

# 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).

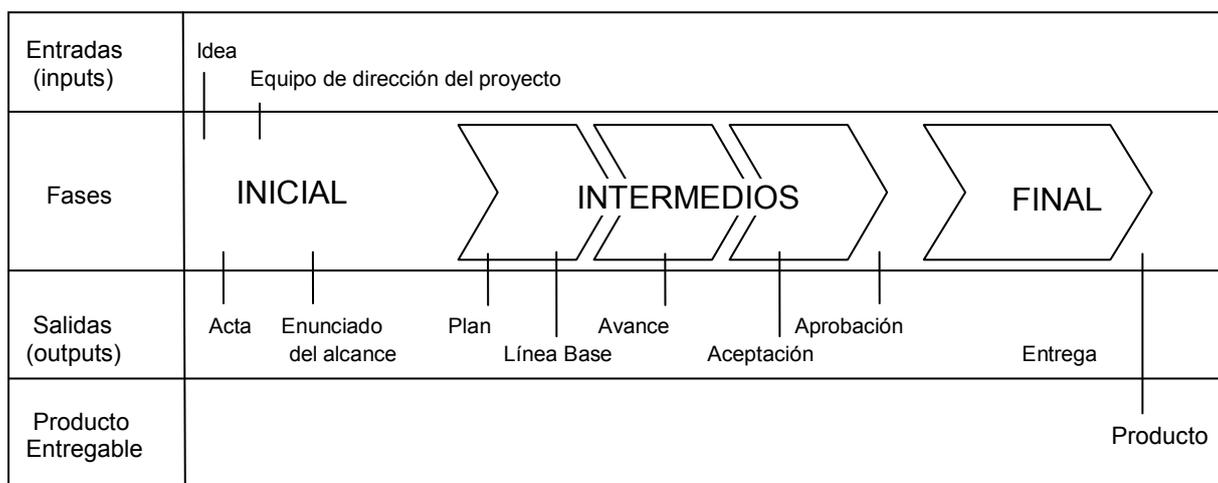
## I.2. El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas

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 o 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.

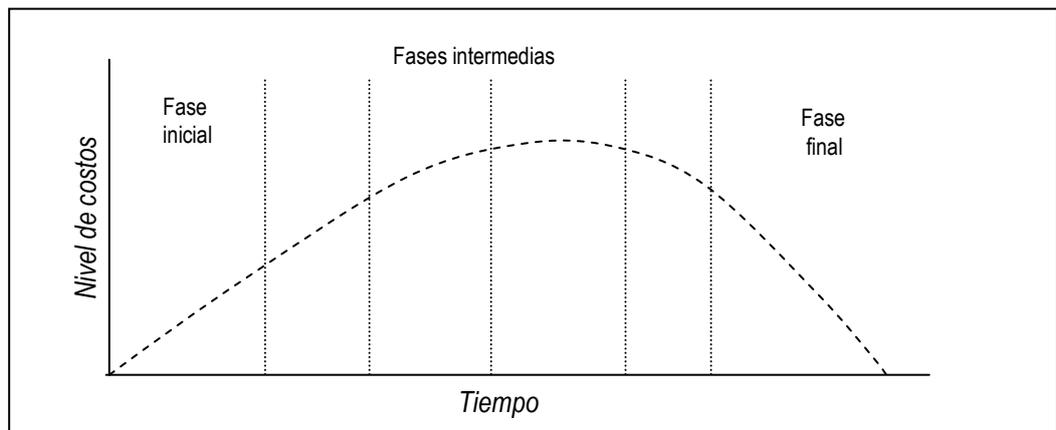
En términos generales, se puede graficar las etapas básicas de un proyecto de esta manera:



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.

<b>Etapas del Ciclo de Vida de un Proyecto</b>	<b>Problemática en los procesos</b>
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.

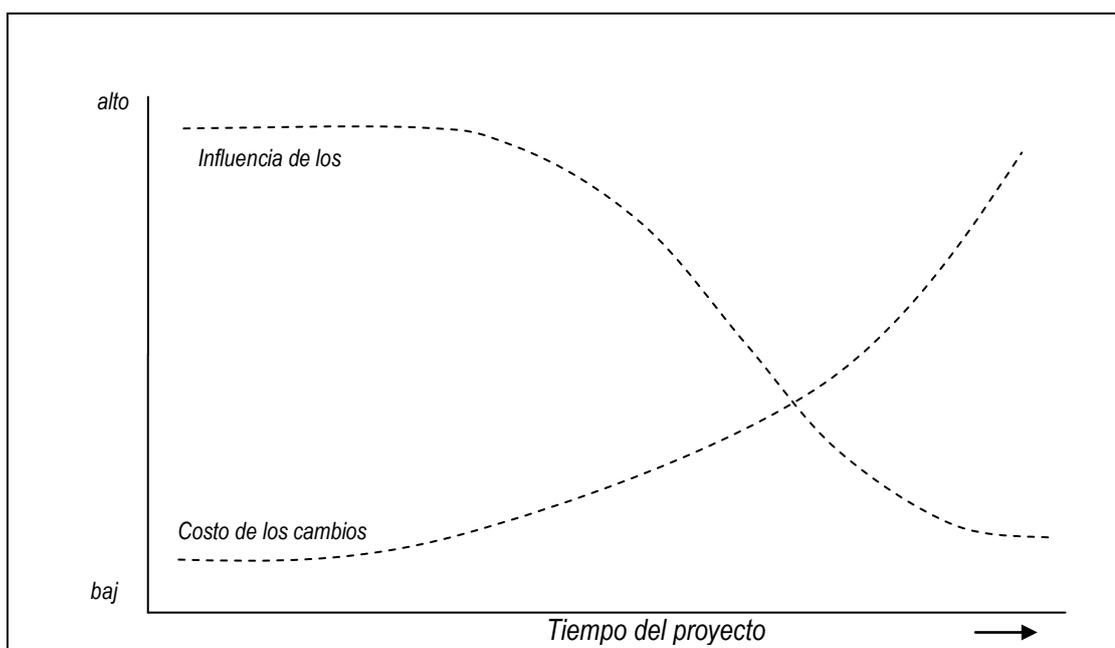
Los riesgos más comunes en la etapa de ejecución son la introducción de cambios en el diseño. Éstos pueden generar cambios en el cronograma y descuadrar la provisión de materiales y otros recursos, como puede ser la curva de ingreso de personal obrero. Un riesgo derivado sobre este punto es la disputa 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

## **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 encararan 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.

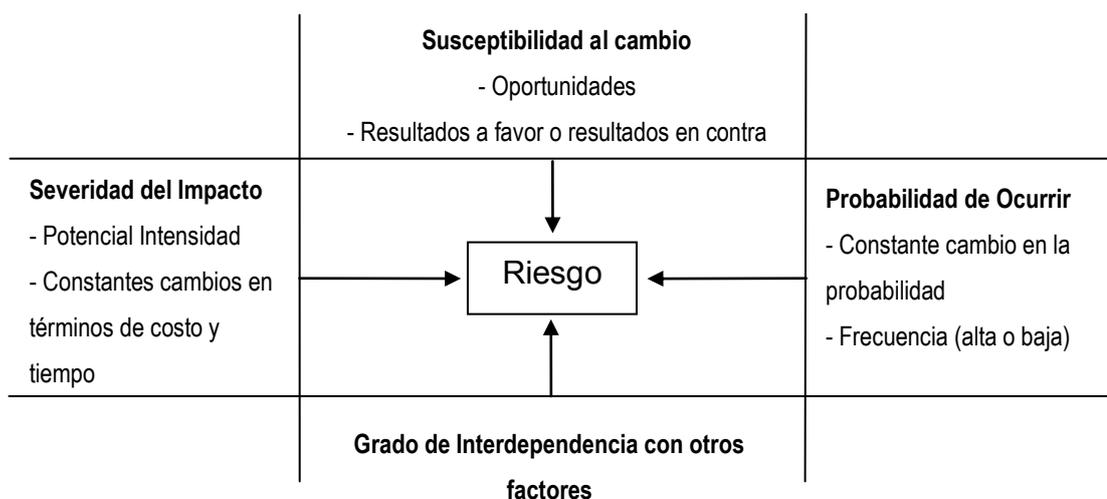


Figura II.1. Parámetros del riesgo (Allen, 1995)

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.

