

MEDICIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE  
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

JUAN JACOBO RODRÍGUEZ GAVIRIA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS  
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN  
MEDELLÍN

2017

MEDICIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE  
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

JUAN JACOBO RODRÍGUEZ GAVIRIA

Trabajo de grado para optar al título de  
Magíster en Administración

Asesor

ALFREDO TRESPALACIOS CARRASQUILLA

Magíster en Finanzas

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ECONOMÍA, ADMINISTRACIÓN Y NEGOCIOS  
FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN  
MEDELLÍN

2017

**Mayo 10 de 2017**

**Juan Jacobo Rodríguez Gaviria**

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

**Firma**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Jacobo Rodríguez Gaviria', written over a light blue grid background. The signature is stylized and cursive.

---

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN .....   | 1  |
| INTRODUCCIÓN .....  | 2  |
| CAPITULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....   | 6  |
| CAPITULO 2. RIESGOS EN PROYECTOS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....          | 11 |
| CAPITULO 3. METODOLOGÍA, PRINCIPALES RIESGOS Y DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD ..... | 19 |
| 3.1 Identificación y priorización de Riesgos .....                                  | 19 |
| 3.2 Valoración Cualitativa y Matriz de Riesgos .....                                | 20 |
| 3.3 Valoración Cuantitativa y Distribuciones de Probabilidad .....                  | 22 |
| CAPITULO 4. RESULTADOS CASO DE ESTUDIO .....  | 29 |
| CONCLUSIONES .....  | 33 |
| BIBLIOGRAFÍA .....  | 36 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Ilustración de un Sistema Eléctrico de Potencia.....   | 7  |
| Ilustración 2. Buchtik, 2013, Secretos de la Estructura de Desglose de Trabajo (WBS) en proyectos reales a nivel mundial, “Razones por las cuales fallan los proyectos” .....   | 12 |
| Ilustración 3 . Tummala and J. F. Burchett, 1999, International Journal of Project Management, 227: “Aplicación de un Proceso de Gestión de Riesgos (RMP) para gestionar el costo en un proyecto de una línea de transmisión de alta tensión” ..... | 13 |
| Ilustración 4. Metodología propuesta para la Evaluación de los Riesgos .....  | 19 |
| Ilustración 5. Función de Distribución Acumulada para Aceros-Expertos .....   | 24 |
| Ilustración 6. Función de Distribución Acumulada para Cobre-Expertos.....   | 24 |
| Ilustración 7. Función de Distribución Acumulada Costos Ambientales-Expertos .....  | 25 |
| Ilustración 8. Función de Distribución Acumulada Costos Prediales-Expertos.....   | 26 |
| Ilustración 9. Distribución de Probabilidad del VPN del proyecto, caso base .....   | 30 |
| Ilustración 10. Escenarios de Anualidad e impactos en el VPN del proyecto.....  | 31 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Descripción de los riesgos asociados a Proyectos de transmisión energía..... | 16 |
| Tabla 2. Matriz de probabilidad e impacto de riesgos.....                             | 21 |
| Tabla 3. Función de Distribución Acumulada para Aceros-Expertos .....                 | 23 |
| Tabla 4. Función de Distribución Acumulada para Cobre .....                           | 24 |
| Tabla 5. Función de Distribución Acumulada para Costos Ambiental .....                | 25 |
| Tabla 6. Función de Distribución Acumulada para Costos Prediales .....                | 26 |
| Tabla 7. Distribución normal de los riesgos priorizados .....                         | 27 |
| Tabla 8. Distribución triangular de los riesgos priorizados.....                      | 27 |
| Tabla 9. Escenarios con diferentes anualidades y los VPN obtenidos .....              | 31 |

