del proyecto.

Comentario:

El Registro de Riesgos comprende un proceso de retroalimentación continua, en el que riesgos de diferentes proyectos son almacenados en una base de datos, clasificados según lo obtenido en el proceso anterior (por ejemplo, si afecta el plazo del proyecto, la calidad de los entregables, el presupuesto, etc.). A cada riesgo o incertidumbre identificado se le debe asignar un código, con el que rápidamente pueda visualizarse a qué categoría o proyecto pertenece.

**Proceso 3: Análisis de Riesgos**

El proceso de Análisis de Riesgos tiene como finalidad determinar para cada riesgo el nivel de impacto y su probabilidad de ocurrencia, mediante el uso de dos técnicas principales: el análisis cualitativo y el análisis cuantitativo de riesgos. De esa manera, se puede calcular la importancia o incidencia de cada riesgo como resultado de un cálculo partir de su probabilidad e impacto. Sin embargo, el APM (PRAM, 1997) establece que así como se debe determinar los potenciales efectos de cada riesgo, también es necesario determinar los efectos adicionales por la combinación de la ocurrencia de varios riesgos al mismo tiempo.

Male y Kelly (2004) sugieren que el proceso de Análisis de Riesgos comienza con el análisis cualitativo, analizando lo siguiente:

- La descripción del riesgo, el momento probable en que ocurrirá y las causas.
- Los factores que causan los riesgos y la probabilidad de que aquellos ocurran.
- La magnitud del daño que el riesgo podría ocasionar.

Asimismo, el PMI (2004) indica que en el proceso de Análisis de Riesgo, después de que se realiza el análisis cualitativo, se priorizan los riesgos e incertidumbres identificados para emprender otras acciones, como el análisis cuantitativo de riesgos y la planificación de la respuesta a los riesgos. El hecho de realizar un análisis cuantitativo va en función a la necesidad de tomar una decisión importante, donde el riesgo, incertidumbre o una combinación de éstos son considerables dada su complejidad y la magnitud del impacto que podría repercutir en un proyecto.

- Análisis Cualitativo de Riesgos

Un Análisis Cualitativo evalúa a los riesgos subjetivamente, teniendo como objetivo establecer un puntaje a cada riesgo o incertidumbre para asignarles un grado de importancia relativa. De esta manera, los principales riesgos, es decir, los que poseen una mayor probabilidad de ocurrencia y al mismo tiempo tienen un impacto significativo para el proyecto, son derivados hacia los siguientes procesos, ya sea para establecer un plan de contingencia o para determinar cuantitativamente su probabilidad e impacto sobre el proyecto en curso.

Este proceso se realiza de las siguientes maneras: mediante entrevistas con personal clave o profesionales de experiencia, reuniones con el equipo técnico del proyecto, investigando expedientes de proyectos similares, etc.

Comentario:

En síntesis, el Análisis Cualitativo permite obtener un primer tanteo para tener en cuenta los riesgos más importantes, ya que el análisis cuantitativo, si fuera necesario, determinará con más precisión, es decir, con valores discretos, el impacto y probabilidad de ocurrencia cada riesgo.

• Análisis Cuantitativo de Riesgos

Como ya se ha señalado, el análisis cuantitativo determina la medición del impacto y probabilidad de los principales riesgos que pueden afectar un proyecto. Además, tiene la ventaja de que permite entender mejor el proyecto ante una gran cantidad de variables y riesgos, y se puede obtener probabilidades de ocurrencia de potenciales riesgos en circunstancias específicas del proyecto.

Siendo un proceso más sofisticado en el que se involucran más variables asociadas a los riesgos como por ejemplo, el costo, tiempo, y en general, todo tipo de recursos, es normal que se requiera del uso de software especializado. El nivel de complejidad de la técnica analítica a aplicar debe ser coherente con el presupuesto del proyecto, la gravedad del riesgo involucrado para ciertos aspectos críticos del proyecto, o el tiempo disponible.

Según Male y Kelly (2004), el análisis cuantitativo busca modelar matemáticamente la probabilidad de ocurrencia de los riesgos de dos formas:

- Un análisis de riesgo objetivo, donde se conoce exactamente la probabilidad de ocurrencia del riesgo en cuestión, y
- Un análisis de riesgo subjetivo, donde la probabilidad no es conocida exactamente pero es posible estimarla, de acuerdo a datos históricos, extrapolaciones, etc.

Comentario:

Muchas veces es necesario el uso de software para hacer estimaciones de probabilidad cuando se combinan riesgos, en las cuales se presentan curvas de probabilidad, basadas en simulaciones. Un ejemplo claro es la herramienta llamada

simulación de Monte Carlo, la cual se verá en el capítulo siguiente. Es importante señalar que los resultados presentados por una computadora no son determinantes y deben ser vistos como una ayuda para tomar las decisiones apropiadas.

En muchos proyectos, van a existir factores limitantes que no permitan un análisis completo de ambos procesos, como por ejemplo el tiempo disponible, la presión del cliente o el presupuesto. En ese caso, el análisis cualitativo debe prevalecer, y debe tomarse en cuenta que el proceso de la toma de decisiones críticas del proyecto deben amoldarse al esquema del análisis de riesgos.

#### ***Proceso 4: Planificación de Respuesta a los Riesgos***

Acerca de este proceso, el PMBOK (2000) dice que la planificación de la respuesta a los riesgos es el proceso de desarrollar opciones de solución y determinar acciones para promover las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto. Las respuestas planificadas a los riesgos deben ser coherentes con la importancia de los mismos, pues existe un costo relativo al esfuerzo realizado para controlar y tratar dichos riesgos. Las respuestas a los riesgos deben ser:

- Tener un costo razonable con respecto al beneficio,
- Ser aplicadas a su debido tiempo,
- Ser realistas dentro del contexto del proyecto,
- Estar acordadas por las partes implicadas y a cargo de una persona responsable.

Por otro lado, el APM (PRAM, 1997) indica que las respuestas a los riesgos deben implementarse siempre y cuando sean prácticas y justificadas. Para determinar si son justificadas, el Gerente de Proyecto debe considerar:

- La importancia relativa de los riesgos involucrados y de los objetivos del proyecto que podrían ser afectados,
- La potencial efectividad de la respuesta en reducir los riesgos, y cómo esto puede influir en el éxito de los objetivos involucrados,
- Los posibles costos que se asumirían si no se realiza la respuesta, en caso de que el riesgo ocurra,
- La importancia de respetar al máximo el presupuesto, visto como uno de los objetivos del proyecto,

- El costo de oportunidad de emprender la respuesta a los riesgos, en términos financieros y de recursos empleados.

Si bien ambas afirmaciones se complementan, el proceso de Planificación de Respuesta a los riesgos tiene como finalidad plantear soluciones y estrategias de control, monitoreo, minimización y erradicación de los riesgos identificados en la etapa de Análisis de Riesgos. La puesta en marcha de un Plan de Respuesta a los Riesgos puede comenzar en paralelo con la etapa de análisis cualitativo en cuanto existe la necesidad de responder a riesgos urgentes o prioritarios, lo cual implica una buena coordinación y comunicación del Equipo de Proyecto. Las acciones a tomar en este proceso son:

- Plantear acciones de prevención de riesgos y de reducción de efectos negativos de los mismos durante la etapa de construcción de los proyectos.
- Crear planes de contingencia para los riesgos son probables de ocurrir, considerando por ejemplo tolerancias en las especificaciones, variaciones de los precios de recursos, etc.
- Reducir las incertidumbres del proyecto mediante investigaciones que logren un mejor entendimiento de los problemas y variables que afectan al proyecto.
- Reducir los riesgos asociados a parámetros y cláusulas contractuales, y además considerando el traspaso de los riesgos a los contratistas y subcontratistas, y si fuera el caso, a empresas aseguradoras.

#### Comentario:

Sería recomendable que cada miembro del Equipo de Proyecto realice una revisión de cada riesgo, de tal forma que luego se convoquen reuniones en la que se coordinen acciones de contingencia para los riesgos más importantes y con mayor probabilidad de ocurrir. El Gerente del Proyecto debe asignar responsabilidades de supervisión y monitoreo para cada acción a tomar acordada dichas reuniones de coordinación.

## Parte II

---

### ► Capítulo 3

# Técnicas y Herramientas para la Gestión de Riesgos en la Construcción

La aplicación de cualquier método, técnica o herramienta es la esencia de la Gestión de Riesgos. Siempre se va a requerir de información de entrada (INPUTS), la cual puede ser información recopilada de diversas fuentes, o en todo caso se trata de información que es asumida o supuesta, que se presenta como un rango de posibles valores. Por ejemplo, si la duración y costo de una actividad específica son desconocidos, se usa un rango de valores, el cual el Gerente de Proyecto cree que es el más probable de ocurrir (SERC, 1992).

En este capítulo, se explican diversas técnicas de aplicación de la Gestión de Riesgos asociadas a los procesos definidos en el capítulo anterior. Básicamente, los procesos que requieren de técnicas o herramientas especializadas son los procesos de identificación de riesgos (donde se toma conocimiento de los riesgos e incertidumbres a tomar en cuenta), análisis de riesgos (donde se evalúan los riesgos identificados) y de respuesta a los riesgos (donde se toman decisiones y acciones relativas a los riesgos).

## 3.1. Técnicas de Identificación de Riesgos

Como se sabe, el proceso de identificación de riesgos determina qué riesgos e incertidumbres pueden afectar al proyecto y además documenta sus características, y por esta razón, es uno de los procesos más importantes de la GRC.

Existen métodos y herramientas conocidos que contribuyen a una mejor gestión en la etapa de identificación de riesgos, gracias a los cuales se logra obtener un organizado sistema de información a partir del cual se empieza a procesar los riesgos en las etapas posteriores de la GRC.

El primer paso para la identificación de riesgos comienza con la revisión estructurada de toda la documentación que esté disponible. Esta información se puede categorizar como sigue a continuación:

- Información de la empresa y de organizaciones de la industria de la construcción, es decir, a la información como bases de datos comerciales, estudios académicos, los estudios comparativos u otros estudios de la industria que puedan ser útiles para la identificación de riesgos.
- Información de proyectos pasados, los cuales constituyen activos de la empresa pues contienen información valiosa de experiencias y lecciones aprendidas, donde se muestren datos reales, estimaciones, decisiones tomadas ante diferentes situaciones, etc.
- Alcances del proyecto, a partir del cual se pueden identificar incertidumbres y riesgos relativos a los objetivos y alcances del proyecto.
- Plan de Gestión de Riesgos, que como ya se mencionó, contiene la documentación relativa a los roles y responsabilidades del Equipo de Proyecto, la contemplación de actividades de la GRC y su participación en el presupuesto y cronograma, las categorías de riesgo y toda la información relativa de la GRC.
- Plan de Gestión del Proyecto, el cual incluye información inherente al proyecto como las especificaciones técnicas, planos, memoria descriptiva, plan de gestión de calidad, seguridad y otra información complementaria del proyecto (PMBOK, 2004).

A continuación se explican las técnicas relativas a la identificación de riesgos.

#### ➤ Brainstorming o Tormenta de Ideas

El Brainstorming es una técnica que consiste en realizar talleres o sesiones de creatividad para promover la identificación de riesgos desde distintos puntos de vista, dado que se convocan varios tipos de profesionales e involucrados del proyecto (Chapman y Ward, 1997).

El PMI (PMIBOK, 2000) indica que con este técnica el Equipo de Proyecto obtiene una lista completa de los riesgos del proyecto, definidos y clasificados por tipo de riesgo. Para lograr identificar los riesgos, se realizan reuniones con profesionales multidisciplinarios externos al proyecto.

Sobre esto, Chapman y Ward (1997) agregan que la calidad de lo que se obtiene en este método depende mucho de dos aspectos:

- La habilidad del Equipo del Proyecto y de los profesionales externos para proyectarse de manera precisa en los eventos que podrían ocurrir en el proyecto.
- La creatividad e imaginación de las personas para generar ideas a partir de ideas previamente planteadas, desde distintos puntos de vista.

Además, indican que varios riesgos podrían no ser identificados porque fueron bien manejados en proyectos anteriores, donde las circunstancias que envuelven los proyectos son diferentes. Añaden además que 'los riesgos reales son aquellos que uno no puede identificar', reconociendo que lo 'desconocido' puede tener efectos más importantes que todos los riesgos previamente identificados.

Smith y Merrit (2002) señalan que esta técnica debe empezarse estableciendo un problema inicial claro, y a partir de éste identificar nuevos problemas que tengan que ver con el problema inicialmente planteado. Asimismo, señalan que lo importante en esta etapa de surgimiento de ideas es la cantidad, y no tanto la calidad. Además, es necesaria también la participación de al menos un representante de la organización del cliente, ya que tiene otro punto de vista y puede contribuir positivamente en la búsqueda e identificación de riesgos.

El APM (PRAM, 1997) indica que la Tormenta de Ideas tiene cuatro reglas básicas:

- Las críticas están fuera de juego.

- La libertad de ideas es bienvenida (para incentivar a la generación de ideas).
- La cantidad es requerida (a mayor cantidad, mayor chance de encontrar una solución o nuevos riesgos relacionados a los ya encontrados).
- Combinación y mejoramiento de ideas.

Por otro lado, señala que es necesario replantear el enfoque de la Tormenta de Ideas respecto a como se conoce comúnmente (resolución de problemas). Los siguientes cambios son los sugeridos:

- El objetivo de esta técnica es identificar riesgos, no resolver un problema. Para esto, los participantes deben entender el proceso básico y los objetivos de la Gestión de Riesgos, así como el propósito de la aplicación de esta técnica. El moderador de las sesiones de Tormenta de Ideas debe guiar a los participantes y orientar su modo de generar ideas para la búsqueda de riesgos.
- El moderador debe brindar a los participantes una estructura basada en un grupo de temas, simplificado normalmente a una poca cantidad inicial de áreas, pudiéndose ayudar de una lista pre-definida.
- Se recomienda que el moderador repase los riesgos identificados y recuerde a los participantes cuáles son los siguientes pasos a seguir, por ejemplo, realizar entrevistas y la producción de registro de riesgos.

#### ➤ Técnica Delphi

El APM (PRAM, 1997) define así esta técnica:

*La técnica Delphi es una manera estructurada de conseguir un consenso grupal acerca de los riesgos de un proyecto y de sus probabilidades e impactos. Se toma contacto con un grupo de expertos en persona, por teléfono o por correo electrónico para discutir sobre los riesgos de un proyecto. Este proceso se realiza bajo la moderación de un coordinador de grupo.*

Las características de esta técnica son:

- Cada participante aporta anónimamente con sus ideas, por ejemplo, con su percepción sobre la probabilidad o impacto de un riesgo.
- Se evitan conflictos y prejuicios personales, de manera que solo interviene el moderador.
- El moderador recoge toda la información y luego resume todas las intervenciones y las somete a revisión por parte de los expertos para sustentarlas y aprobarlas. Este proceso se repite hasta que el moderador sienta que ya no es necesaria otra rueda de revisiones porque ya existe un consenso sobre los temas discutidos.

Chapman (1998), citado por Merna (2004), señala que este método tiene como beneficio obtener resultados imparciales, ya que los participantes son libres de las presiones de grupo; asimismo, las presiones de conformidad, personalidad y compatibilidad son evitadas.

El PMI (PMBOK, 2004) agrega señalando que la técnica Delphi ayuda a reducir sesgos en los datos y evita que cualquier persona ejerza influencias impropias en el resultado.

#### ➤ Entrevistas

Acerca de este método, Merna (2004) afirma lo siguiente:

*Esta técnica intuitiva es usada cuando la información que se requiere necesita ser más detallada, la cual no se puede obtener de una reunión de grupo por no ser práctica para este propósito. Las entrevistas proveen los medios para solicitar información de profesionales especializados o personal clave. Por ejemplo, un profesional del sector corporativo de una empresa puede solicitar entrevistarse con un profesional del sector de proyectos para conseguir información relacionada con los potenciales riesgos que puedan afectar la viabilidad comercial del proyecto.*

El APM (PRAM, 1997) establece que las entrevistas tienen como objetivo:

- Identificar riesgos
- Evaluación de riesgos (por ejemplo, estimando probabilidades, impactos, determinando respuesta a los riesgos, planes de contingencia e identificando riesgos secundarios)
- Estimando información para ser usada en el análisis cuantitativo, si fuera necesario.

Además, agrega que la efectividad de las entrevistas depende de las habilidades de comunicación del entrevistador, así como del manejo de los tiempos, de la preparación previa a la entrevista, y de la practicidad con que ésta se lleve a cabo.

#### ➤ RBS, Checklists y Prompt Lists

Estas tres técnicas se han agrupado debido a que están estrechamente relacionadas ya que la aplicación de cada una está orientada a brindar soporte a la identificación de riesgos mediante una estructura organizada de información.

##### *El RBS (Risk Breakdown Structure o Estructura de Desglose de Riesgos)*

Es definida por el PMI (PMBOK, 2004) como una estructura jerárquica de los riesgos identificados del proyecto, organizados por categoría de riesgo. El RBS enumera las categorías y subcategorías de donde pueden surgir riesgos para un proyecto único, y puede haber diferentes RBS según el tipo de proyecto u organización. Un beneficio de este enfoque es que recuerda a los participantes de un ejercicio de identificación de riesgos las diversas fuentes de donde pueden surgir riesgos del proyecto.

El PMI señala que es una buena práctica revisar las categorías de riesgo durante el proceso de Planificación de la Gestión de Riesgos antes de usarlas en el proceso de Identificación de Riesgos.

A continuación se muestra un ejemplo básico de RBS.

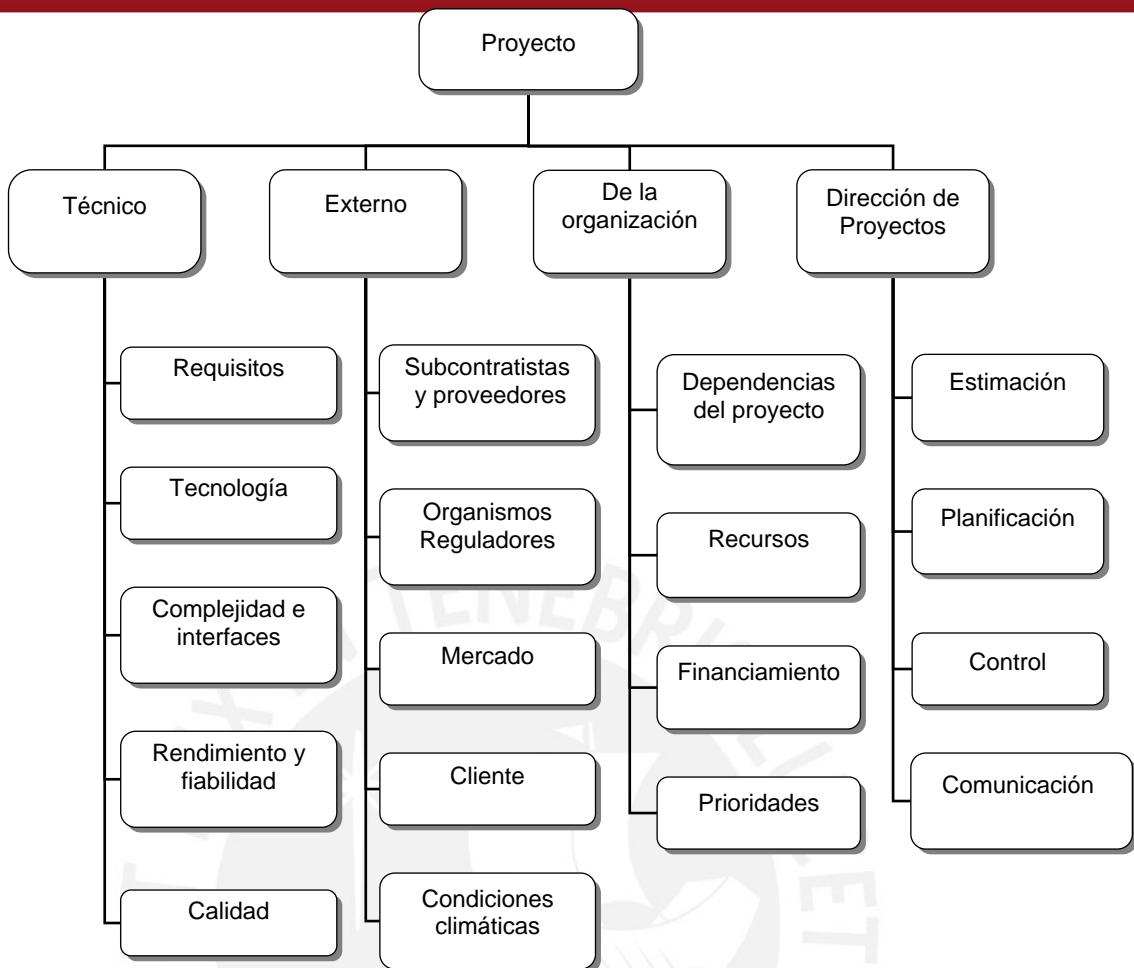


Figura 3.1. Ejemplo de una Estructura de Desglose de Riesgos. (PMBOK 2004)

### *Checklist o Lista de Control*

Es una herramienta para la identificación de riesgos 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. 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 una proyecto con el fin de mejorarla para su uso en próximos proyectos (PMIBOK, 2004).

El APM (PRAM, 1997) establece que un Checklist es elaborado para permitir al Gerente de Proyecto considerar riesgos que fueron identificados en pasados

proyectos, determinar si son aplicables al proyecto actual, y analizar si la respuesta a los riesgos previamente pueden ser efectivos 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.

Sobre la estructura de un Checklist, el APM afirma que no pueden ser muy largos porque se vuelven imprácticos y perderían su esencia. La estructura de un Checklist puede basarse en un RBS o en un Prompt List, agrupando los riesgos por áreas o tipos similares. Pueden formularse como preguntas positivas, negativas o como simples afirmaciones, como se muestra en el ejemplo:

El Checklist provee un buen comienzo para la identificación de riesgos brindando información actualizada de la gestión de riesgos. Sin embargo, tal como lo indica Chapman y Ward (1997), se debe tener cuidado con los Checklist porque pueden traer las siguientes desventajas:

- No se resaltan importantes interdependencias entre los riesgos,
- Una lista larga limita la importancia relativa de cada riesgo,
- Cada ítem del Checklist puede englobar varios y diferentes riesgos implícitos, restando creatividad e importancia,
- Los riesgos que no están en la lista puede que sean ignorados o no identificados en el proyecto.

Sin embargo, su uso no deja de ser importante y no debe verse como única fuente en la identificación de riesgos.

Sobre su uso, el APM (PRAM, 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 la opciones de orientar la pregunta positivamente 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.

En el siguiente cuadro, se puede apreciar un ejemplo de Check List.

<u>Check List</u>				
- para la identificación de Riesgos -				
Proyecto:	Fecha:	Consultor:	Revisores:	
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 3.2. Ejemplo de un Check List (PRAM, 1997)

### *Prompt List o Lista específica*

Por otro lado, los prompt lists o listas específicas se usan 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. 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). A continuación se presenta un ejemplo de prompt list que puede ser a su vez desarrollado en sub-categorías:

- Recursos humanos,
- Aspecto técnico,

- Aspecto administrativo,
- Gestión,
- Aspecto legal,
- Calidad,
- Aspecto financiero,
- Aspecto de comunicaciones,
- Aspecto comercial,
- Aspecto ambiental,
- Otros aspectos según el tipo de proyecto.

Los Prompt list pueden usarse como base para elaborar un RBS o como soporte de ayuda para las sesiones de Tormenta de Ideas, cubriendo todas las áreas posibles en la identificación de riesgos.

#### ➤ Técnicas de Diagramación

##### *Diagrama Causa-Efecto*

También conocido como diagrama de Ishikawa o de espinas de pescado, este método consiste en diagramar las causas y los factores que originan los riesgos. Borysowich (2006) indica que para hacer el diagrama, se necesita lo siguiente:

- entender el proceso de una actividad o evento,
- identificar los efectos,
- identificar las categorías,
- identificar las causas.

Como se ve en el siguiente ejemplo básico, el diagrama está estructurado de manera que se puede observar las causas de un problema (en nuestro caso, riesgos) por aspectos generales y específicos. El sentido de las flechas indica que un ítem va de aspecto específico hacia uno más general.

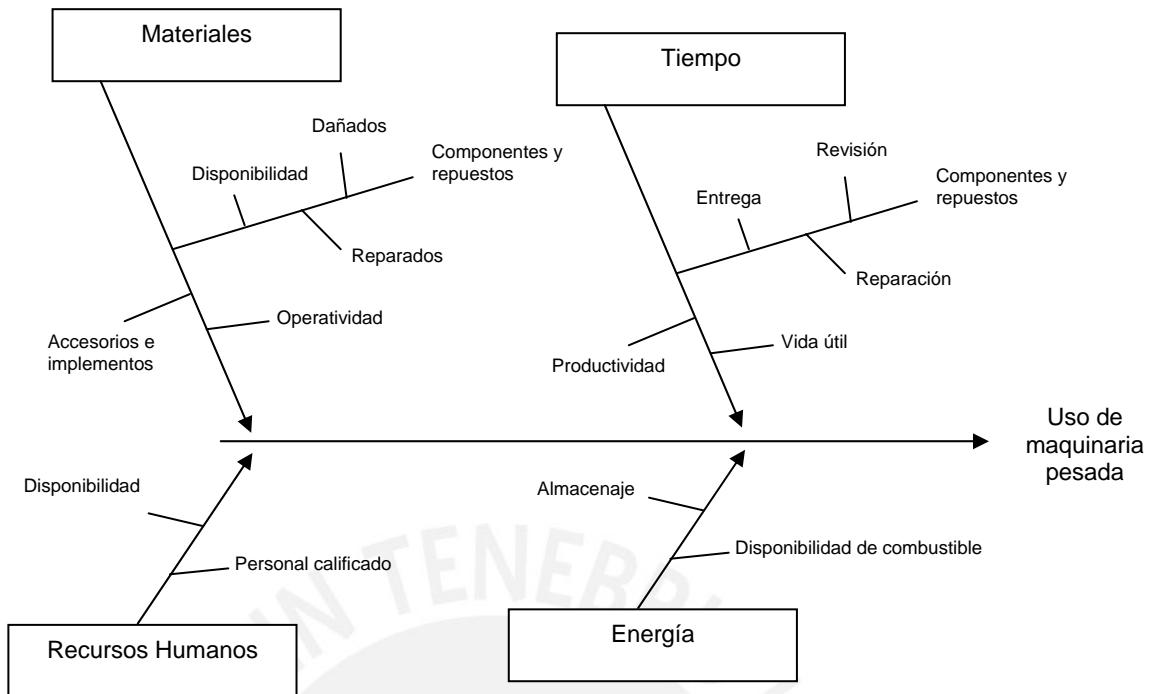


Figura 3.3. Ejemplo de un Diagrama Causa-Efecto. (Fuente: el autor)

### Diagramas de flujo

El PMI (PMBOK, 2004) define a un diagrama de flujo como una representación gráfica de un proceso, en el cual se muestran las actividades, puntos de decisión y el orden que se sigue para llegar al objetivo del proceso. Además, muestran como se interrelacionan los diversos elementos de un sistema. Sirven para ayudar a analizar cómo se producen los problemas y en ese sentido, es útil para la identificación de riesgos.

A continuación se muestra un ejemplo de diagrama de flujo.

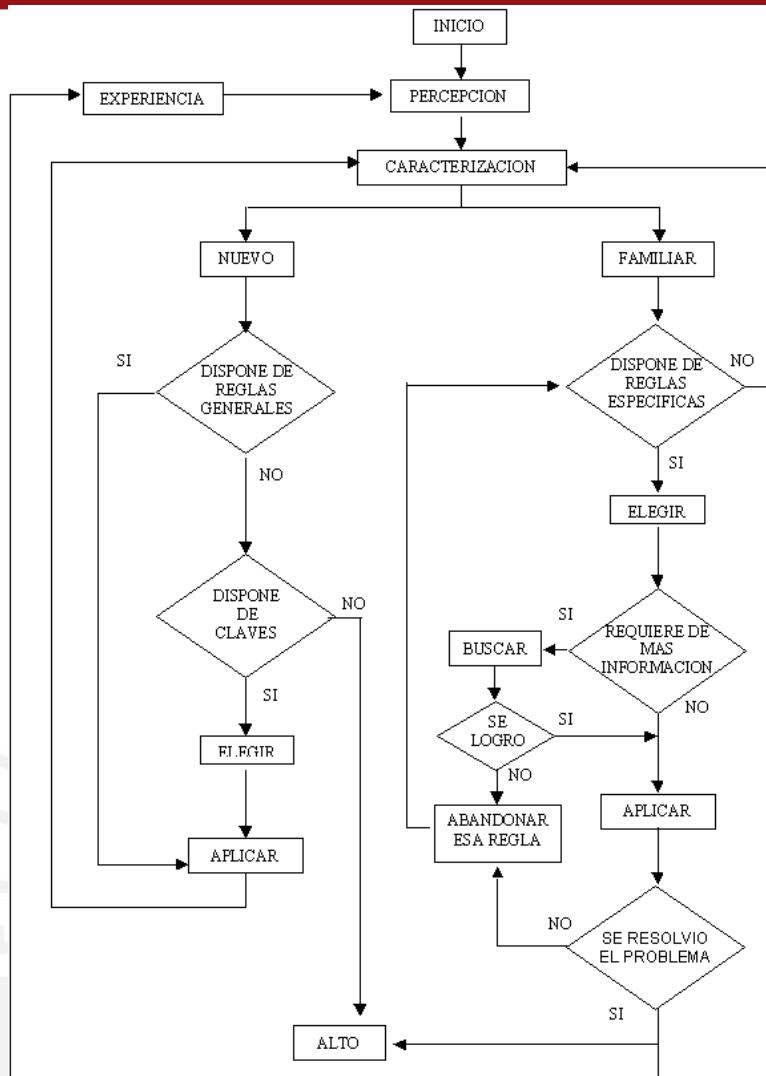


Figura 3.4. Ejemplo de un Diagrama de flujo. (Acuña, 2000)

### ➤ Registro de Riesgos

El registro de riesgos es un proceso en el cual un documento o base de datos es utilizado para registrar cada riesgo perteneciente a un proyecto determinado. Ejemplo de esto puede ser los Check lists. Asimismo, el registro de riesgos permite que la información sea colectada durante la GRC, comenzando con la identificación de riesgos, para ser revisada en etapas posteriores, actualizándose según el proyecto va avanzando. (Merna, 2004).

El APM (PRAM, 1997) añade que la siguiente información básica es necesaria para el registro de riesgos:

- Nombre y título del riesgo,
- Código único de identificación del riesgo,
- Breve descripción del riesgo y por qué ocurriría,
- Estimación de la probabilidad y potencial impacto
- Persona encargada de monitorear el riesgo y sus efectos, así como de llevar a cabo las estrategias planteadas previamente por el Equipo de Proyecto),
- Detalles de las estrategias de reducción de riesgos,
- Probabilidad e impacto reducidos si es que el riesgo fuera gestionado con la estrategia inicialmente planteado,
- El periodo de tiempo de aplicación de estrategias para los riesgos, y
- Fecha de registro y de última modificación.

Asimismo, indica que todo registro de riesgos debe incluir explicaciones de la escala usada en el análisis de probabilidad e impacto y proveer un resumen de los diez principales riesgos (PRAM, 1997).

Por otro lado, Kliem y Ludin señalan que toda la documentación generada en proyectos pasados deben reusarse, en el sentido de que los datos para prevención, análisis de riesgos y planes de contingencias para casos similares puedan servir para futuros requerimientos. Además, señalan que todo reporte de riesgo que se genere en el proyecto debe reunir las siguientes características:

<i>Características Cualitativas</i>	<i>Contenido</i>	<i>Formato</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Claridad</li> <li>-Brevedad</li> <li>-Honestidad</li> <li>-Objetividad</li> <li>-Relevancia</li> <li>-Puntualidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contexto</li> <li>-Indicar suposiciones</li> <li>-Entendible</li> <li>-Crítico</li> <li>-Descriptivo</li> <li>-Hechos e información</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Incluir solo lo que audiencia necesita</li> <li>-Ilustraciones o Gráficos</li> <li>-No recargar de información</li> </ul>

Figura 3.5. Características de reporte de riesgo. Fuente: Kliem y Ludin.

A continuación, se presentan dos formatos básicos recomendados por Kliem y Ludin para el registro de riesgos.

<u>Descripción de riesgo</u>			
<u>Suposiciones</u>			
<u>Probabilidad de ocurrencia</u>			
Marcar uno:	alta	media	baja
<u>Impacto</u>			
Técnico:			
Operacional:			
Funcional:			
<u>Respuesta</u>			

Figura 3.6. Formato para registro de riesgos (antes de ocurrir). Fuente: Kliem y Ludin.

Tarea Nro.	Descripción de riesgo	Prioridad	Impacto	Responsabilidad	Fecha estimada de inicio	Fecha de término

Figura 3.7. Formato para registro de riesgos ocurridos. Fuente: Kliem y Ludin.

#### Comentario:

El registro de riesgos es quizá el componente más importante en la Gestión de Riesgos. En un solo lugar, bajo un formato definido, se reúne información crucial sobre los riesgos a manejar, se ejerce control durante el desarrollo del proyecto y sirve para el proceso de retroalimentación de riesgos. Los formatos arriba mostrados son claramente básicos, y son una referencia para crear una mejor herramienta de registro de riesgos. En la Propuesta Técnica se va a presentar un formato más completo que reúna características adicionales que mejoren la visualización de datos y el control de riesgos.

### 3.2. Técnicas y Herramientas de Análisis de Riesgos

Existen dos categorías de herramientas correspondientes al proceso de análisis de riesgos, las cuales están ligadas a las dos técnicas: análisis cualitativo y análisis cuantitativo de riesgos. Las herramientas de análisis cualitativo buscan comparar las importancias relativas de los riesgos en un proyecto en términos del efecto económico que podrían ocasionar si es que llegan a ocurrir (Merna, 2004).

Por otro lado, las herramientas de análisis cuantitativo buscan determinar rangos de valores discretos y distribuciones de probabilidades de los riesgos, con el fin de cuantificar muy aproximadamente lo que podría ser la ocurrencia de un riesgo en el proyecto. Este proceso es más sofisticado e involucra muchas veces el uso de computadoras (Merna, 2004).

Simon *et al* (1997) sugiere que la información obtenida del análisis cualitativo es casi siempre más importante que la del análisis cuantitativo, y que éste no siempre es necesaria. El SERC (1992) recomienda que la elección de las técnicas de análisis de riesgos deben ir en función de principalmente:

- el tiempo y tamaño del proyecto,
- la información disponible,
- el costo que representa llevarlo a cabo y el tiempo requerido, y
- la experiencia y capacidad del Equipo de Proyecto.

A continuación se presentan las técnicas de análisis cualitativo y cuantitativo consideradas las más apropiadas para la GRC.

#### 3.2.1. Análisis Cualitativo

Las técnicas del análisis cualitativo de riesgos requieren para su aplicación del Registro de riesgos, el cual es iniciado en el proceso de identificación de riesgos y se actualiza con este proceso, en el cual se documentan todos los riesgos e incertidumbres identificados en el proceso anterior, en conjunto con toda la información recopilada (datos de procesos anteriores, alcances del proyecto) e

información complementaria como el Plan de Gestión de Riesgos. Las actualizaciones del Registro de riesgos, es decir, lo que se debe obtener al finalizar este proceso, incluye lo siguiente:

- Lista de prioridades relativas de los riesgos del proyecto,
- Lista de riesgos que requieren respuesta a corto plazo,
- Lista de riesgos que requieren análisis y respuesta adicionales,
- Lista de supervisión de riesgos de baja prioridad, y
- Tendencias de los resultados del análisis cualitativo de riesgos.

A continuación se presentan las técnicas de análisis cualitativo.

#### ➤ Tablas de probabilidad e impacto de riesgos

Esta técnica consiste en investigar la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo y los efectos del impacto si es que ocurriesen, analizando las variables del tiempo, costos, calidad, y otros criterios definidos por el Gerente del Proyecto. La evaluación de cada riesgo se realiza en entrevistas o reuniones con personas que tienen experiencia en temas específicos relacionados a los riesgos, pudiendo ser miembros del Equipo de Proyecto o personas externas al proyecto. Se asignan valores para la probabilidad e impacto, de acuerdo a una escala acordada o definida en el Plan de Gestión de Riesgos, que pueden ser valores numéricos o simplemente calificativos como bajo, mediano o alto (PMBOK, 2004).

Los puntajes obtenidos a partir de la evaluación de riesgos se colocan en una Tabla de Probabilidad e Impacto (P-I). La ventaja de esta tabla es establecer la importancia relativa de los riesgos, calculada a partir de la multiplicación de los puntajes de probabilidad e impacto. A continuación se muestran las tablas P-I o Probabilidad – Impacto (Merna, 2004).

Impacto sobre la probabilidad					
Escala	Probabilidad	Puntaje de Probabilidad	Incremento en el costo	Incremento en el plazo	Puntaje de Impacto
Muy baja	< 10%	0.1	< 5%	< 1 mes	0.05
Baja	10 – 30%	0.3	5-10%	1 – 2 meses	0.1
Media	30-50%	0.5	10-15%	3 – 4 meses	0.2
Alta	50-70%	0.7	15-30%	5 – 6 meses	0.4
-Muy alta	> 70%	0.8	<30%	> 6 meses	0.8



		Probabilidad				
Impacto		Muy Baja 0.1	Baja 0.3	Media 0.5	Alta 0.7	Muy Alta 0.9
	Muy baja 0.05	0.005	0.015	0.025	0.035	0.045
	Baja 0.1	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09
	Media 0.2	0.02	0.06	0.1	0.14	0.18
	Alta 0.4	0.04	0.12	0.2	0.28	0.36
	Muy alta 0.8	0.08	0.24	0.4	0.56	0.72

Figura 3.8. Tablas de Probabilidad e Impacto (Merna, 2004)

### ➤ Risk Mapping

Esta herramienta es definida por Merna (2004) como una representación gráfica de los riesgos en un gráfico bidimensional donde un eje corresponde a la severidad o impacto del riesgo y el otro eje a su probabilidad de ocurrencia. Las líneas de referencia que dividen el gráfico sirven de ayuda para establecer el grado relativo de importancia de los riesgos. A continuación, se muestra un gráfico conceptual del Risk Mapping.