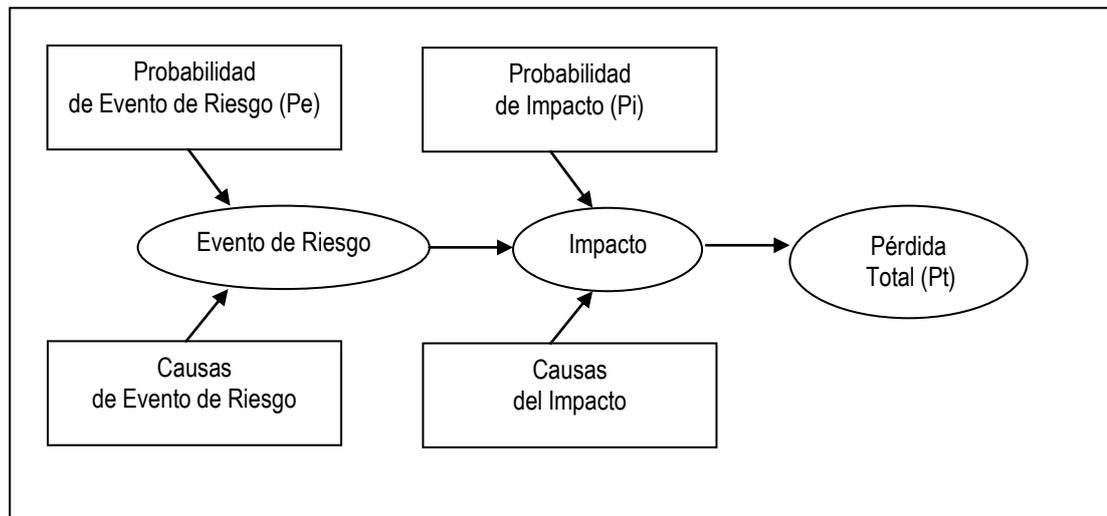


Figura II.2. Modelo de Riesgo según Fastrak Training (1996)

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:

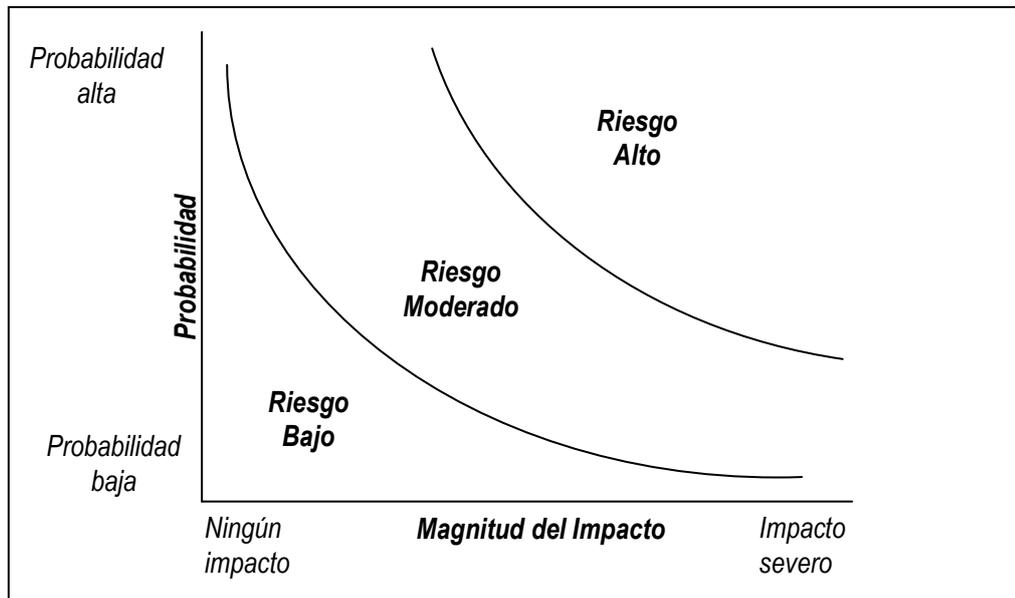


Figura II.3. Niveles de riesgo según su probabilidad e impacto (Rossi, 2006)

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 esta 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 Merrett 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>Incetidumbre</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 puede 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	<p><i>Costo</i></p> <p>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.</p>
2	<p><i>Cronograma</i></p> <p>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.</p>

3	<p><i>Calidad</i></p> <p>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.</p>
4	<p><i>Recursos Humanos</i></p> <p>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.</p>

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

1	<p><i>Riesgos aceptados</i></p> <p>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.</p>
2	<p><i>Riesgos mitigados</i></p> <p>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.</p>
3	<p><i>Riesgos evitados</i></p> <p>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.</p>
4	<p><i>Riesgos transferidos</i></p> <p>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.</p>

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><i>Riesgos asociados con los participantes o interesados</i></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><i>Riesgos asociados al diseño del proyecto</i></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><i>Riesgos asociados a los recursos materiales y humanos del proyecto</i></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><i>Riesgos asociados a los plazos o tiempos de entrega</i></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.

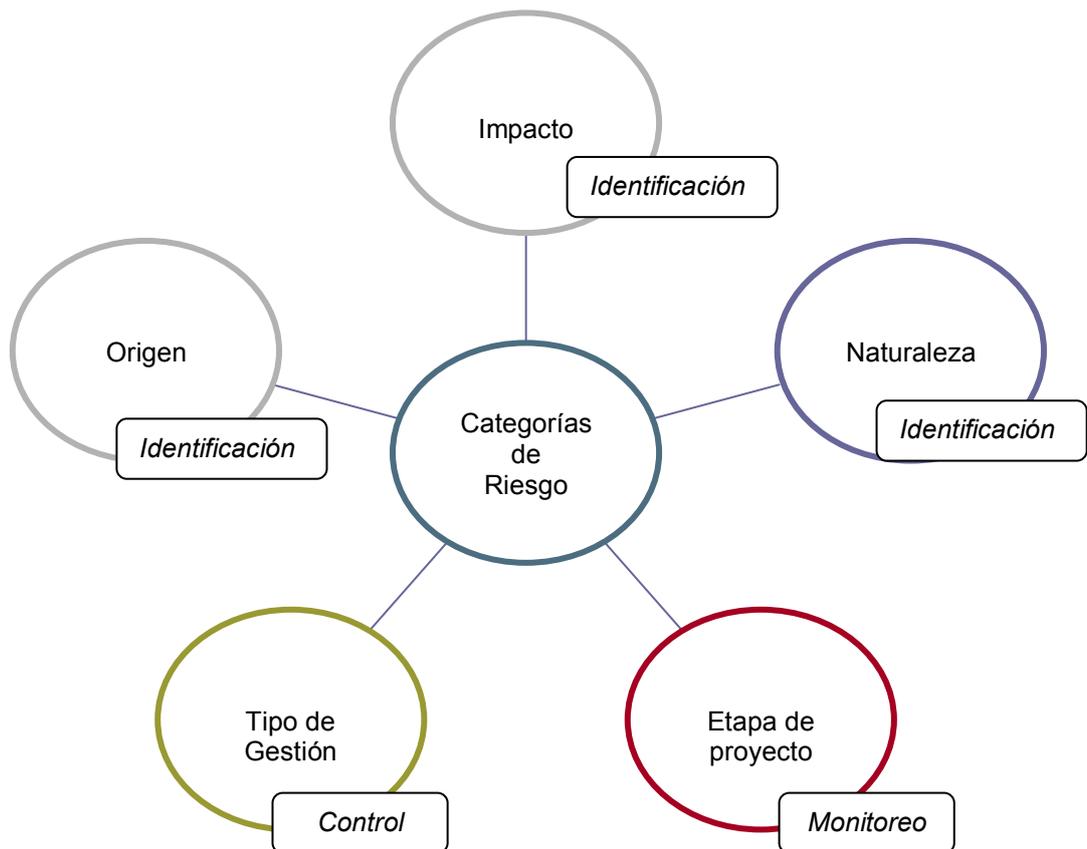


Figura II.5. Categorías de riesgo y su función en la Gestión de Riesgo. Fuente: El Autor.

## **Anexo III**

## **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 crítico 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 confianza (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 confianza 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**

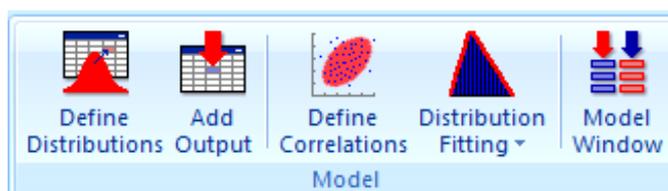
Se ha elegido el programa @RISK para hacer un ejemplo ilustrativo de simulación de Monte Carlo en la estimación de costos. Los pasos indicados en el siguiente procedimiento se limitan a la estructura del software, y están incluidos en el procedimiento general establecido por la ASTM.

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.