## **GLOSARIO**

**STN:** Sistema de Transmisión Nacional

**FDA:** Función de Distribución Acumulada

**VPN:** Valor Presente Neto

**CAPEX:** Inversiones en bienes de capitales que generan beneficios

**PMI:** Project Management Institute

## **RESUMEN**

Todos los proyectos tienen riesgos asociados a su desarrollo debido a la incertidumbre que implican algunas actividades, estos riesgos pueden llegar a impactar positiva o negativamente el proyecto y las expectativas de retorno de los inversionistas, por tal razón, la decisión de inversión en un proyecto debe contemplar siempre un análisis de riesgos. Este artículo demuestra como mediante un análisis de riesgos cualitativo y cuantitativo se puede obtener información valiosa para la toma de decisiones de inversión, para el caso específico de un proyecto de construcción de líneas y subestaciones para transmisión de energía, no obstante, la metodología aplica para cualquier proyecto de infraestructura. Como resultado de los análisis se logra una definición de estrategias que permiten la adecuada gestión de riesgos desde la formulación y hasta la etapa de ejecución del proyecto, con el fin de lograr el buen desarrollo del proyecto manteniendo la mínima afectación en la tasa de retorno esperada por el inversionista.

**PALABRAS CLAVE:** Proyecto Transmisión de energía, Riesgos, Gestión de Riesgos, Distribución de Probabilidad, CAPEX, Decisión de Inversión.



## INTRODUCCIÓN

Los proyectos de transmisión eléctrica tienen por objetivo conectar los centros de producción de energía con los centros de consumo como las ciudades, sin embargo, la construcción de dichos proyectos implica una gran cantidad de retos e incertidumbres. El presente documento aborda la evaluación de riesgos en proyectos de infraestructura lineal, con aplicación directa en la transmisión de energía eléctrica en Colombia. Para esto, se considera un proyecto real de transmisión energía y en éste se identifican las variables de mayor impacto en CAPEX (inversiones en bienes de capitales que generan beneficios) y se mide la variabilidad de estos elementos haciendo uso de metodologías del tipo de elicitación para incorporar el conocimiento de expertos; luego, a través de simulación de Montecarlo se encuentran diferentes intervalos de confianza de algunos indicadores de interés para los tomadores de decisiones para posteriormente desarrollar análisis de riesgo cuantitativos que permiten mayor exactitud (Tummala, 1999), incluso conocer la probabilidad que hay de terminar en una fecha dada o a un costo determinado el proyecto, información que es valiosa en el proceso de toma de decisión previo a la presentación de la oferta de un proyecto y en el desarrollo del mismo.

De acuerdo con el planteamiento de Thamhain (2013) en su artículo Gestión de riesgos en proyectos complejos: “la incertidumbre es a la vez una realidad y un gran reto para la

mayoría de los proyectos, ya que la existencia del riesgo se da a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, pudiendo afectar la viabilidad técnica, el costo, la oportunidad de mercado, el desempeño financiero, y hasta los objetivos estratégicos de una organización”. En este sentido, la evaluación de los riesgos de manera anticipada a la presentación de las ofertas en proyectos de transmisión energía es fundamental para la toma de decisiones de inversión, ya que tal como plantea Francischetti (2014) la gestión de riesgos más eficiente permite elaborar una estrategia de gestión, en la que cada agente evalúa el total y el tipo de riesgos que está dispuesta a asumir para obtener un determinado retorno sobre sus inversiones. Dicha evaluación debe realizarse de manera anticipada, ya que para el caso de los proyectos en el sistema de transmisión al momento de ofertar para ser adjudicatarios se asume el compromiso de desarrollar en el tiempo y en el costo las actividades de diseño, obtención de la licencia ambiental, adquisición de los materiales y equipos requeridos, adquisición de predios, construcción y operación por 25 años; y en caso de que se materializara algún riesgo pudiera poner en riesgo la entrada del proyecto con el respectivo impacto para el inversionista (se la rentabilidad esperada) y para el sistema (no se percibirían los beneficios del proyecto).