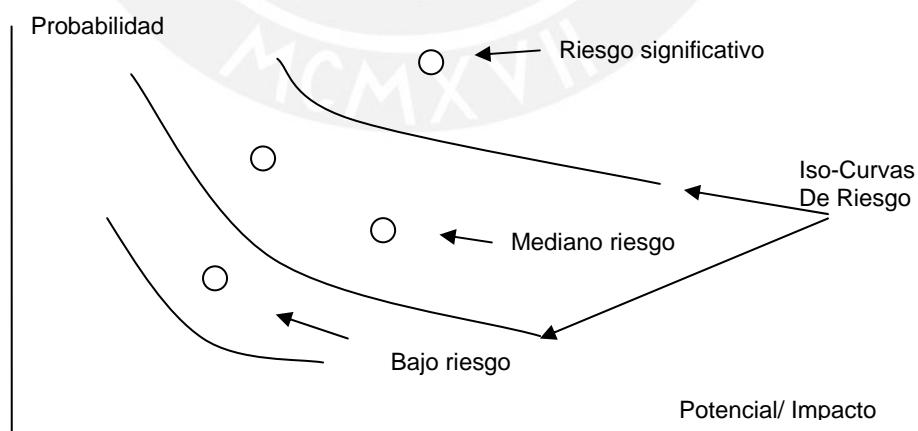


Figura 3.9. Concepto de Risk Mapping (Adaptado de Witt, 1999)

### 3.2.2. Análisis Cuantitativo

Como ya se mencionó, las técnicas de este proceso cuantifican el efecto y probabilidad de los riesgos a fin de obtener una mayor confiabilidad de los resultados, tanto para evaluar los riesgos como para realizar los seguimientos y controles. Normalmente, el análisis cuantitativo se hace después del análisis cualitativo, y las datos que se necesitan son valores discretos, que se obtienen básicamente de las mismas fuentes mencionadas en el proceso de identificación de riesgos. A continuación, se presentan y explican las técnicas del análisis cuantitativo considerados para esta investigación.

#### ➤ Análisis de Sensibilidad

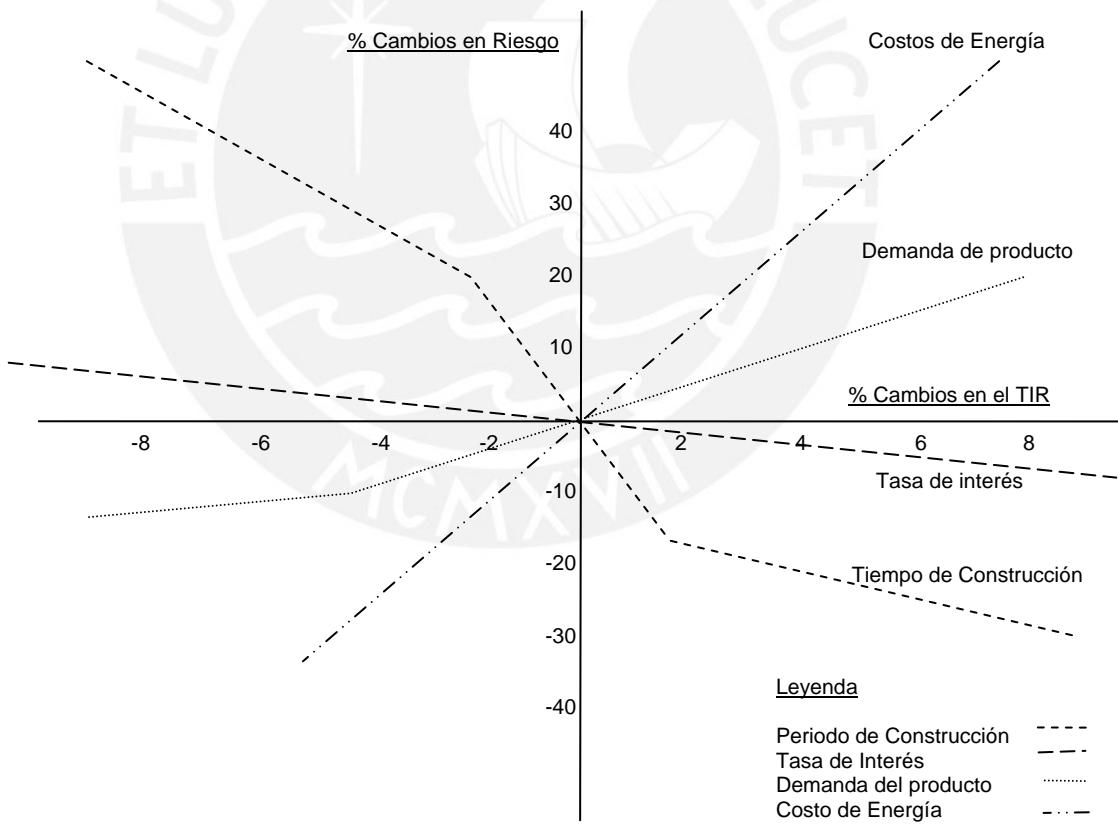


Figura 3.10. Típico Diagrama Telaraña (Marshall, 2000)

El SERC (1992) define al análisis de sensibilidad como una herramienta usada para considerar el efecto en todo el proyecto por los cambios de valor en cada variable

que sea considerada potencialmente riesgosa en el proyecto. En los proyectos de construcción, los criterios para medir resultados son normalmente el tiempo de construcción, costos finales, u otros criterios económicos como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR). Entonces, se pueden medir la variación de estas variables cuando las variables potencialmente más riesgosas también cambian.

En el gráfico mostrado, puede apreciarse que la variación de los riesgos en los costos de energía afectan proporcionalmente a la tasa interna de retorno del proyecto, y que por otro lado, pequeños cambios en las tasas de interés pueden afectar significativamente el TIR del proyecto, lo que puede significar su éxito o fracaso.

El análisis de sensibilidad debe hacerse para todos los riesgos e incertidumbres que podrían afectar el proyecto, con el fin de identificar aquellos que tienen impactos más grandes en el retorno económico, costo, tiempo u otros criterios.

Merna (2004) añade que un beneficio de esta técnica es saber el espectro de mínimos y máximos efectos para los riesgos más importantes que afectan un proyecto, brindando información clave para la toma de decisiones, especialmente para las variables más sensibles, brindándoles más énfasis en su seguimiento y control. Sin embargo, la debilidad de este método es que los riesgos se consideran independientemente de los demás y sin tomar en cuenta la probabilidad de ocurrencia.

#### ➤ Análisis del Valor monetario esperado mediante el Árbol de decisiones

Esta técnica se basa en un concepto estadístico que calcula el resultado promedio tomando en cuenta escenarios futuros de los eventos que pueden ocurrir o no, es decir, considerando de esta manera la incertidumbre. Se calcula multiplicando el valor de cada posible resultado, en términos financieros, de tiempo o de costos, por la probabilidad de ocurrencia y sumando finalmente los resultados.

El diagrama de árbol de decisiones es una manera sencilla y útil de mostrar los resultados obtenidos, ya que se usa para describir las situaciones que se están

considerando, las implicancias de cada una de las opciones y los posibles escenarios, incluyendo el costo de cada opción y sus probabilidades. Al resolver el árbol de decisiones, se obtiene el valor monetario esperado u otra medida bajo el criterio de la organización (PMBOK, 2004).

Por ejemplo, esta técnica puede ser usada por los clientes para escoger entre proyectos alternativos, y por los contratistas para escoger entre diferentes alternativas de métodos de construcción. Por otro lado, la debilidad de esta técnica es que usualmente no existe mucha información disponible para calcular aproximadas probabilidades para la toma de decisiones. Además, se limita por el hecho de que las alternativas son resultados de decisiones secuenciales (lo cual no ocurre necesariamente) y porque se asume que el proyecto y sus variables son estáticos. (SERC, 1992).

A continuación, se presenta un ejemplo del diagrama de árbol de decisiones.

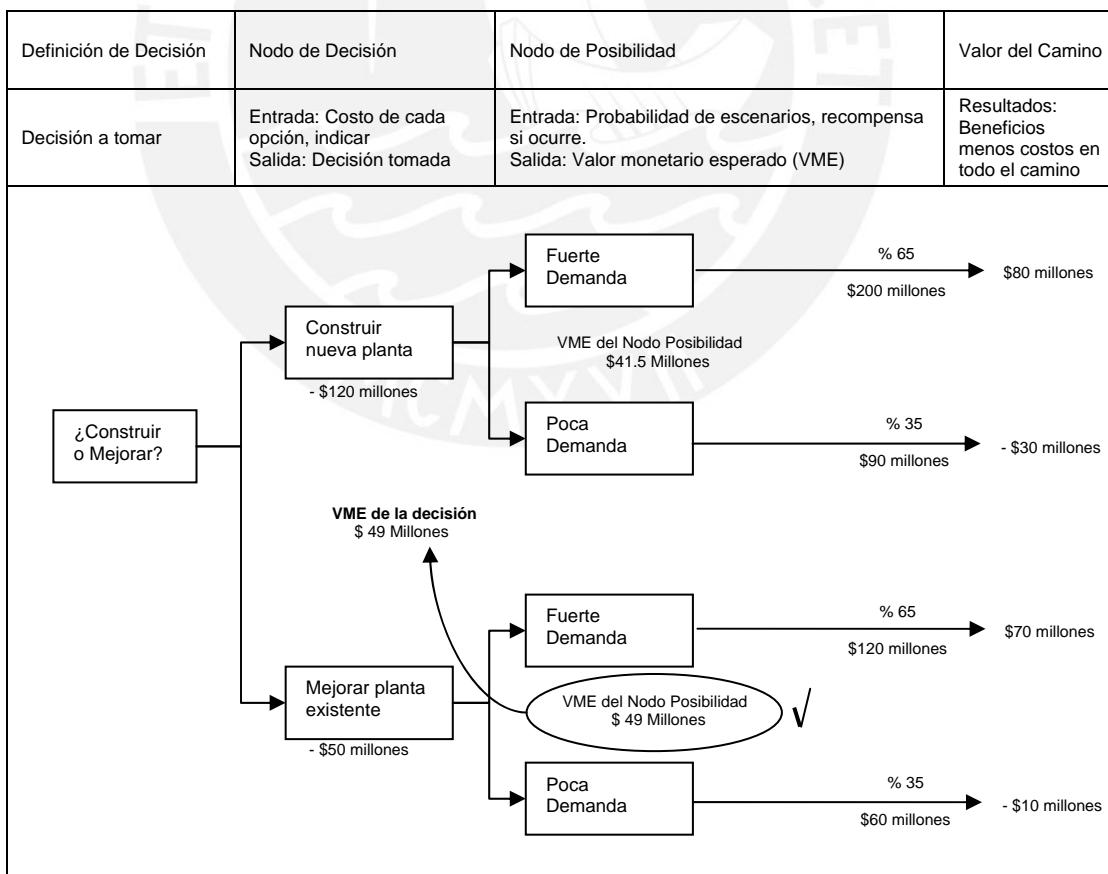


Figura 3.11. Típico Diagrama de Árbol de Decisiones (PMBOK, 2004)

En el ejemplo se muestra cómo tomar una decisión entre estrategias de capital alternativas, llamadas ‘nodos de decisión’ en función a los ‘nodos de posibilidad’. En este caso, la organización decide mejorar la planta existente porque esa alternativa tiene un Valor Monetario Esperado (VME) de \$49 millones, que es superior al VME de la opción de construir una nueva planta.

#### ➤ Análisis mediante la Simulación de Monte Carlo

El análisis cuantitativo usando la simulación de Monte Carlo 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.

Lo que hace el método en el programa es procesar la información de entrada, también llamada inputs, en un número determinado de iteraciones, haciendo cálculos probabilísticos para así obtener múltiples valores resultantes posibles, o outputs, a los cuales denominamos escenarios. Para lograr esto, se le debe indicar al programa el tipo de distribución de cada variable a ser considerada, el número de iteraciones y los rangos de valores dentro de las cuales las variables combinadas van a formar distintos escenarios (PRAM Guide, 1997).

Los resultados de la simulación son datos probabilísticos, como puede ser la media, mediana, valores más probables, etc. Asimismo, pueden construirse gráficos de histogramas, probabilidad acumulada ascendente, descendente, etc. Es importante saber que el método no establece un resultado, sino una gama de resultados que hay que saber interpretar y analizar para llegar a una adecuada decisión.

Para entender de manera práctica este método de análisis cuantitativo, se va a emplear en esta investigación el programa @RISK, de la empresa de software Palisade Corporation, que ha brindado todas las facilidades para obtener la versión estudiantil de este programa. En el **anexo III** se amplía a detalle el método de Monte Carlo, estudiando primero los estándares de aplicación dictadas por la ASTM, y luego detallando el procedimiento para hacer una simulación basada en un ejemplo práctico en @RISK.

### 3.3. Técnicas de Respuesta a los Riesgos

Las técnicas de respuesta a los riesgos son aplicadas según los criterios definidos en el proceso del Plan de Respuesta a los Riesgos, en la cual se desarrollan opciones de acción para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.

Las entradas o inputs para la aplicación de las técnicas en este proceso son:

- El Plan de Gestión de Riesgos, de donde se rescata el perfil de cada riesgo (si es bajo, moderado o alto), y el tiempo y presupuesto necesarios para su gestión
- El Registro de Riesgos actualizado, de donde de toma como referencia los datos obtenidos en el proceso anterior ya mencionados. (PMBOK, 2004)

A continuación, se presentan y explican las técnicas y estrategias a aplicar en cada caso de respuesta, ya sea para las oportunidades o amenazas del proyecto.

#### ➤ Estrategias o respuestas para amenazas

Existen tres estrategias que se adoptan para las amenazas que pueden tener impactos negativos sobre los objetivos del proyecto en caso de ocurrir.

##### • Evitar

Implica realizar algunas o todas las siguientes acciones dentro del entorno organizacional para eliminar la amenaza de riesgo:

- Clarificando o cambiando el plan de gestión del un proyecto,
- Mejorando los canales de comunicación,
- Cambiando la dirección o estrategia del proyecto respecto a alguna variable o parámetro donde se encuentre el riesgo en cuestión,
- Aislando o reduciendo los alcances relativos a los objetivos del proyecto, o colocar mayor margen de tolerancia para el objetivo que está en peligro. (por ejemplo, ampliando el cronograma o reduciendo los alcances, aunque esto no es deseable en ningún proyecto)

- Adquiriendo más experiencia e información de fuentes externas, y
- Usando técnicas, métodos o herramientas de éxito comprobado. (PRAM, 1997)

- **Transferir**

Transferir el riesgo a un tercero puede ser a veces la decisión más apropiada. Sin embargo, no todos los aspectos de los riesgos pueden transferirse. Por ejemplo, el riesgo de proveer equipos a tiempo se puede transferir a un proveedor imponiendo multas, pero el desarrollo del proyecto igual sufrirá el impacto por una tardanza o incumplimiento del proveedor (PRAM, 1997). Transferir los riesgos puede implicar lo siguiente:

- Implementar instrumentos financieros como seguros, bonos o cartas fianzas.
- Renegociación de las condiciones de los contratos en los casos críticos,
- Trasladar el impacto negativo de un riesgo a un tercero,
- Transferir la responsabilidad de la gestión de la respuesta a los riesgos a un tercero, sin eliminarlo, y
- Compartiendo parcialmente el riesgo,

Transferir la responsabilidad del riesgo es más efectivo cuando se trata de exposición a riesgos financieros, aunque casi siempre supone el pago de una prima de riesgo o seguro a la parte que toma el riesgo.

Las herramientas de transferencia pueden ser bastante diversas e incluyen, entre otras, el uso de seguros, garantías de cumplimiento, cauciones, certificados de garantía, etc. Puede usarse contratos para transferir a un tercero la responsabilidad por riesgos especificados. En muchos casos, se puede usar un tipo de contrato de costes para transferir el riesgo de costes al comprador, mientras que un contrato de precio fijo puede transferir el riesgo al vendedor, si el diseño del proyecto es estable. (PMBOK, 2004)

Por último, según señala Smith, el concepto fundamental de la transferencia de riesgos es que la organización que mejor pueda controlar, manejar o sostener el riesgo sea la que efectivamente lleve la responsabilidad del riesgo.

### Comentario

Cabe decir que la transferencia de riesgos no pasa por un tema de gustos o de evitar dolores de cabeza, sino que debe hacerse responsablemente a la parte que mejor pueda manejarla, ya sea el contratista, supervisor, un tercero o incluso el mismo cliente. Si se asigna el riesgo a la parte inadecuada, entonces se genera otro riesgo y eso puede ir directamente en desmedro del presupuesto del proyecto.

#### • **Mitigar**

Significa reducir la probabilidad y/o el impacto de un evento negativo a un valor aceptable. Adoptar acciones tempranas para reducir la probabilidad de la ocurrencia de un riesgo y / o su impacto sobre el proyecto es más efectivo que tratar de reparar el daño después de que ha ocurrido el riesgo.

La mitigación de riesgos puede implicar lo siguiente:

- Reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos apuntando objetivamente al control de los factores que lo originan,
- A veces, una respuesta de mitigación no puede reducir la probabilidad de ocurrencia de un riesgo. En ese caso, se trata de controlar el impacto del riesgo, dirigiéndose específicamente a los elementos que determinan su severidad,
- Desarrollar un prototipo para reducir el riesgo, al pasar de un modelo a escala de un proceso o producto a uno de tamaño real para obtener un mejor entendimiento del problema.
- Implementar planes de contingencia y especificarlos en el Plan de Gestión de Riesgos, incluyendo costos y procedimientos. (PRAM, 1997)

#### • **Aceptar / Absorber**

Muchas veces no es posible eliminar, reducir o transferir algunos riesgos de un proyecto, y para esto se deben adoptar estrategias que pueden implicar lo siguiente:

- Realizar seguimiento, monitoreo y reporte rutinario a los riesgos,
- Revisión y actualización de los riesgos de manera regular,

- Usar la retroalimentación de la Gestión de Riesgos dentro del planeamiento del Proyecto,
- Implementar una adecuada infraestructura y un compromiso proactivo de la GRC. (PRAM, 1997)

➤ **Estrategias o respuestas para oportunidades**

El PMI (PMBOK, 2004) sugiere tres tipos de respuestas para tratar los riesgos que tienen posibles impactos positivos sobre los objetivos del proyecto.

• **Explotar**

Esta estrategia busca eliminar la incertidumbre asociada con un riesgo, orientando su gestión positivamente para que ocurra favorablemente en el proyecto. Esto puede requerir la participación de personal más experimentado, o equipos más rápidos o efectivos para obtener una mejor calidad que la planificada originalmente.

• **Compartir**

Esta respuesta consiste en compartir el posible impacto positivo con un tercero que está más capacitado para capturar la oportunidad para beneficio del proyecto. Un ejemplo para este caso es formar asociaciones o consorcios con empresas de mayor experiencia o infraestructura.

• **Mejorar**

Esta estrategia modifica el tamaño de una oportunidad, aumentando la probabilidad y/o los impactos positivos, para lo cual se requiere identificar, facilitar y fortalecer los factores clave que los originan.

## Parte III

---

### ► Capítulo 4

#### Propuesta Técnica:

Sistema de Registro de Riesgos para la identificación, análisis, seguimiento y control de riesgos

#### 4.1. Introducción

El esfuerzo que hacen las empresas para gestionar los riesgos apropiadamente puede demorar mucho tiempo o puede que no sea la mejor si la iniciativa surge improvisadamente y sin una planificación previa como estrategia de negocio.

De acuerdo a lo estudiado en esta investigación, tanto las empresas constructoras, como las de supervisión y de gerencia de proyectos deberían implementar formalmente la Gestión de Riesgos, ya que de esa manera aumenta drásticamente la probabilidad de éxito de sus proyectos.

Estos preceptos han sido esclarecidos por Kliem y Ludin al mencionar que “es difícil, incluso imposible, prepararse improvisadamente para cada eventualidad. Teniendo la información adecuada en el lugar y momento adecuados y, al mismo tiempo, mejorándola constantemente (gracias a la retroalimentación) son la mejor manera para asegurar que los gerentes de proyecto respondan a los riesgos eficaz y eficientemente. Esperar que las cosas pasen y luego tomar acciones solo fomenta la reacción, y no la pro-acción.”

En consecuencia, es necesario contar con una herramienta que facilite la gestión de riesgos en todas las etapas del proyecto y que sirva como base para gestionar los riesgos proactivamente y no reactivamente.

#### 4.2. Herramienta de gestión: Sistema de Registro de Riesgos (*RiskLog*)

La propuesta técnica consiste en una herramienta versátil que mejore el proceso de registro y revisión de información relacionada a la gestión de riesgos y que al mismo tiempo agilice la comunicación entre los miembros del equipo de proyecto (es decir, entre los miembros de alto rango como son gerentes de proyecto o ingenieros residentes y los ingenieros de oficina técnica, de campo o supervisores de calidad y seguridad).

La herramienta planteada, cuyo nombre técnico es Sistema de Registro de Riesgos, tiene nombre propio definido por el autor de esta tesis: RiskLog. Esta herramienta de gestión de riesgos pretende lograr los siguientes objetivos generales:

- Centralizar el conocimiento y el control de los procesos en un sistema basado en la cooperación conjunta y participativa de los miembros del equipo de gestión de un proyecto, factor que es definitivamente clave en una organización que desea manejar los riesgos correctamente.
- Que los conocimientos aprendidos proyecto tras proyecto sean transmitidos no solo en charlas o reuniones, sino también en registros, donde se detalle suficiente información como para poder rescatar las experiencias pasadas, aprender de las decisiones tomadas, y especialmente no cometer los mismos errores.

Cabe mencionar que la herramienta no solo se limita a contener información sino que también es una base de datos que sirve como referencia rápida, simple y efectiva para procesar cualquier proceso relacionado a la gestión de riesgos. Los detalles acerca sus características, ventajas y modos de uso se encuentran en los anexos IV y V.

El Sistema de Registro de Riesgos RiskLog tiene la siguiente visión:

*Asegurar al proceso general de Gestión de Riesgos que cada riesgo identificado en un proyecto sea adecuadamente documentado para su revisión, análisis, respuesta y monitoreo, así como servir de retroalimentación a toda la organización.*

### 4.3. Implementación y Propuesta de Proceso de Gestión de Riesgos

Para que el Sistema de Registro de Riesgos (*RiskLog*) sea implementado en un grupo de trabajo, primero debe establecerse el proceso de Gestión de Riesgos y a continuación publicarlo y explicarlo a todo el equipo de proyecto para que lo cumpla, no sólo para establecer un orden sino sobre todo para formalizar el proceso de la Gestión de Riesgos.

De acuerdo a lo indicado en el capítulo 1, la Gestión de Riesgos en la construcción debe estar enmarcada en la Gestión del Valor, y a la luz de lo estudiado en esta investigación respecto a los procesos, técnicas y herramientas, se plantean las siguientes dos propuestas:

#### Propuesta holística: Sistema de Gestión de Proyectos

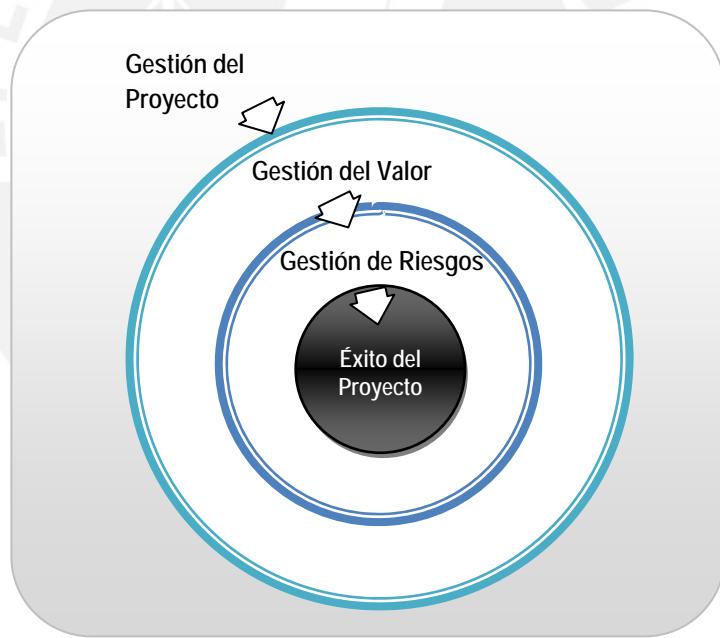
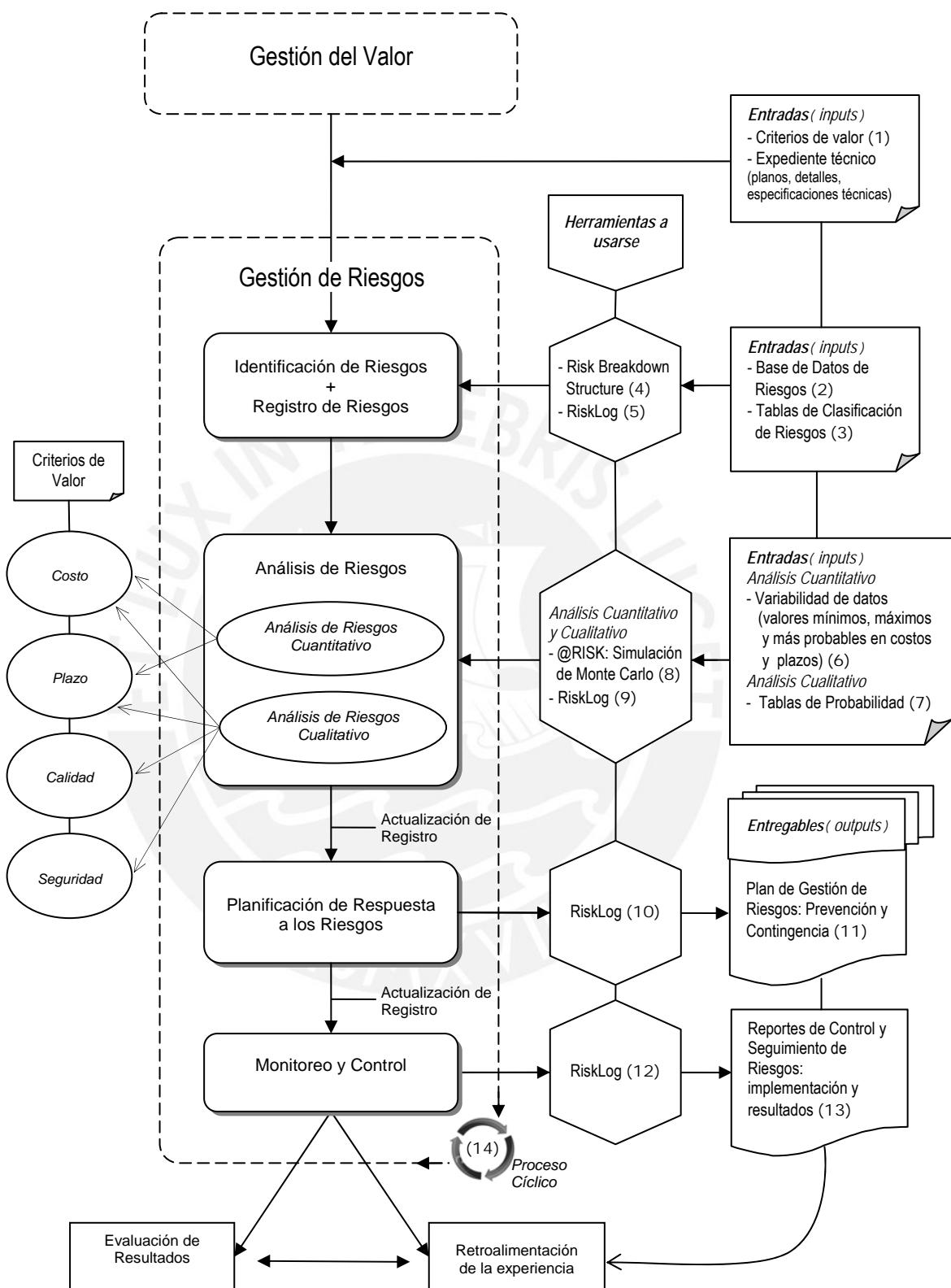


Figura 4.1. Propuesta de Sistema de Gestión de Proyectos: Representación de la gestión de riesgos y la gestión del valor como medios para alcanzar el éxito de un proyecto. Fuente: El Autor.

De acuerdo al esquema propuesto, el sistema de la Gestión de un Proyecto aborda en primer plano a la Gestión del Valor. Como parte de éste en el aseguramiento de los criterios de valor del cliente, se encuentra la Gestión de Riesgos. Es decir, la Gestión del Valor, de la mano con la Gestión del Riesgos, son los dos componentes principales para que la Gestión de un Proyecto se realice exitosamente.

### Propuesta detallada: Proceso de la Gestión de Riesgos



Nota: Los números entre paréntesis son referencias para la explicación detallada en las siguientes páginas.

Figura 4.2. Proceso de la Gestión de Riesgos. Fuente: El Autor.

Ambas propuestas están integradas entre sí, pues el proceso de Gestión de Riesgos es parte del sistema de gestión de proyectos mostrado en el primer gráfico.

El Proceso de la Gestión de Riesgos propuesto comienza por la identificación de los criterios de valor (1) y por la recepción del expediente técnico del proyecto como ítems de entrada provenientes de la Gestión del Valor. Los criterios de valor definidos en esta investigación son: costo, plazo, calidad y seguridad. (Para una referencia más extensa sobre el tema se recomienda ver el anexo I de esta investigación y el trabajo de tesis de José Antonio Miranda Valdez, PUCP).

Una vez recibida la información de la Gestión del Valor, se inicia el proceso de identificación y registro de riesgos. Los datos de entrada propuestos son:

- Una Base de Datos de Riesgos (2) que recoja los riesgos provenientes de otros proyectos y que podrían ser aplicables al proyecto objeto de estudio. La base de datos que se propone debe contar con la siguiente información: código de riesgo, persona que registró el riesgo, descripción, probabilidad, impacto, categoría de riesgo y los resultados que se tuvieron en proyectos pasados. En la página -73- del anexo V se propone un modelo de base de datos.
- Tablas de Clasificación de Riesgos (3) que permitan tener preliminarmente una gama de categorías de riesgo que pueden ser usadas para el proceso creativo de la identificación de riesgos. La tabla de clasificación de riesgos que se propone es la siguiente (adaptación de las categorías definidas por diversos autores, explicado al final del anexo II):

<i>Categorías de Riesgo</i>			
<i>Según el Impacto</i>	<i>Según la Etapa del Proyecto</i>	<i>Según su Naturaleza</i>	<i>Según el Tipo de Gestión</i>
Costo	Concepción y Factibilidad	Riesgo Externo	Aceptados
Tiempo	Diseño	Riesgo Interno	Evitados
Calidad	Planificación / Contrataciones	De corto plazo	Mitigados
Recursos Humanos	Ejecución	De largo plazo	Transferidos
	Operación y Mantenimiento		

Figura 4.3. Propuesta de modos de clasificación de riesgos. Fuente: El Autor.

Como paso siguiente, viene la aplicación de herramientas en la identificación y registro de riesgos. Entre las herramientas de identificación de riesgo estudiadas en la revisión literaria (capítulo 3, página 36) se considera que la más apropiada es la

RBS o Risk Breakdown Structure (4) que significa Estructura de Desglose de Riesgo, cuya función es desglosar los trabajos y actividades relacionadas con el ciclo de vida del proyecto, y a partir de ahí se van identificando riesgos. En la figura 3.1. del capítulo 3 se presenta un modelo de aplicación de la RBS.

Para el proceso de registro de riesgos, se propone la herramienta RiskLog (5), que es la propuesta técnica de este trabajo de tesis. En los anexos IV y V se menciona a detalle sus características y modos de uso. En resumen, el sistema de RiskLog almacena en una intranet los datos de entrada ya mencionados, y muestra información relevante asociada a los siguientes procesos de la gestión de riesgos, como se verá más adelante.

Una vez identificado y registrado el riesgo, se procede con el análisis de riesgos. En esta etapa, los datos de entrada propuestos son: la variabilidad de datos (6) de las partidas consideradas como críticas o relevantes para el análisis cuantitativo, según el procedimiento establecido por el ASTM, el cual está explicado en el anexo III. En caso de tener registros históricos, histogramas o de tener certeza sobre la distribución de las variables, se puede considerar un modelo de distribución de probabilidad para ser usada en la herramienta analítica cuantitativa. En caso contrario, como suele suceder, no existen datos suficientes y se debe estimar los valores mínimos, máximos y los valores más probables (distribución triangular).

También se propone a la Tabla de probabilidad (7) como información de entrada que brinde soporte al análisis cualitativo de riesgos. A continuación se muestra una adaptación de la tabla de probabilidad definida por Merna vista en el capítulo 3.

Escala	Probabilidad	Puntaje de Probabilidad
Muy baja	< 10%	0.1
Baja	10 – 30%	0.3
Media	30-50%	0.5
Alta	50-70%	0.7
Muy alta	> 70%	0.9

Figura 4.4. Rangos de puntaje para diversas probabilidades. Fuente: El Autor (adaptado de Merna)

Las herramientas que se proponen como adecuadas en el análisis de riesgos son el software @RISK (8), en el que se puede ejecutar la simulación de Monte Carlo con los datos de entrada mencionados. Se puede usar tanto para análisis cuantitativo o

cualitativo. Como algo adicional, también se puede obtener de este software un análisis de sensibilidad para identificar y analizar las partidas más sensibles a los cambios, que afectan el costo o plazo según sea el caso. Para una mayor referencia, el uso de este software está explicado ampliamente en el anexo III.

La propuesta técnica RiskLog (9) se hace presente como herramienta de análisis porque se puede usar como plataforma de cálculo para la estimación de la vulnerabilidad de los riesgos. Al hacer un registro, se indica la probabilidad estimada y el impacto que se generaría en el proyecto. RiskLog calcula la vulnerabilidad según el procedimiento explicado en el anexo IV.

Por otro lado, es importante señalar que el análisis de riesgos se aplica para los cuatro criterios de valor identificados. Sin embargo, para efectos prácticos, mayormente los criterios de valor de costo y plazo pueden ser analizados tanto cualitativa como cuantitativamente, mientras que los criterios de seguridad y calidad son evaluados de forma cualitativa.

Una vez que se termina con el análisis de riesgos, se procede a actualizar la data en el sistema de registro de riesgos. Se procede luego con la Planificación de Respuesta a los Riesgos, y para este caso se propone a RiskLog (10) como herramienta. Su uso radica básicamente en servir como plataforma de ingreso escrito de la planificación en un sistema donde el resto de la información es accesible, como la fecha de registro, responsable, probabilidad, impacto, entre otros. Asimismo, sirve como medio de comunicación entre los involucrados de la gestión de riesgos porque provee un espacio de intercambio de ideas y dictado de instrucciones por parte del gerente de proyecto. En los anexos IV y V se muestra el uso de la herramienta propuesta aplicada para planificación de riesgos.

Se propone como objetivo del proceso de planificación de registro de riesgos el desarrollar un entregable o output (11), en el que se pueda apreciar el plan de prevención de riesgos (que se debe planificar para evitar, mitigar o transferir los riesgos antes de que ocurran) y el plan de contingencia de riesgos (que se debe planificar para mitigar, transferir o evitar el impacto en caso de que el riesgo ocurra). En ambos casos, la planificación debe hacerse previamente a la ocurrencia de la amenaza de riesgo. Al respecto, RiskLog provee la plataforma de visualización de avance en la gestión de planificación tanto de prevención como de contingencia de

riesgos. Para ver una muestra de estos documentos, ver las páginas 69 y 70 en el anexo V.

El último y no menos importante subprocesso de la gestión de riesgos es el control y monitoreo de riesgos. De la misma forma, RiskLog (12), es propuesto como herramienta de control y monitoreo pues provee un modo de visualización de avance en la gestión de implementación y resultados de la prevención como de la contingencia de riesgos, provenientes de la planificación en la etapa anterior. El objetivo es generar entregables (13), en forma de reportes de seguimiento y control para no perder el rastro la evolución de los riesgos ya así poder hacer una mejor toma de decisiones. El modo de visualización de la herramienta propuesta se explica en el anexo IV y es mostrado en las páginas 71 y 72 del anexo V.

Por otro lado, según lo estudiado en el capítulo de procesos de la Gestión de Riesgos, todos los autores concuerdan con que el proceso debe ser dinámico, continuo y permanente en el tiempo (14) hasta la entrega final de obra.

Como fase final, se considera como pieza importante de la Gestión de Riesgos el hecho de que sea un proceso retroalimentativo, como se ha señalado en la introducción de la tesis. Buscar que el proceso general de la Gestión de Riesgos se transforme en una herramienta de retroalimentación en la construcción puede ser clave a nivel estratégico como gestión de negocio de las empresas que lo implementen. No hay duda que la mejora continua es uno de los grandes anhelos en toda organización; por eso se propone que se establezca formalmente en la Gestión de Proyectos. Para lograr esto, se propone lo siguiente:

- Que se realice una Evaluación de Resultados durante y al final de la gestión, con la finalidad de evaluar los aciertos y errores cometidos en el análisis, la planificación y la implementación de las medidas tomadas para gestionar los riesgos e incertidumbres.
- Que se haga efectiva la retroalimentación de la experiencia adquirida entre los miembros del equipo de proyecto en primera instancia, y luego elevarlo a nivel de la empresa u organización. Esto puede hacerse organizando conferencias, charlas específicas y extendiendo la documentación necesaria en la base de datos, de la que se pueda rescatar información de valor para futuras referencias.

## Parte III

### ► Capítulo 5

#### Caso de Estudio:

Gestión de Riesgos en la construcción de estructuras no convencionales: Cúpula de la Iglesia Sagrado Corazón de Jesús

#### **5.1. Estructura del estudio**

- Antecedentes
- Descripción de la problemática
- Entendiendo los criterios de valor del cliente
- Procesos de Gestión de riesgos e incertidumbres
  - Identificación de riesgos
  - Análisis de riesgos
  - Respuesta a los riesgos
  - Control y monitoreo
  - Retroalimentación
- Resultados
- Conclusiones

#### **5.2. Antecedentes**

Desde el mes de agosto del 2007 hasta mayo de este año, se ejecutó la obra Iglesia Sagrado Corazón de Jesús, ubicada en el distrito de Surco, Lima. El cliente fue la Asociación Pro Ecclesia Sancta (APES), una congregación católica que, junto con la asociación laica Avanzada Católica, decidieron llevar a cabo un proyecto muy ambicioso: la construcción de una iglesia que se caracterizara por una monumental cúpula de forma tronco-cónica y un campanario de más de 40 metros de altura que impresionara a todos los visitantes.

Las empresas elegidas para ejecutar la obra fueron Graña y Montero (GyM) y Evisac, los cuales formaron un Consorcio en el que el primero tuvo un 70% de participación y el segundo la parte restante. Cabe mencionar que el proyecto comprende no sólo la iglesia, sino también tres sótanos de estacionamientos y un edificio administrativo, además de otras estructuras especiales como: un espejo de agua con un sistema de recirculación y encima de un sótano, una viga postensada de 40 metros de longitud, 7 metros de altura y 25 centímetros de espesor, y un campanario de 43 metros de altura enchapado en mármol.