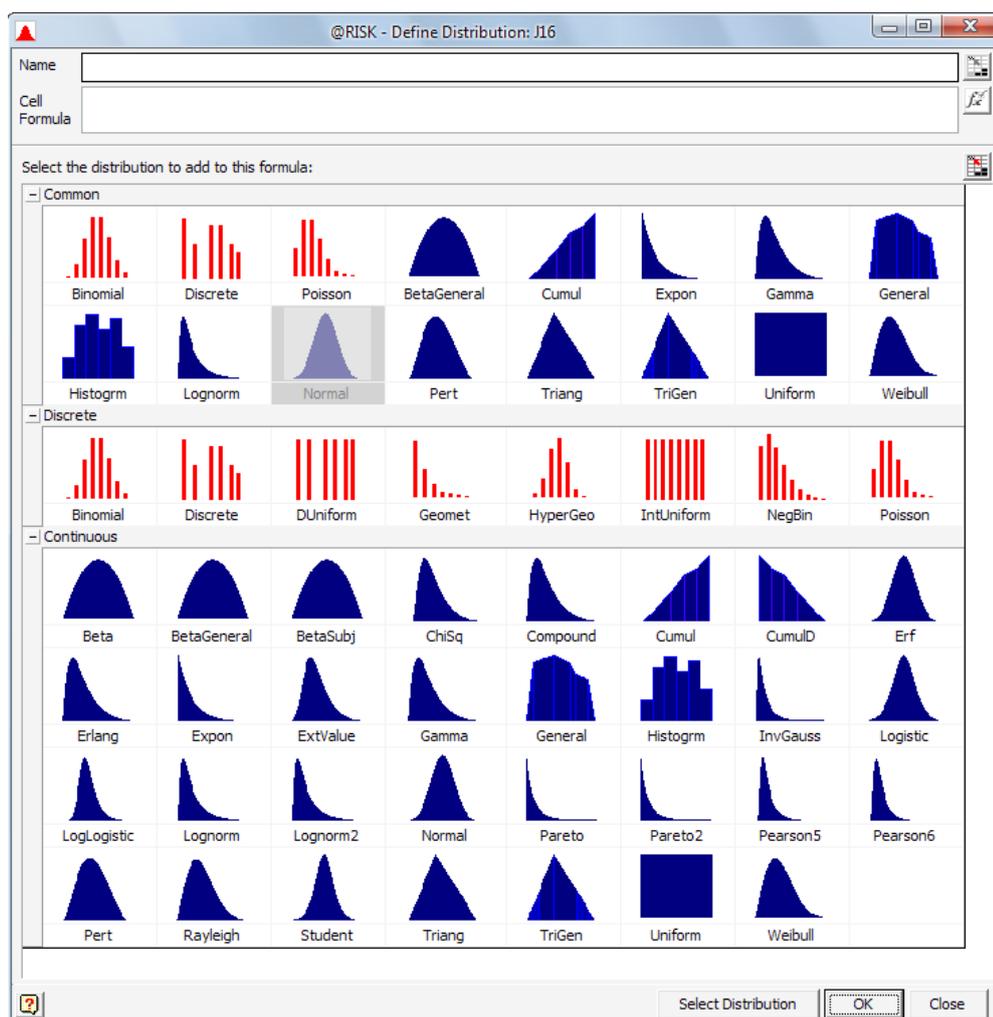


Figura 1. Menú de funciones de @Risk 5.0 en Microsoft Excel 2007.

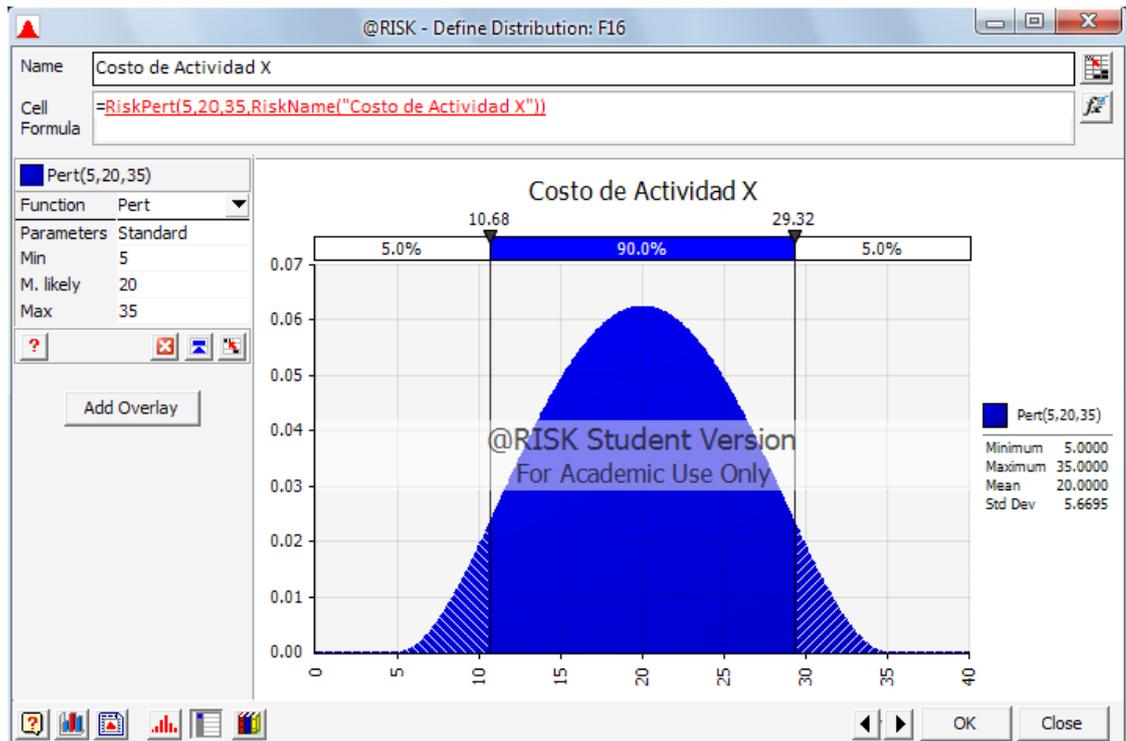
## 1. Definición del modelo



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.

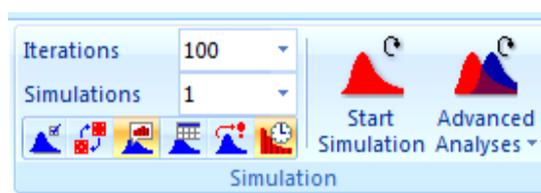
Si se tiene una base de datos de valores históricos, donde la distribución es desconocida, lo recomendable sería crear una distribución teórica que se ajuste a dichos valores. En ese caso, se hace click en *Distribution Fitting* y se introduce la base de datos.

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 \$	Mínimo	Más probable	Máximo	Mínimo	Más probable	Máximo	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	<b>Total</b>	<b>18500</b>							

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	Máximo	Mínimo	Más probable	Máximo	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	<b>Total</b>	<b>18500</b>								
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.

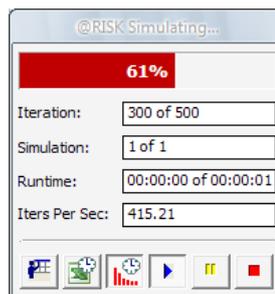
Ahora bien, cabe recordar que el interés de la simulación es superponer todas las variables para obtener los datos probabilísticos de la sumatoria total de costos. Para saber el monto total simulado, creamos una celda especificando este requerimiento. Por ejemplo, vamos a seleccionar la celda J43 para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

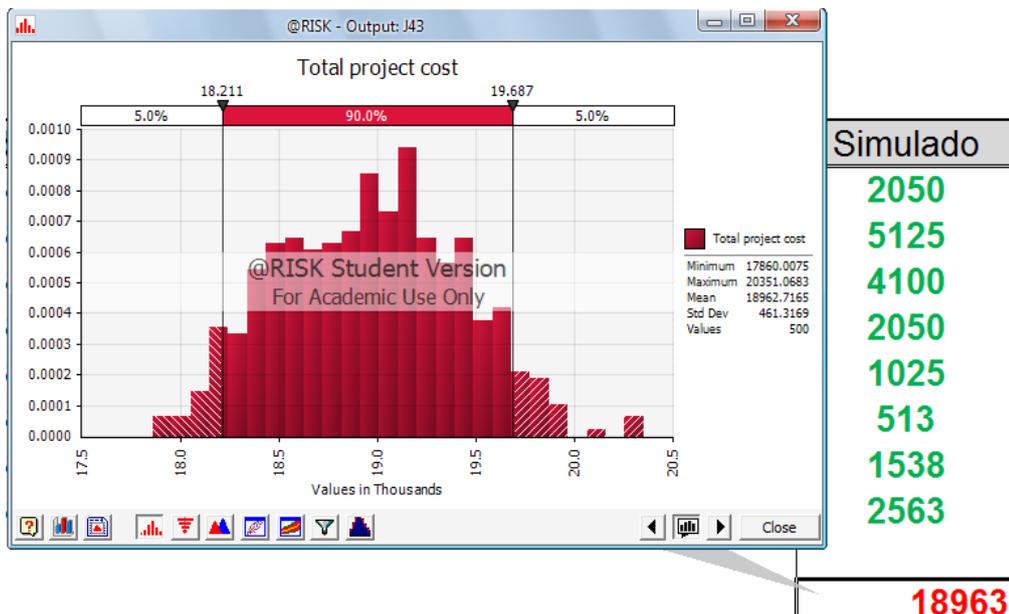
Otro modo de hacerlo directamente es introduciendo “=RiskOutput("Total project cost")+SUMA(J34:J41)” en la celda J43.