En este artículo se mostrará la pertinencia y aplicabilidad de los análisis de riesgo numéricos en proyectos de infraestructura, con el fin de determinar con mayor exactitud el nivel de posibilidad e impacto derivado de la materialización de algún riesgo, en función de la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia en el proyecto. De acuerdo con el PMI (ISO, 2009; PMI, 2013) se requiere desarrollar una gestión integral de los riesgos en cada una de las fases del proyecto Identificación, Planificación, Ejecución y Cierre, este trabajo

estará circunscrito a la evaluación de riesgos en la etapa de formulación y en la definición de recomendaciones para la gestión de los riesgos en la etapa de ejecución.

El interés por desarrollar estos temas está en el hecho de poder complementar el conocimiento técnico en proyectos de transmisión energía y en general, en proyectos de infraestructura, con metodologías de gestión de riesgos, las cuales contemplan la valoración y evaluación de riesgos permitiendo una visión más integral de los proyectos y fortalecer así las capacidades para la formulación, evaluación de ofertas y la toma de decisiones en las diferentes fases de los proyectos. Según Francischetti (2014): “La gestión de riesgos es un proceso utilizado para controlar los riesgos y adoptar medidas para minimizar su impacto y se debe dar a lo largo de todas las fases del proyecto”.

La metodología sugerida en este artículo demuestra como la fase de formulación es fundamental para la gestión adecuada de los riesgos, ya que desde allí se pueden tomar decisiones para evitar, transferir, asumir o mitigar los riesgos en los proyectos. Esto no quiere decir que la gestión en las fases próximas como planeación y ejecución no sean relevantes. La metodología acá propuesta puede también servir de base para proyectos futuros de esta naturaleza o de otro tipo de infraestructura, tanto en proyectos académicos como profesionales.

Este trabajo puede considerarse como punto de partida para la gestión de riesgos de un proyecto independiente de su naturaleza, dicha gestión de riesgos se propone de manera anticipada a la decisión de inversión en el proyecto, partiendo de una identificación y

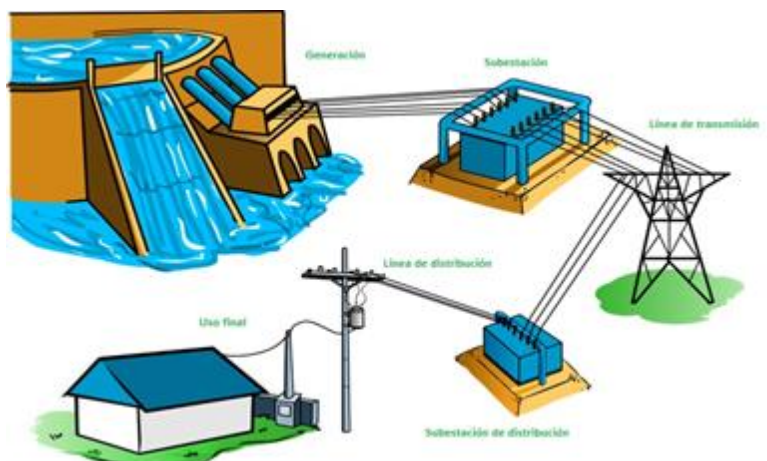
valoración más exacta del impacto de los diferentes riesgos permitiendo la toma de decisiones frente a la transferencia o mitigación de aquellos riesgos que no se consideren admisibles por la empresa responsable del proyecto, Buchtik (2013), Secretos para dominar la Gestión de Riesgos en Proyectos.

En últimas este tipo de análisis generan valor para los Gerentes, Gerentes de Proyectos y Financieros ya que les permite tomar decisiones de inversión en proyectos de infraestructura complejos y de altos CAPEX, trascendiendo de decisiones intuitivas a decisiones más estructuradas, con mayor información y conocimiento del impacto que pudiese generar la materialización de algunos riesgos en sus proyectos. De este modo se aporta a las organizaciones a mejorar su desempeño en la toma de decisiones de inversión (Tummala, 1999), así como en el desarrollo de proyectos, minimizando los riesgos técnicos, financieros y reputacionales, con el fin de redundar en buenos resultados para la organización.