### Ficha técnica

- Graña y Montero: encargado de la Gerencia de la Construcción
- Supervisión Externa: APES
- Ubicación: Esq. Jr. Santorín (ex calle Z) y Av. La República (ex Av. El Carmen), Urb. El Vivero - Monerrico, Surco.
- Fecha de Inicio: 03 de Agosto 2007
- Fecha entrega: 30 de Mayo 2008
- Modalidad: Precios Unitarios (casco y acabados)  
Administración (Cúpula)
- Área Techada: 3,732.00 m<sup>2</sup> - Iglesia
- Monto de Obra: US \$ 1' 996 631 más IGV
- Estructura de columnas, placas, vigas y losas macizas.
- Triple altura en Iglesia (8 metros) y cúpula tronco cónica de concreto armado.
- Arquitectos del proyecto: Oscar Borasino, Ruth Alvarado, Alfredo Benavides y Cinthia Watmough.
- Proyectista Estructural: Prisma Ingenieros Consultores. Ingenieros: Alejandro Muñoz, César Huapaya y Marcos Tinman.

### Ubicación del proyecto

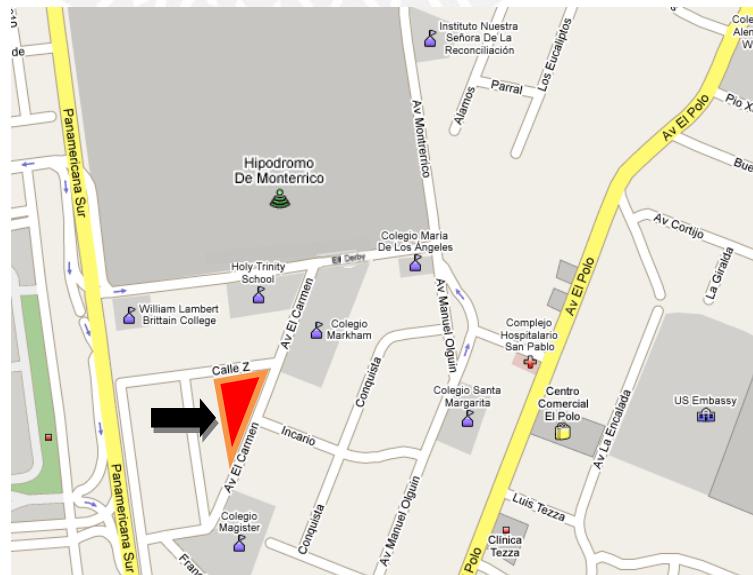


Figura 5.1. Ubicación del proyecto "Iglesia Sagrado Corazón de Jesús"

### Vistas del proyecto

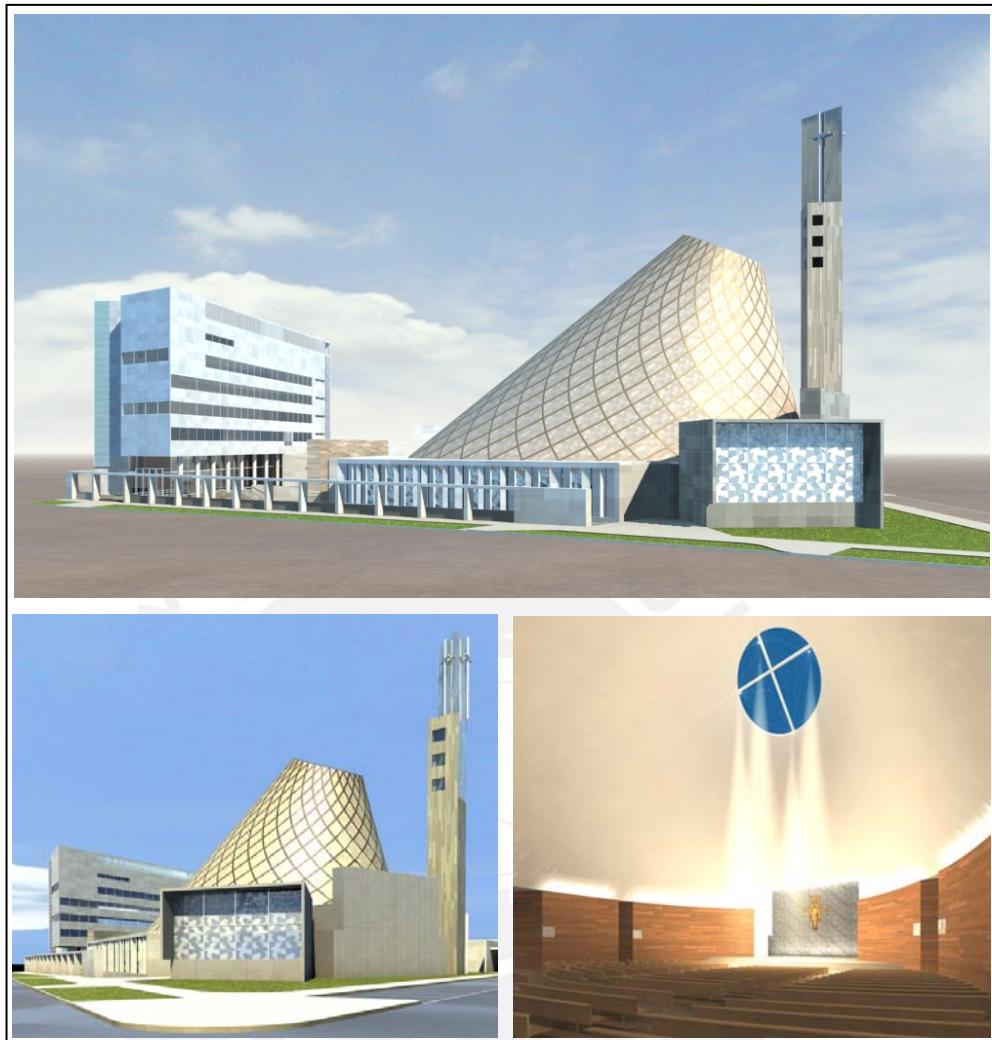


Figura 5.2. Vistas del proyecto exterior e interior (simulado por computadora)

### 5.3. Descripción de la problemática

El proyecto en particular estaba rodeado de muchos factores que lo hacían muy complejo por los motivos que se exponen a continuación:

En cuanto al entorno organizacional y la gestión del proyecto:

- La gestión del proyecto en la etapa de diseño lo llevó a cabo el propio cliente, por lo que la transferencia de información, la coordinación con proyectistas y el control de cambios fue bastante complejo en etapas posteriores.

- El hecho de que dos organizaciones distintas formen un consorcio hace que surjan algunas incompatibilidades en el modo de hacer las cosas y sobre todo a la hora de tomar ciertas decisiones.
- El cliente, que fue a su vez el Supervisor de la obra, estaba compuesto al mismo tiempo de dos organizaciones: los ingenieros contratados para supervisar en campo, y los sacerdotes que tenían capacidad de decisión porque eran finalmente los clientes y usuarios finales, además de los fieles que acudan a la iglesia. Esta doble cara de la organización generaba a veces ciertas controversias y ocasionaban cambios constantes en el proyecto.
- Los arquitectos del proyecto tuvieron mucha influencia en las decisiones del cliente, lo que en conjunto provocaba problemas de comunicación entre el cliente y el consorcio.

En cuanto al proceso constructivo de la cúpula:

- La cúpula de esta iglesia en particular es una estructura de una geometría nunca antes construida en el Perú, y probablemente en todo el mundo debido a las siguientes características:
  - Tiene una base que simula una elipse, de aproximadamente 50 metros en el lado mayor y 35 metros en el lado menor. Sin embargo, geométricamente no es una elipse, es una unión de arcos de círculos de diferentes radios.
  - La base de la cúpula se encuentra a 6 metros del nivel cero en su parte más baja y a 8 metros en su parte más alta. Es decir, la base no se encuentra en un plano horizontal sino en uno inclinado, y por si fuera poco, en ambas direcciones.
  - El agujero que se encuentra en la cima de la cúpula, conocida también como óculo, es un círculo perfecto de 8 metros de diámetro, cuyo centro se ubica en el eje mayor de la base de la cúpula, pero está hacia el lado del altar, como se puede apreciar en las vistas. Además, el círculo está en un plano inclinado de 30° respecto a la horizontal, y en sentido contrario al plano inclinado de la base de la cúpula.
  - La superficie de la cúpula es, entonces, generada por una cuasi-elipse y un círculo, lo que en resumen tiene infinidad de generatrices

de diferentes pendientes, diferentes direcciones y que no son concéntricas al círculo del óculo.

- La altura total de la cúpula alcanzó los 33 metros desde el nivel cero. La pendiente más pronunciada de la cúpula es de 75° y la menos pronunciada es de 30°.
- El material es de concreto armado, de 15 cm de espesor.
- La estructura está preparada para recibir una estructura metálica que se montó en el óculo, en el que se apoyaron e instalaron planchas de cristal templado.
- La superficie de la cúpula es totalmente lisa, por lo que el proyecto nunca contempló un acceso desde la base hasta la punta. Sin embargo, se requirió de un acceso provisional que tuvo que planificarse para estar acoplado a la cúpula hasta terminar de construirlo.
- Dadas las dimensiones de la cúpula, todo trabajo involucrado era de alto riesgo por ser considerado como trabajo en altura.

Además, existieron otros factores externos como la falta de algunos requerimientos municipales, quejas de los vecinos por el exceso de polvo y ruido, variaciones de precios de los materiales, entre otros.

Todos los factores arriba mencionados son las causales de riesgo, o factores de riesgo, los que han originado que diversos riesgos surjan como potenciales amenazas al proyecto y que han sido gestionados apropiadamente, culminando el proyecto de manera exitosa.

En el presente caso de estudio se analizarán los pasos seguidos para la gestión de riesgos, específicamente para la construcción de la cúpula de la iglesia, y también se abordará un escenario de aplicación de la simulación de Monte Carlo.

#### 5.4. Entendiendo los criterios de valor del cliente

Como paso preliminar de la Gestión de Riesgos, lo primero que se hizo fue evaluar los criterios de valor del cliente para este proyecto. Recordemos que la gestión de riesgos se debe a la gestión del valor, y fue bajo este enfoque que se procedió a analizar los riesgos que afectaban al proyecto.



Estaba claro lo que el cliente quería conseguir con este proyecto: majestuosidad y presencia en la sociedad. A través del proyecto de arquitectura, vale decir planos, vistas computarizadas y especificaciones de acabados, los arquitectos y el cliente transmitieron al Consorcio su escala de valor en el tipo de acabados a emplearse y en la innovación arquitectónica.

Por otro lado, a diferencia de la mayoría de los proyectos de construcción, el cliente en este caso no busca lucro, sino presencia. Sin embargo, por el simple hecho de que el proyecto no genera lucro al cliente no quiere decir que el dinero exista en demasía; muy por el contrario, los recursos económicos disponibles eran muy escasos pues el cien por ciento provino de donaciones. Es por ello que se estableció como misión fundamental del Consorcio que optimice y diseñe un plan de construcción de la cúpula con el menor costo posible, ya que fue dado por administración. Cabe señalar que el costo de construcción de la cúpula era incidente, pues se estimó como la cuarta parte del costo total del proyecto. Entonces, se puede afirmar que mientras más economice el Consorcio en la construcción de la cúpula, más va a ser el valor añadido al proyecto.

Por último, el criterio de valor más importante para el cliente fue el plazo de obra. Su argumento era poderoso: la fecha de la inauguración de la Iglesia debía ser el 30 de mayo sí o sí, dado que ese día se celebra la festividad del Sagrado Corazón de Jesús, que también es el nombre de la Iglesia.

En resumen, los criterios de valor del cliente identificados son, en orden de prioridad:

- El plazo de obra (fecha inamovible de inauguración)
- El costo total (los fondos son limitados por ser donaciones)
- Calidad (la obra debe reflejar lo proyectado en cuanto a calidad)

## 5.5. Procesos de Gestión de Riesgos

Teniendo definido los criterios de valor del cliente, el Consorcio, a través del gerente de proyecto, definió al equipo de obra el criterio de éxito del proyecto: “asegurar que la estructura se construya dentro del presupuesto, calidad y plazo

estimados, y por sobre todo salvaguardar la integridad física de todos los trabajadores en el proceso constructivo”.

Se puede argumentar que ésta última afirmación resume los criterios de valor del Consorcio como contratista. Sin duda, era fundamental establecer políticas de prevención de riesgo en seguridad industrial y al mismo tiempo cumplir con los objetivos de costo, tiempo y calidad.

Cuando los planos de obra llegaron a nuestras manos, lo primero que surgió no fueron riesgos, sino que fueron principalmente incertidumbres:

¿Cómo se va a construir la cúpula? ¿Qué tipo de encofrados de usará y como será el andamiaje? ¿Cómo se le dará la curvatura al encofrado para poder vaciar el concreto? ¿Cómo se hará la topografía para la cúpula? ¿Cómo será el acceso a alturas tan altas? ¿Cómo será el procedimiento de vaciado? ¿Qué medidas de seguridad debemos tomar?

Muchas preguntas surgieron. Fue en ese momento en que empezó la etapa de planificación de la construcción de la cúpula, que duró aproximadamente 3 meses, durante la construcción de las obras preliminares (cimentación, placas y techos aledaños). La Gestión de Riesgos de la construcción de la cúpula se inició en la etapa de planificación de la construcción, es decir, desde que el Consorcio recibió los planos del proyecto se empezó por la identificación, el análisis y el plan de respuesta a los riesgos.

### Procesos: Identificación y Registro de riesgos

La etapa de planificación de la construcción de la cúpula fue crucial para determinar e identificar muchos riesgos. Muchas de las incertidumbres que se tenían se transformaron en riesgos, bien porque se obtuvo más información sobre ciertos procedimientos como porque al menos se supo en qué consistían ciertas procesos constructivos y cómo eran afectados por la accesibilidad y la seguridad. De todas formas, nunca dejó de existir hasta el último momento el factor de incertidumbre pues nunca se ha construido una estructura de este tipo en la experiencia previa del equipo de obra del contratista.

Las acciones realizadas para identificar y registrar los riesgos fueron las siguientes:

- Se establecieron periódicamente ‘reuniones de ideas’ donde técnicas como el brainstorming o lluvia de ideas se daban lugar para la identificación de riesgos.
- Se hicieron entrevistas a ingenieros de diferentes proveedores clave (fierro, encofrado y concreto) para la construcción de la cúpula, con la intención de informarnos más acerca del tipo de material a usarse o para definir o esclarecer ciertos procedimientos constructivos.

#### Comentarios

A pesar de que se realizaron reuniones de coordinación, es importante reconocer que no hubo un establecimiento formal de la Gestión de Riesgos como estructura o proceso a seguir dentro de la organización. Si bien en las reuniones de ideas se identificaban riesgos, la finalidad era ver el “cómo” se iba a construir y muchas veces no se identificaban los riesgos involucrados en los procesos.

Los participantes de esas reuniones de ideas fueron en general los ingenieros de la línea de mando (desde asistentes hasta jefes de campo y oficina técnica), por lo que no se incorporaron a los capataces de obra como partícipes activos en la gestión de riesgos. Pero para suerte de la gestión del proyecto, se identificó a tiempo que los capataces sí eran capaces de colaborar en el proceso creativo de identificación de riesgos. Ello trajo como consecuencia que al final de cuentas la mayoría de los riesgos relacionados con la ejecución de la obra fueran identificados en el campo y con ayuda de los maestros de obra.

Asimismo, respecto al proceso de Registro de Riesgos, el control y la lista de riesgos solo se documentaba en las actas de reunión de obra y se ponían como puntos de agenda de las siguientes reuniones. Este documento se manejaba a nivel del gerente del proyecto y por lo general no se compartía o discutía con el equipo del proyecto hasta una siguiente reunión.

En conclusión, al no existir un documento o formato preparado que pueda servir de soporte al registro de riesgos, al no contar con un proceso formal y permanente de Gestión de Riesgos y al no involucrar del todo al personal de obra en la identificación de riesgos, ocasionó que el proceso general se haga más lento y

desordenado. Muchas veces, se duplicaban esfuerzos y las acciones no eran apropiadamente coordinadas.

#### Aplicación de la herramienta de registro de riesgos: RiskLog

Si se hubiera aplicado la herramienta de registro de riesgos propuesta en el capítulo anterior, se hubieran evitado ciertos problemas como:

- Falta de comunicación entre los miembros del equipo de proyecto.
- Lentitud en el proceso de reporte de riesgo y discusión del mismo, por tener que esperar a una reunión de coordinación para hacerlo.
- Duplicidad de esfuerzos en la gestión de riesgos.
- Desorden en la toma de decisiones al no priorizar la acción de los riesgos en función a su vulnerabilidad.
- Falta de seguimiento constante por parte de todos los miembros del equipo de proyecto en la gestión de riesgos. Con RiskLog, los nombres de responsables, fechas meta de gestión y porcentaje de avance en la gestión son indicados en tiempo real.

Por ejemplo, el riesgo ‘las plataformas del trabajo pueden colapsarse si no están bien arriostradas o aseguradas’ fue identificado en campo y si bien se tomaron acciones para erradicarlo, en un inicio fue difícil hacer el requerimiento de recursos necesarios pues aun no había sido discutido o aprobado en una reunión de obra. En caso se hubiera contado con RiskLog, se registraba de inmediato en el sistema vía internet desde el punto donde se identifica, y de esa manera se formaliza la gestión de ese riesgo en particular. Además, el gerente de proyecto puede determinar de inmediato al responsable de hacer el seguimiento, hacer el plan de prevención y contingencia de riesgo de ser el caso, con lo que se toma acción desde el momento en que se ha identificado. Por último, el sistema de registro es dinámico porque almacena información que se genera en las siguientes etapas de gestión de riesgos: análisis de riesgos, plan de respuesta a los riesgos y seguimiento o control.

A continuación, se presenta una lista de los principales riesgos considerados en la construcción de la cúpula de la iglesia:

Riesgos principales identificados
La complejidad de la forma de la estructura de la cúpula puede mermar el trabajo de topografía
La información disponible en los planos de arquitectura es insuficiente para hacer la topografía de la cúpula
El diseño de la estructura del andamiaje de encofrado puede no ser suficiente para soportar las cargas a las cuales estaba sometida.
El acceso a las zonas de trabajo puede hacer que los obreros sean vulnerables a caídas y accidentes
La forma de la superficie de la cúpula puede no cumplir los requerimientos de calidad con respecto a la curvatura que debía tener la forma del encofrado.
Los operarios y los ayudantes de concreto, carpintería y fierro pueden no tener la experiencia suficiente para conseguir los estándares de seguridad, calidad o eficiencia.
Los materiales requeridos para empezar a construir la cúpula se podrían retrasar, lo cual podía generar muchas pérdidas por tiempos muertos.
El izaje y armado de los elementos del andamiaje de la cúpula requiere de personal altamente calificado, pues están expuestos al mareo por el vértigo de la altura y podrían caerse, causando accidentes fatales.
Un tren de trabajo mal definido puede ocasionar pérdidas económicas grandes por generar tiempos muertos.
El tipo de concreto a usar y el procedimiento de vaciado de concreto en altura son elementos de riesgo a considerar pues para este tipo de elementos (espesor de cúpula =15cm) podría haber problemas serios de cangrejerías.
La estructura del andamiaje que soporta el encofrado de la cúpula puede tener asentamientos en el terreno
Por ser trabajo en altura y en un espacio confinado, los obreros pueden sufrir caídas y tropiezos en sus zonas de trabajo

Figura 5.3. Principales riesgos identificados en el proyecto “Iglesia Sagrado Corazón de Jesús”

### Proceso: Análisis de riesgos

Para el análisis de riesgos, se emplearon los siguientes recursos de análisis cualitativo de riesgos y herramientas de gestión, que se han establecidos como puntos de agenda en las reuniones de coordinación de obra:

- Conceptualización de la Cúpula: análisis de alternativas
- Comparativa de Alternativas de Proveedores (encofrados, concreto, fierro)
- Comparativa de Alternativas de materiales a usar (concreto, madera)
- Establecer y revisar Cronograma Macro
- Establecer un Lookahead (planificación detallada en el requerimiento de información, y otros recursos para las siguientes semanas)
- Análisis de Restricciones

Por ejemplo, a continuación se presenta un gráfico de análisis de restricciones y Lookahead empleado en la obra:

Lookahead y Análisis de Restricciones												Preparado por: VLH												
		SEMANA 44 del 05/11 al 11/11					SEMANA 45 del 12/11 al 18/11					SEMANA 46 del 19/11 al 25/11					SEMANA 47 del 26/11 al 02/12							
Actividad / Restricciones		Fecha Requer.	Resp	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
<b>CUPULA</b>																								
NIVELACION DE TERRENO																								
Relleno Manual																								
Nivelación con equipo																								
Compactación																								
<b>CAMA</b>																								
Armando de cama																								
<i>Orden de Servicio y contrato de equipo de ULLMA</i>																								
<i>Contratar Transporte para traer equipo de ULLMA</i>																								
<i>Supervisor de ULLMA (coordinar o contratar)</i>																								
<i>Confirmación de diseño de datos</i>																								
<i>Elaboración de Datos</i>																								
<i>Personal para acarreo (definir si es necesario)</i>																								
<b>CASTILLO SUPERIOR (CONO)</b>																								
Armando de Sector 1																								
<i>Llegada de equipo de ULLMA</i>																								
<i>Personal acarreo (definir cantidad)</i>																								
Armando de Sector 2																								
<i>Llegada de equipo de ULLMA</i>																								
<b>ENCOFRADO INTERIOR (Cerchas)</b>																								
Armando de Sector 1																								
<i>Colocación de madera y triples</i>																								
<i>Compra y llegada de madera</i>																								
<i>Compra e llegada de triples</i>																								

Figura 5.4. LookAhead y Análisis de restricciones integrados: ambas representan herramientas de gestión de proyectos para reducir los riesgos de fallar en la cadena de abastecimiento de materiales

También se hicieron varios cuadros comparativos de materiales y proveedores, por ejemplo a continuación se observa el análisis entre dos tipos de concreto:

Cliente	Iglesia Sagrado Corazón de Jesús	Costo al	06-Oct		
Lugar	Lima - Lima - Lima				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio USD	Parcial USD
01	<u>Losa Macisa, h=0.15m Cúpula, Vaciada con Shotcrete (No Inc. Mano de Obra)</u>				466251.50
01.01	Soporte de Cúpula	mes		1.00	147867.50
01.02	Encofrado Fondos	m2		2750.00	19.52
01.03	Transporte de encofrado a Obra	vje		80.00	163.90
01.04	Concreto Shotcrete, fc=280 kg/cm2	m3		577.50	362.80
01.05	Acero fy=4200 kg/cm2	kg		46750.00	0.90
02	<u>Losa Macisa, h=0.15m Cúpula, Vaciada con Concreto autocompactante (No Inc. Mano de Obra)</u>				270253.50
02.01	Soporte de Cúpula	mes		1.00	122430.00
02.02	Encofrado Fondos	m2		2750.00	19.41
02.03	Encofrado Superficie exterior	m2		275.00	13.90
02.04	Transporte de encofrado a Obra	vje		70.00	163.90
02.05	Concreto Autocompactante, fc=280 kg/cm2	m3		412.50	89.88
02.06	Acero fy=4200 kg/cm2	kg		46750.00	0.90

Figura 5.5. Evaluación de presupuestos comparativos para dos alternativas de vaciado de concreto.

Respecto al cuadro de Lookahead y Análisis de Restricciones, cabe señalar que son herramientas que combinan la identificación de riesgos en el plazo y en el requerimiento de materiales, pues se basan en el método de WBS (*Work Breakdown Structure*) o Estructura de desglose de trabajo (explicado en el capítulo 4) establecida en el corto plazo de un momento dado. En este caso, se ha definido que cuatro semanas es suficiente para tener un panorama de las tareas venideras.

#### Aplicación de la herramienta de registro de riesgos: RiskLog

Si bien esta parte se ha gestionado correctamente con las herramientas usadas, no hubo un cuadro que indique la prioridad de gestión de riesgos en función a la vulnerabilidad de los riesgos.

Por ejemplo, en el primer cuadro (Lookahead y Análisis de restricciones) cada fila es un riesgo (representado por una tarea o requerimiento), debería especificar su probabilidad de éxito u ocurrencia, el impacto que tiene sobre el proyecto y la vulnerabilidad. Normalmente, uno debería empezar a tomar decisiones por los riesgos más importantes, y no en el orden en que se presenta en el documento.

En la herramienta de registro de riesgos RiskLog, cada riesgo tiene definido su probabilidad, impacto e incidencia, por lo que es fácil identificar por dónde comenzar y a qué tareas darle prioridad, ya sea en la asignación de presupuestos para contingencia como para la destinación de recursos materiales o supervisión interna.

#### Aplicación del análisis cuantitativo de riesgos: simulación de Monte Carlo

En el caso de los cuadros comparativos, resultó útil para la toma de decisiones acerca de procesos constructivos, materiales y proveedores. Esto ha brindado un espectro de costos que le interesan al cliente, pues como se debe recordar, la construcción de la cúpula fue dada por administración.

Sin embargo, este enfoque es estático y no dinámico. Las partidas que se incluyen en el presupuesto dado tienen valores definidos ‘estimados’, pero no se considera la variabilidad que existe en cada una de ellas.

Para una mejor estimación de costos, se propone usar la simulación de Monte Carlo (explicado en el anexo III) usando el software @RISK, con lo cual se obtendría lo siguiente:

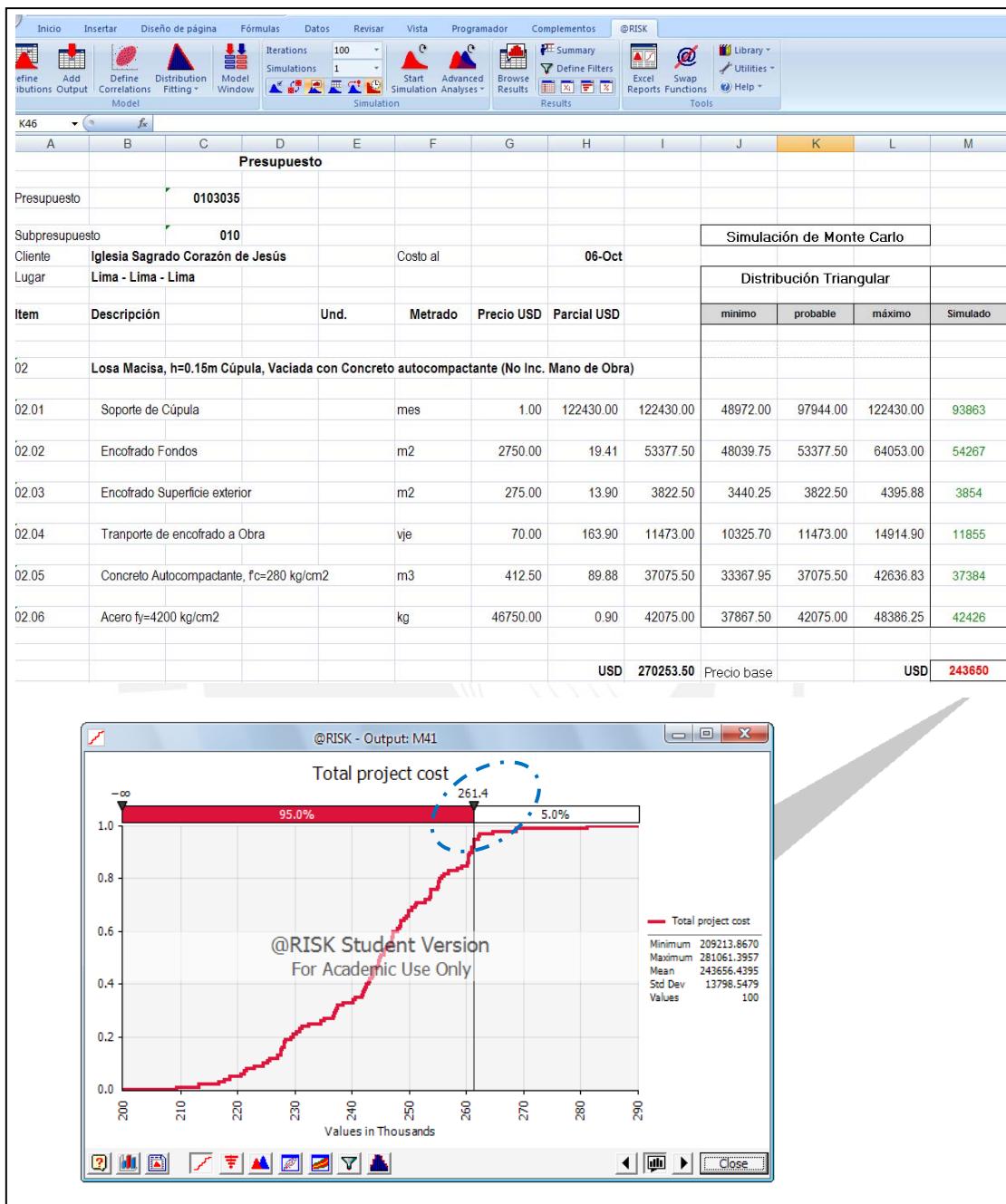


Figura 5.6. Visualización de la aplicación de @RISK sobre la hoja de cálculo del presupuesto de “Losa Maciza – cúpula” hecha en MS Excel.

Nota: los valores de la partida “soporte de cúpula” se han modificado del presupuesto original pues se consiguió un acuerdo comercial posterior con el proveedor, pero esto ya ha sido considerado en la simulación de Monte Carlo y puede compararse con el resultado final, que figura al final de este capítulo. El presupuesto inicial por parte del proveedor de encofrado fue de USD 122430, pero al hacer el estudio y al reducir incertidumbres en el diseño su propuesta bajó, además de que se negoció un descuento comercial a favor del cliente.

Se puede observar que se ha estimado un valor de costo total de USD 243650 (media calculada para 100 iteraciones). También se indica un valor de USD 261400 para cubrir el 95% de los casos (ver círculo azul en la ventana “@Risk Output”), es decir, se puede estimar la contingencia que vendría a ser la diferencia entre ambos valores. (USD 17750).

Teniendo esta información, el cliente podría planificar su flujo de caja y no pagar los costos de obra por administración conforme se van presentando las obligaciones de pago. Lo óptimo para cualquier inversionista es minimizar la variabilidad de su inversión, y para eso se puede hacer la simulación de Monte Carlo, con el fin de asegurar el presupuesto y considerar una contingencia económica.

### Proceso: Respuesta a los riesgos

En las reuniones de obra realizadas con anterioridad se tomaron decisiones en cuanto a la gestión de riesgos identificados, ya sea para mitigarlos, transferirlos, adoptarlos o aceptarlos.

A continuación, se presenta una lista de algunos de los riesgos de mayor importancia identificados en la planificación de la construcción de la cúpula, y las decisiones que se tomaron para gestionarlos:

Riesgo	Respuesta (acción tomada)
La complejidad de la forma de la estructura de la cúpula puede mermar el trabajo de topografía	Se decidió contratar a un topógrafo de primer nivel, con experiencia en obras de magnitud y con los conocimientos técnicos requeridos para la obra, como el manejo de estación total y autocad. (riesgo adoptado)
La información disponible en los planos de arquitectura es insuficiente para hacer la topografía de la cúpula	Se definió conceptualizar la cúpula en un modelo del cual el topógrafo pudiera tomar referencias exactas. En principio se habló de hacer un modelo de la cúpula a escala 1:10, pero tomando en cuenta que no había garantía de que el modelo fuera perfecto y que además cualquier error se multiplicaba por 10, se decidió hacer el modelo por computadora en 3D para ubicar las coordenadas exactas en el terreno. (riesgo adoptado)
El diseño de la estructura del andamiaje de encofrado puede no ser suficiente para soportar las cargas a las cuales estaba sometida.	Se definió que la empresa Ulma se encargaba del diseño estructural del proyecto de encofrado de la cúpula. Se logró que el cliente estableciera el contrato directamente con ellos. (riesgo transferido)
El acceso a las zonas de trabajo puede hacer que los obreros sean vulnerables a caídas y accidentes	Se decidió contar en la parte exterior con una escalera de madera que estuviera sujetada a la estructura, y que se ampliara cada vez que se avanzaba en la obra. Por adentro, se decidió contar con una escalera metálica con trampilla. En

	ambos casos, la condición básica era contar con barandas seguras para evitar caídas. (riesgo mitigado)
La forma de la superficie de la cúpula puede no cumplir los requerimientos de calidad con respecto a la curvatura que debía tener la forma del encofrado.	Se decidieron hacer prototipos de encofrado para definir el mejor método en cuanto a rendimientos, seguridad y especialmente calidad. Era vital cumplir con la topografía de la superficie. Se hicieron hasta cinco prototipos de encofrado, probando con distintos espesores de plancha de triplay, con diferentes formas de arriostrar y asegurar el encofrado. Incluso, se hicieron ensayos de vaciado para comprobar la eficacia del encofrado. Para promover mejores formas de encofrar, se ofreció un premio de tipo incentivo económico a la cuadrilla de carpinteros que definiera la mejor idea de encofrado. A manera de concurso, pudo definirse cómo se iba a encofrar antes de comenzar la construcción de la cúpula. (riesgo adoptado)
Los operarios y los ayudantes de concreto, carpintería y fierro pueden no tener la experiencia suficiente para conseguir los estándares de seguridad, calidad o eficiencia.	Se trató de minimizar este factor de riesgo haciendo capacitaciones y charlas de seguridad diarias a los obreros de todas las especialidades. (riesgo adoptado)
Los materiales requeridos para empezar a construir la cúpula se podrían retrasar, lo cual podía generar muchas pérdidas por tiempos muertos.	Se estudió con cautela el cronograma de obra y se solicitaron los materiales con un mes de anticipación al inicio de la obra en la cúpula, que era el tiempo que la mayoría de los proveedores solicitaba e incluía una holgura de una semana. Además, se establecieron contratos con los proveedores con cláusulas de penalidad en caso de incumplimiento, lo cual podía compensar las pérdidas económicas. (riesgo transferido)
El izaje y armado de los elementos del andamiaje de la cúpula requiere de personal altamente calificado, pues están expuestos al mareo por el vértigo de la altura y podrían caerse, causando accidentes fatales.	Se decidió no armar la estructura del soporte de encofrados con el personal de obra, sino contratar personal especializado para ello. Se contactó con un subcontratista que hace este tipo de trabajos, de armado de andamios de altura considerable, y se incorporaron a la obra (usando los estándares de seguridad del consorcio). Se pudo lograr que el cliente firme y establezca las cláusulas de responsabilidad directamente con ellos, así que este riesgo fue transferido.
Un tren de trabajo mal definido puede ocasionar pérdidas económicas grandes por generar tiempos muertos.	Se establecieron hasta tres opciones preliminares en el tren de trabajo de la cúpula. Tras varias reuniones, se definió hacer lo siguiente: avanzar diariamente en semianillos, de tal forma que un día se encofraba la mitad de la superficie y al día siguiente se vaciaba. En el día del vaciado, los carpinteros pasaban al otro semianillo para vaciar al día posterior. Se hicieron esquemas y cronogramas detallados con colores y sectores, y esta información se compartió con todos los involucrados. (riesgo mitigado)
El tipo de concreto a usar y el procedimiento de vaciado de concreto en altura son elementos de riesgo a considerar pues para este tipo de elementos (espesor de cúpula =15cm) podría haber problemas serios de cangrejeras.	Se establecieron reuniones de coordinación con el proveedor de concreto seleccionado (Unicon), para definir el mejor material a usarse. Se establecieron dos opciones: vaciar con shotcrete o vaciar con un concreto autonivelante. El primero se desestimó porque a pesar de que se ahorraba una cara del encofrado (exterior), su precio era muy alto y encarecía el precio de la estructura del encofrado pues iba a estar con una carga dinámica no considerada en su diseño. Se optó por la segunda alternativa, la cual ofrecía la ventaja de ser un concreto muy trabajable, el cual según sus especificaciones no necesitaba de vibración y no provocaba cangrejeras. (riesgo mitigado)

La estructura del andamiaje que soporta el encofrado de la cúpula puede tener asentamientos en el terreno	Se decidió compactar el terreno en capas y luego proceder a colocar tablones de 2" de espesor para que encima de ella descansen las patas del soporte de encofrado. (riesgo mitigado)
Por ser trabajo en altura y en un espacio confinado, los obreros pueden sufrir caídas y tropiezos en sus zonas de trabajo.	Se implementó como prenda básica de seguridad el uso de arneses de seguridad de doble cola, de tal forma que los obreros siempre estuvieran sujetados a las líneas de vida mientras se desplazan a su lugar de trabajo. Esto requería de cierto entrenamiento y forma de eso, especialmente por la falta de costumbre del uso de esta herramienta de seguridad. Asimismo, se estableció un sistema de enmallado interior que servía como contingencia en caso de que se produjera una caída. Se hicieron pruebas de resistencia de estas mallas interiores arrojando tres bolsas de cemento unidas. Por el lado exterior (riesgo adoptado)

Figura 5.7. Principales riesgos y las acciones tomadas como respuesta en el proyecto.

Mientras se erradicaban las incertidumbres y se definía el plan de acción de cada riesgo, se hizo en paralelo lo siguiente:

- Cronograma macro y cronograma detallado (planificación diaria) del procedimiento de trabajo en la construcción de la cúpula.
- Se diseñó un plan de seguridad industrial para reducir al mínimo las probabilidades de los accidentes de gravedad.
- Se estableció la política de compartir la información de gestión de riesgos y procedimientos constructivos inclusive con los ayudantes de obra. Se publicaron los cronogramas, sectorización de vaciados y estándares de seguridad.
- Se hicieron charlas específicas de trabajo de riesgo en altura, y establecieron rutas de evacuación como contingencia a la ocurrencia de un sismo y plan de acción en caso de incendio.