	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									
43	<b>Total</b>	<b>18500</b>							=RiskOutput("Total project cost")+SUMA(J34:J41)
44									
45									

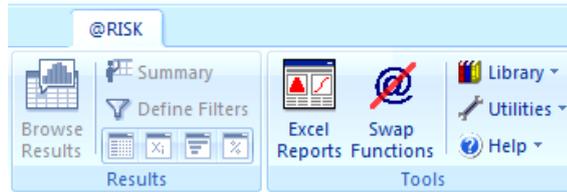
El paso siguiente es correr la simulación. Para este ejemplo en particular, vamos a probar una simulación con 500 iteraciones. Hacemos click en *Start Simulation* para empezar la simulación.



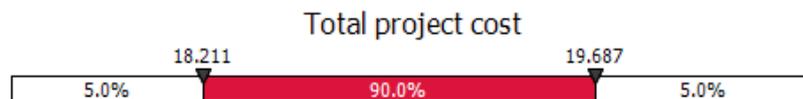
La simulación en este caso en particular fue muy rápida. Bastó esperar un par de segundos para terminar con todas las iteraciones. La resultante fue como sigue:



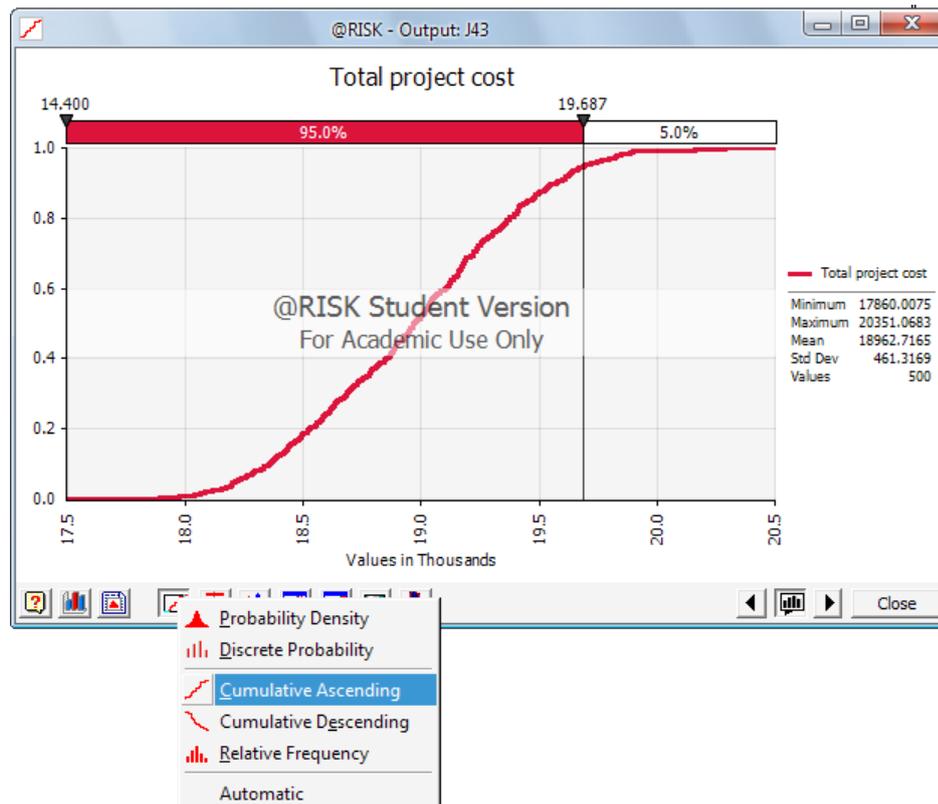
### 3. Visualización y Análisis de resultados



@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:

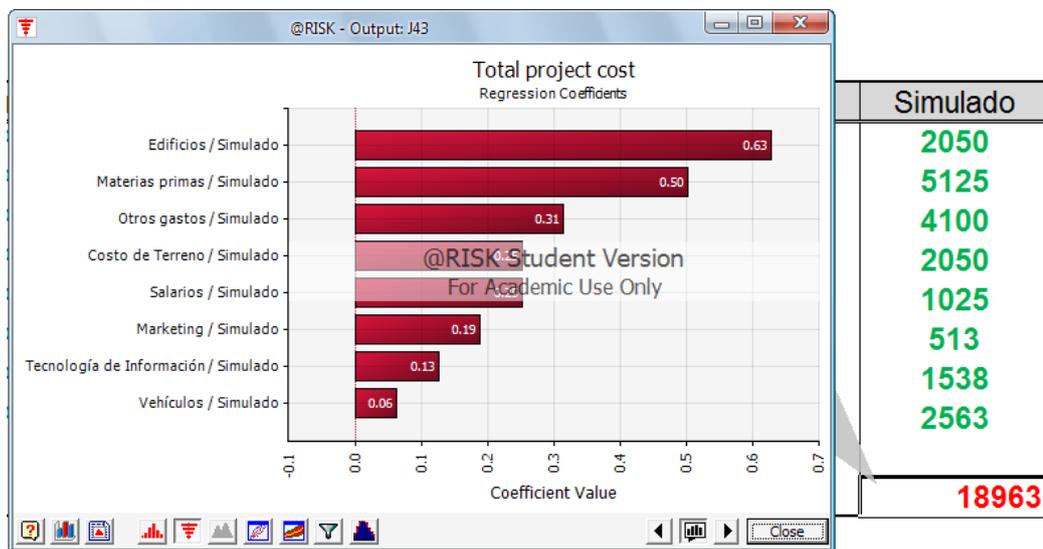


Esto quiere decir que el 90% de los casos el presupuesto total oscila entre \$18.211 y \$19.687. Asimismo, al costado del gráfico se indica que la Media es de \$18.962. Una forma bastante útil de visualizar la resultante probabilística es el gráfico de probabilidad acumulada ascendente, tal como se ve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



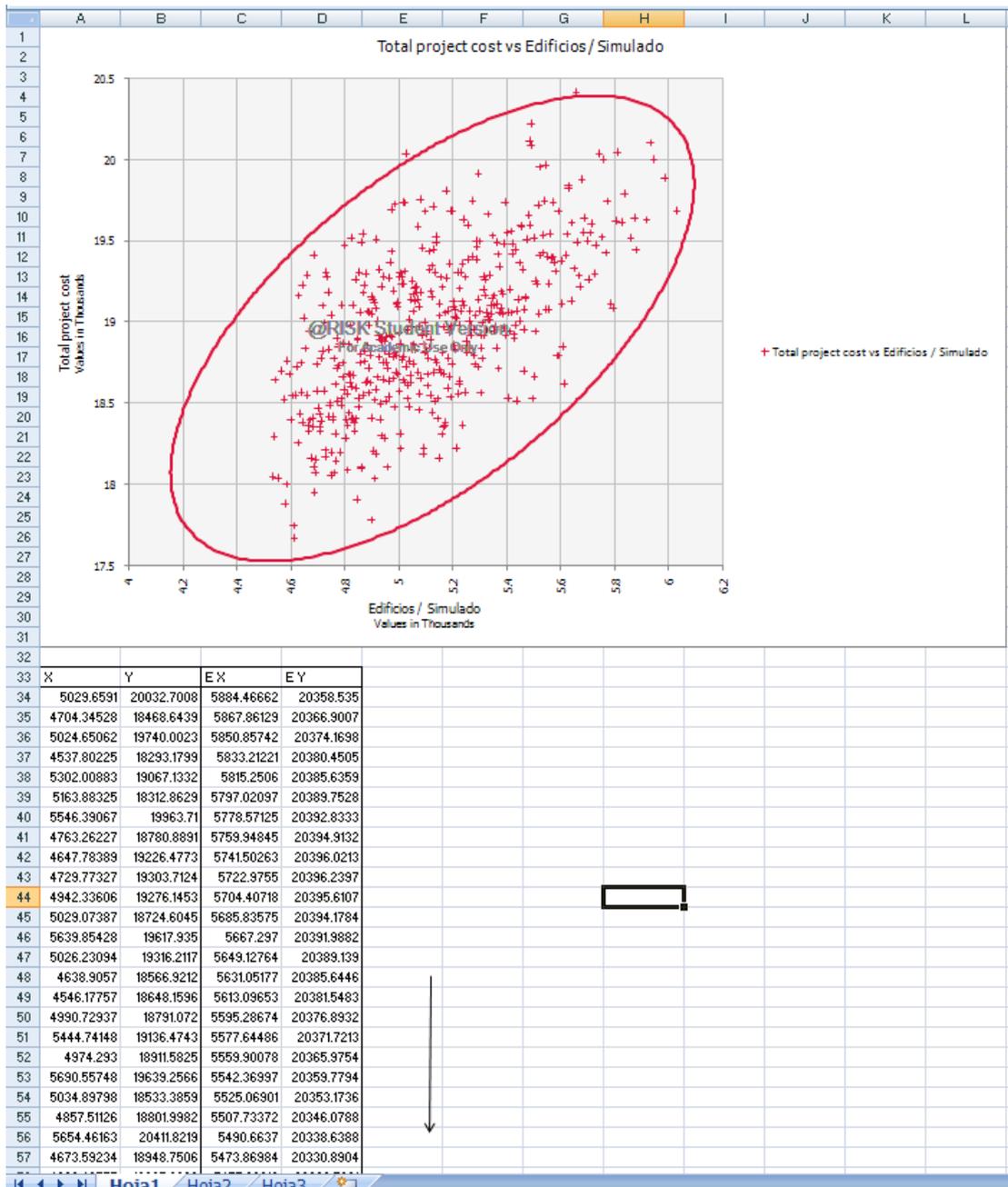
Se pueden obtener detalles estadísticos como máximos y mínimos de cada variable, desviaciones estándar, media, varianza, moda y los percentiles cada 5%.