## **CAPITULO 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los países requieren de la expansión de los sistemas eléctricos y de interconexiones entre ellos con el fin de atender la demanda de energía que permite a las personas mejorar las condiciones de vida y favorecer el desarrollo económico. Esta demanda de energía crece de manera exponencial debido entre otras al mayor número de personas demandando el servicio, el mayor acceso a otros servicios como telecomunicaciones, transporte eléctrico, salud, seguridad y un sin número servicios que requieren de energía para su prestación.

De acuerdo con Kundur (1993: I) los sistemas eléctricos están compuestos por las plantas de generación, subestaciones, líneas de transmisión, redes de distribución y usuarios finales, dichos sistemas se expanden e interconectan para poder atender el crecimiento de la demanda, aumentando la cobertura y para lograr una mejor confiabilidad y seguridad en el suministro a los clientes del servicio.



### **Ilustración 1. Ilustración de un Sistema Eléctrico de Potencia**

Las líneas de transmisión eléctrica, tienen un rol fundamental al permitir la conexión y flujo de energía entre los centros de generación de energía y los centros de consumo donde se encuentran los usuarios finales (industria, comercio, viviendas, hospitales, instituciones estatales, entre otros).

Para el caso particular de Colombia, la liberación del mercado de los servicios públicos tuvo lugar luego de la ley 143 de 1994 denominada ley eléctrica, la cual determinó las condiciones del mercado hacia la libre competencia y la disponibilidad de una oferta energética eficiente. En el marco de esta Ley se creó la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME- que se encarga, entre otros, de hacer las proyecciones de demanda de energía eléctrica y del Plan de Expansión de Generación y Transmisión, en el cual se identifican necesidades de la red y se determina la expansión en generación, subestaciones y de líneas de transmisión de energía, requeridas para atender la demanda nacional de manera segura, confiable y eficiente.

Cumpliendo con sus funciones, la UPME define los proyectos de transmisión y responde por el buen funcionamiento del esquema de Convocatorias UPME, el cual es un mecanismo de libre competencia, mediante el cual se selecciona un inversionista, que compromete a nombre y riesgo propio un valor (denominado anualidad) con el cual él desarrollará el proyecto de transmisión, y la UPME selecciona entre los inversionistas la oferta más competitiva para el sistema desde la perspectiva de menor costo, el cumplimiento de unas especificaciones técnicas garantizadas y la entrega de garantías financieras.

Luego de identificadas las obras que requiere el Sistema de Transmisión Nacional (STN) y de adjudicarla a un inversionista, éste asume el diseño, construcción y operación del proyecto teniendo en cuenta el alcance y tiempo definido por la UPME para su entrada en operación, con la expectativa de recibir la anualidad ofertada por 25 años. Se selecciona al agente que presente la mejor oferta económica, definida como la de menor valor presente neto de los ingresos que espera recibir durante los primeros 25 años de operación del proyecto, descontados con la tasa establecida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). El inversionista seleccionado se encargará de los diseños, suministros, definición de rutas, licenciamiento ambiental, socialización, permisos, servidumbres, construcción, puesta en servicio, operación y mantenimiento, según el Art. 52 y 85 de la Ley 143/1994, la Resolución MME 180924/2003 y Resolución CREG 022/2001.

Uno de los principales retos a los que se enfrenta el inversionista al ser adjudicatario de una Convocatoria, es que una vez definida la anualidad, ese precio no cambia por ninguna razón. Si el oferente no prepara una buena oferta (por algún motivo) definiendo una buena

estrategia, contemplando los riesgos de manera adecuada en la anualidad y se gana la licitación, es muy probable que vea afectados sus resultados y no logrará el retorno esperado de su inversión. Sin embargo, sí el oferente exagera su anualidad entonces podrá perder competitividad en la Convocatoria y no sería el inversionista adjudicatario del proyecto. De acuerdo a lo anterior, el oferente antes de la subasta, debe entonces realizar un análisis que le permitan un balance, contemplando los posibles riesgos que afecten sus resultados financieros, propendiendo cubrir los riesgos y por tener una oferta competitiva.