Como se puede observar, muchos de los riesgos están relacionados a la seguridad operacional en el proceso constructivo de la cúpula. Es por esto que se ha implementado una matriz de seguridad operacional para informar al personal de obra de los principales riesgos y vulnerabilidades en los trabajos que realizan diariamente:

		ACTIVIDADES			PELIGROS					
		I EXCAVACIONES			II CONCRETO ARMADO			III MAMPOSTERIA		
		Excavación manual	Excavaciones con maquina	Carga de volquetes	Encofrado y desencofrado	Colocación de acero de refuerzo	Colocación de viguetas pretensadas	Muros de ladrillos KIK	Solaqueo de muros	Tarajeo de fachada
		Eliminación de escombros	Colocación de ladrillos de techo	Vaciado de concreto con bomba	Colocación de ladrillos de techo	Colocación de viguetas pretensadas	Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes
		Excavación manual	Excavaciones con maquina	Carga de volquetes	Encofrado y desencofrado	Colocación de acero de refuerzo	Colocación de viguetas pretensadas	Muros de ladrillos KIK	Solaqueo de muros	Tarajeo de fachada
		Excavaciones con maquina	Carga de volquetes	Eliminación de escombros	Colocación de ladrillos de techo	Colocación de viguetas pretensadas	Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes
		Carga de volquetes	Eliminación de escombros	Colocación de ladrillos de techo	Colocación de viguetas pretensadas	Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes
		Eliminación de escombros	Colocación de ladrillos de techo	Colocación de viguetas pretensadas	Vaciado de concreto con bomba	Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes
		Colocación de ladrillos de techo	Colocación de viguetas pretensadas	Vaciado de concreto con bomba	Vaciado de concreto con bomba	Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes
		Vaciado de concreto con bomba	Muros de ladrillo calcáreo	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes	Colocación de encoberturas existentes				
		IV ACABADOS			V INSTALACIONES			VI TRANSPORTES VERTICALES (materiales)		
		Muros de ladrillos KIK	Muros de ladrillo calcáreo	Solaqueo de muros	Tarajeo de fachada	Colocación de encoberturas existentes	Instalaciones eléctricas y sanitarias	Sistemas de extracción de aire	Sistemas contra incendio	Izaje con winche
		Solaqueo de muros	Colocación de encoberturas existentes	Sistemas de extracción de aire	Sistemas contra incendio	Instalación de ascensores	Izaje con montacargas			
		Colocación de encoberturas existentes	Sistemas de extracción de aire	Sistemas contra incendio	Instalación de ascensores	Izaje con montacargas				
		Colocación de encoberturas existentes	Sistemas de extracción de aire	Sistemas contra incendio	Instalación de ascensores	Izaje con montacargas				
		Colocación de encoberturas existentes	Sistemas de extracción de aire	Sistemas contra incendio	Instalación de ascensores	Izaje con montacargas				

█ Baja vulnerabilidad      █ Mediana vulnerabilidad      █ Alta vulnerabilidad

Figura 5.8. Matriz de Riesgo Operacional.

Fuente: Plan de seguridad de la obra “Iglesia Sagrado Corazón de Jesús”, GyM S.A.

### Ejemplo de aplicación de la gestión de riesgo operacional en el caso de estudio

En la obra se ha procedido según los estándares y políticas de seguridad de la empresa, que engloba a la prevención de riesgos operacionales y también a la gestión ambiental.

El proceso comienza por identificar en una matriz los principales peligros y sus niveles de vulnerabilidad según las actividades a realizar (indicado por colores), como se indica en la figura 5.8. Por otro lado, para cada actividad de obra específica existe una matriz de control operacional que documenta las medidas preventivas que se deben cumplir para efectuar la actividad. Por ejemplo, para la actividad “excavación manual” se tiene la matriz de control operacional indicada en la figura 5.10 ubicada en la página siguiente.

Una vez identificados los riesgos y la forma de prevenirlos, el paso siguiente es la implementación del plan de prevención (indicado en la matriz de control operacional) y efectuar una serie de actividades y chequeos previos a la ejecución de la tarea que van a permitir controlar los riesgos y minimizarlos. Estas actividades y chequeos, que se pueden llamar requisitos para ejecución de una tarea, son:

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	CONTROL
Verificación de Seguro complementario de trabajo de riesgo	Administrador	Verificación de vigencia
Provisión de equipos de protección individual. Esto cambia según la actividad programada. Debe haber un stock de reserva en almacén.	Ingeniero de campo	Planificación de suministro de materiales
Esquema y provisión de protecciones colectivas. Se refiere a las barandas, señalética, sogas de seguridad, etc.	Ingeniero de campo	Planificación de suministro de materiales
Matriz de Riesgos y Matriz de control operacional. Estos documentos deben ser publicados y explicados al personal obrero.	Ingeniero de campo	Planificación de Respuesta a los Riesgos
Formato de Análisis de Trabajo Seguro y lista de verificación de la actividad. Es un documento publicado en el lugar de trabajo donde los trabajadores identifican los peligros y las acciones preventivas.	Ingeniero de campo / Prevencionista	Verificación y Seguimiento
Charla de inducción (5 minutos todos los días). Se refuerzan los conceptos de seguridad en obra mediante ejemplos y casos pasados.	Prevencionista	Verificación y Seguimiento
Capacitación específica (si es necesario). Por ejemplo, trabajos en altura, trabajos con materiales tóxicos, trabajos en excavaciones, etc.	Ingeniero de campo	Verificación y Seguimiento
Inspecciones, Simulacros y Registro de No Conformidades. Se realizan inspecciones de obra y simulacros sin aviso previo para medir el nivel de seguridad de obra. Las observaciones negativas son revisadas de inmediato y se dan las instrucciones correctivas en la charla del día siguiente.	Ingenieros de obra y oficina, prevencionista	Verificación y Seguimiento

Figura 5.9. Cuadro de actividades de control de riesgo operacional. Adaptado del Plan de Seguridad, GyM S.A.



## Matriz de Control Operacional

### Actividad: Excavación Manual

PELIGROS	MEDIDAS PREVENTIVAS	CRITERIOS DE APLICACIÓN	PUESTO CLAVE
Derrumbes	Verificar estabilidad del terreno	Siempre antes del inicio de la excavación. La estabilidad del terreno debe determinarse a través de un estudio de suelos (especialista)	Ing. campo
	Talud en banquetas o uso de entibados	Siempre en profundidades mayores a 1.50 m. o cuando el terreno sea inestable	Capataz
	Uso de arnés de cuerpo entero certificado con línea de vida	El arnés será de tipo paracaídas y la línea de vida de 5/8" (soga de nylon trenzada)	Capataz
Caída de estructuras existentes adyacentes	Verificar apuntalamiento de estructuras aledañas.	Antes de la excavación	Ing. campo
	Eliminación total de muros en demolición	Antes del ingreso de la cuadrilla.	Ing. campo
Contacto con energía eléctrica	Definir planos de replanteo y ubicar en terreno las interferencias	Antes de la excavación se verificará la presencia de instalaciones eléctricas domiciliarias u otro tipo de conexiones	Ing. campo
	Paralización de trabajos	Siempre que se encuentren señales de presencia de cables de energía ( ladrillos, cintas, cajas de concreto)	Capataz
Golpes	Distanciamiento entre personal que se encuentre al interior de la zanja, con herramientas manuales	Distancia mínima de 1.80 m. En todo momento	Capataz
	Material de excavación retirado del borde la zanja	La distancia de retiro será $d = h/2$ , siendo $h$ , la profundidad de la zanja	Capataz
Inhalación de sustancias nocivas	Uso de respirador contra polvo	3M Serie 8210, Aprobación Niosh N95	Operario

Figura 5.10. Matriz de Control Operacional para la actividad: Excavación Manual. Fuente: Plan de Seguridad, GyM S.A.

Aplicación de la herramienta de registro de riesgos: RiskLog

Si en este proyecto se hubiera aplicado el sistema de registro de riesgos, la información no solo iba a estar disponible en cualquier momento a los miembros del equipo de proyecto, sino que también brinda la facilidad de observar el estado de gestión en la planificación, implementación y resultados tanto en la prevención como en la contingencia de riesgos. A continuación se muestran los datos que se visualizan en el panel de contingencia de RiskLog, en el que se alberga información relevante sobre el planeamiento de la respuesta al riesgo, el responsable, la fecha tentativa de término y el porcentaje de avance en la gestión. (Ver anexo IV para más detalles e imágenes).

Imágenes de la Respuesta a los riesgos

A continuación, se presentan algunas imágenes correspondientes a la respuesta a los riesgos mencionados en la tabla 5.7.

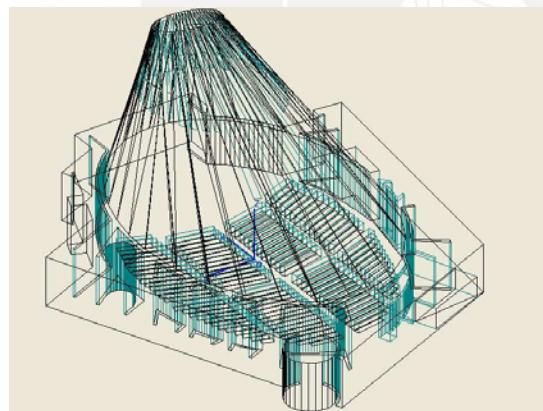


Figura 5.11.a. Imagen en perspectiva de la Iglesia para el proceso de conceptualización de la geometría de la cúpula en 3D.

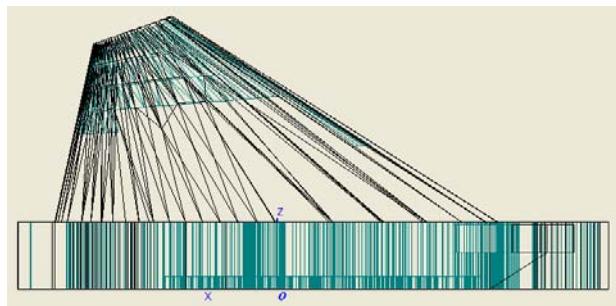


Figura 5.11.b. Imagen en elevación lateral de la Iglesia para el proceso de conceptualización de la geometría de la cúpula en 3D.

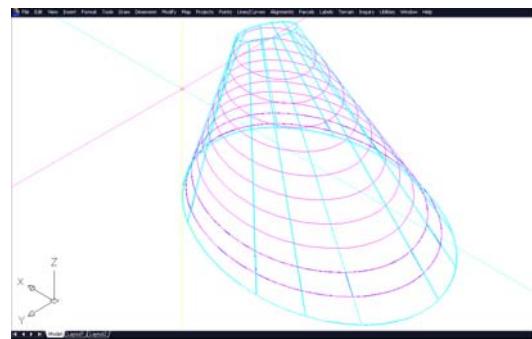


Figura 5.12.a. Secciones horizontales de vaciado de cúpula plasmado en el modelo 3D.

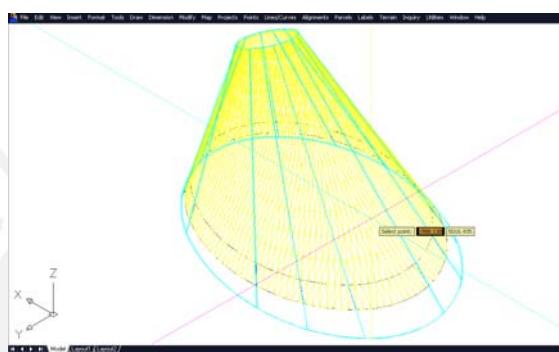


Figura 5.12.b. Superficie de cúpula en el modelo 3D.

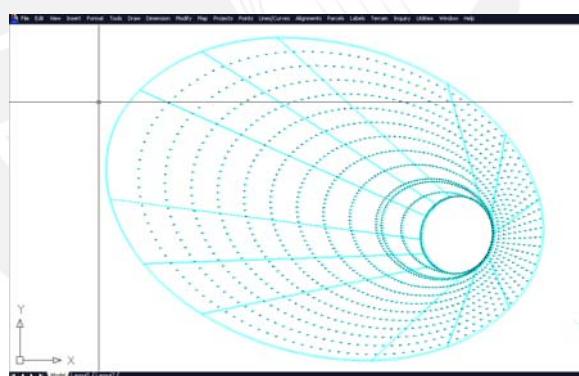


Figura 5.12.c. Vista de curvas de nivel de la cúpula y las cotas de referencia en el modelo 3D.

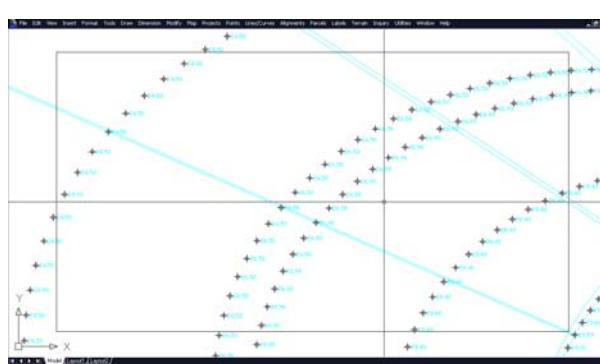


Figura 5.12.d. Vista de curvas de nivel de la cúpula y las cotas de referencia en el modelo 3D. (zoom)

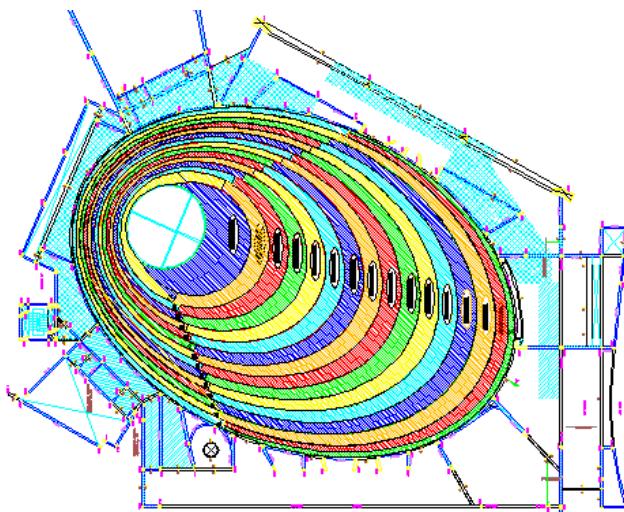


Figura 5.13.a. Vista en planta de los sectores de vaciado (semianillos)

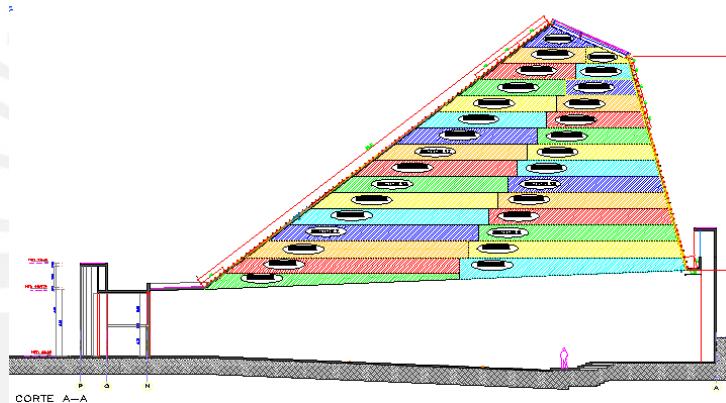


Figura 5.13.b. Vista en corte de los sectores de vaciado (semianillos)

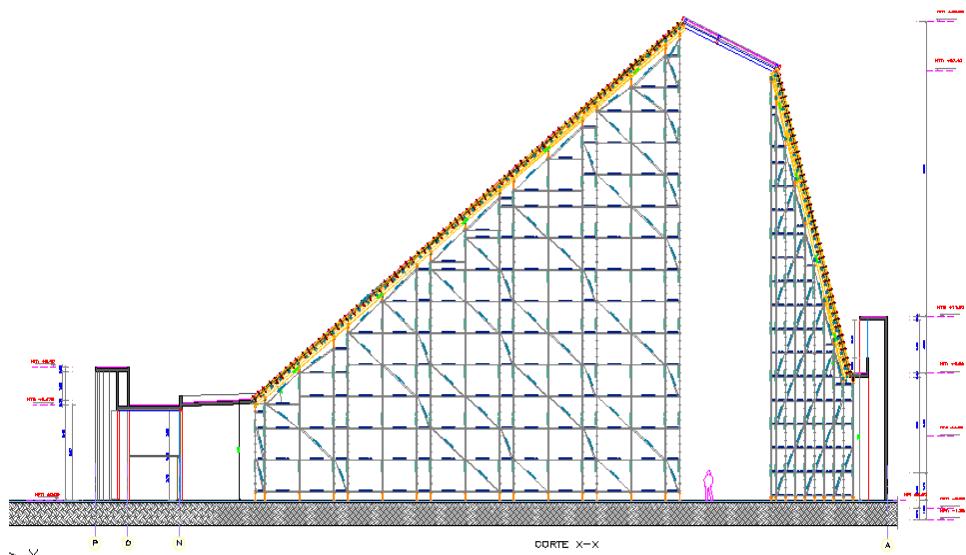


Figura 5.14.a. Vista en corte de la estructura del soporte de encofrado. No figura la escalera metálica de acceso interior, la cual estuvo ubicada en el espacio en blanco (debajo de la cima de la cúpula)

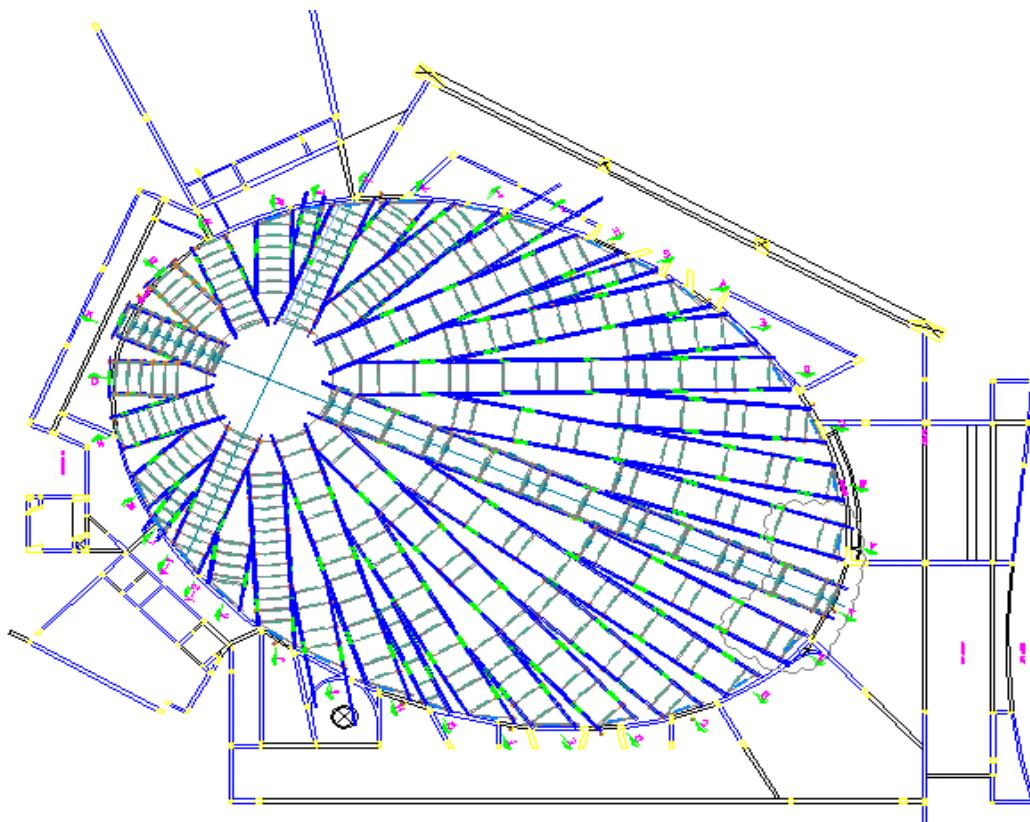


Figura 5.14.b. Vista en planta del sistema de andamiaje diseñado por Ulma.

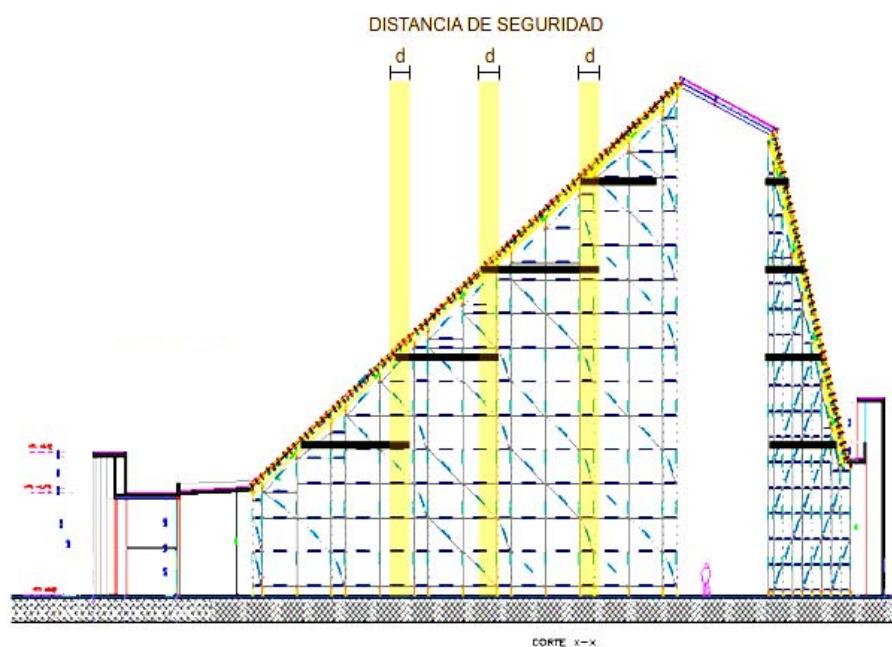


Figura 5.14.c. Vista en corte de la implementación de mallas de seguridad y plataformas de trabajo interior.



Figura 5.15.a. Foto de ensayo de cúpula nro. 1.



Figura 5.15.b. Foto de ensayo de cúpula nro. 2.



Figura 5.15.c. Foto de ensayo de cúpula nro. 3.

Figuras 5.15.a, b y c. Fotos de la implementación de ensayos y prototipos de encofrado de cúpula.

## Proceso: Monitoreo y Control de riesgos

Con la finalidad de asegurar el costo, tiempo, calidad y seguridad del proyecto en la etapa de construcción de la cúpula, se realizaron las siguientes acciones de seguimiento y monitoreo:

- Reunión con Equipo de Obra tres veces por semana entre los siguientes involucrados:
  - Línea de Mando (gerente de proyecto e ingenieros)
  - Capataces y supervisores de seguridad
  - Administración y Compras
  - Reuniones con la supervisión se hacían ocasionalmente para mejorar la comunicación y el control de cambios
- Agenda de reuniones:
  - Revisión de Procedimiento Constructivo: Sugerencias y mejoras.
  - Plan de Control de calidad. Se tomaban registros fotográficos de los vaciados y del encofrado para verificar la calidad y plantear mejoras.
  - Plan de Control de costo: se monitoreo diariamente las horas hombres invertidas en los diversos procesos.
  - Revisión de Planificación: se comparaba cronograma real vs. Teórico.
  - Soporte Administración / Logística: Se veía todo lo referente al tema de contrataciones de obrero, compras de materiales, etc.
  - Seguimiento al plan de prevención de riesgos: Este era uno de los puntos más cruciales e importantes. Se definió una brigada de seguridad en caso de ocurrencia de un accidente, y también habían obreros supervisores de seguridad en el armado del encofrado, ya que había que reducir las probabilidades de colapso de la estructura a cero.
  - Mejora Continua: En estas reuniones se planteaban ideas en general para mejorar los procesos constructivos y los procesos de comunicación interna.
- Acuerdos y resultados
  - Reuniones semanales sólo analizar el progreso de Cúpula.
  - Aprobar y mejorar los prototipos a escala real.
  - El Premio a los operarios a la mejor Idea fue un gran paso para su integración y compromiso en obra.

- Se implementó correctamente el sistema de supervisión interna de obra a nivel de obreros. Se destacaban operarios con incentivos económicos para fomentar la cultura de seguridad y calidad en el desarrollo de la obra.

A continuación se presentan imágenes de las acciones de control implementadas.

ACTIVIDAD	ELEMENTOS	Cuad. Básica		
		#Obr	#Cuad	Horario
<b>CONCRETO</b>				
ACARREO DE LADRILLOS	Acarreo de ladrillos para Techo Zonas 4 y 5, entre ejes G e I	6	1	7:30-9:00
PREPARACION Y LIMPIEZA DE ZONA P/VACIADO	Andamios para vaciado placa P9	4	1	7:30-9:00
EXCAVACION CONTINUACION MURO M5	Muro M5	4	1	9:00-12:00
ACARREO DE LADRILLOS	Acarreo de ladrillos para Techo Zonas 4 y 5, entre ejes G e I	4	1	12:00-5:00
CURADO DE LOSAS y PLACAS	Techo 2do piso zonas 1, 2 y 3, Placa P5	1	1	7:30-9:00
LIMPIEZA, ACONDORAMIENTO, CONTROL DE TABLO	Techo de 2do piso	1	1	8:00-9:00
CONTROL DE PROBETAS Y MIXERS	Control de probetas y mixers	1	1	9:00-5:00
PREPARACION Y LIMPIEZA DE ZONA P/VACIADO	Zona 4	3	1	9:00-11:00
VACIADO	Placa P9	3	1	9:00-11:00
VACIADO	Zona 4	6	1	11:00-2:30
ACARREO DE LADRILLOS	Acarreo de ladrillos para Techo Zona 5, entre ejes G e I	6	1	2:30-5:00
<b>ACERO</b>				
Aceros Placas y Columnas	Placa P1, P2, Columna C2, C1, P4, 3er piso			
Aceros en Techo	Aceros de Techo Zona 4 y 5			
Aceros de Vigas	Aceros de Todas las Vigas en Zonas 4 y 5			
Seguridad en Armado de Columnas y Placas e Izaje de	Verificar andamios, usar siempre Arneses			
<b>ENCOFRADO</b>				
ENCOFRADO	Costado de Vigas, Techo, Frisos y Remates, ("L" entre ejes G y J)	2	14	7:00-5:00
ENCOFRADO	Fondos+costado de vigas en zona 6 (zona barrios y escalera)	2	3	7:00-5:00
ENCOFRADO	Encofrado de placas P7 y P9	2	6	7:00-12:00
ENCOFRADO	Encofrado de placa P1 en 3er piso	2	6	1:00-5:00
ENCOFRADO	Escalera 2 en 2do piso	2	1	7:00-5:00
Seguridad en Armado de Andamios, acarreo de encofra	Verificar andamajes, vientos, usar siempre Arneses			
<b>TOPOGRAFIA</b>				
Trazo de viguetas, columnetas, pases sanitarios	Techo Zona 4 y 5, 2do piso	2	1	8:00-5:00
Verificar Plomo	Vigas, Elementos Verticales a vaciar	2	1	8:00-5:00
Trazo para encofrado	Elementos verticales en zona 1 y 2, 3er piso	2	1	8:00-5:00

Figura 5.16. Formato de planificación diaria como herramienta de control de riesgos en el avance de obra.



Figura 5.17. Supervisión del trabajo de topografía era constante y minucioso para asegurar la calidad de la curvatura de la cúpula. En la foto, el topógrafo está verificado la ubicación en 3D con la estación total (en el nivel +0.00) con ayuda de su asistente que se encuentra sosteniendo el prisma.

A continuación se presentan algunas fotos de obra que reflejan los resultados de la gestión de riesgos:

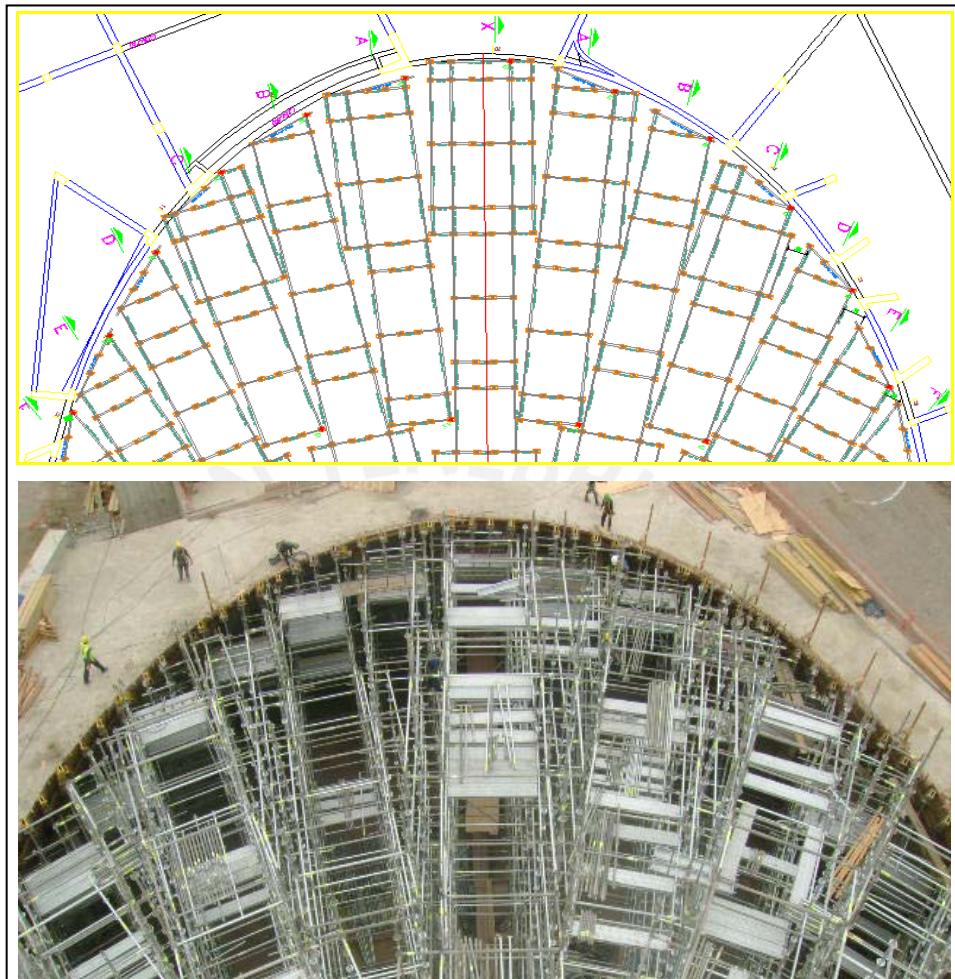


Figura 5.18. Antes y después. Esta fotografía se tomó desde lo alto de la última plataforma de la escalera de acceso central de la cúpula y refleja que lo planificado se ha hecho realidad.



Figura 5.19. El trabajo de armado del andamiaje de Ulma fue hecho por personal especializado, se diferenció en obra por tener cascos amarillos y polos azules para una mejor supervisión y control.



Figura 5.20. Vista interna del encofrado. Se implementaron plataformas rígidas de trabajo.



Figura 5.21. Vista desde la zona exterior. Se observa la escalera de acceso principal con sus respectivas barandas y línea de vida. También se observa una plataforma intermedia con malla de seguridad en caso de caídas.



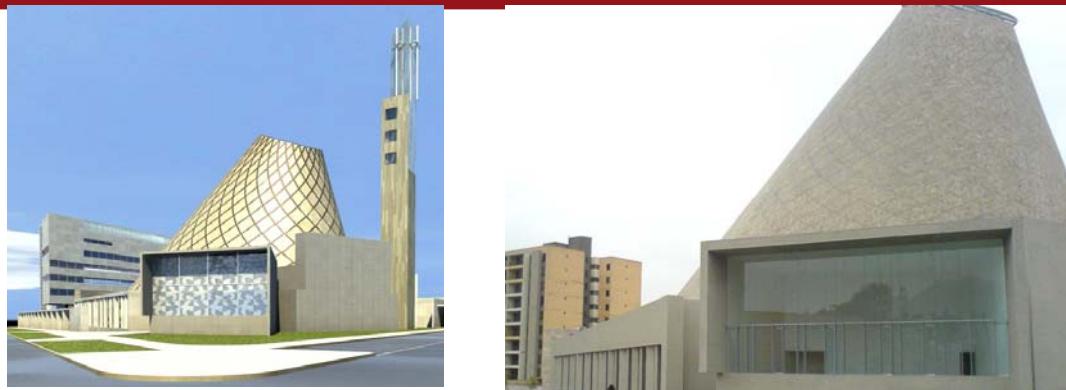


Figura 5.23. Antes y después. El proyecto fue considerado un éxito en la organización al cumplir todas las expectativas del cliente y especialmente porque no hubo accidente alguno.

### Proceso: Retroalimentación



Figura 5.24. Retroalimentación de procesos constructivos a partir de la gestión de riesgos

El proceso de retroalimentación fue implementado activamente en la gestión de riesgos de la obra. Como ya se ha mencionado, hubo reuniones constantes de obra para poder intercambiar opiniones y experiencias en los procesos constructivos que en este caso tenían cierto nivel de complejidad. Especialmente, en los primeros dos días de obra en la cúpula, se detectaron algunos problemas menores que fueron rápidamente superados en los siguientes días.

#### Problemas:

- Se tuvo muchos tiempos muertos al reubicar la bomba de concreto.
- Demora excesiva en el vaciado al usar una bomba tipo pluma.
- Por la parte interior la iluminación hasta las 5.00 pm era adecuada, al prolongarse demasiado el vaciado no era suficiente.

- No existían las plataformas de trabajo, personal ni materiales necesarios para solucionar las filtraciones durante el vaciado.

Soluciones implementadas:

- Se decidió utilizar la bomba estacionaria.
- Los vaciados se iniciaron a más tardar a la 1.00 pm.
- A pesar de reprogramar el inicio del vaciado se mejoró la iluminación interior.
- Se formó una cuadrilla para dejar la plataformas, materiales (triplay, bolsas de cemento, listones de madera, clavos en zonas establecidas) y actúe durante el vaciado ante posibles filtraciones del concreto.

Finalmente, como proceso de retroalimentación a nivel organizacional, la experiencia aprendida en esta obra se ha transferido a la organización a través de una conferencia dada en la oficina central de GyM, y también a través de documentos colgados en la red interna de la empresa.

#### Comentarios

En caso se hubiera contado con la herramienta RiskLog, la retroalimentación en la empresa sería mucho más activa en los futuros proyectos. Esto se debe a que la información recolectada siempre está disponible en línea, motivo por el cual en el futuro no será necesario ir a la oficina central a buscar en los reportes escritos las experiencias pasadas. En el registro de riesgos puede encontrarse información esencial de consulta para futuros proyectos, y también provee los nombres tanto del gerente del proyecto como del responsable en gestionar el riesgo, por lo que resultará fácil contactar con dichas personas en caso sea necesario para establecer una reunión.

## 5.6. Resultados

Como resultado final producto de la gestión de riesgos, la obra ha sido un éxito por los siguientes motivos:

- Se cumplió el plazo estimado de construcción de la cúpula. Cabe señalar que ese plazo era parte de la ruta crítica del proyecto, así que éste se entregó a tiempo. Además, no hubo ningún accidente de obra.
- El cliente quedó satisfecho por la calidad y la economía costos incurridos en la administración de la construcción de la cúpula por parte del Consorcio.

DESCRIPCION	PRESUP.	REAL	US\$/m2
MANO DE OBRA	99675	76172	38.09
MADERA / TRIPLAY	52675	45547	22.77
CONCRETO PREMEZCALDO C/B	29760	26628	13.31
ACERO	18652	19425	9.71
EQUIPO ENCOFRADO	132500	83171	41.59
EQUIPOS VARIOS	5000	3726	1.86
SEGURIDAD COLECTIVA	18750	24155	12.08
ALBAÑILERIA - RESANES PASADORES	8250	9595	4.80
VARIOS	53155	49885	24.94
<b>COSTO DIRECTO\$ ( sin IGV )</b>	<b>418417</b>	<b>338304</b>	<b>169.15</b>

Figura 5.25. Cuadro comparativo del costo presupuestado y costo final de la cúpula en cada partida. Se puede apreciar que hubo más gastos que lo estimado en la partida de seguridad colectiva. Esto se debió a que en obra se dio mucha prioridad a este tema ya que no se podía permitir la posibilidad de accidentes fatales.

Partida	Inicio	Fin
Alzaprimado (armado y desarmado)	03/12/07	09/02/07
Encofrado Exterior (Cúpula)	13/12/07	30/01/08
Vaciado	19/12/07	31/01/08
Desencofrado (Cúpula)	20/12/07	03/02/08
<b>Plazo Total = 68 días</b>		

Figura 5.26. Este cuadro indica las fechas de inicio y fin de las tareas de alzaprimado, encofrado, vaciado y desencofrado de cúpula. El resultado final fue que se terminó la construcción de la cúpula 15 días antes de lo planificado por básicamente tres motivos: se aprovechó la curva de aprendizaje para ajustar el cronograma, se optimizó el tren de trabajo y finalmente, lo más influyente, fue que se dio un incentivo económico a todos los trabajadores si el último vaciado de concreto en la cúpula se diera hasta el último día de enero, y así sucedió.

## 5.7. Conclusiones del Caso de Estudio

Como se puede apreciar en este caso de estudio, la gestión de riesgos es un pilar fundamental en la gestión de proyectos. Es una cultura de procedimientos que ayuda a formalizar las tareas de identificación, análisis, monitoreo y retroalimentación de todos los procesos. Sin embargo, estos procesos no pueden ser bien gestionados sin un buen proceso de registro de riesgos que esté en permanente actualización, como lo hace el sistema RiskLog. Otra enseñanza relativa a este punto es la comunicación: sin una comunicación efectiva entre los

involucrados, la gestión de riesgos pierde poder. Básicamente, todos los procesos de la gestión de riesgos requieren de comunicación constante entre los miembros del equipo de proyecto.

La enseñanza general es que el procedimiento seguido en la gestión de riesgos en esta obra, minimizando la probabilidad o impacto de los riesgos, pueda ser seguido en otros proyectos cuando la estructura a construir es fuera de lo común.

En esta obra en particular, la gestión de riesgos partió principalmente desde una gestión de la incertidumbre. Lo mejor que se puede hacer en ese caso es buscar información, averiguar y entrar en detalle en los procesos constructivos que se ejecutarán. Para esto, el proceso creativo y la perseverancia en la búsqueda de información son piezas claves para que estas incertidumbres se conviertan en riesgos y puedan ser gestionadas apropiadamente.

Como valor agregado a esta investigación, se plantea el siguiente esquema que grafica la conversión de la incertidumbre en riesgos gracias a la Gestión de Riesgos, mediante el proceso creativo de la gestión de riesgos. También se indica, como se ha señalado anteriormente, establecer la contingencia necesaria para eventuales incertidumbres que se conviertan en amenazas para el proyecto.

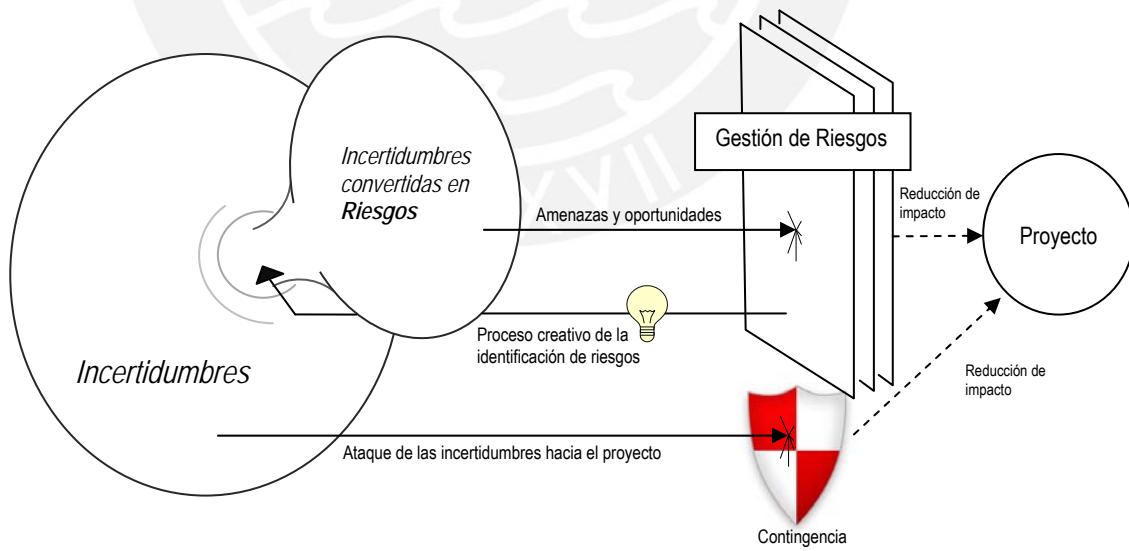


Figura 5.27. Interacción del riesgo, la incertidumbre y la Gestión de Riesgos con un Proyecto.