The figure shows a screenshot of the @RISK software interface displaying a table titled "Detailed Statistics". The table lists various statistical measures for each cost component. The columns include Name, Total project cost, Costo de Terreno, Edificios / Simulado, Materias primas / Simulado, Salarios / Simulado, Tecnología de Info., Vehículos / Simulado, Marketing / Simulado, and Otros gastos / Simulado. The rows list statistical measures such as Description, Cell, Minimum, Maximum, Mean, Std Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, Errors, Mode, and Percentiles (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95%).

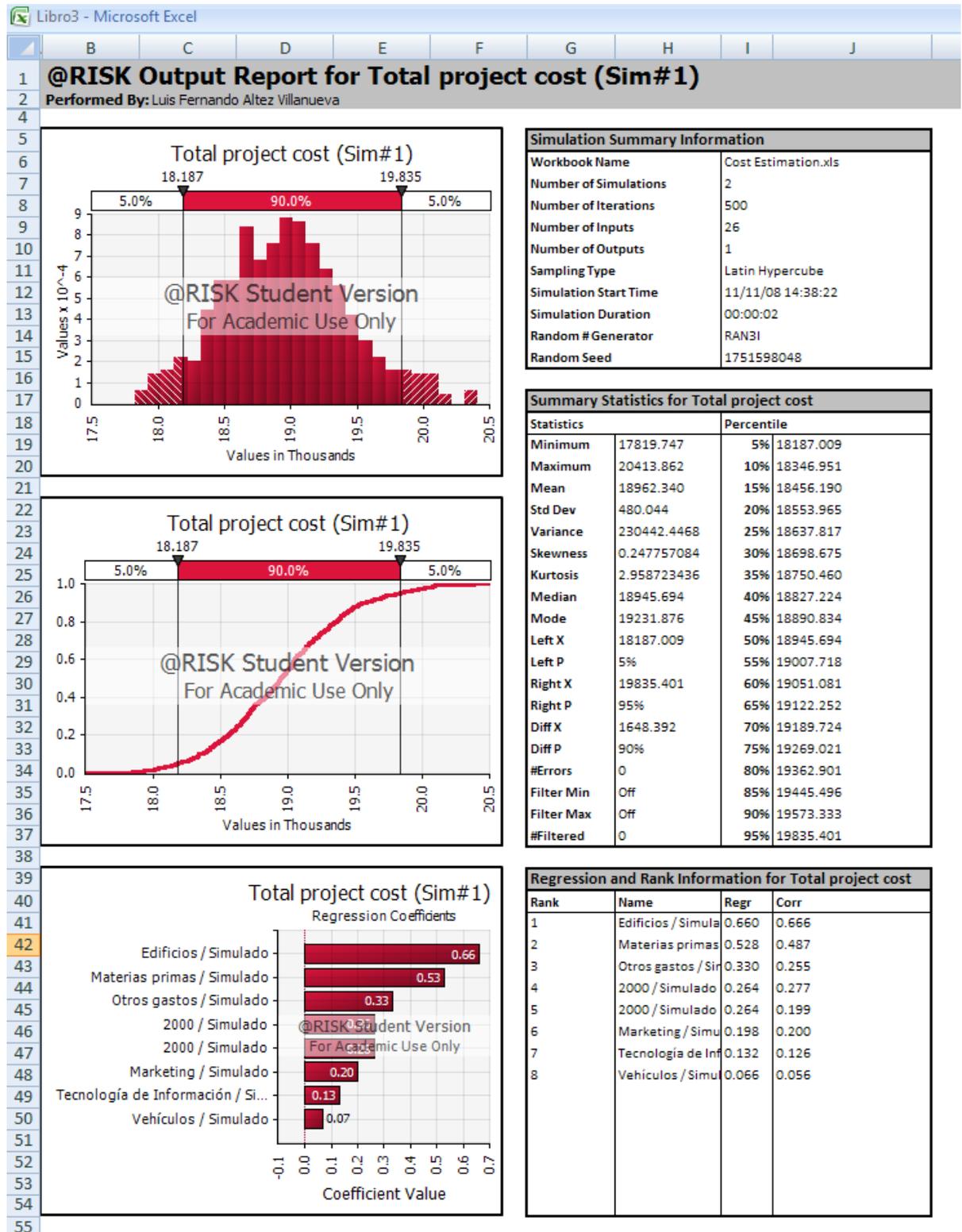
Name	Total project cost	Costo de Terreno	Edificios / Simulado	Materias primas / Simulado	Salarios / Simulado	Tecnología de Info.	Vehículos / Simulado	Marketing / Simulado	Otros gastos / Simulado
Description	Output	RiskPert(G34,H34,...)	RiskPert(G35,H35,...)	RiskPert(G36,H36,...)	RiskPert(G37,H37,...)	RiskPert(G38,H38,...)	RiskPert(G39,H39,...)	RiskPert(G40,H40,...)	RiskPert(G41,H41,...)
Cell	Modell134	Modell134	Modell135	Modell136	Modell137	Modell138	Modell139	Modell140	Modell141
Minimum	17762.24	1806.7	4522.071	3616.193	1806.172	906.4307	451.2655	1358.385	2256.409
Maximum	20629.16	2411.905	6100.943	4841.701	2409.311	1228.782	608.818	1810.15	3034.964
Mean	18962.36	2049.919	5125.094	4099.972	2049.902	1025.023	512.4887	1537.485	2562.47
Std Deviation	905.0834	126.7796	317.4452	253.6221	126.7776	63.5128	31.70554	95.11703	158.5647
Variance	255109.3	16073.07	100770.2	64324.19	16072.56	4033.876	1005.241	9047.249	25142.77
Skewness	0.219823	0.3893482	0.4003837	0.3901082	0.3875053	0.4052578	0.3934447	0.3927986	0.3921913
Kurtosis	2.898593	2.529808	2.565745	2.527526	2.526036	2.58614	2.545386	2.536777	2.53832
Errors	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mode	18998.83	1960.176	4944.227	3996.85	2026.052	1020.055	497.8658	1493.705	2423.025
5% Perc	18149.64	1862.897	4655.325	3725.464	1861.934	931.3438	465.4715	1396.407	2327.529
10% Perc	18297.93	1889.974	4725.194	3780.469	1889.93	945.1287	472.3694	1417.301	2361.864
15% Perc	18400.86	1912.427	4781.709	3824.93	1912.017	955.9924	478.0064	1434.437	2389.899
20% Perc	18500.8	1932.656	4831.187	3864.361	1932.063	966.2845	483.0838	1449.339	2415.399
25% Perc	18592.8	1951.116	4877.502	3902.45	1951.13	975.5634	487.7552	1463.01	2438.401
30% Perc	18672.48	1968.431	4922.566	3937.953	1968.429	984.2724	492.2529	1476.774	2460.559
35% Perc	18749.54	1985.934	4965.892	3972.558	1986.181	992.9457	496.4467	1489.375	2482.287
40% Perc	18837.36	2002.988	5008.014	4006.61	2003.458	1001.733	500.8097	1502.352	2504.401
45% Perc	18905.7	2020.19	5050.583	4040.629	2020.315	1010.354	505.0757	1515.54	2525.317
50% Perc	18955.32	2037.845	5095.638	4076.503	2038.182	1018.915	509.3937	1528.649	2547.787
55% Perc	19009.24	2055.48	5139.146	4111.684	2055.728	1027.715	514.0283	1542.051	2569.412
60% Perc	19072.7	2074.336	5185.42	4148.672	2074.324	1037.141	518.6113	1555.848	2593.134
65% Perc	19148.38	2093.557	5235.135	4186.998	2093.81	1046.88	523.4834	1570.16	2617.564
70% Perc	19212.76	2114.88	5285.238	4226.042	2114.735	1057.248	528.5368	1585.71	2642.891
75% Perc	19300.54	2137.213	5343.492	4273.085	2136.557	1068.313	534.6591	1602.531	2671.741
80% Perc	19368.55	2162.259	5406.008	4323.562	2161.53	1080.925	540.4191	1621.527	2701.967
85% Perc	19471.14	2191.18	5477.133	4382.711	2191.397	1095.359	547.6588	1643.271	2739.05
90% Perc	19624.55	2226.051	5564.835	4452.47	2226.643	1113.311	556.5998	1669.456	2783.328
95% Perc	19828.66	2275.911	5689.929	4553.84	2274.87	1137.953	569.3188	1707.057	2846.365

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.