Tal como plantea Parihar (2014), la gestión de riesgos en un proyecto difiere según el tipo de proyecto y de la industria en cuestión, y plantea que la industria de la transmisión de energía eléctrica es muy especial en muchos aspectos, de ahí que, por ser las líneas de transmisión proyectos lineales que cruzan grandes extensiones de territorios, se tiene la particularidad de sus riesgos e incertidumbres. Aunque no existe una identificación exacta de los riesgos en proyectos de transmisión eléctrica, Tummala y Burchett (1999), se atreven a proponer una recopilación y clasificación de algunos de los riesgos en un proyecto de transmisión energía (ver Ilustración 3) y los clasifican en seis categorías: Financieros y Económicos, Políticos y Ambientales, Diseños, Construcción en sitio, Físicos y Actos de la Naturaleza.

Los riesgos descritos son algunos de los cuales pueden impactar el alcance, así como el costo y el tiempo estimado por el inversionista y por el sistema para el desarrollo del proyecto. Teniendo en cuenta el esquema actual de Convocatorias, en Colombia, prácticamente todos estos riesgos son asumidos por el inversionista y deben ser



identificados, valorados y tratados, de tal forma que puedan ser incorporados en la formulación de la estrategia de oferta inicial. Por tal razón es fundamental para los inversionistas realizar análisis de riesgo con metodologías avanzadas que permitan incorporar en su oferta las medidas asociadas a la gestión de los riesgos, teniendo en cuenta que no se deben sobrevalorar los riesgos en la oferta ya que se podría afectar la competitividad de dicha oferta, ni subvalorar porque perdería margen de maniobra e iría en contra de la rentabilidad esperada.

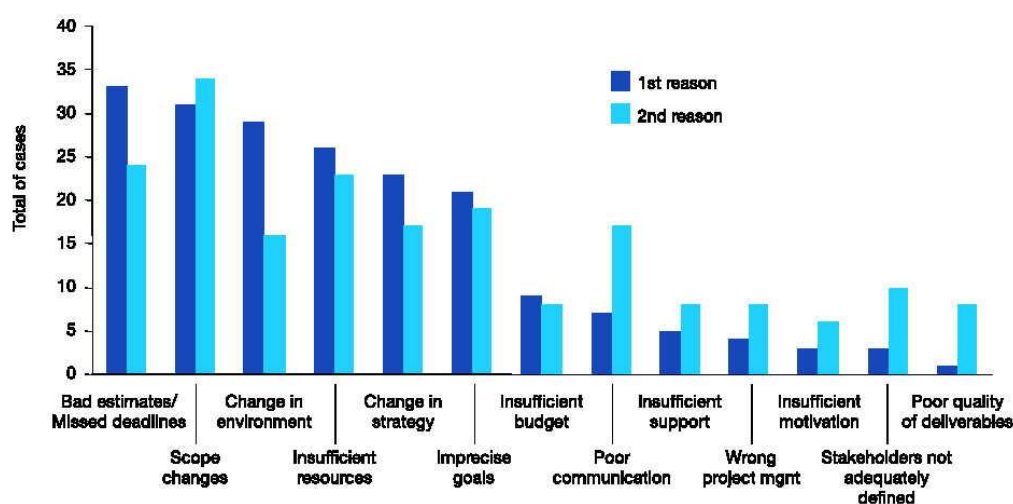
Adicionalmente, es necesario resaltar que cuando los proyectos no se desarrollan en el tiempo comprometido por parte del inversionista, no solo se ve afectado el inversionista sino el sistema, ya que el sistema no puede percibir los beneficios esperados, incluso podría llegar a implicar desatención de la demanda y sobrecostos en la operación del sistema, ya que según el principio de los sistemas eléctricos donde aplica el modelo de mercado es que El kW más costoso es aquél que no se puede suministrar.