Fuente: El Autor.

Entre las medidas tomadas para reducir la incertidumbre y los riesgos, destacan:

- La alternativa de contratar a un topógrafo especializado en estación total de última generación y hacer el modelo CAD tridimensional fue clave para minimizar la incertidumbre de la topografía en planos curvos inclinados.
- La alternativa de elegir el concreto autonivelante fue fundamental en el proceso constructivo porque redujo los riesgos de cangrejeras, demoras de vaciado, se evitó la vibración y además permitió que el procedimiento sea versátil porque el tipo de bomba usado fue estacionaria.
- La decisión de hacer el prototipo de cúpula fue fundamental para reducir casi al 100% los riesgos e incertidumbres que se tenían antes de empezar las labores de construcción en la versión oficial de la cúpula. Las inconveniencias que vinieron al momento de ejecutar la cúpula fueron los remanentes de incertidumbre que se sabían que iban a aparecer y fueron correctamente gestionados.

Finalmente, es importante señalar que existen muchas herramientas para hacer la gestión de riesgos, pero saber cuáles aplicar y en qué momento aplicarlas resulta crucial para garantizar la fluidez de los procesos y controlar mejor los riesgos. Por último, es importantísimo contar con un efectivo sistema de registro de riesgos para proceder ordenadamente en el seguimiento y monitoreo de riesgos, y hacer los cálculos de estimación de costos que mejor se aproximen a la realidad, en este caso la simulación de Monte Carlo hubiera resultado la mejor opción.

## Parte III

---

### ► Capítulo 6

## Conclusiones

### Revisión

En esta investigación se ha abarcado diversos temas relacionados a la Gestión de Riesgos: desde su definición, clasificación y procesos, hasta la propuesta de técnicas y herramientas que permitan gestionarlas. Todas las fuentes bibliográficas coinciden en que hay una necesidad real por identificar y controlar los riesgos tempranamente pues la mayoría de los proyectos de construcción no alcanzan satisfacer al menos un criterio de valor establecido por el cliente.

En nuestro medio, el hecho de exceder los costos y plazos de un proyecto, o no cumplir con los estándares de calidad y seguridad se ha vuelto un tema recurrente e incluso tomado con normalidad. Además, muchas empresas gestionan sus proyectos desde cero, es decir, no tienen ningún soporte previo, salvo su propia experiencia, para poder manejar objetiva y metódicamente los riesgos. Revertir esta situación es el objetivo primordial a cumplir de mediano a largo plazo en nuestro país para que los proyectos sean más rentables, para que se aprovechen mejor los recursos y se aumente la probabilidad de éxito de los mismos.

Instituciones como el Project Management Institute (PMI), la Association for Project Management (APM), el Institute of Value Management (IVM) y el American Society

for Testing and Materials (ASTM) han logrado un gran avance al estudiar los procesos involucrados en la gestión del valor y la gestión de riesgos, cuyas principales técnicas y herramientas se han explicado en la revisión literaria de esta investigación.

En base a la visión y metodologías empleadas por dichas instituciones es que se ha desarrollado la propuesta técnica de este trabajo de tesis: un sistema de Registro que haga las veces de columna vertebral de la Gestión de Riesgos, y que al mismo tiempo sirva para establecer un canal de comunicación definido entre los miembros del equipo de proyecto. Además, favorece la disciplina a nivel organizacional pues requiere de un proceso formal para su implementación. Por ende, las decisiones que se toman en torno a los riesgos no deben hacerse a la ligera ni por intuición, sino todo lo contrario: requiere de análisis y planificación.

## Conclusiones

Tras todo lo estudiado y analizado a lo largo de esta investigación, se concluye que la Gestión de Riesgos es un sistema compuesto de técnicas y herramientas que, con el soporte de una ordenada y metódica cultura organizacional, es capaz de brindar los medios para asegurar el valor en los proyectos de construcción.

Se ha identificado de acuerdo a diversos autores y a la experiencia propia que es fundamental que exista en las empresas un proceso formal de la Gestión de Riesgos en la construcción, a partir de una Gestión de Valor como paso previo. Establecer un proceso formal en las organizaciones significa definir y explicar el proceso a nivel de la línea de mando, es decir, gerente de proyecto, ingenieros de oficina técnica y de campo, y también al nivel de los capataces de obra, pues muchas veces la experiencia que tienen a nivel detalle constructivo puede ser útil para planificar la gestión de riesgos.

Sin un plan de Gestión de Riesgos, que debiera estar preparado y liderado por el Gerente de Proyecto, y sin un proceso organizado y formalizado, con certeza no habrá el compromiso necesario por parte de los miembros del equipo de proyecto, causando que el objetivo de cumplir con los criterios de valor del cliente (identificados como el costo, los plazos, la seguridad y la calidad en la mayoría de los casos) se viera afectada de manera negativa.

Entonces, queda claro que los riesgos deben tratarse en un proceso formal y dinámico, donde se comience por su identificación, y seguidamente por el registro (con una permanente actualización por los cambios), análisis, planificación y monitoreo y control, con lo que se maximizará la probabilidad de éxito de un proyecto cumpliendo con los criterios de valor del cliente y del mismo contratista.

En la industria de la construcción, el éxito de los proyectos donde se aplica la Gestión de Riesgos no se debe solamente a las técnicas y herramientas empleadas, sino especialmente se debe a la efectiva comunicación dentro del equipo de proyecto y a la calidad y cantidad de información que se maneje.

Si el equipo de proyecto se mantiene en constante comunicación en el proceso de gestión de riesgos, éste será fluido y facilitará los procesos de análisis y toma de decisiones para planificar e implementar los planes de respuesta a los riesgos y efectuar correctamente el seguimiento y monitoreo.

Por otro lado, en tanto sea mayor la cantidad de información y en tanto mejor sea la calidad de éstos, es decir, su confiabilidad, entonces la cantidad de incertidumbres se reducirán, convirtiéndose en riesgos y derivándose al proceso de gestión de riesgos. Al respecto, se podría hacer la siguiente analogía: *es mejor manejar en un camino lleno de peligros pero advertido de los mismos en cuanto a su ubicación y características, que manejar en un camino lleno de peligros donde no se sabe cuáles son ni por dónde aparecerán.*

Cabe destacar de la propuesta del Sistema de Registro de Riesgos que una gran ventaja es que los riesgos que se identifiquen en un proyecto pueden usarse como referencia o extrapolarse en otros proyectos futuros. Sin embargo, es importante señalar que no existen dos proyectos iguales. Pueden ocurrir cosas negativas en un proyecto por razones que son inherentes a su entorno, o relacionado con al tipo de obra o edificación al que corresponde. En consecuencia, cada proyecto debe ser analizado con minuciosidad tomando en cuenta muchas variables; entre las más importantes se encuentran: complejidad técnica, innovaciones tecnológicas, lugar geográfico del proyecto, accesibilidad a servicios, tipo de cambio, inflación, costo de mano de obra calificada, y costo de los materiales.

Respecto a la Gestión de Riesgos, si bien es cierto que éste comienza en la identificación de riesgos en un momento dado del ciclo de vida de un proyecto, esto no quiere decir que en tiempos posteriores no se sigan identificando más riesgos. Generalmente, hay nuevos riesgos e incertidumbres asociados a nuevos escenarios y circunstancias específicas. Como ya se ha visto, este proceso se retroalimenta y evoluciona con el tiempo, en el cual los involucrados y sus intervenciones varían según las necesidades o circunstancias que se presentan, en especial en la etapa de construcción porque es ahí donde las ideas proyectadas se vuelven realidad y donde la mayor cantidad de problemas como cambios en el proyecto y otros relacionados con su ejecución surgen para ser controlados.

Por último, es fundamental que la Gestión de Riesgos en la Construcción sea tomada en cuenta como parte integral de la Gerencia de Proyecto y no solo como un sistema de herramientas o técnicas. No es cierto que sea solo un proceso aislado: simplemente, debe ser parte de la cultura de una organización que quiere cumplir sus objetivos y los de sus clientes.

### Recomendaciones para investigaciones futuras

Como ya se sabe, la esencia de la propuesta planteada en este trabajo de tesis es que la Gestión de Riesgos sirva como medio para asegurar los criterios de valor. Sin embargo, la complejidad de toda organización humana hace que la implementación de la propuesta sea complicada. Realizar la Gestión de Riesgos “hacia adentro”, tomando en cuenta la interacción de profesionales que componen un grupo interdisciplinario y que generalmente tienen visiones distintas de la gestión de un proyecto resulta un tema interesante para una futura investigación.

## Bibliografía

- Kelly, J. Morledge, R. y Wilkinson, S. *Best Value in Construction*, Blackwell Science y RICS Foundation, Edición 2002.
- Chapman, C. y Ward, S. *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*. School of Management, University of Southampton. John Wiley & sons, Edición 1997.
- Merna, Tony. *Risk Management in projects and organizations*. Edición 2004.
- Project Management Institute. *Construction Extension to, A guide to the project management Body of Knowledge*, PMBOK Guide, Edición 2000.
- The Association for Project Management. *Project Risk Analysis and Management Guide (PRAM Guide)*. Editado por Simon, P., Hillson, D., y Newland, K. Publicado por The APM Group Limited, 1997.
- Kelly, J., Male, S. y Graham, D. *Value Management of Construction Projects*. Blackwell Publishing, Edición 2004.
- Rossi, M. *La gestión de la productividad y del riesgo*. Seminario: Nuevos Horizontes en Construction Management. Costos, Edición 2006.
- Project Management Institute. *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos*, tercera edición. PMBOK, Edición 2004.
- Smith, N. *Best Value in Construction, chapter 6: Risk Management*. Blackwell Publishing, Edición 2002.
- Orihuela P., y Orihuela J, Motiva S.A. *Aplicaciones del Lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda*. Seminario Internacional: Ventajas Competitivas en la Construcción: Incremento de la productividad y mejoras en la gestión e innovación tecnológica. M.D.I., Edición 2005.
- Orihuela P., y Orihuela J, Motiva S.A. *Constructabilidad en pequeños proyectos inmobiliarios*. Fuente: <http://www.motiva.com.pe/Articulos/CONSTRUCTABILIDAD.pdf>
- Science and Engineering Research Council (SERC), *Engineering Construction Risks: a guide to project risk analysis and risk management*. Publicado por Thomas Telford Services Ltd, Edición 1992.
- Kliem, R., y Ludin, I. *Reducing Project Risk*, Publicado por Gower Publishing Limited, Edición 1997.
- ASTM International. Designation: E 1946-02: Standard Practice for Measuring Cost Risk of Buildings and Buildings Systems. Edición 2002.
- ASTM International. Designation: E 1369-02: Selecting Techniques for Treating Uncertainty and Risk in the Economic Evaluation of Buildings Systems. Ed. 2002.
- Palisade Corporation. @RISK: Risk Analysis Add-in for Microsoft Excel, Versión Estudiantil, v. 5.0. Publicado por Palisade Corporation, [www.palisade.com](http://www.palisade.com), 2008.
- Institute of Value Management (IVM): *What is Value Management*. Publicación en internet por la IVM: <http://www.ivm.org.uk>

## Anexo I



## Anexo I

## Panorama general de un proyecto:

**Interacción del ciclo de vida de un proyecto, los involucrados y los criterios de valor con la Gestión de Riesgos**

Todo proyecto está formado de diversos procesos que dependiendo de su magnitud y complejidad, se entrelazan para generar un gran sistema. Por ello, es necesario analizar a un proyecto desde su perspectiva más amplia, indicando sus características, principales problemas y restricciones, para luego enfocarlo a la gestión de riesgos, que es objeto de este estudio.

En este capítulo se verán los siguientes puntos claves:

- El criterio de valor del cliente y los proyectos
- El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas
- La etapa de ejecución y la cadena de valor de un proyecto
- La gestión del valor y la gestión de riesgos

## I.1. El criterio de valor del cliente y los proyectos

Actualmente, las empresas de diferentes rubros llevan a cabo sus proyectos tomando en cuenta sus planes estratégicos, los cuales pueden ser planes corporativos si las empresas tienen varias divisiones de negocio o planes de negocio si son empresas relativamente chicas. En cualquier caso, los proyectos que surgen a nivel corporativo o de división de negocio requieren de ciertos parámetros para la fase de planeamiento estratégico y proceso de desarrollo. Estos parámetros son: tamaño del proyecto, complejidad, importancia estratégica, inversión requerida y procedimientos operativos para manejar esos proyectos. (Steven Male, 2001)

En la industria de la construcción, los clientes o inversionistas cada vez más están en búsqueda de formas innovadoras en la manera de cómo sus proyectos son planificados, diseñados y desarrollados para facilitar sus estrategias de negocio, pero sobre todo para lograr trabajar cercanamente con la cadena de suministros para maximizar el valor y conseguir mejorar continuamente los procesos en la construcción. Por otro lado, los requerimientos del cliente para sus proyectos, junto con su historia, estrategia, políticas y cultura organizacional, conforman un conglomerado que crea su criterio de valor, el cual va influir directamente en el desarrollo de sus proyectos (Male, 2001).

Para entender el criterio de valor del cliente, es necesario definir qué es valor en el contexto de los proyectos. Con el mundo globalizado y ante el perfil de un usuario cada vez más exigente y diverso, el concepto de valor ha cambiado mucho. Bell (1994) señala que históricamente el concepto de valor ha sido aplicado desde una perspectiva económica en términos del cociente costo-beneficio, donde se establece el impacto de las decisiones en términos monetarios. Sin embargo, el valor también puede ser presentado en términos de calidad, funcionalidad, otros parámetros definidos por el cliente o productor, variables de costo como horas hombre, rendimientos, etc. Entonces, se puede concluir que el valor puede ser medido desde el punto de vista del productor o del consumidor, y que tiene la finalidad intrínseca de satisfacer alguna necesidad.

Desde este punto de vista, Male señala que el criterio de valor del cliente se compone de personas analizando y tomando decisiones sobre cómo obtener el máximo valor con el dinero a invertir y cómo obtener el mejor valor entre los

parámetros de valor analizados. El criterio de valor puede ser complejo dependiendo del tamaño de la organización, que a veces por su estructura jerárquica puede crear conflictos cuando se juzga el mejor valor y el valor por el dinero.

El Instituto de la Gestión del Valor, o sus siglas en inglés IVM (The Institute of Value Management), señala que el ‘mejor valor’ constituye una filosofía donde el resultado de todos los esfuerzos sumados para la realización de un proyecto es precisamente darle el máximo valor. Debe reflejarse en calidad, funcionalidad, durabilidad, economía y estética, y tiene los siguientes requerimientos:

- Entender las necesidades del cliente y del proyecto, así como establecer los criterios de éxito de los clientes, usuarios e inversionistas.
- Definir claramente los objetivos y la manera en que se van a conseguir
- Las habilidades necesarias para el caso particular
- Buena y efectiva comunicación en el equipo de trabajo
- La visión para evitar costos innecesarios y buscar soluciones innovadoras.

Comentario:

El concepto de valor en las empresas que promueven proyectos de construcción es considerado como la parte medular de su negocio: la transformación de los recursos en obras terminadas para rentabilizar en términos económicos lo máximo posible. Al mismo tiempo, siempre tienen en común el hecho de que deben responder a las expectativas de los interesados, es decir los clientes y los usuarios, aunque esto no siempre ocurre. Muchas veces, por economizar costos, las empresas incurren en errores como usar materiales de baja calidad que a la larga no van a satisfacer a sus clientes.

Por el contrario, hay casos en que las empresas promotoras de proyectos, por decisión comercial, deciden que su parámetro de valor principal no es el económico, sino el de satisfacer al cliente con la finalidad de establecer relaciones de largo plazo.

Por tanto, se requiere de una comprensión profunda de las necesidades actuales y futuras del cliente y usuarios, plasmando las soluciones adecuadas en los proyectos aplicando herramientas de gestión, como la gestión de riesgos, de tal manera que adquiera el Mejor Valor (John Kelly, 2002).

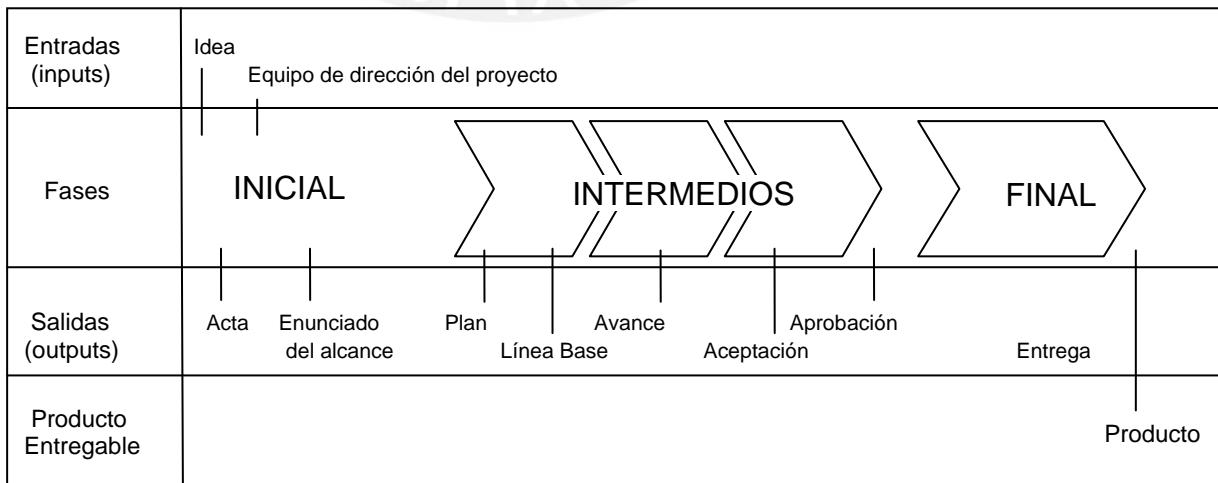
## I.2. El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas

Con la finalidad de facilitar la gestión, las organizaciones dividen los proyectos en fases o etapas. El conjunto de estas fases conforman el ciclo de vida del proyecto, las cuales se conectan desde su inicio hasta su fin. (PMBOK, 2004)

El Project Management Institute, señala que aunque los ciclos de vida de todos los proyectos pueden tener nombres similares y requieren de productos entregables similares, raramente sus ciclos de vida son idénticos. Mucho depende del grado de complejidad y tamaño del proyecto, y la cantidad de participantes involucrados.

En proyectos de construcción, las etapas usualmente son: inicio o definición, diseño, construcción, operación y mantenimiento (Smith, 2002). Esto puede variar según la perspectiva que se le da a un proyecto. Por ejemplo, una firma de arquitectos contratada para diseñar un nuevo edificio de oficinas puede participar primero en la fase de definición o iniciación del proyecto, en tanto desarrolla el diseño, y luego en la fase de implementación del propietario, mientras da soporte al contratista encargado de ejecutar la obra. A su vez, el proyecto de diseño de la firma de arquitectos tiene sus propias fases, desde el desarrollo conceptual, pasando por la definición e implementación, hasta llegar a la conclusión.

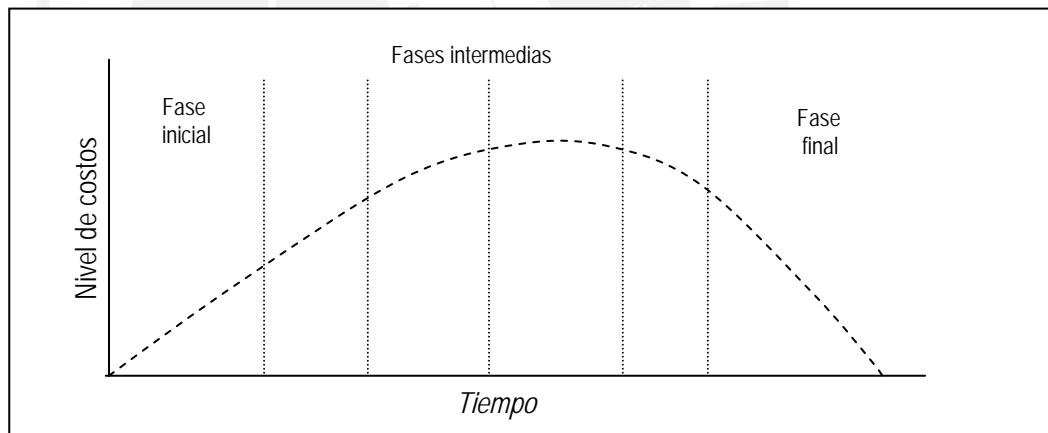
En términos generales, se puede graficar las etapas básicas de un proyecto de esta manera:



Cuadro I.1. Secuencia de fases típicas en un ciclo de vida del proyecto (PMBOK, 2004).

Las características de las fases del ciclo de vida del proyecto son:

- Las fases son secuenciales y entre ellas hay transferencias de información técnica o de productos entregables, los cuales son productos de trabajo que se pueden medir y verificar. Por ejemplo, especificaciones, diseños, estudios de viabilidad y prototipos.
- Por lo general, una fase concluye con una revisión del trabajo logrado y si se determina su aceptación, se autoriza la iniciación de la fase siguiente.
- El nivel de coste de gastos generales y personal es bajo al comienzo, alcanza su nivel máximo en etapas intermedias y vuelve a ser bajo cuando se acerca a su final.
- Al inicio del proyecto, el nivel de incertidumbre es el más alto, y en consecuencia el riesgo de no cumplir con los objetivos es más elevado. Entonces, la certeza de terminar con éxito aumenta gradualmente a medida que avanza el proyecto.



Cuadro I.2. Secuencia de fases típicas en un ciclo de vida del proyecto (PMBOK, 2004).

A lo largo del desarrollo de un proyecto los riesgos son distintos según las etapas en que se presentan. Así, Chapman y Ward han elaborado una tabla denominada *key success factors*, que en español significa ‘factores clave de éxito’. Esta tabla agrupa los problemas típicos más importantes que se presentan en las diversas etapas de un proyecto.

Etapas del Ciclo de Vida de un Proyecto	Problemática en los procesos
Concepción	Nivel de definición Definición de apropiados objetivos Control de expectativas del cliente
Diseño	Novedad de diseño o tecnología Determinación de puntos críticos del diseño Control de cambios
Planificación	Identificación y definición de restricciones regulatorias Requerimiento de convergencia de actividades Errores y omisiones
Asignación de responsabilidades y establecimiento de contratos	Estimación de recursos con precisión adecuada Estimación de recursos requeridos Definición de responsabilidades Definición de términos y obligaciones de contrato Selección de participantes capaces
Ejecución	Ejercicio de un adecuado control y coordinación Determinación del nivel y alcances de los sistemas de control Asegurar la comunicación efectiva entre los participantes Provisión de una adecuada estructura organizacional Asegurar un liderazgo efectivo Asegurar la continuidad de personal y responsabilidades Responder a los riesgos identificados (por ejemplo, las dificultades de implementación, la falla de cumplir las metas intermedias, etc.)
Entrega	Realizar las pruebas adecuadas Realizar adecuadas capacitaciones Manejar las expectativas del cliente Obtención de licencias para operar
Retroalimentación	Recolectar conocimiento Aprender lecciones clave Entender lo que significa el éxito
Mantenimiento	Provisión de capacidad organizacional Identificación de los alcances de las obligaciones Manejar las expectativas del cliente

Cuadro I.3. Problemas típicos de procesos en el ciclo de vida de un proyecto.

Fuente: Chapman y Ward, 2004.

Comentario:

Claramente vemos que las problemáticas mencionadas son generales; de ahí se derivan los riesgos que eventualmente podrían transformarse en amenazas. Diferentes autores advierten que una causa común de riesgo en los proyectos son las fallas u omisiones que pudieran haber en las etapas de planificación y diseño. Por ejemplo, la falta de claridad o la insuficiencia de especificaciones técnicas generan dificultades en la etapa de ejecución, necesitando diseños adicionales, planificación de recursos y producción y trae consecuentemente efectos adversos en términos de costo, tiempo y calidad.

Chapman y Ward indican que cuando el proyecto usa tecnología nueva o tiene componentes de diseño y ejecución nuevos se hace muy difícil especificar por adelantado cómo se debe ejecutar; de hecho, puede resultar costoso y poco práctico hacerlo. En este caso, el gerente de proyecto no sólo debe definir hasta qué nivel de detalle práctico debe planificarse y diseñarse, sino que también debe hacer el análisis de riesgos que brinde soporte en la etapa de ejecución, pues se siempre habrá remanentes de incertidumbre que deberán afrontarse en esta etapa.

En la etapa de asignación de responsabilidades, los riesgos que usualmente derivan en problemas futuros son:

- Los participantes tienen diferentes prioridades y percepciones del riesgo,
- Falta de claridad en la especificación de responsabilidades, incluyendo a aquellos encargados de la gestión de riesgos,
- Comunicación insuficiente o ineficaz entre diferentes departamentos de la organización,
- Coordinación y control de tareas.

Incluso si el cliente y los agentes encargados del diseño, planificación y ejecución trabajan en una misma organización, estas incertidumbres pueden ser cruciales. En el caso en que los agentes y el cliente son de distintas organizaciones, los problemas mencionados pueden ser un verdadero reto.

En una situación cliente-contratista, como es lo usual, se establece un contrato entre las partes donde se definen los alcances, la suma a pagar por el servicio, la forma de cómo se va a controlar el avance, y cómo se va a proceder en caso de diversos escenarios de contingencia. Es decir, en teoría, el contrato debe minimizar

la incertidumbre acerca de las responsabilidades de cada parte. Sin embargo, en la práctica existen incertidumbres sustanciales asociadas a lo siguiente:

- Inadecuada o definición ambigua de los términos (especificaciones, responsabilidad de las partes a cooperar, forma de comunicación, coordinación y supervisión),
- Inapropiada definición de términos (especificaciones de desempeño, estándares de calidad, extensiones),
- Variaciones (poderes para ordenar; términos implícitos y expresos; definición de precios y mecanismos de pago),
- Condiciones de pago (forma de pago, cronograma),
- Definición en la extensión de obligaciones.

Comentario:

Además de las incertidumbres indicadas, usualmente existen incertidumbres asociadas a los adicionales de obra. Por ejemplo, ¿Está el contratista obligado a aceptar la ejecución de algún adicional en el proyecto? ¿Hasta qué porcentaje del monto contratado puede ser considerado un adicional? Si no está definido, estos puntos surgen a partir de conflictos de intereses entre el cliente y el contratista, ya sea por la variación de costos unitarios o costos por partida, gastos generales o utilidades que quiera imponer alguna de las partes independientemente de que sea justo o no. Al cliente o al contratista puede convenirle generar un nuevo contrato de obra o, por lo contrario, enmarcar el adicional dentro del contrato actual, dependiendo de las circunstancias. Normalmente hay cláusulas de conflicto de intereses para lo cual se apela a las buenas prácticas y se suele establecer reuniones de negociación.

En la etapa de ejecución, las principales fuentes de riesgo como proceso mismo son, según Chapman y Ward, los procedimientos de coordinación y control. Para ello, debe considerarse como esencial el buen manejo de:

- Control de metas específicas o intermedias,
- Monitoreo adecuado de actividades o tareas con alta probabilidad de ocurrencia de riesgo,
- Asegurar un realista y honesto reporte de avance de obra,
- Reportar problemas y estar preparados de futuros riesgos revisando el plan de gestión de riesgos.

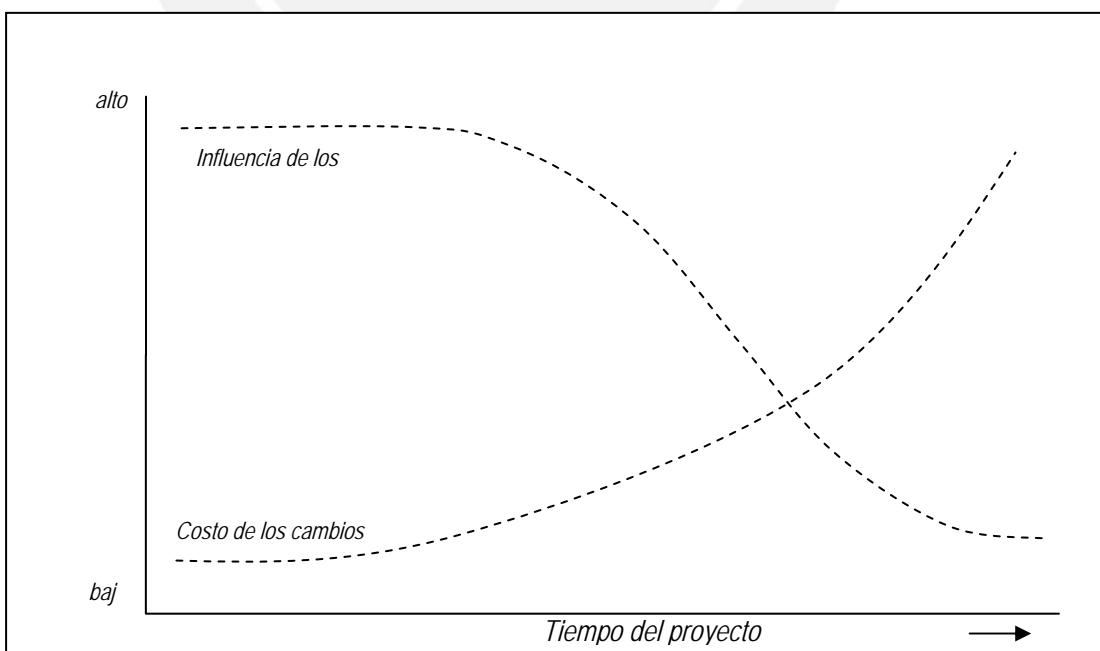
Los riesgos más comunes en la etapa de ejecución son la introducción de cambios en el diseño. Éstos pueden generar cambios en el cronograma y descuadrar la provisión de materiales y otros recursos, como puede ser la curva de ingreso de personal obrero. Un riesgo derivado sobre este punto es la disputa que puede haber entre el cliente y contratista acerca de los costos totales generados por el cambio, sean directos o indirectos, y por el cálculo del retraso en obra.

#### *Las partes involucradas y su influencia*

El PMI señala que el poder que tienen los interesados en el proyecto para influir en las especificaciones finales del proyecto y en el costo total, es más alto al comienzo y va decreciendo conforme avanza el proyecto.

Respecto a este último punto, Kliem y Ludin señala además que el costo de un proyecto se puede incrementar mucho con respecto a lo planeado, especialmente si los riesgos ocurren en etapas avanzadas. Esto ocurre por ejemplo porque el costo de los cambios y la corrección de errores aumenta a medida que avanza al proyecto.

El siguiente gráfico ilustra este efecto.



Cuadro I.4. Influencia de los interesados a lo largo del tiempo (PMBOK, 2004).

Los interesados en todo proyecto son todas aquellas organizaciones o personas que estén directa o indirectamente relacionados con el proyecto. Es importante que el equipo de gestión de proyecto identifique a los interesados porque normalmente influyen sobre los objetivos y resultados del proyecto. No sólo deben identificar quienes son, sino también determinar sus requisitos, expectativas y gestionar su influencia en relación con los parámetros del proyecto para asegurar un proyecto exitoso.

Entre los interesados clave de los proyectos se encuentran:

- Director o gerente de proyecto. Es la persona responsable de dirigir el proyecto.
- Cliente. Son personas u organizaciones que contratan a empresas para gestionar sus proyectos o para ejecutarlos, estableciendo vínculos contractuales. El cliente es la entidad que adquiere el producto del proyecto.
- Usuario. Muchas veces se confunde el término usuario con cliente. Los usuarios son aquellos que utilizan directamente el producto del proyecto.
- Organización ejecutante. Se refiere a la empresa cuyos empleados llevan a cabo la ejecución del proyecto.
- Miembros del equipo de proyecto. Son las personas que realizan los trabajos del proyecto. Por ejemplo, personal técnico, asistentes, ingenieros.
- Equipo de dirección del proyecto. Son aquellas personas que participan en las actividades de dirección del proyecto.
- Patrocinador. Son las personas u organizaciones que proporciona los recursos financieros para el proyecto. Por ejemplo, el Banco Mundial, el Estado, y otras agencias internacionales de cooperación solventan diversos proyectos. Por el contrario, muchas veces el patrocinador resulta siendo el mismo cliente.
- Influyentes. Son personas o grupos que no están directamente asociados con la contratación o el uso del producto del proyecto, pero que pueden ejercer influencias positivas o negativas según sean sus intereses. Por ejemplo, activistas ecológicos pueden ser influyentes negativos ante los proyectos que se tienen potencial impacto ambiental, o grupos políticos o asociaciones civiles que tratan de influir en el proyecto según sean sus intereses.

De acuerdo a esta lista, se puede proponer la siguiente categorización: los interesados internos e interesados externos. Todos los mencionados anteriormente serían interesados internos, excepto los influyentes. Otros ejemplos de interesados externos son: los vendedores, las familias de los miembros del equipo de proyecto, agencias de gobierno como reguladoras y municipios, medios de comunicación, los ciudadanos y la sociedad en general (PMI, 2004).

Comentario:

Tal como se mencionado en el capítulo uno, una de las causantes de los problemas en los proyectos es la falta de una visión que oriente a los involucrados con su ciclo de vida, cuya consecuencia es la insatisfacción del cliente o de los usuarios en la etapa de operación y mantenimiento del proyecto. En la gestión de un proyecto, las responsabilidades deben estar claramente definidas en la etapa inicial, con la finalidad de establecer una organización que pueda controlar la gestión de riesgos desde el principio. De esta manera, pueden evitarse futuras complicaciones con los interesados.

### I.3. La etapa de ejecución y la cadena de valor de un proyecto

La etapa de ejecución de los proyectos está estrechamente relacionada con la obtención del mejor valor y el máximo valor por el dinero. La estrategia de compras y contrataciones no solo son partes tácticas, sino que son esenciales para la correcta gestión legal y gestión de riesgos, a fin de garantizar funcionalidad en el diseño y construcción, y de establecer relaciones entre tiempo, costos y calidad. El cliente, pudiendo ser asesorado por agentes externos, debe tomar las mejores decisiones según el criterio de valor que tenga en su organización (Steven Male, 2002). Si bien los alcances de esta investigación no incluye el desarrollo de diferentes modalidades de contrato cliente-contratista, se va a esclarecer en qué circunstancias el gerente de proyecto debe manejar los riesgos para delegar responsabilidades a otras entidades o interesados y evitar o controlar los riesgos en el capítulo de técnicas de gestión de riesgos.

Resulta curioso saber que usualmente son el cliente y el equipo de diseño los que generan el mayor compromiso para asegurar el costo de los proyectos. Paradójicamente, los costos que se incurren en sus alcances solo representan

aproximadamente el 15% del costo total del cliente, que principalmente son los pagos por concepto de diseños y especificaciones de las distintas especialidades. Los contratistas son aquellos que generan el mayor costo del proyecto, es decir aproximadamente el 85%, y dependiendo de la forma en que se gestiona el proyecto, pueden ser dejados de lado para influir directamente en el cliente y en el equipo de diseño y así aportar en conseguir un mejor valor por el dinero invertido.

Consecuentemente, cuando se mira al proyecto desde el punto de vista del mejor valor para el cliente, cuando llega el contratista muchas de las decisiones ya están tomadas y plasmadas en los planos de diseño, lo cual evita que la experiencia y know-how del cliente pueda beneficiar al proyecto, pues puede tener grandes potenciales para añadir valor en los procesos de definición y diseño del proyecto. (Male, 2002).

Por otro lado, Smith (2002) señala que si el contratista participa en las etapas de diseño de los proyectos, deben aplicar los criterios de constructabilidad y empezar la aplicación de gestión de riesgos en edades tempranas del proyecto.

Para añadir valor y minimizar los riesgos, los contratistas deben adoptar la gestión de riesgos en dos etapas:

- La primera, es identificar a los riesgos que podrían dañar seriamente al futuro de la compañía y que podría causar al contratista declinar su decisión de participar en alguna licitación,
- La segunda, es manejar los riesgos efectivamente para aumentar su competitividad y rentabilidad.

Como conclusión, Moussa (1999), citado por Nigel Smith, define mediante el Lean Thinking en la construcción (filosofía de construcción sin pérdidas) que el hecho de maximizar el valor de un proyecto debe enfocarse en hacer que el cliente gane lo máximo posible (en términos de dinero y satisfacción) usando métodos innovadores de diseño y construcción, los cuales deben ser congruentes con los criterios de valor del cliente.

#### I.4. La gestión del valor y la gestión de riesgos

La Gestión del Valor, o su similar en inglés Value Management, tiene un papel importante en la industria de la construcción por su continua mejora e innovación. Se aplica cada vez con más frecuencia para establecer un planeamiento estratégico de los proyectos con el fin de obtener un mejor resultado en términos de tiempo, dinero y satisfacción al cliente (Male, 2003).

La Gestión del Valor en la Construcción es una forma de gerenciar los proyectos de construcción desde el punto de vista del *valor* que se genera en ellos. Tiene la característica de ver holísticamente al proyecto desde sus inicios, pasando por el diseño y la construcción, hasta la operación y mantenimiento, teniendo siempre como objetivo buscar el máximo valor funcional, estético y económico del proyecto utilizando los recursos necesarios para llegar a dicha meta.

En esta investigación enfocará a la Gestión de Riesgos como pieza clave para asegurar el valor de los proyectos en la etapa de construcción de los proyectos de construcción, considerando lo siguiente:

- Herramientas de Gestión de Riesgos, para erradicar, minimizar y controlar los riesgos e incertidumbres del proyecto,
- Sistemas de Retroalimentación de la Construcción, con el fin de minimizar los errores en proyectos futuros.

#### *Metodología*

Para establecer cómo debe enfocarse la gestión de riesgos para asegurar el valor, primero debe conocerse cuáles son los criterios de valor del cliente. Se ha mencionado mucho acerca del valor y los criterios de valor. Pero debemos estudiar qué son en realidad y qué representan.

El Institute of Value Management o IVM (Instituto de Gestión del Valor), señala que el valor se basa en la relación entre la satisfacción de las necesidades y los recursos empleados para satisfacerlas. Señala que cuanto menos se empleen recursos o cuanto más sea la satisfacción de las necesidades, mayor será el valor del proyecto.