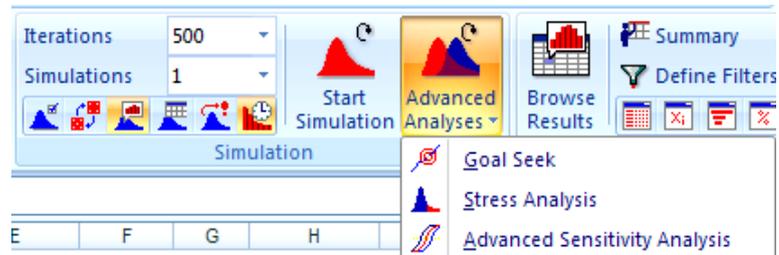


Finalmente, se puede generar un reporte en Excel que resume todo lo mencionado anteriormente, haciendo click en el botón *Excel reports*.

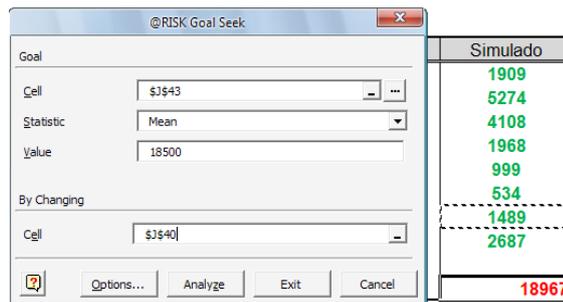


El software permite además realizar tres tipos de análisis avanzados, que son:

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

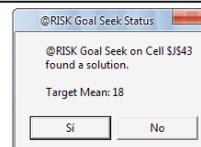


La función **Goal Seek** resulta muy similar a la función 'buscar objetivo' de Excel pero la diferencia es que en @RISK se utilizan múltiples simulaciones (no los cálculos determinísticos que utiliza Excel) para conseguir los resultados deseados.



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 \$k	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>

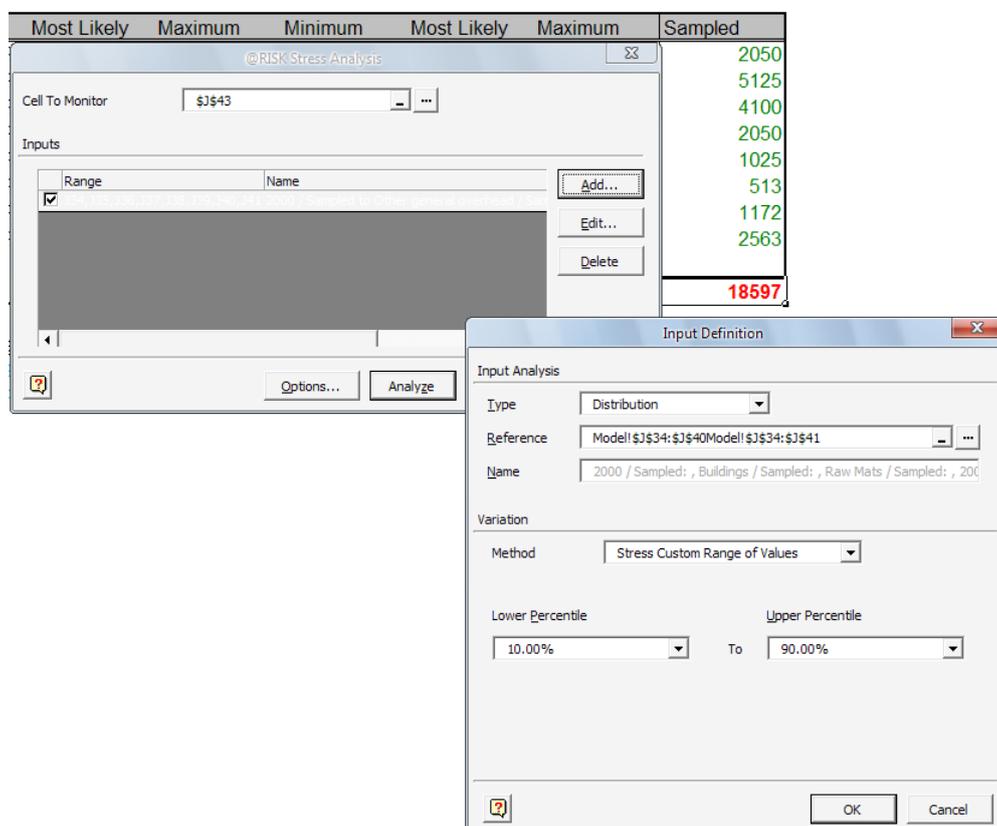


32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51

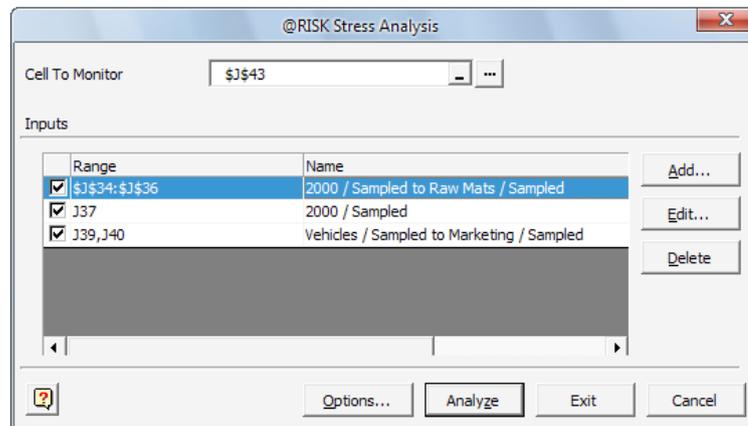
Como vemos, el resultado ha vuelto a hacer nuevas iteraciones con las demás variables. Se observa que el nuevo costo base obtenido para Marketing es de \$1143, con la finalidad de que la nueva media del costo total simulado se aproxime a \$18500. En este caso, por el número de iteraciones escogido (100), 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 dado solicitado.

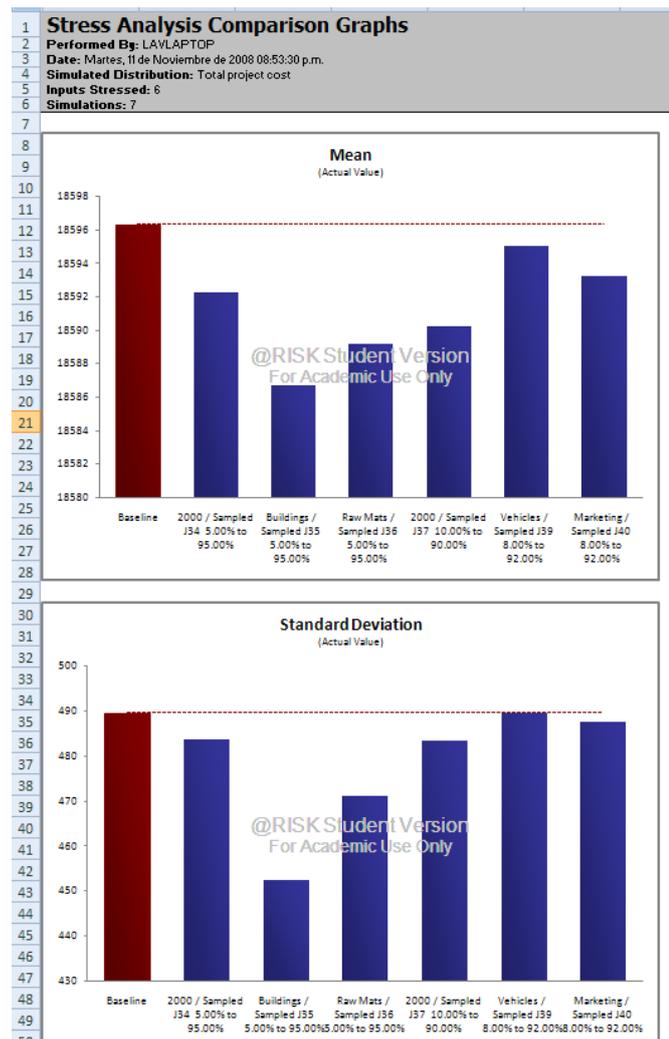
La función **Stress Analysis** o Análisis de Tensión consiste en mostrar diferentes escenarios instantáneamente. Permite analizar los efectos de ajustar distintos valores percentiles entre las muestras que se están tomando durante la simulación. Una vez que se especifican los valores extremos de las 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.