Por otro lado, Kelly y Male (2004), citados por Jose Antonio Miranda (PUCP) en su trabajo de tesis sobre la Gestión del Valor, definen los siguientes criterios de valor: Tiempo, Costos, Impacto Ambiental, Valor de Reventa, Estética, Confort, Política y Flexibilidad. Para efectos de esta investigación, se van a considerar los siguientes criterios de valor por ser mayormente requeridos por los clientes: costos, plazos, seguridad y calidad.

Comentario:

Los resultados que deriven de una buena Gestión de Riesgos se verán reflejados no sólo en la calidad y el valor monetario de los proyectos, sino también en el cumplimiento de los plazos y en el aprovechamiento justo de los recursos disponibles, como por ejemplo los recursos naturales, humanos, materiales, maquinaria, etc.

Para lograr estos objetivos, la Gestión del Valor se apoya en herramientas y técnicas de Gestión de Riesgos, las cuales se explican y detallan en el capítulo 4.

Se debe considerar la participación de un equipo multidisciplinario cuyas decisiones estratégicas enfocadas a los criterios de valor del cliente tomen influencia en las etapas más tempranas del ciclo de vida del proyecto, es decir, durante las etapas de concepción y diseño. De esa manera, se minimizarán los riesgos producto de un mal diseño o concepción del proyecto.

Sin embargo, la visión del proyecto no es estática, sino dinámica. Si bien la Gestión del Valor tiende a establecer el mejor diseño que se adecue a la visión del proyecto en un momento dado, ésta puede evolucionar. De esta manera, la Gestión del Valor sigue vigente en la etapa de construcción, innovando soluciones ante cualquier variación del proyecto.



## Anexo II

## Anexo II

### Riesgo e Incertidumbre: Definiciones y Clasificaciones

El riesgo y la incertidumbre son inherentes en todos los proyectos sin importar de qué tamaño sean (SERC, 1992). El éxito o fracaso de cualquier proyecto depende de cómo se encaran los problemas o cómo se aprovechan las oportunidades. La industria de la construcción ha tenido una baja reputación en cuanto a cómo se enfrentan los riesgos, ya que muchos proyectos fallan principalmente en términos de costos y plazos. Como resultado, los clientes, usuarios y contratistas son los principales afectados.

Es conocido que los riesgos y las incertidumbres son características de cualquier proyecto de construcción. Por ejemplo, los cambios en los proyectos que se pueden originar cuando ya se han iniciado las adquisiciones o cuando se ha puesto en marcha la construcción, pueden afectar a la planificación comercial, e incluso a los alcances de un proyecto. Los principales factores de riesgos son: el tamaño de los proyectos, su complejidad, ubicación, velocidad de construcción y la familiaridad con el tipo de trabajo o métodos a aplicar (SERC, 1992).

En este capítulo se va a esclarecer qué son los riesgos y las incertidumbres, para tener un mejor entendimiento en los subsiguientes capítulos cuando se haga referencia a estos términos.

## II.1. Riesgo: definición y características

Rowe (1977) define el riesgo como *el potencial de un evento o actividad para causar indeseables consecuencias negativas*, mientras que Lowrance (1976) define el riesgo como *una medición de la probabilidad y severidad de efectos negativos*.

Wharton (1992), citado por Merna (2004), señala que el uso de la palabra riesgo ha ido cambiando con el tiempo, desde describir simplemente cualquier resultado inesperado, sea bueno o malo a partir de una decisión o una consecuencia, hasta describir los resultados indeseables y su probabilidad de ocurrencia.

Chapman y Ward (1997) definen así a los riesgos de un proyecto:

*Los riesgos son las implicancias generadas por la existencia de incertidumbres significativas sobre el desarrollo adecuado del proyecto.*

Asimismo, indican que la fuente de un riesgo es cualquier factor que puede afectar el desarrollo del proyecto, y cuyo impacto y ocurrencia no se sabe con certeza.

Por otro lado, The Association for Project Management (APM), en su capítulo Risk SIG (PRAM, 1997), define al riesgo como:

*Un evento incierto o una serie de circunstancias que de ocurrir tiene un efecto en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.*

Finalmente, el PMIBOK (2004), indica que:

*En un proyecto, un riesgo es un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre al menos un objetivo del proyecto, como tiempo, coste, alcance o calidad (es decir, cuando el objetivo de tiempo de un proyecto es cumplir con el coste acordado, etc.). Un riesgo puede tener una o más causas, y si se produce, uno o más impactos.*

Allen (1995), citado por Merna (2004), presenta un esquema más claro de la definición del riesgo, como se indica en la figura siguiente, señalando que es compuesta por *cuatro parámetros básicos*: la probabilidad de ocurrencia, la severidad del impacto, susceptibilidad del cambio y el grado de interdependencia con otros riesgos. Sin la presencia de uno de los parámetros citados, un evento o situación no puede considerarse un riesgo.

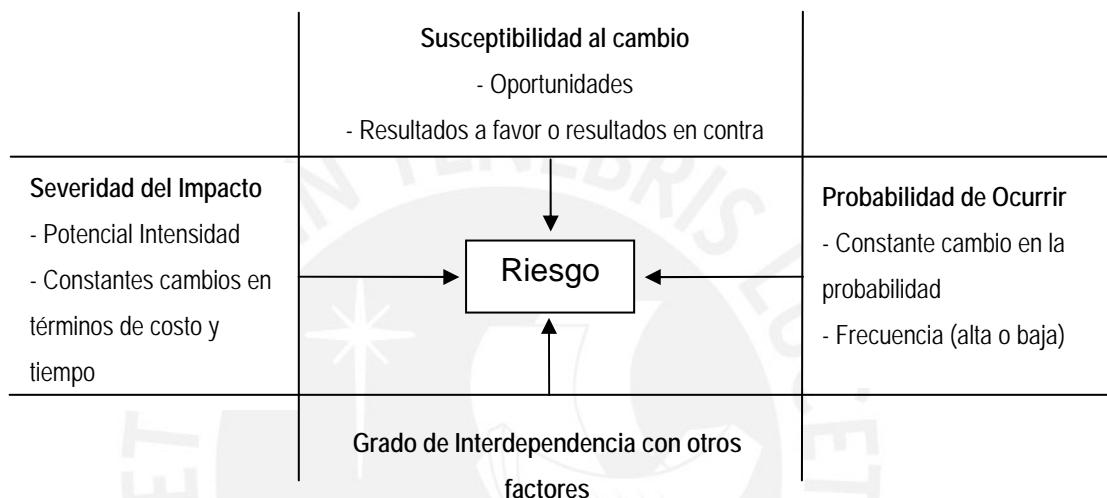


Figura II.1. Parámetros del riesgo (Allen, 1995)

Para Smith y Merritt (1992) señalan que para entender el concepto, un riesgo debe reunir las siguientes características:

1. *Incertidumbre*. No se sabe a ciencia cierta si el evento potencial o riesgo va a ocurrir, solo se puede saber la probabilidad de que ocurra.
2. *Pérdidas*. Un riesgo siempre tiene el potencial de causar pérdidas, las cuales pueden ser medidas en términos financieros, tiempo, imagen corporativa, etc. Si el evento de riesgo no ocurre, entonces no hay pérdidas. Sobre este punto, el autor de esta investigación afirma que las únicas pérdidas que pueden existir en caso no ocurra el riesgo es el costo asociado a las medidas de contingencia tomadas para evitar el riesgo.

3. *Tiempo.* Los riesgos deben ser manejados por un intervalo de tiempo limitado, cuya duración se determina cuando el riesgo deja de existir.

Por otro lado, Kliem & Ludin (1997), indican que el riesgo es simplemente la posibilidad de ocurrencia de un evento que pudiera tener consecuencias o impactos en un proyecto, ya sean éstos positivos o negativos. Señala que los elementos del riesgo que deben ser considerados por los gerentes de proyectos son:

1. La probabilidad de ocurrencia del riesgo
2. La frecuencia o tiempo de retorno del evento de riesgo.
3. El impacto que podría generar en caso de ocurrir.
4. La importancia relativa a otros riesgos
5. La vulnerabilidad o grado de exposición, que es producto del impacto y la probabilidad.

Como se puede observar, no existe un consenso en la definición exacta del riesgo. En la mayoría de sus definiciones, se pueden identificar que es asociada al menos por una o la combinación de los siguientes componentes:

1. Evento deseado o no deseado
2. Probabilidad de que ocurra dicho evento, y
3. Las consecuencias en caso de ocurrir.

## II.2. Modelos de riesgo

El uso de un modelo de riesgo, como el propuesto por Allen (1995) en la figura 3.1, ayuda a reducir dudas e inadecuados juicios en la identificación y análisis de riesgos, que son dos procesos fundamentales de la Gestión de Riesgos. El uso de un modelo de riesgo en los proyectos tiene las siguientes ventajas:

- Se esclarece el concepto de riesgo,
- Actúa como vía de comunicación y análisis, haciendo que salgan a la luz factores de riesgos que de otra manera no hubieran sido considerados, y
- Produce un resultado.

Los modelos de riesgo, según Merna (2004), proveen un mecanismo en el cual los riesgos pueden ser manejados a través de un sistema, de tal forma que pueda estudiarse y comprender de una mejor manera las causas que los originan y sus consecuencias.

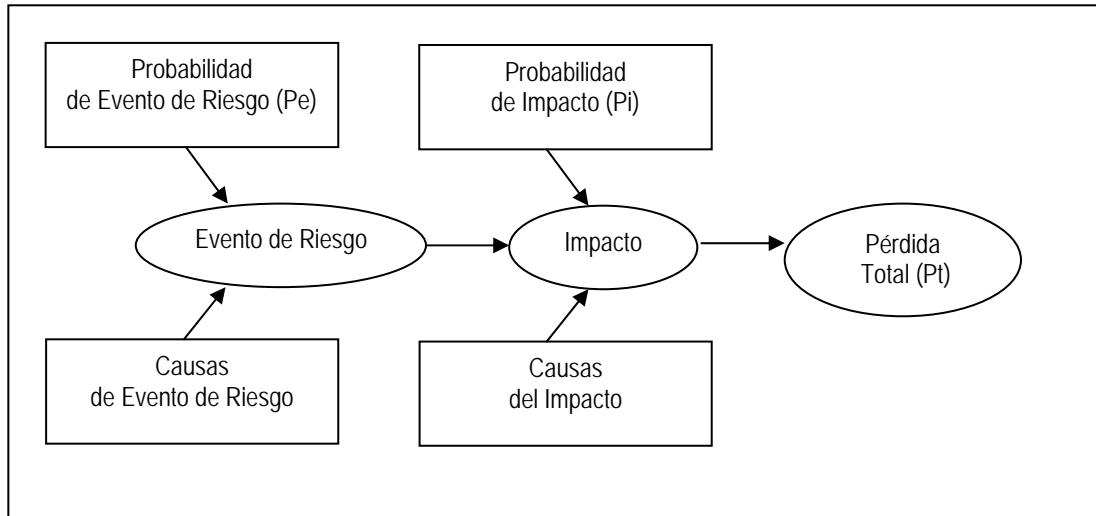


Figura II.2. Modelo de Riesgo según Fastrak Training (1996)

En la figura 3.2., Fastrak Training Inc. (1996) propone un modelo de riesgo más claro, que desagrega el riesgo en varios componentes. El punto inicial de este modelo es el Evento de Riesgo. Éste último debe ser expresado como una afirmación del evento no deseado, y surge a partir de las causas que lo originan y su probabilidad. Por ejemplo, si la preocupación es que suceda una demora en el inicio de vaciado programado en obra entonces el Evento de Riesgo puede ser expresado como “Atraso en el inicio de vaciado”, su probabilidad dependerá de las mediciones de atrasos tomadas anteriormente y las causas podrían ser relativas, por ejemplo, al tráfico. Según los parámetros anteriormente señalados, el riesgo se mide en función de la probabilidad de ocurrencia y el impacto del evento (Rossi, 2006)

$$\text{Riesgo} = f(\text{Probabilidad}, \text{Impacto})$$

Asimismo, muestra la magnitud del riesgo según la severidad de sus componentes en el siguiente gráfico:

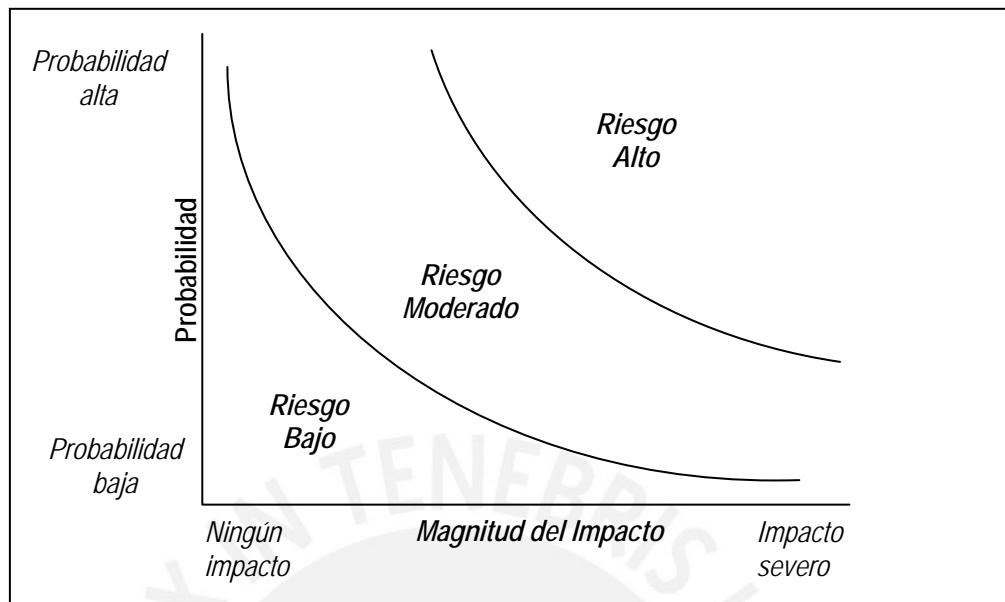


Figura II.3. Niveles de riesgo según su probabilidad e impacto (Rossi, 2006)

Nota: Cabe señalar que los gerentes de proyecto deben definir para el proyecto en particular, los límites entre riesgos bajos, moderados o altos.

La fórmula que mejor expresa el riesgo, según Rossi, es la del Valor Esperado:

$$VE = \sum_{i=1}^N X_i P(X_i)$$

donde:

- $X$  es el impacto o incidencia causada por el evento
- $P (X)$  es la probabilidad de ocurrencia del evento

Según la definición estadística, el Valor Esperado es la media ponderada del rango de los posibles resultados de un evento. Este valor, producto del impacto y la probabilidad del riesgo, es llamado Vulnerabilidad (Kliem & Ludin, 1997).

### II.3. Incertidumbre

La Gestión de Riesgos puede ser muy exitosa cuando se aplican procesos consistentes en toda la organización de un proyecto debido a la cantidad de información desarrollada. El problema resulta cuando está información es desconocida, a la cual se denomina incertidumbre.

Es frecuente escuchar que el riesgo existe como consecuencia de la incertidumbre. Algunas publicaciones mencionan al riesgo y la incertidumbre indistintamente como si fueran lo mismo. Sin embargo, existe una clara diferencia entre ambos. Una decisión es tomada en condiciones de riesgo, cuando basándonos en datos históricos y experiencias anteriores, se puede estimar la probabilidad de varios resultados. Por otro lado, la incertidumbre se presenta en una situación donde no existen datos históricos o experiencias anteriores que puedan ser tomadas como guía para llegar a una decisión (Max T. Rossi, 2006).

Nigel Smith (Best Value in Construction, 2002) deja claro que el término Gestión de Riesgos engloba todos los procesos que se involucran en la gestión de un proyecto de construcción bajo condiciones que son afectadas por riesgos e incertidumbres.

La incertidumbre es usada para reflejar eventos o circunstancias que se desconocen, y que podrían acarrear consecuencias positivas o negativas en el proyecto. Esto se ve contrastado con el riesgo, el cual solo puede acarrear consecuencias negativas. En cambio, el término Oportunidad se usa para reflejar eventos con consecuencias positivas.

Bussey y Merett and Sykes, citados por Merna (2004), distinguen riesgo e incertidumbre afirmando lo siguiente:

*Una decisión es tomada bajo condiciones de riesgo cuando hay un rango de posibles resultados cuyas probabilidades de ocurrir son conocidas. En cambio, la incertidumbre existe cuando hay más de un posible resultado derivado de una acción, pero la probabilidad de cada resultado es desconocido.*

Es decir, la incertidumbre existe en situaciones en las que los gerentes de proyecto carecen totalmente de información respecto a las decisiones que deben tomar y sus posibles consecuencias. Según Merna, hay dos tipos de incertidumbre:

- La incertidumbre aleatoria, la cual se presenta inesperadamente;
- Y la incertidumbre cognitiva, que se origina a partir de una situación donde el resultado depende del juicio o la intuición al tomar una decisión.

El siguiente cuadro resume las características de riesgos e incertidumbres.

<i>Riesgo</i>	<i>Incertidumbre</i>
<i>Cuantificable</i>	→ <i>No cuantificable</i>
<i>Determinable estadísticamente</i>	→ <i>Probabilidad Subjetiva</i>
<i>Obtención de Datos</i>	→ <i>Recolección de Opiniones</i>

Figura II.4. Diferencias entre riesgos e incertidumbres (Raferty, 1994).

#### Comentario:

Si bien el cuadro muestra las diferencias objetivas entre riesgos e incertidumbres, es cierto también que las incertidumbres se pueden ‘cuantificar’ mediante técnicas de análisis cualitativos; es decir, se analizan subjetivamente y se les asigna valores para poder controlarlas o estudiarlas. En ese caso, se puede afirmar que la incertidumbre se convierte en riesgo. Esto se desarrollará con más detalle en el capítulo de técnicas de Gestión de Riesgos.

### 3.4. Gestión de la incertidumbre

Hoy en día la necesidad de manejar las incertidumbres son inherentes en todos los proyectos donde se requiera de una Gestión de Proyectos formal y establecida. Según Tony Merna, esto se da principalmente por la necesidad de organizar una gran variedad de recursos bajo restricciones significativas y la importancia central de los objetivos en la definición de un proyecto.

EL PMIBOK señala que los riesgos de los proyectos tienen su origen en la incertidumbre que hay en ellos. Los riesgos conocidos son aquellos que son identificados y analizados, y es posible manejarlos y controlarlos con antelación. Por otro lado, los riesgos desconocidos (incertidumbres) no pueden gestionarse de una forma proactiva, y una respuesta prudente del equipo de proyecto puede ser asignar una contingencia general contra dichos riesgos.

Actualmente no hay referencias específicas del papel que cumple el nivel de experiencia y habilidades de los gerentes de proyectos al tomar decisiones para manejar las incertidumbres; sin embargo, es claro que cuanto mayor sea la experiencia de un gerente de proyecto, su influencia será reflejada probablemente en un mejor manejo de la incertidumbre (Merna, 2004).

Asimismo, Merna sostiene que la incertidumbre que pueda estar asociada a un evento de gran impacto representa un desconocimiento e ignorancia mayor que un riesgo cuantificado del mismo evento.

Como conclusión, Rossi señala que una de las motivaciones principales en las organizaciones que usan los principios de la Gestión de Proyectos o Project Management es la reducción de la incertidumbre.

#### Comentario:

Se puede inferir de todos los autores que el manejo de la incertidumbre debe ser parte activa de la gestión de riesgos; es más, lo ideal sería convertir todas las incertidumbres en riesgos para poder controlarlas con la gestión de riesgos. Sin embargo, esto no es posible porque la incertidumbre siempre está presente en toda acción humana cuyas consecuencias no se pueden predecir con certeza.

Para dicho factor de lo desconocido, los gerentes de proyecto pueden asumir un valor estimado de contingencia, el cual es posible calcularlo a partir de un simulador de escenarios. Por ejemplo, se puede usar el método de Monte Carlo para la estimación de costos y el cálculo de la contingencia para un presupuesto con confiabilidad de 95%. Esta herramienta se verá con más detalle en el apartado de Análisis Cuantitativo de Riesgos.

### 3.5. Categorías de Riesgo

En todos los proyectos existen riesgos e incertidumbres de varios tipos, como por ejemplo el financiamiento del proyecto, uso de nuevas tecnologías, problemas en las relaciones laborales, disponibilidad de recursos materiales o humanos, calidad del suelo, modificaciones en el diseño, entre otros. Más adelante se detallarán los riesgos e incertidumbres más frecuentes en los proyectos de construcción.

Kliem y Ludin (1997) señalan que hay componentes como condiciones de origen, que son riesgos propios del contexto o circunstancias en la gestión de un proyecto. Estos son:

1. Tamaño del equipo de gestión del proyecto. Mientras más grande sea el equipo de profesionales, resulta más difícil la coordinación y comunicación.
2. Complejidad técnica. El logro de metas en un proyecto de alta complejidad puede fallar en cuanto a, por ejemplo, los plazos de entrega de diseños, si el reto resulta muy ambicioso. Toda meta debe ser factible de ser lograda.
3. Estabilidad de la estructura de la gestión del proyecto. Cambios en la organización pueden cambiar las prioridades y los lineamientos de acción.
4. Estabilidad de las condiciones de mercado. Por ejemplo, la variación de precios, cambios en la regulación, etc.
5. Experiencia y pericia de los miembros del equipo de trabajo.

Según el impacto que pueda generar en el proyecto:

1	<b>Costo</b>  Por ejemplo, exceso en la cantidad de horas-hombre proyectadas para trabajos específicos, cantidad de material empleado, penalidades monetarias por faltas contractuales, como por ejemplo la no culminación de un proyecto en la fecha pactada.
2	<b>Cronograma</b>  En esta categoría se encuentran por ejemplo la omisión en la programación de las metas específicas, la omisión de actividades de la ruta crítica, retrasos de obra por tiempos muertos de los recursos.

3	<b><i>Calidad</i></b>  Por ejemplo, la ineficiente o inexperta mano de obra, detalles constructivos o arquitectónicos deficientes o incompletos, tecnología usada sin pruebas de laboratorio, implementos o materiales usados de mala calidad.
4	<b><i>Recursos Humanos</i></b>  En esta categoría está la desmotivación del equipo de trabajo, la estructura organizacional, la definición de la responsabilidad en la toma de decisiones, determinar cómo se distribuye el trabajo, seguridad industrial, etc.

Los riesgos también pueden categorizarse desde el punto de vista del tipo de gestión o control:

1	<b><i>Riesgos aceptados</i></b>  Se denomina así cuando los gerentes de proyecto deciden dejar que el riesgo ocurra, sin tomar acción alguna, aceptando sus consecuencias. Por ejemplo, la variación en el tipo de cambio puede afectar las finanzas de un proyecto, pero el gerente de proyecto lo acepta porque es la naturaleza del mercado.
2	<b><i>Riesgos mitigados</i></b>  En este caso los gerentes de proyecto coexisten con estos riesgos, tomando acciones para reducir sus efectos (reduciendo probabilidad de ocurrencia o su impacto). Por ejemplo, si el presupuesto del proyecto se reduce en un 30%, el gerente de proyecto debe compensar reduciendo algunos gastos generales u otros gastos que no son imprescindibles para alterar lo menos posible los alcances originales.
3	<b><i>Riesgos evitados</i></b>  En este caso, los gerentes de proyecto deben hacer todo lo posible para evitar estos riesgos. Por ejemplo, se puede hacer un cronograma para evitar la posibilidad de olvidar o dejar de considerar metas intermedias requeridas.
4	<b><i>Riesgos transferidos</i></b>  Son aquellos riesgos que son transferidos total o parcialmente con otras partes; es decir, en caso de ocurrir, las consecuencias negativas se comparten. Por ejemplo, la entrega del diseño de una subestación puede estar compartida entre el diseñador y el proveedor de equipos.

De otro lado, Chapman y Ward afirman que la gestión de riesgos se enfoca mucho en aquellos relacionados con el tiempo, pero hay otro tipo de recursos que también son importantes. De esta forma, brinda el siguiente espectro en la clasificación de riesgos, según su origen:

1	<p><b><i>Riesgos asociados con los participantes o interesados</i></b></p> <p>Por ejemplo, los accionistas de las empresas, instituciones reguladoras, autoridades de planificación, contratistas, supervisores y usuarios. En esta dimensión destaca principalmente los riesgos generados por la relación contratista-cliente o supervisión, donde existen intereses distintos, por lo que a veces tienden a gestionar los riesgos comunes en desmedro de la otra parte.</p>
2	<p><b><i>Riesgos asociados al diseño del proyecto</i></b></p> <p>Las innovaciones tecnológicas y la complejidad del diseño arquitectónico o de ingeniería pertenecen a esta categoría. Por ejemplo, el hecho de no considerar apropiadamente la cantidad de estacionamientos para un centro comercial es un riesgo a todo el proyecto en el corto a mediano plazo.</p>
3	<p><b><i>Riesgos asociados a los recursos materiales y humanos del proyecto</i></b></p> <p>La falta o insuficiencia de recursos materiales y recursos humanos son riesgos que afectan la gestión de proyectos. Incluso, el exceso en la estimación de los recursos también representa un riesgo, el cual se traduce en principalmente en rendimiento o productividad.</p>
4	<p><b><i>Riesgos asociados a los plazos o tiempos de entrega</i></b></p> <p>Esta categoría puede estar muy relacionada con las demás categorías porque las fallas en diseño y planificación pueden acarrear demoras en el desarrollo del proyecto. La demora en entrega o revisión de diseños, demora en la toma de decisiones, desestimación de eventos o trabajos previos a otros, o la planificación del uso de un mismo recurso en dos tareas distintas que se lleven simultáneamente son ejemplos de riesgos que se presentan en esta categoría.</p>

También señalan que los riesgos se pueden clasificar según su naturaleza:

1	<p><i>Riesgos de corto plazo vs. Riesgos de largo plazo</i></p> <p>Los riesgos de corto plazo pueden tener un impacto inmediato y su efecto puede ser decisivo. En cambio, los riesgos de largo plazo ocurren en un futuro distante pero el impacto no deja de ser decisivo por eso.</p>
2	<p><i>Riesgos positivos vs. Riesgos negativos</i></p> <p>Los riesgos positivos, también llamados oportunidades, son aquellos que pueden mejorar el desarrollo de un proyecto. Por ejemplo, cuando se obtienen beneficios que afectan positivamente la ruta crítica de un proyecto. Lo contrario ocurre con los riesgos negativos.</p>
3	<p><i>Riesgos internos vs. Riesgos externos</i></p> <p>Los riesgos internos son aquellos que se originan dentro del contexto del proyecto, y no son causadas por factores externos.</p>

En resumen, encontramos los siguientes criterios de clasificación de riesgos:

- Según el tipo de impacto
- Según el tipo de gestión
- Según su origen
- Según su naturaleza

Asimismo, en el capítulo anterior se determinó que los riesgos se presentan en las diversas etapas del ciclo de vida del proyecto, por lo que también podemos categorizarlos según la etapa del proyecto.

En el capítulo de Procesos de la Gestión de Riesgos se verá la importancia y la aplicación de la lista de categorías de riesgo, especialmente para el proceso de identificación de riesgos.

### Comentario:

Como se ha visto, existen muchas formas de clasificar a los riesgos. Puede resultar confuso si se intenta manejar todas las clasificaciones en la Gestión de Riesgos de un proyecto.

De acuerdo a las categorías presentadas, se puede afirmar que las de tipo de impacto, origen y naturaleza son *descriptivas*, y por ende, son muy útiles en el proceso de identificación de riesgos, como se verá en el capítulo siguiente. En cambio, las categorías de riesgo según su tipo de gestión y según la etapa en el ciclo de vida corresponden a una labor de *control* y *monitoreo* respectivamente conforme se desarrolle el proyecto.

A continuación se presenta una esquematización de las categorías de riesgo.

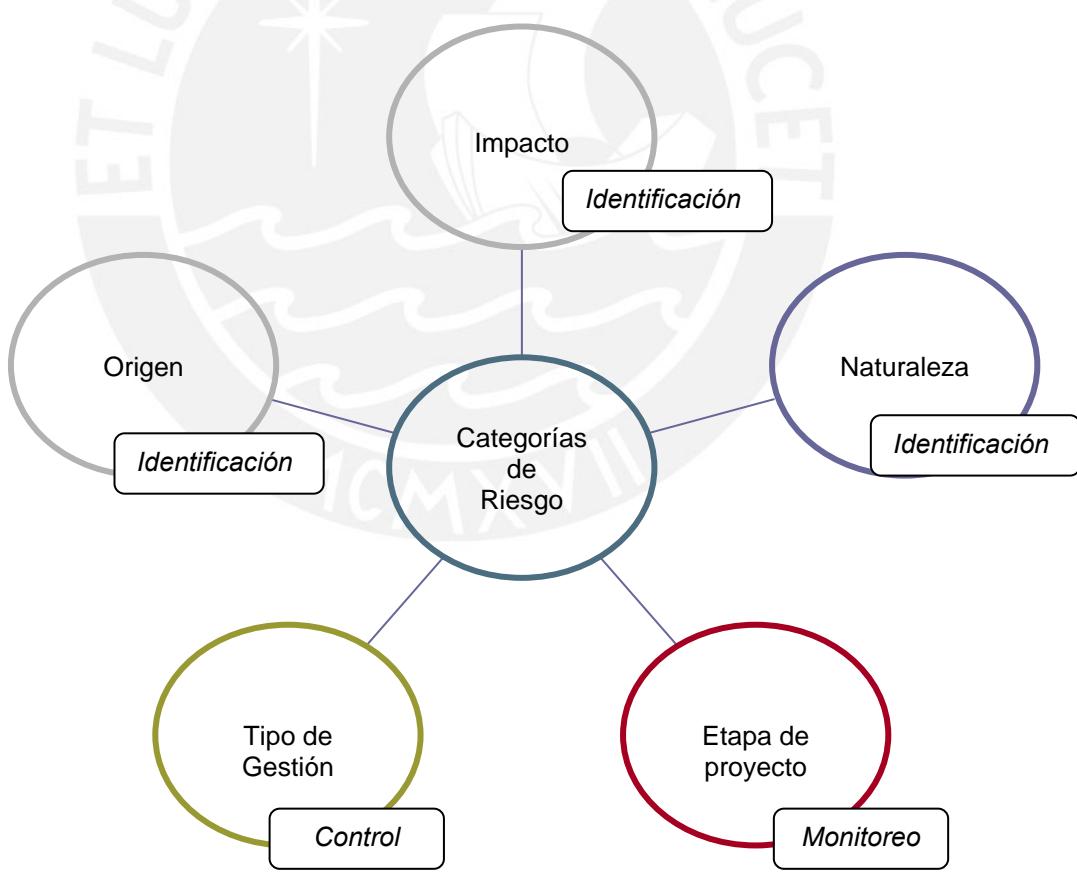


Figura II.5. Categorías de riesgo y su función en la Gestión de Riesgo. Fuente: El Autor.



## Anexo III

## Anexo III

## Análisis Cuantitativo de Riesgos mediante la Simulación de Monte Carlo

El presente anexo es una guía explicativa de cómo funciona el método de Monte Carlo para el análisis cuantitativo de riesgos en los proyectos de construcción en un software de simulación probabilístico.

Es importante mencionar que la simulación estadística de escenarios mediante el método de Monte Carlo está regida bajo los estándares del American Society for Testing and Materials (ASTM).

Por ello, como preámbulo a la explicación del procedimiento de simulación de Monte Carlo, va a estudiarse los parámetros y consideraciones que la ASTM ha evaluado para su correcta aplicación en la gestión de riesgos de los proyectos de construcción.

## Parámetros, procedimientos y consideraciones de la ASTM para la aplicación de la simulación de Monte Carlo

El subcomité E06.81 de Economía en la Construcción de la ASTM, bajo la jurisdicción del comité E06 de Desempeño en la Construcción, es la responsable de evaluar, entre otros temas relacionados, los métodos de estimación de costos y riesgos en proyectos de edificación.

Dentro de los métodos válidos para el análisis cuantitativo de riesgos en la estimación de costos se encuentra la simulación de Monte Carlo, que ha sido evaluada y posteriormente estandarizada. Destacan dos estándares o designaciones publicadas para este fin:

- La designación E1369-02, denominada *Standard Guide for Selecting Techniques for Treating Uncertainty and Risk in the Economic Evaluation of Buildings and Building Systems* (Guía estándar para la selección de técnicas para tratar incertidumbres y riesgos en la evaluación económica de edificaciones y sistemas de edificación), y
- La designación E1946-02, denominada *Standard Practice for Measuring Cost Risk of Buildings and Building Systems* (Práctica estándar para el cálculo de riesgos en el costo de edificaciones y sistemas de edificación).

La primera designación (E1369-02) define la técnica de simulación de costos, y la considera como una buena técnica probabilística para determinar la exposición al riesgo del costo de un proyecto de inversión.

Este estándar indica que para hacer una simulación, las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada o *inputs* deben ser estimadas previamente. Asimismo, resume el proceso de simulación para establecer las funciones de distribución de probabilidad acumulada y la función distribución de densidad probabilística del valor de un proyecto: se dibuja o establecen valores al azar de cada variable de entrada basados en sus distribuciones probabilísticas, luego esos mismos valores se ingresan en el presupuesto para estimar el costo total del proyecto. Este proceso se repite una y otra vez hasta que se pueda obtener una gráfica de las funciones de probabilidad mencionadas. Se estima que entre 500 y 1000 simulaciones son suficientes para tener datos confiables.

Una de las aplicaciones más usadas es la estimación de **contingencias** económicas en los proyectos. La ASTM define la contingencia como “un monto de dinero incluido en la estimación del costo total de un proyecto para cubrir costos que tienen cierta probabilidad de ocurrir, pero que sus cantidades no pueden calcularse con precisión”. Normalmente, esos costos adicionales pueden deberse al -alza del precio de la mano de obra, al precio de los materiales, adicionales de obra, uso de nueva tecnología, omisión de partes del proyecto, etc. Cabe señalar que el valor hallado como contingencia debe ser entendido como un rango de valores y no como un único valor, según lo indicado en el capítulo 7 del trabajo de tesis de Felipe Montoya y Carolina Lozano sobre la determinación de la contingencia.

La ASTM afirma que en proyectos pequeños, lo que se hace normalmente para hallar la contingencia necesaria es calcular los porcentajes históricos de sobrecostos versus estimaciones iniciales de los proyectos. Sin embargo, esto no considera los riesgos reales en dichos proyectos. Para proyectos grandes y con incertidumbres considerables, lo que se hace es usar métodos más sofisticados para determinar la contingencia, mediante el análisis de riesgos usando la simulación de datos. Textualmente, indica que la estimación de contingencias provee a los gerentes de proyecto las probabilidades de riesgo de que el costo exceda el valor inicial calculado.

Por último, señala las ventajas de usar la técnica de simulación:

- El método funciona para múltiples distribuciones de probabilidad según sea el caso para cada variable.
- Se pueden integrar las interdependencias de probabilidades entre dos variables de entrada, haciéndolas una sola.
- La simulación puede aplicarse para obtener las funciones de distribución de probabilidad acumulada y la función distribución de densidad probabilística para calcular por ejemplo análisis de costo del ciclo de vida de un proyecto, ganancias netas, ratio costo-beneficio, tasa interna de retorno, y otras variables económicas.
- La ventaja poder aplicar la simulación en un software lo hace sencillo.

La segunda designación (E1946-02) trata específicamente el procedimiento de uso de la simulación de Monte Carlo en la estimación de costos, haciendo referencia a la primera designación. Señala que para desarrollar la simulación de Monte Carlo,

se requiere de un programa computacional de análisis de riesgos que puede ser adquirido o puede ser desarrollado por el mismo usuario.

Este estándar indica que para hacer una simulación de costos en un proyecto de construcción, se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificar los costos de elementos críticos. Esto quiere decir que no es necesario introducir como variable de entrada o input a todos los elementos del presupuesto, ya que podrían hacer más complejo el cálculo y no aportarían mucho. El criterio para establecer si un elemento es crítico o no es definir si la variación de costo de un elemento X causa que el costo total del proyecto varíe por un monto que exceda la variación crítica del monto total. Michael Curran, citado por la ASTM, señala que un valor típico de variación crítica del costo total de un proyecto puede ser el 0.5%, y la cantidad de elementos críticos pueden ser veinte. Lógicamente, un porcentaje de variación crítica va a derivar en una menor cantidad de elementos críticos. Esto lo debe establecer el gerente de proyecto, pero siempre se recomienda en mantener el modelo simple, con menos cantidad de elementos.
2. Eliminar las interdependencias entre elementos críticos. El sistema de simulación trabaja mejor si no hay una fuerte interdependencia entre elementos críticos. Si esto sucede, lo mejor sería integrarlos en una sola función. En caso contrario, puede suceder que el riesgo de costo calculado sea exagerado. Por ejemplo, el costo de instalación de tubería y el costo de forrado de tubería son altamente dependientes entre sí porque el número de tuberías es crítico para ambos costos.
3. Seleccionar las funciones de densidad probabilística. Se pueden definir diferentes distribuciones de probabilidad para las variables escogidas: normal, lognormal, beta, etc, siempre y cuando se cuente con registros históricos o se sepa con certeza su distribución. Sin embargo, como se sabe, en la industria de la construcción a veces la información disponible es insuficiente o no es aplicable, en cuyo caso lo recomendable es usar la distribución triangular, en el que hay tres valores: el mínimo valor, el valor más probable, y el máximo valor.
4. Cuantificar los valores de riesgo en elementos críticos. Una vez definidas las funciones de probabilidad, que en este caso asumimos que se trata de la función triangular, se definen los valores mínimos, máximos y más probables. En caso de que no haya mucha seguridad de cómo estimar los

valores extremos, se -puede estimar un 10% por encima y por debajo del valor más probable.

5. Crear un modelo de costo. Este paso es importante para establecer cómo se sumarán las variables. Se indica que los elementos que no son críticos deben tratarse todos como constantes.
6. Ejecutar la simulación de Monte Carlo. Mediante el uso de un software, se ingresan los datos definidos en los pasos anteriores y se ejecuta el programa haciendo muchas simulaciones para generar una distribución de probabilidad del costo total de un proyecto, por ejemplo. Una cantidad apropiada de simulaciones puede ser 1000, pero a veces puede requerirse una cantidad mayor.
7. Interpretar los resultados. Los datos hallados a partir del paso anterior son: el valor esperado del costo total, la desviación estándar y el costo estimado dado un nivel de confidencia (esto se puede ver a partir de un gráfico de probabilidad acumulada). Asimismo, a partir de estos valores puede determinarse la contingencia, que es la diferencia entre el costo total estimado para un nivel de confidencia dado, y el costo base.
8. Hacer un análisis de sensibilidad. Finalmente, se puede establecer qué tan incidentes son las variables al costo total del proyecto.

### **Procedimiento para realizar la simulación de Monte Carlo en @RISK**

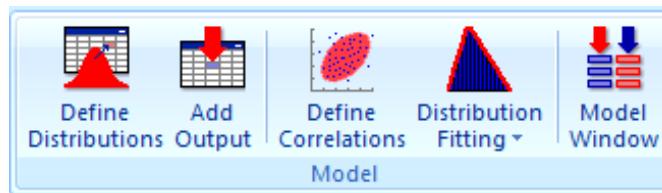
Se ha elegido el programa @RISK para hacer un ejemplo ilustrativo de simulación de Monte Carlo en la estimación de costos. Los pasos indicados en el siguiente procedimiento se limitan a la estructura del software, y están incluidos en el procedimiento general establecido por la ASTM.

La esencia de este software consiste hacer un *sampling* o muestreo a partir de un rango de valores que el usuario define en la hoja de cálculo, en este caso es Microsoft Excel, y lo plasma en un gráfico usando la distribución de probabilidades que también se define previamente.

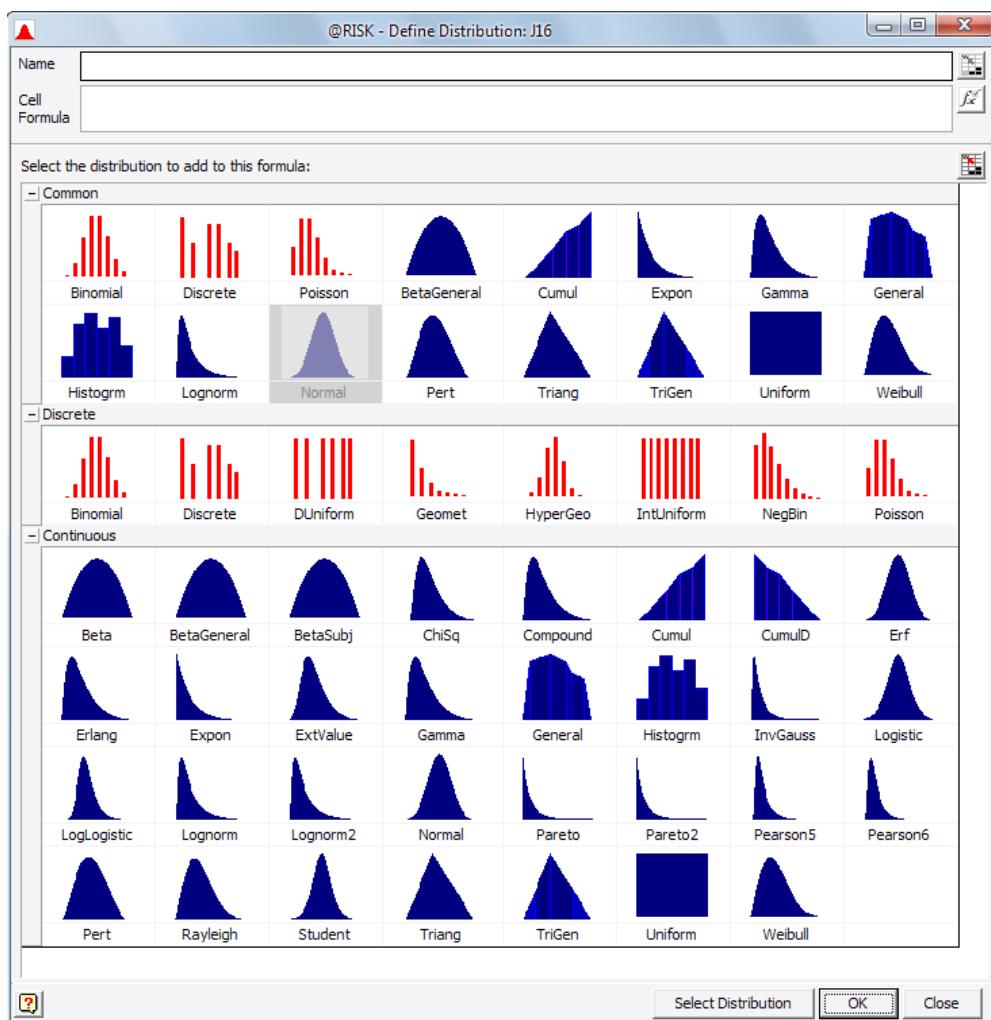


Figura 1. Menú de funciones de @Risk 5.0 en Microsoft Excel 2007.

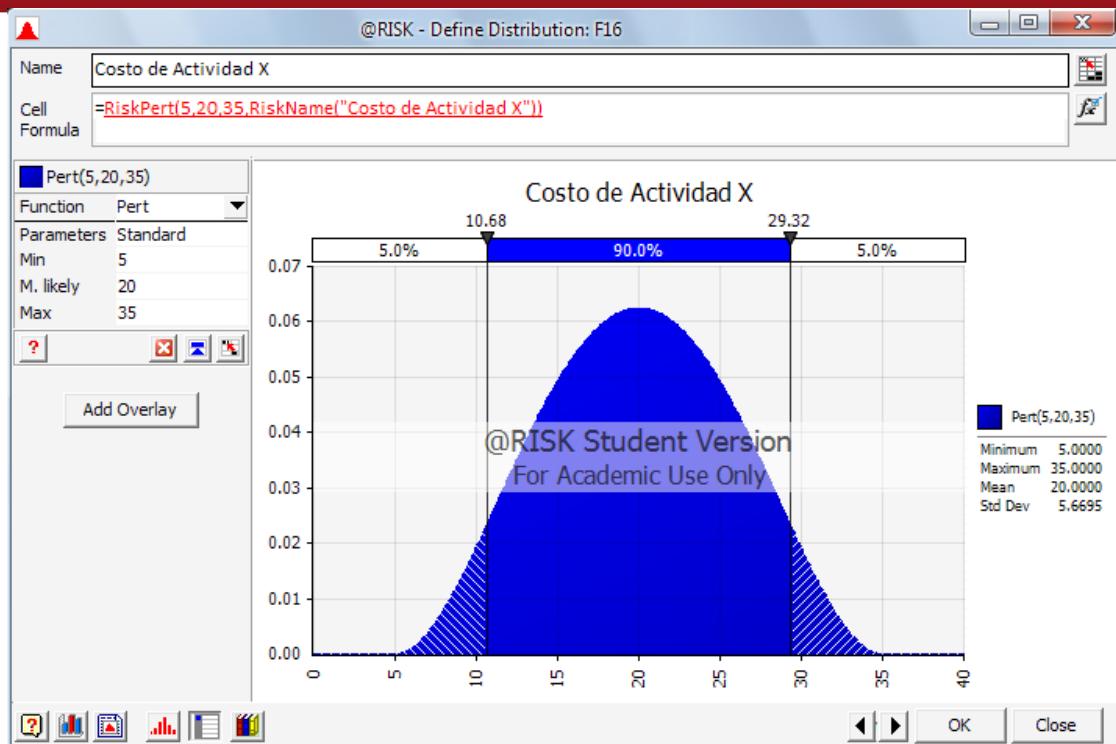
### 1. Definición del modelo



El programa brinda una gama de posibilidades para definir la distribución de las variables. Para ver estas opciones, hacemos click en *Define Distributions*.



Veamos un ejemplo. Si defino la distribución triangular para el costo de la actividad A, selecciono *Triangular* en la ventana de definición de distribuciones y a continuación defino el valor pesimista, el valor optimista y el valor probable.



En este caso, se han definido los siguientes parámetros para la distribución Triangular: el valor pesimista o mínimo en 5, el máximo en 35 y el más probable en 20. No es necesario introducir unidades monetarias o de tiempo en ningún caso, ya que el software trabaja con valores absolutos.

En el caso en que el costo de la actividad A tenga otra distribución superpuesta, se puede agregar una haciendo click en *Add overlay* y se selecciona la distribución adicional. Cabe señalar que pueden agregarse varias distribuciones al mismo tiempo.

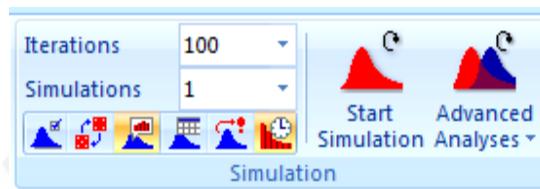
Si se tiene una base de datos de valores históricos, donde la distribución es desconocida, lo recomendable sería crear una distribución teórica que se ajuste a dichos valores. En ese caso, se hace click en *Distribution Fitting* y se introduce la base de datos.

En el caso en que diferentes variables tengan correlaciones entre sí, debe modelarse haciendo click en *Define Correlations*. Muchas veces las variables son interdependientes entre sí, y es importante tomar este factor en cuenta a la hora de correr la simulación.

Para generar la simulación es necesario establecer una celda para poder procesar los resultados con diversas funciones. Para esto, se hace click en *Add Output* y se selecciona una celda.

La opción de *Model Window* sirve para visualizar un resumen de las distribuciones definidas y sus parámetros (se pueden editar desde esa misma ventana)

## 2. Configuración de simulación



El número de iteraciones se define antes de correr la simulación; cuanto más grande sea este número, mejor va a ser la representación de valores en la distribución determinada. Asimismo, pueden generarse diversas simulaciones como se puede apreciar en el gráfico.

Los pequeños botones que aparecen debajo del número de simulaciones corresponden, en orden de izquierda a derecha, a: opciones avanzadas de simulación (se definen macros, convergencias, visualización, etc.), realizar un muestreo, mostrar valores de outputs en gráfico de forma automática, mostrar resumen de valores en nueva ventana, modo demo y modo tiempo real.

A continuación se presenta un ejemplo sencillo para correr una simulación.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
33	Costo de elementos	Costo base \$	Minimo	Más probable	Maximo	Minimo	Más probable	Maximo	Simulado
34	Costo de terreno	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	
35	Edificios	5000	90%	100%	125%	4500	5000	6250	
36	Materias primas	4000	90%	100%	125%	3600	4000	5000	
37	Salarios	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	
38	Tecnología de Información	1000	90%	100%	125%	900	1000	1250	
39	Vehículos	500	90%	100%	125%	450	500	625	
40	Marketing	1500	90%	100%	125%	1350	1500	1875	
41	Otros gastos	2500	90%	100%	125%	2250	2500	3125	
42									
43	Total	18500							

Supongamos que tenemos que evaluar el presupuesto de un proyecto de inversión, en el que tenemos partidas diversas con diferentes costos bases unitarios y un

costo base total de \$18500. Se desea hacer la simulación de Monte Carlo para determinar la probabilidad de ocurrencia de distintos costos totales del proyecto. Para ello, en este ejemplo, se va a estimar el valor mínimo, más probable y máximo de cada variable a juicio nuestro. En este caso se ha definido dichos valores con porcentajes del 90%, 100% y 125% respectivamente en todos los casos.

En la columna J de “Simulado” se debe introducir el tipo de distribución elegida para cada variable (costos de elementos), en este caso usaremos la distribución Triangular. Seleccionamos la celda J34 para “Costo de Terreno” y hacemos click en *Define Distributions*, se escoge la distribución Triangular y los parámetros ya mencionados. Otra manera más directa de hacerlo es introducir en la barra de fórmulas lo siguiente:

=RiskTriang(G34,H34,I34) , el cual hace referencia a las celdas de valores mínimo, más probable y máximo del “Costo de terreno”.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
33	Costo de elementos	Costo base \$	Mínimo	Más probable	Maximo	Mínimo	Más probable	Maximo	Simulado	
34	Costo de terreno	2000	90%	100%	125%	1800	2000		=RiskTriang(G34,H34,I34)	
35	Edificios	5000	90%	100%	125%	4500	5000	6250		
36	Materias primas	4000	90%	100%	125%	3600	4000	5000		
37	Salarios	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500		
38	Tecnología de Información	1000	90%	100%	125%	900	1000	1250		
39	Vehículos	500	90%	100%	125%	450	500	625		
40	Marketing	1500	90%	100%	125%	1350	1500	1875		
41	Otros gastos	2500	90%	100%	125%	2250	2500	3125		
42										
43	Total	18500								
44										

Arrastramos la fórmula en la columna J para todas las variables, desde la fila 34 hasta la 41, y obtenemos valores simulados, pero como aún no hemos corrido la simulación general, el software genera un valor al azar sólo para visualizar un número en la celda.

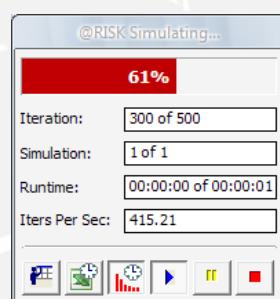
Ahora bien, cabe recordar que el interés de la simulación es superponer todas las variables para obtener los datos probabilísticos de la sumatoria total de costos. Para saber el monto total simulado, creamos una celda especificando este requerimiento. Por ejemplo, vamos a seleccionar la celda J43 para este propósito.

Se hace click en *Add Output* en la celda J43, colocamos un título para la simulación, en este caso es “Total Project cost”, y luego se ingresa la sumatoria de resultantes probabilísticas para cada variable.

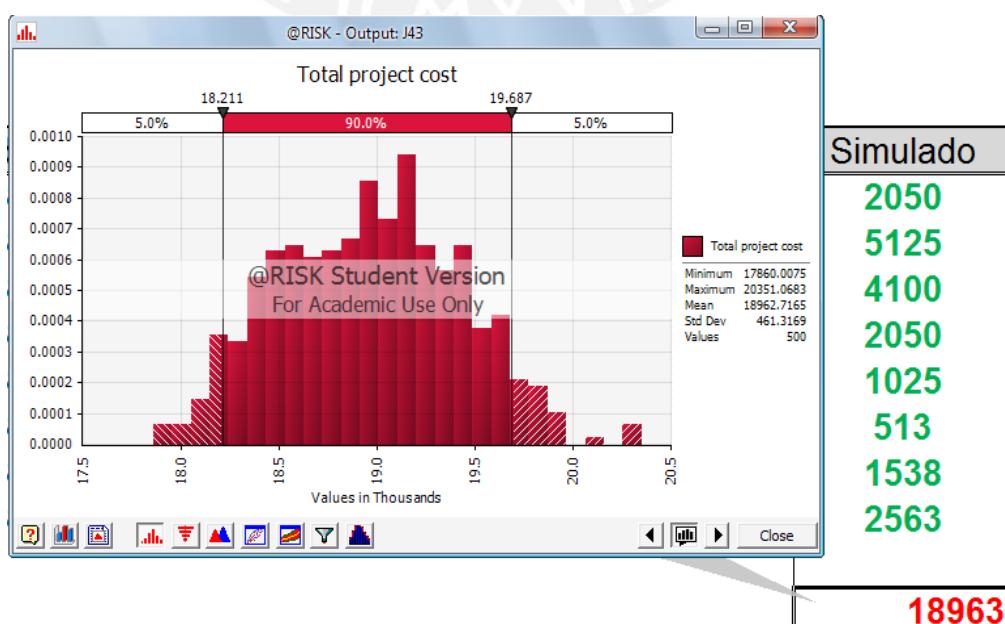
Otro modo de hacerlo directamente es introduciendo “=RiskOutput("Total project cost")+SUMA(J34:J41)” en la celda J43.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
33	Costo de elementos	Costo base \$	Minimo	Más probable	Maximo	Minimo	Más probable	Maximo	Simulado
34	Costo de terreno	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	2050
35	Edificios	5000	90%	100%	125%	4500	5000	6250	5125
36	Materias primas	4000	90%	100%	125%	3600	4000	5000	4100
37	Salarios	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	2050
38	Tecnología de Información	1000	90%	100%	125%	900	1000	1250	1025
39	Vehículos	500	90%	100%	125%	450	500	625	513
40	Marketing	1500	90%	100%	125%	1350	1500	1875	1538
41	Otros gastos	2500	90%	100%	125%	2250	2500	3125	2563
42	Total	18500							=RiskOutput("Total project cost")+SUMA(J34:J41)
43									
44									
45									

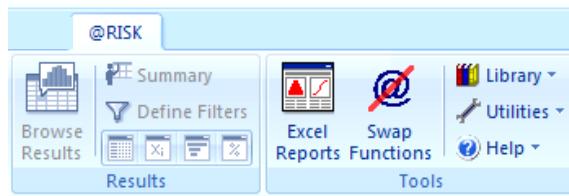
El paso siguiente es correr la simulación. Para este ejemplo en particular, vamos a probar una simulación con 500 iteraciones. Hacemos click en *Start Simulation* para empezar la simulación.



La simulación en este caso en particular fue muy rápida. Bastó esperar un par de segundos para terminar con todas las iteraciones. La resultante fue como sigue:



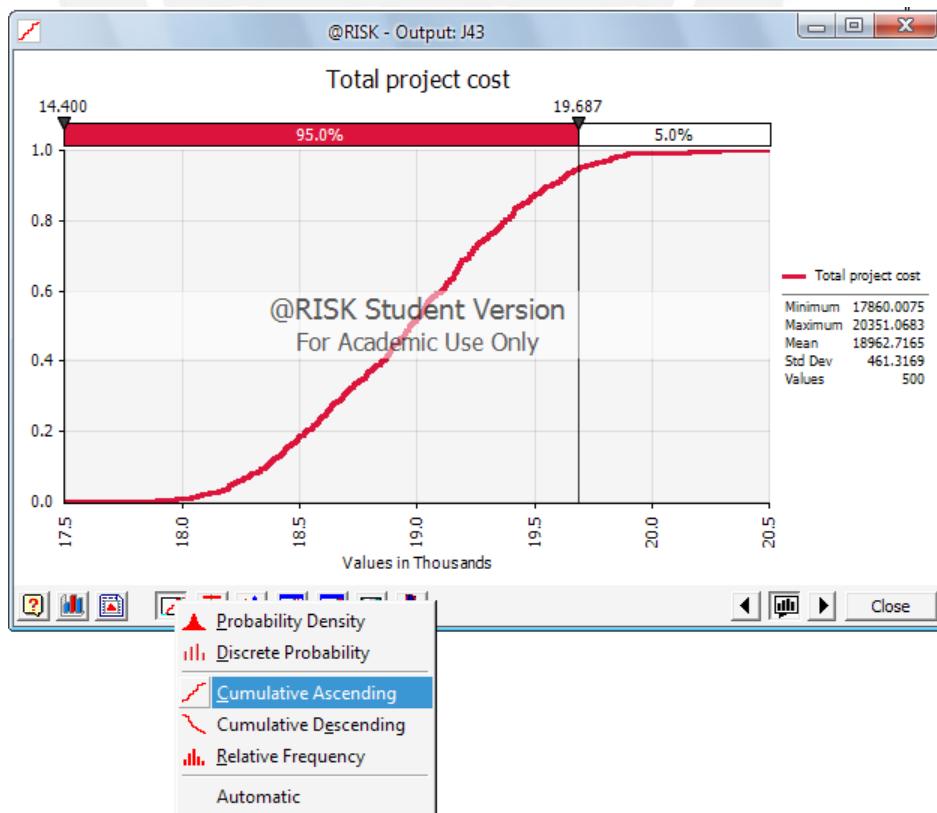
### 3. Visualización y Análisis de resultados



@RISK ofrece múltiples formas para visualizar los resultados. El modelo predeterminado es la presentación de histogramas que se ha generado a partir de la simulación, como se puede apreciar en el gráfico de la página anterior. Debajo del encabezado se puede apreciar una barra con porcentajes:

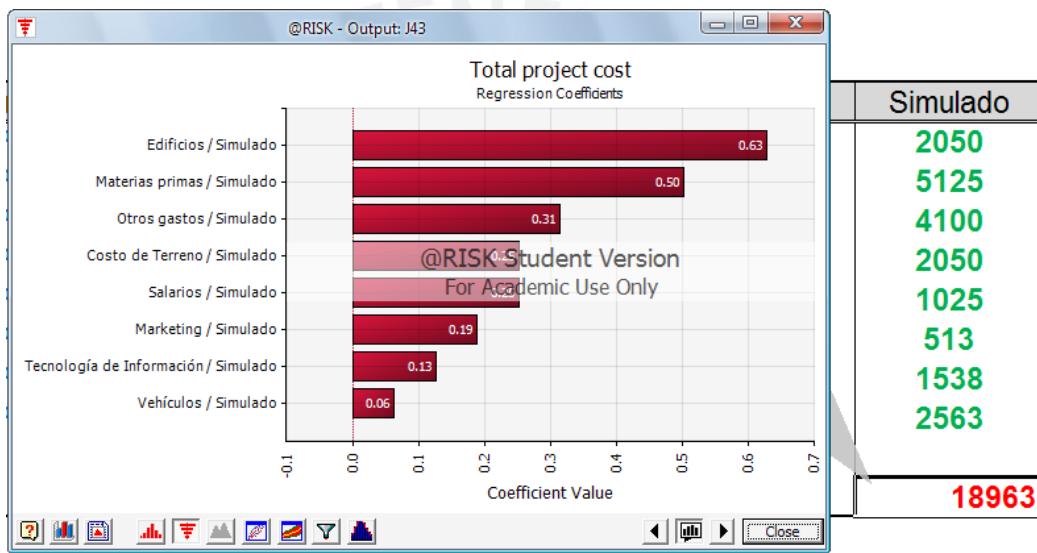


Esto quiere decir que el 90% de los casos el presupuesto total oscila entre \$18.211 y \$19.687. Asimismo, al costado del gráfico se indica que la Media es de \$18.962. Una forma bastante útil de visualizar la resultante probabilística es el gráfico de probabilidad acumulada ascendente, tal como se ve a continuación:



Podemos concluir con este gráfico que para asegurar el presupuesto con un 95% de confianza (probabilidad acumulada) se necesita de \$19687. Este monto sobrepasa en \$1187 al costo base. El resultado de este análisis, en este caso, es que “se necesita una contingencia de \$1187 para cumplir el presupuesto con un 95% de confianza”.

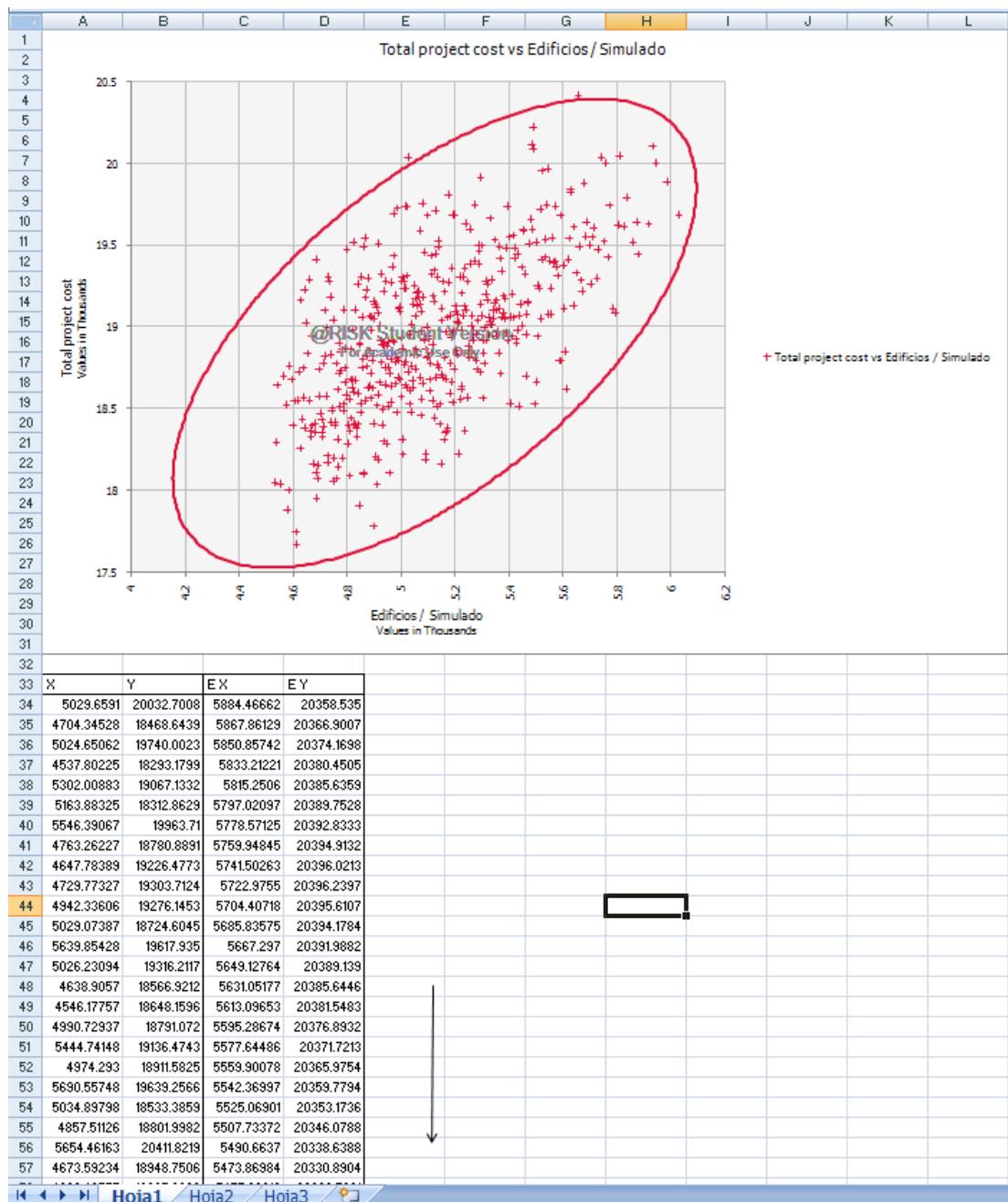
También se puede visualizar los coeficientes de regresión de cada variable para el costo total. Estos coeficientes nos indican qué tanto influye cada variable con un coeficiente ponderado que varía del 0 al 1. Mientras mayor sea el coeficiente, mayor será su impacto en la sumatoria total.



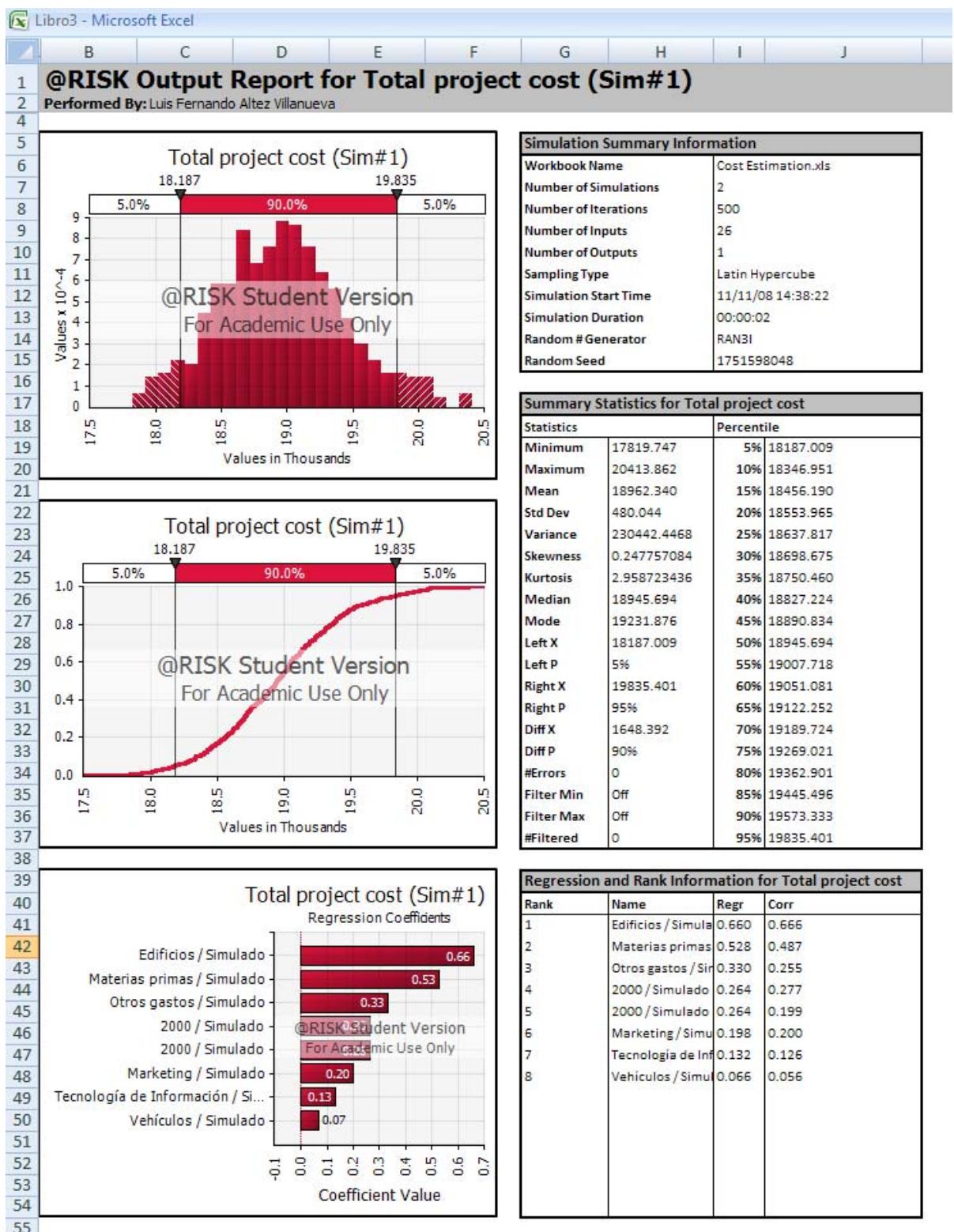
Se pueden obtener detalles estadísticos como máximos y mínimos de cada variable, desviaciones estándar, media, varianza, moda y los percentiles cada 5%.

Asimismo, el software permite visualizar el *sampling* o muestreo de cada variable versus el costo total, en un gráfico de dispersión en 2D. Como se sabe, el proceso de muestreo toma valores al azar dentro del rango definido, y se asigna un valor de acuerdo a la distribución de probabilidad escogida.

Los resultados se exportan en Excel. En este caso, se ve el ploteo de costo de edificios vs. Costo total del proyecto, y se adjuntan los valores de cada iteración.

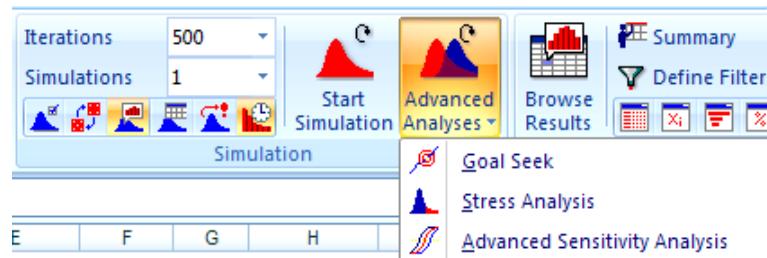


Finalmente, se puede generar un reporte en Excel que resume todo lo mencionado anteriormente, haciendo click en el botón *Excel reports*.

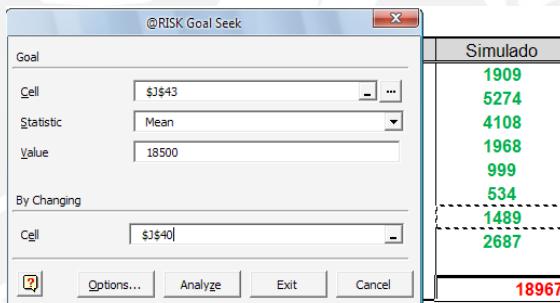


El software permite además realizar tres tipos de análisis avanzados, que son:

- Búsqueda objetivo (*Goal seek*)
- Análisis de Tensión (*Stress Analysis*)
- Análisis de Sensibilidad avanzado (*Advanced Sensitivity Analysis*)



La función **Goal Seek** resulta muy similar a la función 'buscar objetivo' de Excel pero la diferencia es que en @RISK se utilizan múltiples simulaciones (no los cálculos determinísticos que utiliza Excel) para conseguir los resultados deseados.



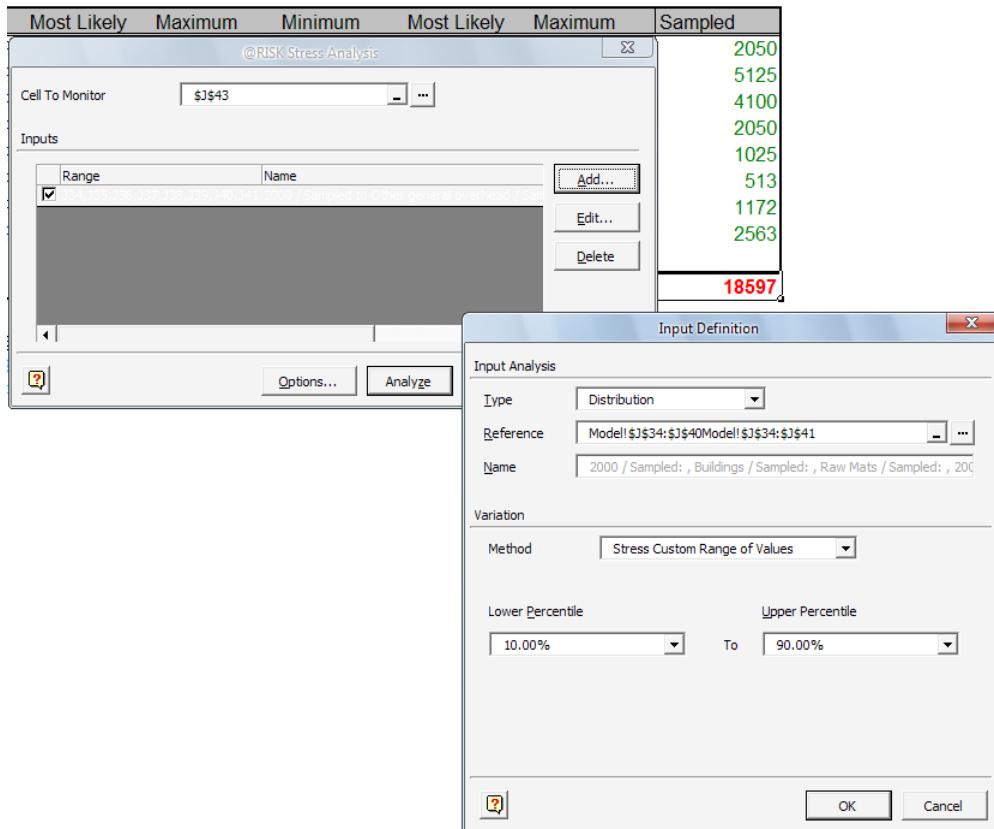
Para el caso del ejemplo, va a buscarse un valor de costo base para 'Marketing' (celda C40, que inicialmente vale \$1500), con tal que la sumatoria total (celda J43) sea de \$18500. Luego de aplicar la función *Goal seek*, obtenemos lo siguiente:

Cost elements	Base case \$	Minimum	Most Likely	Maximum	Minimum	Most Likely	Maximum	Sampled
Land	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	2050
Buildings	5000	90%	100%	125%	4500	5000	6250	5125
Raw Mats	4000	90%	100%	125%	3600	4000	5000	4100
Salaries etc	2000	90%	100%	125%	1800	2000	2500	2050
IT	1000	90%	100%	125%	900	1000	1250	1025
Vehicles	500	90%	100%	125%	450	500	625	513
Marketing	1143	90%	100%	125%	1029	1143	1429	1172
Other general overhead	2500	90%	100%	125%	2250	2500	3125	2563
<b>Total</b>	<b>18143</b>							<b>18597</b>

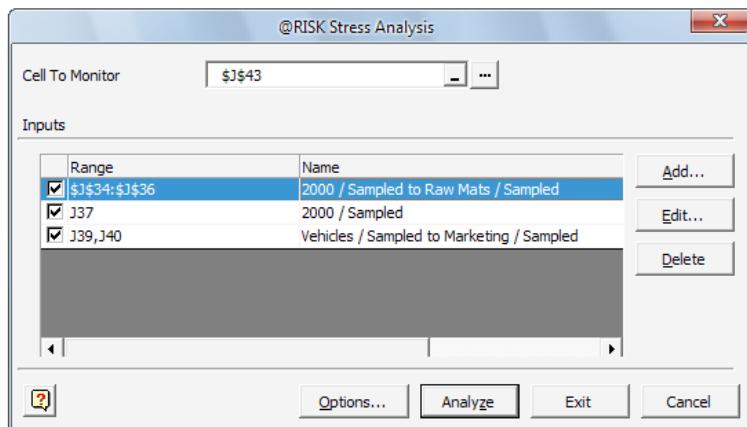
Como vemos, el resultado ha vuelto a hacer nuevas iteraciones con las demás variables. Se observa que el nuevo costo base obtenido para Marketing es de \$1143, con la finalidad de que la nueva media del costo total simulado se aproxime a \$18500. En este caso, por el número de iteraciones escogido (100), el valor de la media ha sido de \$18587, representando un error pequeño de \$87 (equivale a 0.47% del monto deseado).

Esta herramienta es sumamente potente porque nos permite hacer el cálculo probabilístico ajustándolo a una restricción, como puede ser por ejemplo el monto total disponible para invertir en un proyecto. Para esto, debemos ‘liberar’ una variable para que el software pueda iterar y así pueda ajustar el dato solicitado.

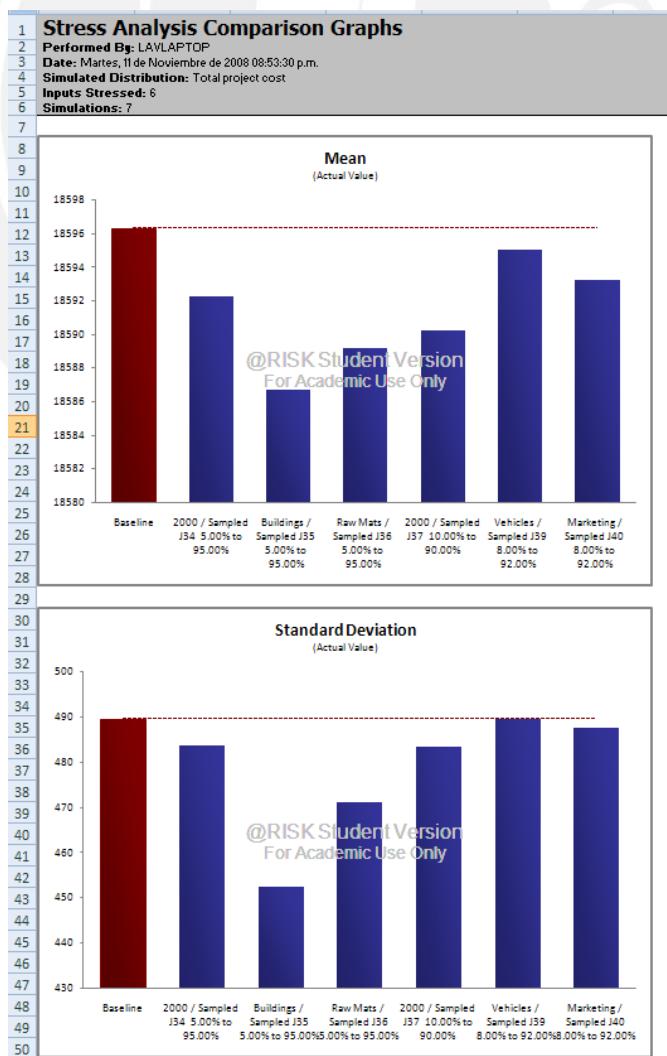
La función **Stress Analysis** o Análisis de Tensión consiste en mostrar diferentes escenarios instantáneamente. Permite analizar los efectos de ajustar distintos valores percentiles entre las muestras que se están tomando durante la simulación. Una vez que se especifican los valores extremos de las entradas o inputs, se puede ver cómo las diferentes situaciones afectarían a la resultante. Entonces, se procesan y visualizan diferentes escenarios al mismo tiempo sin tener que cambiar el modelo. En el ejemplo, aplicamos la función a la celda J43 (resultante):



En este caso se va a configurar tres escenarios. El primero con las distribuciones de costo de terreno, costo de edificios y materias primas ajustadas entre los percentiles 5% y 95% originales, el segundo escenario con el salario ajustado entre los percentiles 10% y 90%, y el tercer escenario con los costos de vehículos y marketing ajustados entre los percentiles 8% y 92%.