Referencia original o *baseline*

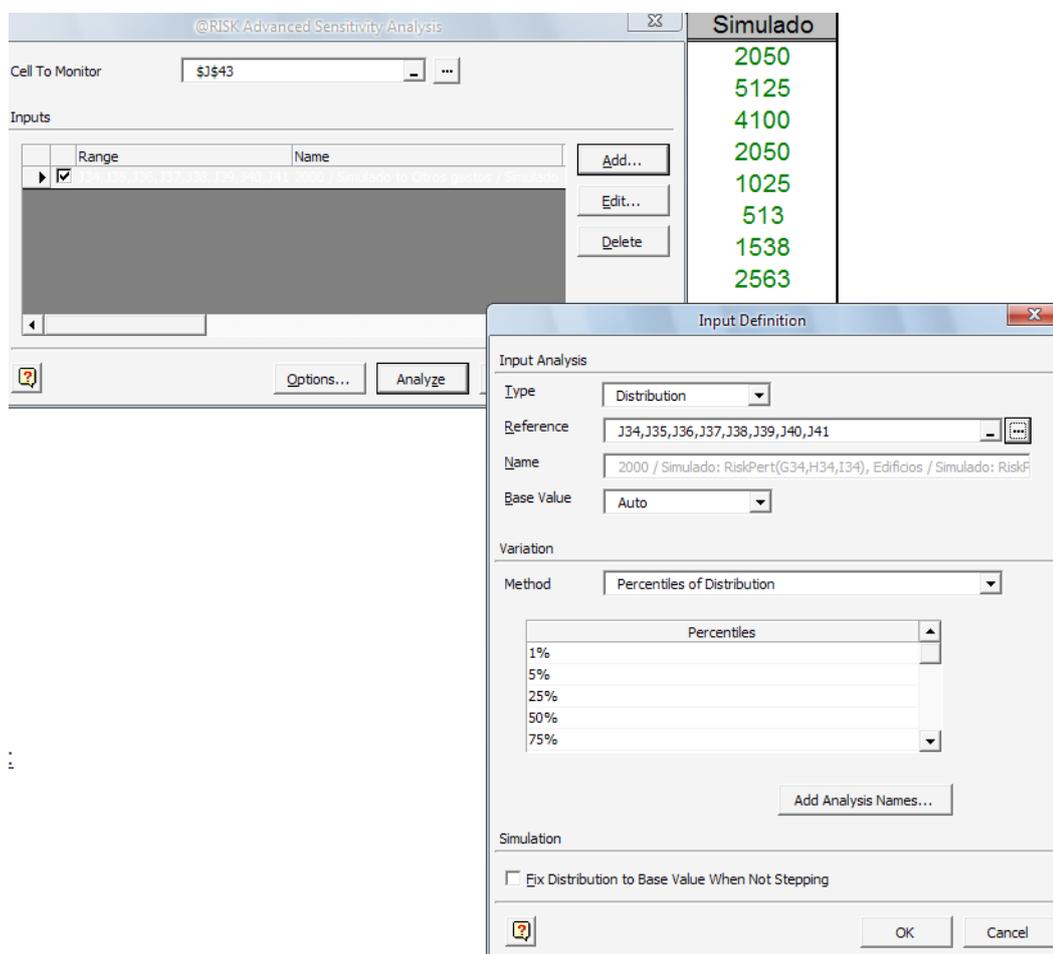
Stress Analysis Summary					
Performed By: LAVLAPTOP					
Simulated Distribution: Total project cost					
Inputs Stressed: 6					
Simulations: 7					
Input					
Name	Book	Sheet	Cell	Stress Analysis	
(none)	(none)	(none)	(none)	baseline	
2000 / Sampled	Cost Estimator Model		SJS34	5.00% to 95.00%	
Buildings / Sample	Cost Estimator Model		SJS35	5.00% to 95.00%	
Raw Mats / Sample	Cost Estimator Model		SJS36	5.00% to 95.00%	
2000 / Sampled	Cost Estimator Model		J37	10.00% to 90.00%	
Vehicles / Sample	Cost Estimator Model		J39	8.00% to 92.00%	
Marketing / Sampl	Cost Estimator Model		J40	8.00% to 92.00%	

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	233782.7633	2.506413114	0.206665975	17813.04946	19383.10831
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.

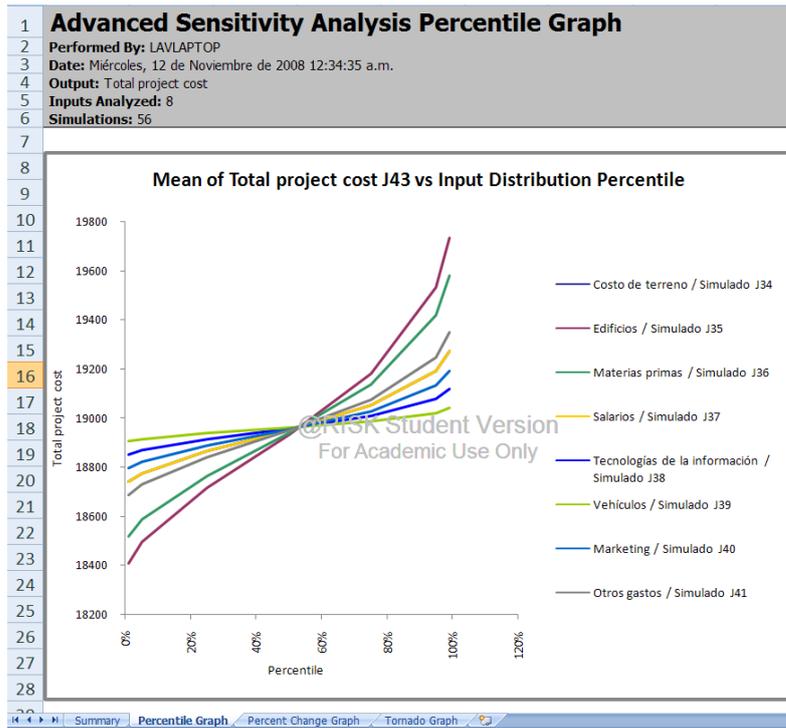
Una vez que se han definido los parámetros e inputs de la función, se hace click en *Analyze*. Luego de esperar unos segundos, la corrida genera cuatro informes para el análisis de sensibilidad, los cuales se describen a continuación.

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*).

Advanced Sensitivity Analysis Summary Report											
Performed By: LAVLAPTOP											
Output: Total project cost											
Inputs Analyzed: 8											
Simulations: 56											
Input				Output: Total project cost							
Name	Book	Sheet	Analysis	Value	Mean	Min	Max	Mode	Median	95%	
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 1%	1828.38101	18740.88824	17818.43217	19694.88267	18253.06039	18795.97722	18011.97981	19383.66036
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 5%	1863.015865	18775.5231	17853.06702	19729.51753	18287.69525	18830.61207	18046.61466	19418.29522
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 25%	1951.244929	18863.75216	17941.29609	19817.74659	18375.92431	18918.84114	18134.84373	19506.52428
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 50%	2038.25886	18950.76609	18028.31002	19904.76052	18462.93824	19005.85507	18221.85766	19593.53821
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 75%	2137.487231	19049.99446	18127.53839	20003.98889	18562.16661	19105.08344	18321.08603	19692.76658
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 95%	2277.392149	19189.89938	18267.44331	20143.89381	18702.07153	19244.98836	18460.99095	19832.6715
Costo de terreno / Cost Estimator Model			Perc%: 99%	2358.271327	19270.77856	18348.32248	20224.77299	18782.95071	19325.86753	18541.87013	19913.55068
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 1%	4570.952526	18409.00192	17589.31663	19281.04746	18680.75618	18402.93759	17814.69911	19013.51392
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 5%	4657.539663	18495.58906	17675.90377	19367.6346	18767.34332	18489.52473	17901.28625	19100.10105
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 25%	4878.112322	18716.16172	17896.47642	19588.20726	18987.91598	18710.09739	18121.85891	19320.67371
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 50%	5095.64715	18933.69654	18114.01125	19805.74208	19205.45081	18927.63222	18339.39373	19538.20854
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 75%	5343.718076	19181.76747	18362.08218	20053.81301	19453.52173	19175.70314	18587.46466	19786.27947
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 95%	5693.480373	19531.52977	18711.84448	20403.57531	19803.28403	19525.46544	18937.22696	20136.04176
Edificios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 99%	5895.678318	19733.72771	18914.04242	20605.77325	20005.48198	19727.66338	19139.4249	20338.23971
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 1%	3656.76202	18519.14358	17747.92949	19478.81934	18451.13445	18495.72165	17895.66271	19249.96108
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 5%	3726.031731	18588.41329	17817.1992	19548.08905	18520.40416	18564.99136	17964.93242	19319.23079
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 25%	3902.489858	18764.87141	17993.65732	19724.54718	18696.86229	18741.44948	18141.39055	19495.68892
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 50%	4076.51772	18938.89928	18167.68519	19898.57504	18870.89015	18915.47735	18315.41841	19669.71678
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 75%	4274.974461	19137.35602	18366.14193	20097.03179	19069.34689	19113.93409	18513.87515	19868.17353
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 95%	4554.784299	19417.16586	18645.95176	20376.84162	19349.15673	19393.74392	18793.68499	20147.98336
Materias primas / Cost Estimator Model			Perc%: 99%	4716.542654	19578.92421	18807.71012	20538.59998	19510.91508	19555.50228	18955.44335	20309.74172
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 1%	1828.38101	18741.26132	17739.71659	19675.44483	18768.8999	18768.89141	17861.55462	19386.69272
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 5%	1863.015865	18775.89617	17774.35144	19710.07969	18803.53476	18803.52627	17896.18947	19421.32758
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 25%	1951.244929	18864.12523	17862.58051	19798.30875	18891.76382	18891.75533	17984.41854	19509.55664
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 50%	2038.25886	18951.13917	17949.59444	19885.32268	18978.77775	18978.76926	18071.43247	19596.57057
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 75%	2137.487231	19050.36754	18048.82281	19984.55105	19078.00612	19077.99763	18170.66084	19695.79894
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 95%	2277.392149	19190.27245	18188.72773	20124.45597	19217.91104	19217.90255	18310.56576	19835.70386
Salarios / Simulad Cost Estimator Model			Perc%: 99%	2358.271327	19271.15163	18269.6069	20205.33515	19298.79022	19298.78173	18391.44493	19916.58304
Tecnologías de la i Cost Estimator Model			Perc%: 1%	914.1905051	18852.00427	17780.95132	19768.20262	18941.60608	18897.48937	18123.93153	19498.44881
Tecnologías de la i Cost Estimator Model			Perc%: 5%	931.5079327	18869.3217	17798.26875	19785.52005	18958.9235	18914.80679	18141.24896	19515.76624
Tecnologías de la i Cost Estimator Model			Perc%: 25%	975.6224645	18913.43623	17842.38328	19829.63458	19003.03804	18958.92133	18185.36349	19559.88077
Tecnologías de la i Cost Estimator Model			Perc%: 50%	1019.12943	18956.94319	17885.89025	19873.14155	19046.545	19002.42829	18228.87046	19603.38773
Tecnologías de la i Cost Estimator Model			Perc%: 75%	1068.743615	19006.55738	17935.50443	19922.75573	19096.15919	19052.04248	18278.48464	19653.00192