Se hace click en *Analyze* y se obtienen los siguientes resultados:



Se puede apreciar que la variación de la distribución dentro de los percentiles definidos en todas las variables sí afecta a la resultante original, o *baseline*. Vemos en el primer gráfico de que la variación más grande ha sido en el rubro de *buildings* o edificaciones, y la menor en el rubro de vehículos. Esto se debe al nivel de incidencia que tienen sobre el monto total.

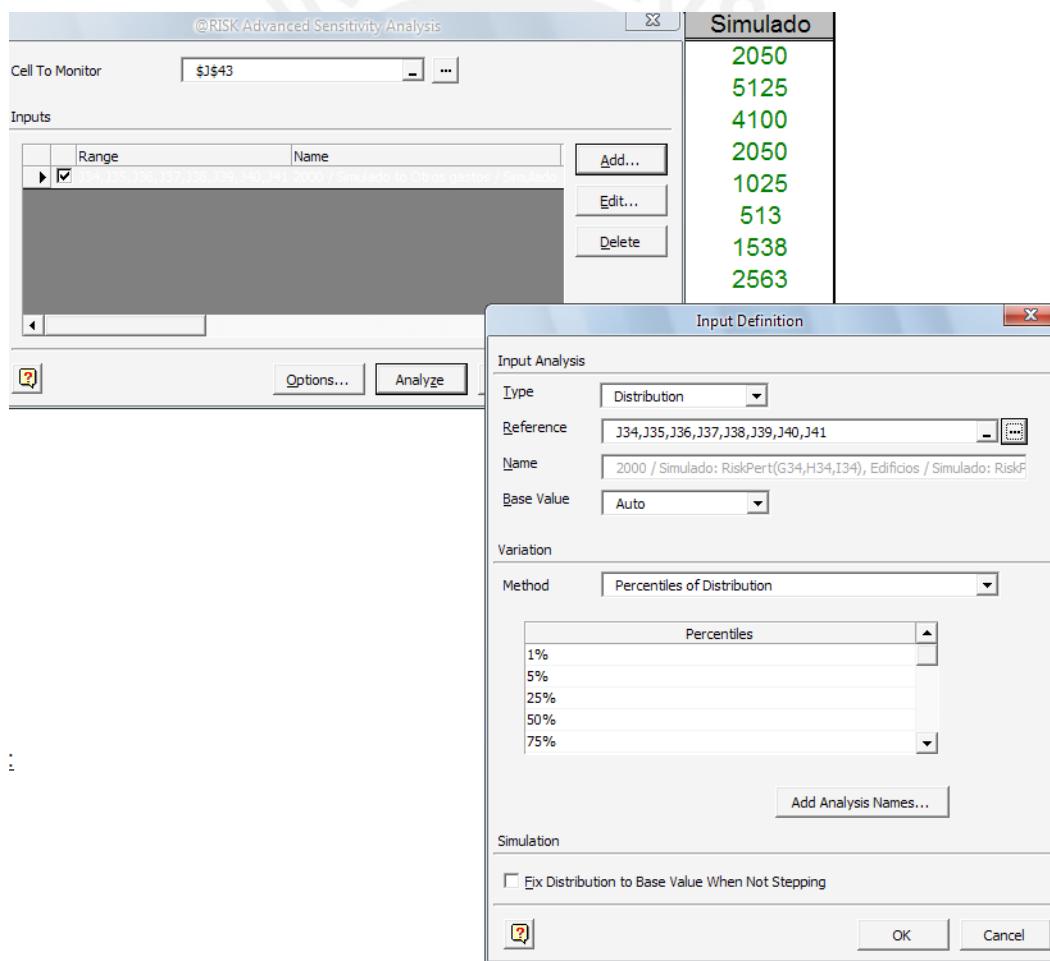
Se aprecia también que todas las resultantes han bajado su valor en todos los escenarios con respecto al original. Esto se debe en este caso a que la distancia entre el valor más probable y el valor mínimo de cada variable siempre ha sido menor que la distancia entre el valor más probable y el valor máximo. Entonces, al reducir la amplitud de las distribuciones en los percentiles especificados anteriormente, la media se ha movido ligeramente hacia la izquierda, con un cambio casi imperceptible como se puede apreciar.

	B	C	D	E	F							
1	<b>Stress Analysis Summary</b>											
2	Performed By:	LAVLAPTOP										
3	Simulated Distribution:	Total project cost										
4	Inputs Stressed:	6										
5	Simulations:	7										
6												
7	Input											
8	Name	Book	Sheet	Cell	Stress Analysis							
9	(none)	(none)	(none)	(none)	baseline							
10	2000 / Sampled	Cost Estimator Model		\$J\$34	5.00% to 95.00%							
11	Buildings / Sample Cost Estimator Model			\$J\$35	5.00% to 95.00%							
12	Raw Mats / Sample Cost Estimator Model			\$J\$36	5.00% to 95.00%							
13	2000 / Sampled	Cost Estimator Model		J37	10.00% to 90.00%							
14	Vehicles / Sample Cost Estimator Model			J39	8.00% to 92.00%							
15	Marketing / Sample Cost Estimator Model			J40	8.00% to 92.00%							
	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
	Output: Total project cost											
	Mean	Min	Max	Mode	Median	StdDev	Var	Kurtosis	Skewness%	5%	95%	
►	18596.3024	17624.31244	19777.20041	18318.04314	18561.49028	489.4869312	239597.4558	2.480199002	0.18585647	17820.66511	19373.7252	
	18592.23389	17640.05515	19786.85525	19126.3131	18542.90877	483.510872	23782.7633	2.506413114	0.206665975	17813.04946	19388.10821	
	18586.69117	17705.63571	19603.87594	18915.29846	18551.62322	452.3583649	204628.0903	2.267594676	0.093778645	17854.48371	19323.156	
	18589.1316	17602.8123	19743.55839	18294.19331	18538.27725	470.9629264	221806.078	2.631071774	0.195755063	17836.76218	19363.3208	
	18590.23041	17656.80435	19776.98205	18589.67592	18566.83478	483.4833557	233756.1553	2.48431618	0.172731159	17837.85082	19295.67537	
	18595.01204	17632.50293	19783.29247	19093.98135	18558.36253	489.4896094	239600.0777	2.488243716	0.196346895	17822.24438	19378.48958	
	18593.24466	17627.22809	19783.11459	19014.0125	18554.00123	487.4678715	237624.9258	2.481643145	0.212596525	17819.71883	19381.00029	



Finalmente, la función **Advanced Sensitivity Analysis** o Análisis de Sensibilidad Avanzada permite determinar la sensibilidad o efecto a la variación de los inputs o entradas en el modelo resultante. Con esta herramienta se puede jugar con cualquier cantidad de funciones de distribución de probabilidad o celdas de datos estáticas y, además, proporciona la información de qué tan sensibles son a los cambios, tal como se explicó anteriormente. La ventaja que posee esta herramienta en @RISK es que permite incorporar diferentes tipos de informes y exportarlos a Excel.

Para aplicar esta función en el ejemplo, hacemos click en **Advanced Sensitivity Analysis** y colocamos en el campo *cell to monitor* la celda J43, que corresponde a la celda donde figura la resultante de la simulación.



A continuación se ingresan los inputs, tal como se ve en la imagen. El método de variación seleccionado son percentiles de distribución, aunque otras alternativas son: porcentaje de cambios del valor base, tabla de valores y simulación por valores desde un rango definido.

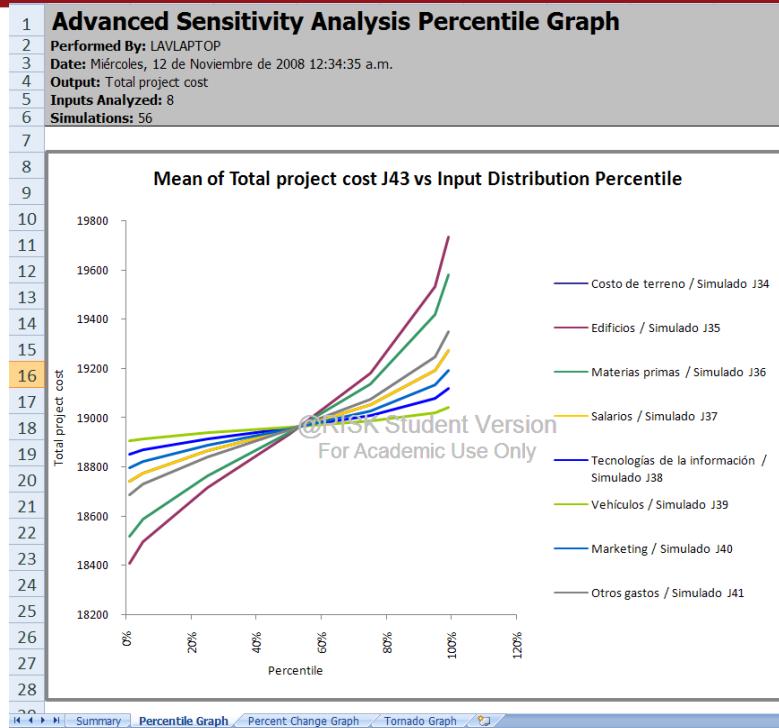
Una vez que se han definido los parámetros e inputs de la función, se hace click en *Analyze*. Luego de esperar unos segundos, la corrida genera cuatro informes para el análisis de sensibilidad, los cuales se describen a continuación.

El primero es el reporte resumen del análisis de sensibilidad, donde se muestran los valores generados por la simulación y sus parámetros estadísticos. En este caso, el análisis se ha limitado en probar cada variable con los percentiles 1%, 5%, 25%, 50%, 75%, 95% y 99%, generando así 7 valores posibles para cada variable iterada con la resultante (en el cuadro el valor de la variable figura en la columna *value* y la resultante figura en la columna *mean*).

<b>Advanced Sensitivity Analysis Summary Report</b>											
1	Performed By: LAVLAPTOP										
2	Output: Total project cost										
3	Inputs Analyzed: 8										
4	Simulations: 56										
5											
6											
7	Input										
8	Output: Total project cost										
9	Name	Book	Sheet	Analysis	Value	Mean	Min	Max	Mode	Median	5%
10	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 1%	1828.38101	18740.88824	17818.43217	19694.88267	18253.06039	18795.97722	18011.97981
11	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 5%	1863.015865	18775.5231	17853.06702	19729.51753	18287.69525	18830.61207	18046.61466
12	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 25%	1951.244929	18863.75216	17941.29609	19817.74659	18375.92431	18918.84114	18134.84373
13	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 50%	2038.25886	18950.76609	18028.31002	19904.76052	18462.93824	19005.85507	18221.85766
14	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 75%	2137.487231	19049.99446	18127.53839	20003.98889	18562.16661	19105.08344	18321.08603
15	Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 95%	2277.392149	19189.89938	18267.44331	20143.89381	18702.07153	19244.98836	18460.99095
16	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 1%	4570.952526	18409.00192	17589.31663	19281.04746	18680.75618	18402.93759	17814.69911
17	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 5%	4657.539663	18495.58906	17675.90377	19367.6346	18767.34332	18489.52473	17901.28625
18	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 25%	4878.112322	18716.16172	17896.47642	19588.20726	18987.91598	18710.09739	18121.85891
19	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 50%	5095.647118	18933.69654	18114.01125	19805.74208	19205.45081	18927.63222	18339.39373
20	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 75%	5343.718076	19181.76747	18362.08218	20053.81301	19453.52173	19175.70314	18587.46466
21	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 95%	5693.480373	19531.52977	18711.84448	20403.57531	19803.28403	19525.46544	18937.22696
22	Edificios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 99%	5895.678318	19733.72771	18914.04242	20605.77325	20005.48198	19727.66338	19139.4249
23	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 1%	3656.76202	18519.14358	17747.92949	19478.81934	18451.13445	18495.72165	17895.66271
24	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 5%	3726.031731	18588.41329	17817.1992	19548.08905	18520.40416	18564.99136	17964.93242
25	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 25%	3902.489885	18764.87141	17993.65732	19724.54718	18696.68223	18741.44948	18141.39055
26	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 50%	4076.51772	18938.89928	18167.68519	19898.57504	18870.89015	18915.47735	18315.41841
27	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 75%	4274.974461	19137.35602	18366.14193	20097.03179	19069.34689	19113.93409	18513.87515
28	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 95%	4554.784299	19417.16586	18645.58176	20376.84162	19349.15673	19393.74393	18793.68499
29	Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 99%	4716.542654	19578.92421	18807.71012	20538.59998	19510.91508	19555.50228	18955.44335
30	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 1%	1828.38101	18741.26132	17739.71659	19675.44483	18768.89999	18768.89141	17861.55462
31	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 5%	1863.015865	18775.89617	17774.35144	19710.07969	18803.53476	18803.52627	17896.18947
32	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 25%	1951.244929	18864.12523	17862.58051	19798.30875	18891.76382	18891.75533	17984.41854
33	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 50%	2038.25886	18951.13917	17949.59444	19885.32268	18978.77775	18978.76926	18071.43247
34	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 75%	2137.487231	19050.36754	18048.82281	19984.55105	19078.00612	19077.99763	18170.66084
35	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 95%	2277.392149	19190.27245	18188.72773	20124.45597	19217.91104	19217.90255	18310.56576
36	Salarios / Simulad. Cost Estimator Model			Perc%: 99%	2358.271327	19271.15163	18269.6069	20205.33515	19298.79022	19298.78173	18391.44493
37	Tecnologías de la I Cost Estimator Model			Perc%: 1%	914.1905051	18852.00427	17780.95132	19768.20262	18941.60608	18897.48937	18123.93153
38	Tecnologías de la I Cost Estimator Model			Perc%: 5%	931.5079327	18869.3217	17798.26875	19785.52005	18958.9235	18914.80679	18141.24896
39	Tecnologías de la I Cost Estimator Model			Perc%: 25%	975.6224645	18913.43623	17842.38328	19829.63458	19003.03804	18958.92133	18185.36349
40	Tecnologías de la I Cost Estimator Model			Perc%: 50%	1019.12943	18956.94319	17885.89025	19873.14155	19046.545	19002.42829	18228.87046
41	Tecnologías de la I Cost Estimator Model			Perc%: 75%	1068.743615	19006.55738	17935.50443	19922.75573	19096.15919	19052.04248	18278.48464

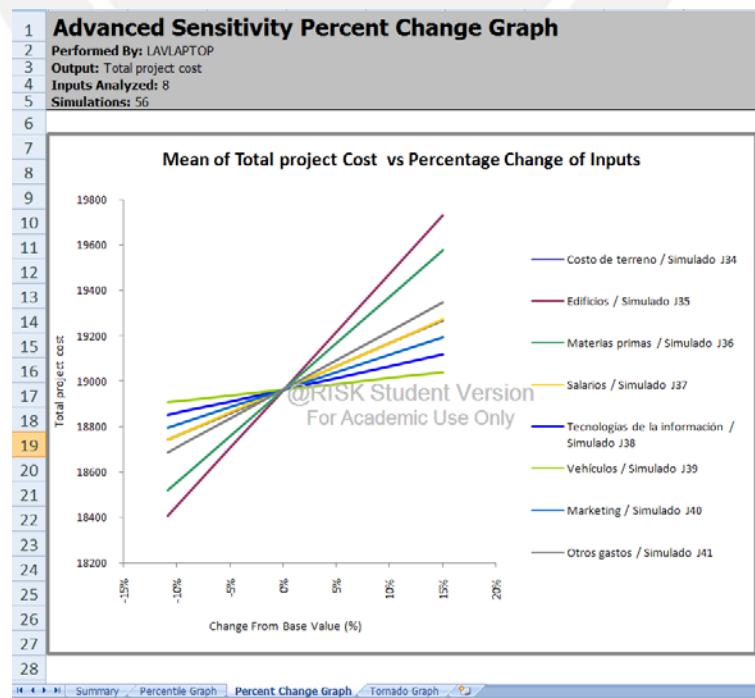
El software también presenta dos gráficos de percentiles: el gráfico de análisis de percentiles, y el gráfico de cambios porcentuales. El primero nos grafica, para cada variable, la media del Costo Total del proyecto versus la distribución de la variable determinada según los percentiles ya mencionados.

#### Gráfico de Análisis de percentiles



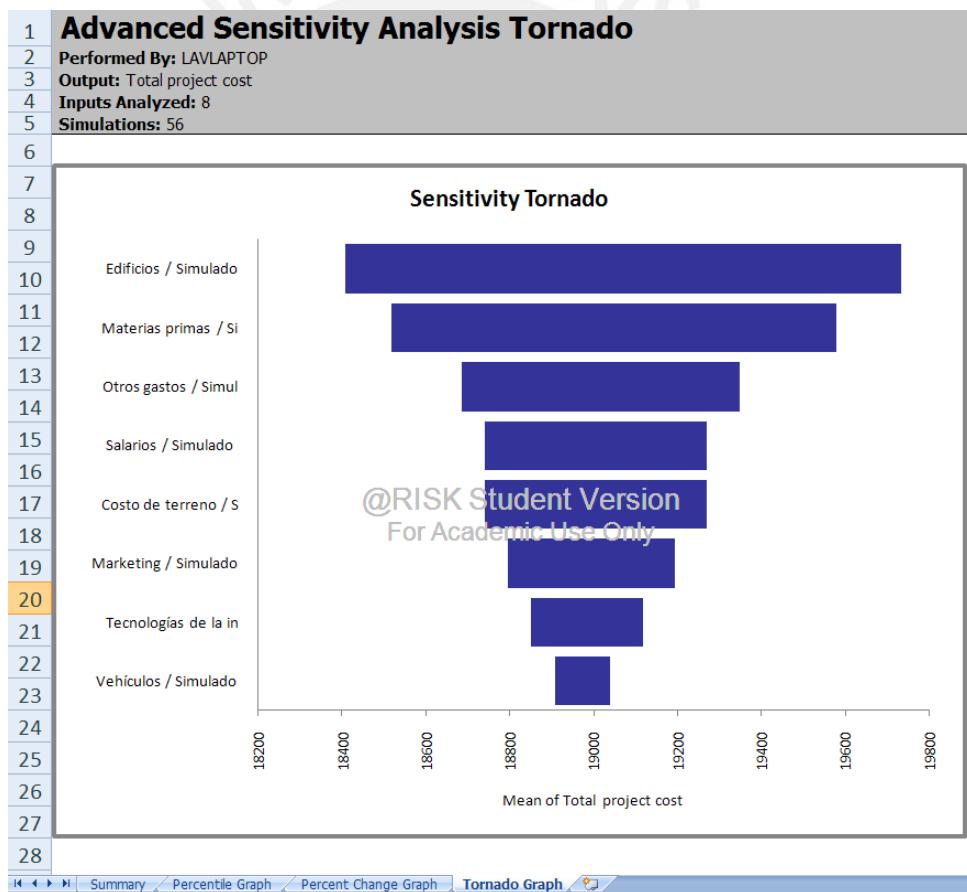
De este gráfico podemos deducir que las variables Edificios y Materias primas son más sensibles al costo total del proyecto, especialmente cuando sus valores alcanzan tanto percentiles bajos como altos. La variable con menor incidencia es la de Vehículos.

#### Gráfico de Cambios porcentuales



En el gráfico de cambios porcentuales se observa la incidencia por cambios porcentuales en las variables evaluadas. En este caso no se ha ploteado la simulación en el gráfico como en el gráfico de análisis de percentiles donde se considera la distribución de cada variable, sino que se grafica determinísticamente la pendiente de la resultante total (en este caso la media del costo total del proyecto) en función a las variables, que en este ejemplo son proporcionales y en primer grado, lo cual genera líneas rectas. Vemos que son más sensibles las variables de costo de edificios y materias primas, y las menos sensibles son tecnologías de la información y vehículos.

Por último, el análisis de sensibilidad muestra otra forma de visualizar los resultados, mediante el gráfico de tornado.



Este gráfico resulta interesante porque muestra la sensibilidad en forma de barras a diferencia de los gráficos de percentiles, donde la sensibilidad se visualiza con pendientes. En el caso del gráfico tornado, a mayor longitud de barra, mayor la sensibilidad de la variable. En el ejemplo, se ve que la variable edificios es más sensible para alcanzar valores altos de la resultante que para valores bajos.

## Conclusiones y recomendaciones

El análisis de riesgos por medio de la simulación de Monte Carlo puede ser una herramienta poderosa para la evaluación de riesgos, tanto para estimación de costos como para la estimación de tiempos. Sin embargo, esto solo es posible si se hace una adecuada identificación de riesgos. El programa no halla números mágicos, sino se basa en la información de entrada para hacer los cálculos probabilísticos. En realidad, depende mucho de la calidad de estimación de los valores de entrada o input para poder tener buenas estimaciones usando el software.

Una gran ventaja que tiene la simulación de Monte Carlo es que complementa perfectamente a la gestión de riesgos en la construcción, no sólo en los análisis cuantitativo y cualitativo, sino también para la gestión de respuesta a los riesgos. Por ejemplo, si se encuentra que el costo de un elemento excede lo que se ha establecido como máximo, se decide mitigar ese riesgo como plan de respuesta y se decide entonces buscar alternativas para esa partida.

Se destaca de esta herramienta el análisis de sensibilidad, que sirve para básicamente priorizar la acción en la gestión de riesgos para las partidas más sensibles de un proyecto. Entonces, sirve como herramienta de seguimiento y control de riesgos.

Cabe señalar que el programa sólo es una herramienta, por lo que los datos obtenidos deben ser tratados como medios para hacer un posterior análisis y llegar a una decisión y no tomar directamente los valores como ciertos. El gerente de proyecto debe tener una adecuada experiencia y criterio para determinar los valores máximos y mínimos permisibles para asegurar la calidad de información que se procese en esta herramienta.

Por último, es importante recordar que todo proyecto es un proceso dinámico, por lo que queda a juicio del gerente del proyecto evaluar si es necesario hacer las simulaciones en diferentes etapas del proyecto, pues las variables pueden haber cambiado sus condiciones, o bien porque pueden introducirse nuevos riesgos o simplemente surgen nuevos escenarios que necesitan ser simulados para tomar una adecuada decisión.

## Anexo IV



## Anexo IV

## Características y Modos de Uso del Sistema de Registro de Riesgos RiskLog

### IV. 1. Características

Las características del sistema RiskLog son las siguientes:

- 1. Diseño y versatilidad.** RiskLog está diseñada en una hoja de cálculo instalada en una plataforma web (Google Docs) y es accesible desde internet a través de [www.risklog.net](http://www.risklog.net). A este sistema cerrado de comunicaciones, o intranet, pueden ingresar todos los usuarios que tengan el acceso autorizado por el gerente del proyecto. Cualquier modificación hecha queda registrada en el sistema, indicando cuándo se hizo y por quién se hizo. Además, la plataforma web se actualiza automáticamente cada 5 minutos, por lo que los usuarios siempre van a contar con la última información disponible. Otra gran ventaja es que el acceso a la plataforma web se puede hacer no sólo desde la oficina, sino desde cualquier lugar. Sólo basta contar con un celular o dispositivo móvil con acceso a internet.

2. **Información precisa.** El Sistema de Registro de Riesgos debe contener información concisa sobre los riesgos. La información de registro de riesgos que se considera importante en RiskLog se compone de lo siguiente:

Código único de Identificación de Riesgo (ID). A cada riesgo se le asigna un código único para una rápida referencia. Este código es alfanumérico, donde las letras corresponden a las letras iniciales de las categorías a las que el riesgo corresponde. Seguidamente, se coloca el número de riesgo. En esta herramienta, esta función se genera automáticamente al ingresar como datos los siguientes parámetros:

*Naturaleza de riesgo:* Si es riesgo interno (I) o externo (E).

*Impacto:* Si afecta al costo (C), tiempo (T), calidad (Q) o a los recursos humanos (H). En este último caso se deben incluir a los riesgos dentro de la organización o equipo de proyecto, como a los riesgos de seguridad industrial.

Por ejemplo, si el riesgo fuera “variación del tipo de cambio afectaría el presupuesto”, su código sería: E-C-1.001 (E: riesgo externo; C: afecta al costo; 1: número de proyecto, 001: numeración automática).

Otro ejemplo: Si el riesgo fuera “el rendimiento de los operarios albañiles estaría por debajo de lo planificado”, entonces el código sería: I-CT-1.003 (I: riesgo interno; C: afecta el costo del proyecto; T: afecta el tiempo de término).

Fecha de registro de riesgo. Es la fecha en que cualquier miembro del equipo de proyecto ingresa por primera vez los datos de un riesgo que afecte al proyecto.

Nombre de la persona de ingresó el riesgo. Se deben colocar las letras iniciales del nombre de la persona que efectúa el ingreso del riesgo.

Historial de modificaciones / revisiones. Esta característica solo es accesible por el gerente de proyecto, en la que monitorea la participación del equipo de proyecto.

Categorías de riesgo. En este espacio deben colocarse en qué etapa del proyecto aplica el riesgo (concepción, diseño, planificación, ejecución, etc.), y qué tipo de gestión es el que se va a aplicar (aceptados, adoptados, evitados o transferidos).

Descripción del riesgo. Es importante que la descripción del riesgo sea al mismo tiempo breve e informativa. Siempre debe ser una oración expresada en condicional, ya que no se sabe con certeza si ocurrirá o no.

Probabilidad, Impacto y Vulnerabilidad. Estos componentes son cruciales para la determinación de la peligrosidad del riesgo. En este caso, propone establecer la escala del 1 al 10 para el impacto y la probabilidad, y el producto de ambos genera el valor de la vulnerabilidad. Éste es representado con un color de acuerdo al rango de valores establecido en el siguiente cuadro:

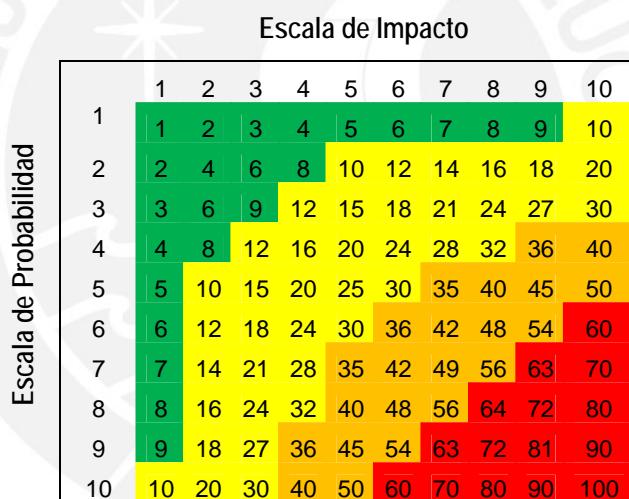


Figura IV.1. Matriz de valores y escala de colores de la Vulnerabilidad.

Leyenda:

 Bajo       Medio       Alto       Muy alto

Monitor de acciones preventivas y de contingencia. Esta característica consiste en mostrar el porcentaje de avance en la gestión del riesgo específico, así como la fecha tentativa de término. Además, tiene asignado un responsable, tanto para las acciones preventivas y de contingencia, pudiendo ser la misma persona si así lo establece el gerente de proyecto.

**3. Panel de Acciones.** Con esta característica el equipo de proyecto ingresa los planes de gestión de riesgos, tanto para prevención como para contingencia. Brinda información más detallada acerca de la gestión de riesgos: planificación, implementación y resultados. Asimismo, puede figurar información adicional como datos de contacto del responsable, enlaces externos a fotos, videos, etc.

Una de las funciones más importantes de este panel de acciones son los mensajes entre los miembros. El gerente de proyecto puede colocar información importante o instrucciones a los miembros del equipo de proyecto en un lugar en la plataforma web denominado *pizarra*, evitando así enviar correos individuales y centrando la comunicación en un solo lugar.

**4. Visualización de avance.** A través de RiskLog se puede visualizar el avance de la gestión de riesgos en las acciones preventivas y de contingencia mediante gráficos de barras, indicando el progreso en la planificación, implementación y resultados, bajo los parámetros o criterios que defina el gerente de proyecto.

En el anexo V se adjunta una hoja de cálculo que simula la herramienta propuesta.

#### IV.2. Modos de Uso

El sistema tiene tres modalidades básicas de uso:

- Registro de Riesgos,
- Visualización de datos, y
- Edición de datos.

El **Registro de Riesgos** se realiza llenando un formato diseñado especialmente para RiskLog, el cual se presenta a continuación:

## Sistema de Registro de Riesgos

Ingrese los datos para ingresar un registro.

\* Required

### Proyecto \*

Ingrese el código de proyecto

### Naturaleza de Riesgo \*

Indique si el riesgo es interno o externo.

- Interno
- Externo

### Tipo de Impacto \*

Indique a qué categoría(s) afectaría el riesgo si ocurriese.

- Costo
- Tiempo
- Calidad
- Recursos Humanos

### Registro por \*

Ingrese las iniciales de su nombre

### Etapa del Proyecto \*

Seleccione la(s) etapa(s) del proyecto en la que el riesgo es aplicable

- Concepción
- Diseño
- Planificación
- Contrataciones
- Ejecución
- Operación y Mantenimiento

### Tipo de Gestión \*

Seleccione el tipo de gestión de riesgo

- Evitar
- Absorber
- Mitigar
- Transferir

### Descripción del Riesgo \*

Ingrese una breve descripción del riesgo

### Probabilidad de ocurrencia \*

Nota: Este valor está sujeto a revisión y sustentación

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Muy bajo          Muy alto

### Impacto \*

Nota: Este valor está sujeto a revisión y sustentación

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Muy bajo          Muy alto

Figura IV.2. Formato de Registro de Riesgo propuesto en RiskLog. Fuente: El Autor.

Una vez que el formato se ha llenado, se pulsa *submit* y automáticamente se publica un nuevo registro de riesgo en la página principal de RiskLog.

Como ya se ha mencionado, el acceso al sistema se puede hacer desde cualquier dispositivo con acceso internet, y esto incluye también al registro de riesgos. Como es común, el proceso creativo para la identificación de riesgos suele desarrollarse durante reuniones de coordinación, ya sea en oficina o en obra; pero también muchas veces ocurre donde uno menos espera; por ejemplo, durante un recorrido de obra, durante una conversación, e incluso cuando se está de regreso a casa. El sistema de registro de riesgos de RiskLog está preparado para ello.

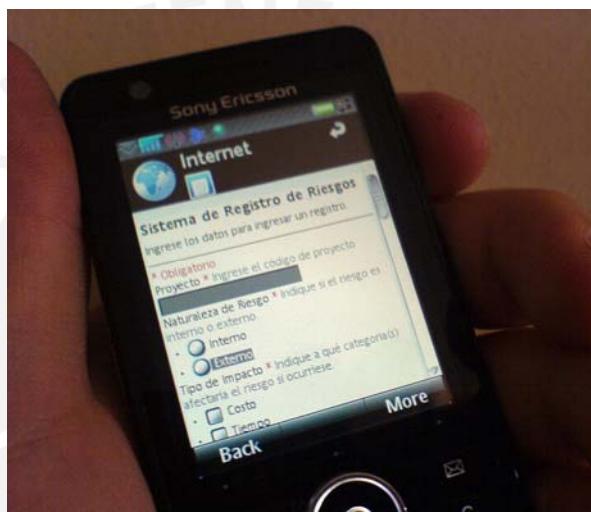


Figura IV.3. Acceso al Sistema de Registro de Riesgos de RiskLog desde un celular. Fuente: El Autor.

La Visualización de Datos comprende lo siguiente:

- Sistema de Registro de Riesgos (página principal). En esta página se muestra toda la información básica del registro de riesgos bajo la siguiente estructura:
  - Datos: Identificación; Fecha de registro; Persona que hizo el registro.
  - Categoría de riesgo: Por etapa de proyecto; Por tipo de gestión
  - Descripción de riesgo; Probabilidad; Impacto; Vulnerabilidad.
  - Monitor de Prevención: Responsable; Gestión (%); Fecha tentativa.
  - Monitor de Contingencia: Responsable; Gestión (%); Fecha tentativa.

Los enlaces o *links* para acceder a los distintos modos de visualización se encuentran en la parte superior, a manera de pestañas (Ver Anexo IV). Asimismo,

en la parte superior izquierda se muestra el *link* para acceder al formato de registro de riesgo.

- Panel de Prevención. En esta ventana se registran detalles de la gestión de riesgos para prevenirlos. Se incluye información acerca de la planificación, implementación, seguimiento y control en la prevención de riesgos, todo bajo un responsable, que no necesariamente fue el que registró el riesgo. La información a documentar en este espacio se compone de:
  - *Planificación (plan de prevención)*. Se señalan los lineamientos básicos y procedimientos para prevenir el riesgo, reduciendo su probabilidad de incidencia, impacto o ambas.
  - *Implementación*. Se indican las acciones hechas hasta el momento para prevenir el riesgo.
  - *Resultados*. Se indican los resultados obtenidos hasta el momento.
- Panel de Contingencia. Al igual que el panel de prevención, este panel contiene información acerca de la planificación, implementación y resultados en la contingencia de riesgos. Es decir, aquí se incluye información relevante acerca del actuar de la organización en caso de que el evento de riesgo llegase a ocurrir.
  - *Planificación (plan de contingencia)*. Se señalan los lineamientos básicos y procedimientos a seguir en caso de que el riesgo ocurriese, con la finalidad de reducir su impacto y evitar riesgos subsecuentes.
  - *Implementación*. Se indican las acciones hechas hasta el momento para la preparación en la contingencia de riesgos.
  - *Resultados*. Se indican los resultados obtenidos.

En ambos paneles y para los tres tipos de procesos (planificación, implementación, resultados) se indica un avance estimado expresado en porcentaje. Asimismo, como ya se ha mencionado, se incluye una columna llamada “pizarra”, que es un espacio donde el gerente de proyecto puede dejar mensajes, instrucciones o recomendaciones al responsable del seguimiento de un riesgo en particular. A continuación se brinda la imagen del panel de prevención de riesgos. (Ver en el anexo IV, página -58- la imagen del panel de prevención de riesgos).

- Gráficos: Nivel de Prevención y Nivel de Contingencia. Estos gráficos indican el porcentaje de avance establecido en los procesos de planificación, implementación y resultados tanto para la prevención de riesgos como para la contingencia, tal como se ve a continuación:



Figura IV.4. Imagen del gráfico: Nivel de Prevención, RiskLog. Fuente: El Autor.

En el eje vertical se tienen a los riesgos identificados con sus códigos, y en el eje horizontal se tiene el nivel de progreso en la planificación, implementación y resultados. Cada proceso se grafica en la escala del 0 al 1, es por eso que sumados llega a alcanzar como máximo el valor de 3. En caso de que un riesgo no tenga gráfico quiere decir que es aceptado, y por lo tanto es lógico que no tenga medidas para su prevención pero sí puede tener medidas de contingencia.

- Base de Datos. En esta página se registra la información llenada desde el formulario de registro de riesgo. Todas las demás páginas toman como referencia los valores añadidos en la base de datos para generar nuevas celdas, códigos, cálculo de vulnerabilidad, fecha de registro, entre otros.

Finalmente, el modo Edición de Datos brinda el acceso al modo de edición de documento a todo usuario que tenga la autorización dada por el administrador del sistema, que vendría a ser el gerente de proyecto o el encargado general de la gestión de riesgos. Para entrar al modo de edición, se debe hacer click en la esquina inferior derecha de la pantalla, en el link “editar esta página”.

Cabe señalar que toda modificación que se realice en el sistema queda grabada, por lo que el gerente de proyecto puede ver el historial de registro y modificación hecha por cada usuario. Incluso, es posible recuperar la información registrada con anterioridad en el sistema.

#### IV. 3. Recomendaciones de Uso

Con la finalidad de lograr un buen manejo de RiskLog, se recomienda seguir las siguientes pautas:

- Dado que el Sistema de Registro de Riesgos es un sistema en tiempo real, su revisión y análisis puede hacerse en cualquier momento. Si hay modificaciones o surge un nuevo riesgo identificado, lo apropiado sería registrarlo cuanto antes. Además, se recomienda hacer reuniones periódicas entre los miembros del equipo de proyecto para enriquecer las opiniones y lograr una mejor calidad de análisis y asignación de acciones.
- Todos los registros o actualizaciones deben incluir fecha, hora y persona que hace la modificación.
- La identificación de riesgos insertados en el sistema debe incluir una breve descripción del riesgo, del contexto y de las suposiciones que se asumen para considerarlo riesgo.
- En la etapa de análisis de riesgos, el gerente de proyecto debe asignar para cada riesgo un responsable. Esto tiene la finalidad de asegurar el cumplimiento al seguimiento y control de riesgos por parte de cada miembro del equipo de proyecto.
- No necesariamente la persona que agrega o modifica información en el registro es la responsable dar seguimiento al riesgo en particular; esta tarea debería compartida por todos los miembros del equipo de proyecto.
- Al registrar el riesgo, se registra también la probabilidad e impacto estimados. Lo recomendable es que la persona que ingresa dichos datos sustente al gerente de proyecto o al equipo de gestión de riesgos de qué modo ha calculado esos valores. Como se sabe por esta investigación, hay muchos métodos para estimar los valores, que bien pueden ser mediante los análisis cualitativo o cuantitativo de riesgos.

Finalmente, se puede afirmar que un sistema de registro de riesgos es una buena herramienta que puede complementar la gestión de riesgos en la construcción, ya que se puede adaptar al estilo de trabajo de muchas empresas donde los ingenieros, administradores y asistentes trabajan de manera dinámica y requieren de información confiable y actualizada. Y además, brinda la facilidad de hacer el seguimiento en vivo de la gestión de riesgos por parte del gerente de proyecto.