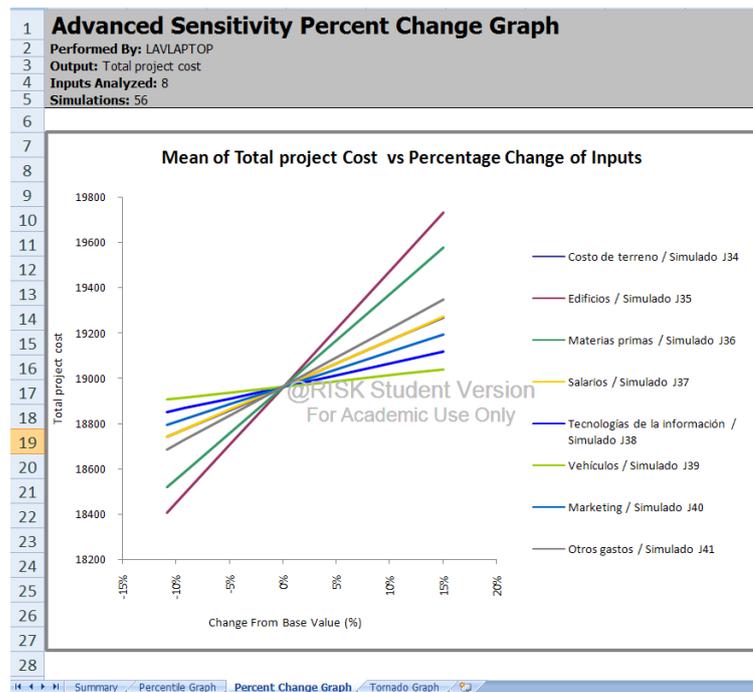
El software también presenta dos gráficos de percentiles: el gráfico de análisis de percentiles, y el gráfico de cambios porcentuales. El primero nos grafica, para cada variable, la media del Costo Total del proyecto versus la distribución de la variable determinada según los percentiles ya mencionados.

*Gráfico de Análisis de percentiles*



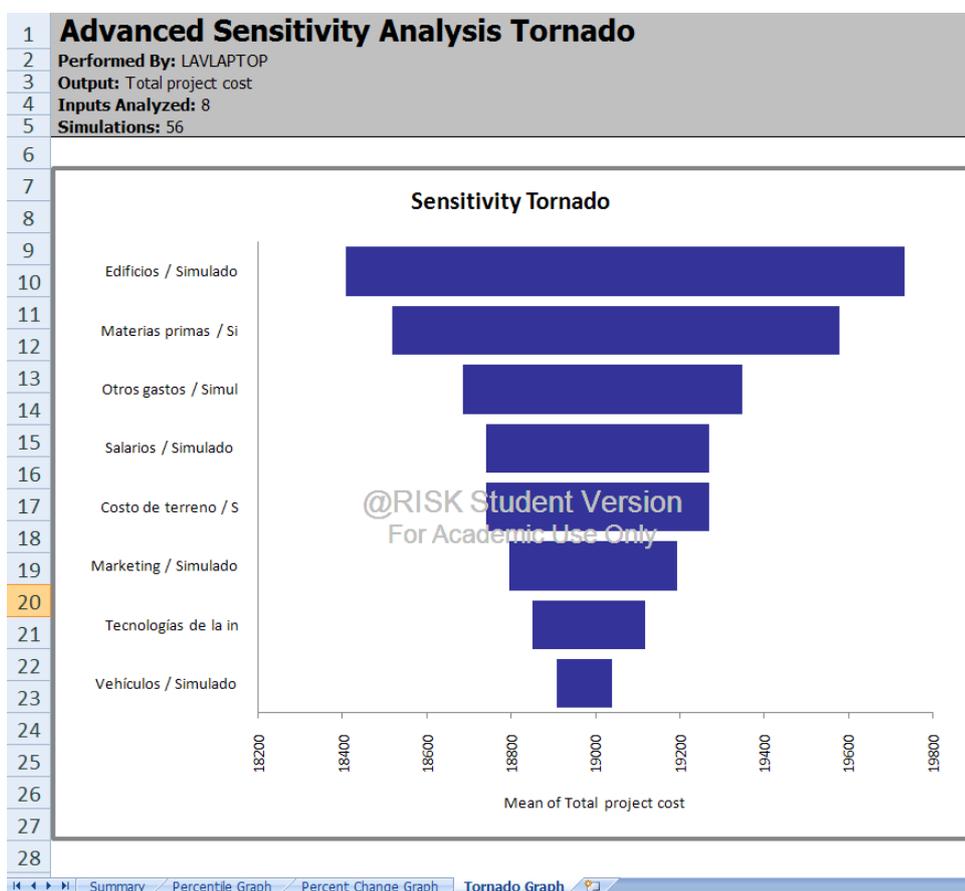
De este gráfico podemos deducir que las variables Edificios y Materias primas son más sensibles al costo total del proyecto, especialmente cuando sus valores alcanzan tanto percentiles bajos como altos. La variable con menor incidencia es la de Vehículos.

### 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 planteado 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**

## **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:

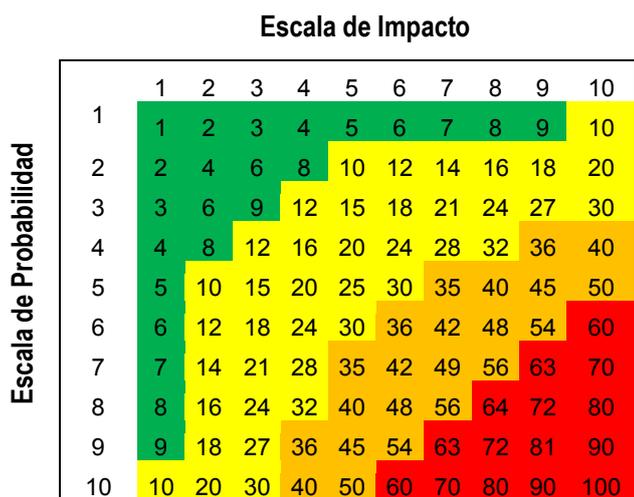


Figura IV.1. Matriz de valores y escala de colores de la Vulnerabilidad.

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, vídeos, 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

### Etapas 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

Submit

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.

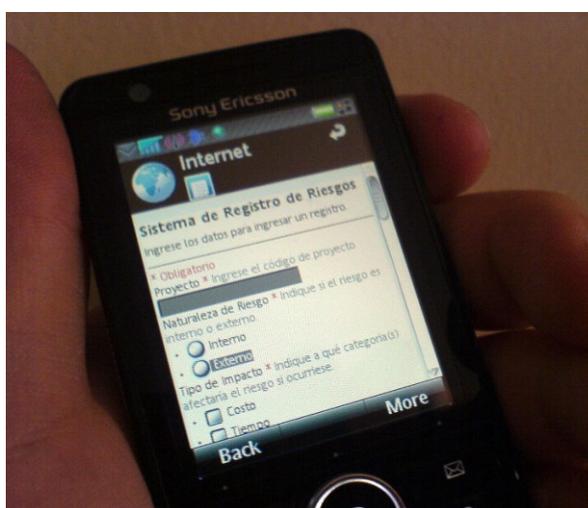


Figura IV.3. Acceso al Sistema de Registro de Riesgos de RiskLog desde un celular. Fuente: El Autor.

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.