## **CAPITULO 2. RIESGOS EN PROYECTOS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

En el desarrollo de un proyecto de transmisión de energía eléctrica siempre será necesario hablar de la gestión de riesgos ya que todo proyecto es único y trae consigo incertidumbres y riesgos. Buchtik (2013: I) en su libro Secretos para dominar la Gestión de Riesgos en Proyectos plantea que la gestión de riesgos del proyecto le agrega realismo al proyecto, al incorporar los riesgos y la incertidumbre en todos los aspectos del proyecto y que la gestión de riesgos supera los costos requeridos para realizarla ya que trae beneficios como: aumentar la probabilidad de éxito de los proyectos, minimizar cambios, retrasos y sobrecostos por riesgos, ayuda a ser proactivos y no reactivos, permite tomar decisiones con información, se gana en calidad de vida para quienes desarrollan el proyecto y reduce el caos, posibilita atender la contingencia y gestionar la oportunidad, entre otros aportes a la organización.

Según la guía PMBOK®, la definición de riesgo de un proyecto, corresponde con un evento o condición incierta que si ocurre, afecta negativa o positivamente a uno o más de los objetivos del proyecto. Vale la pena recordar que dentro de los objetivos a alcanzar en el desarrollo de un proyecto se tiene el cumplimiento del costo, calidad, tiempo y alcance según lo formulado. De igual manera, la ISO 31000 lo define de manera similar, riesgo es el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos. Más allá de la definición de riesgo,

Buchtik (2013: XV), muestra el resultado de un estudio realizado a nivel mundial en 200 empresas y 30 países por la consultora Price Water House Coopers, en el cual se identificaron las principales razones por las cuales los proyectos no logran sus objetivos, de allí se concluye que la primera razón de falla es una mala estimación, derivado de fallas en el proceso de planeación y formulación, y la segunda es el cambio en el alcance.

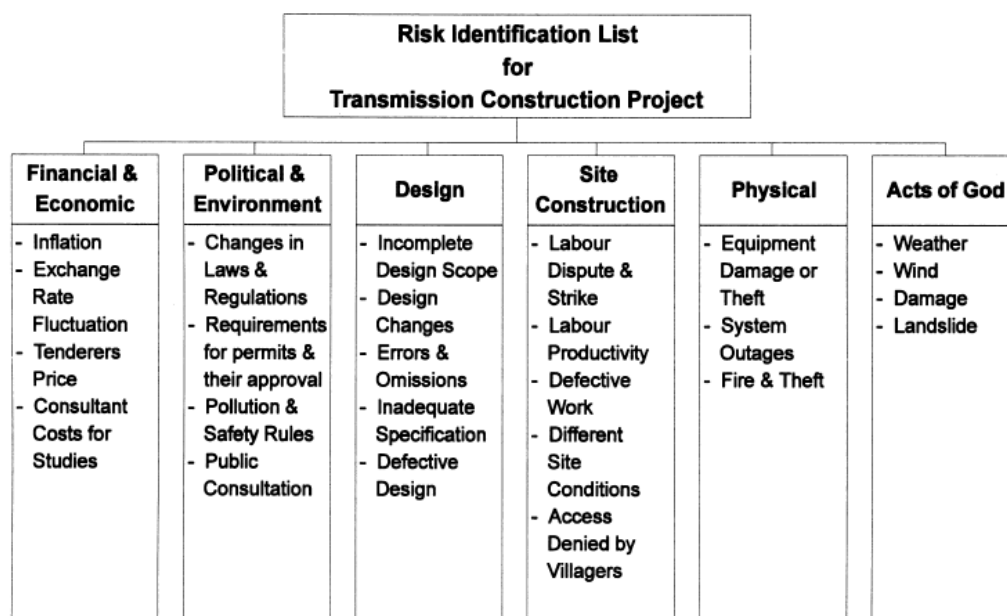


**Ilustración 2. Buchtik, 2013, Secretos de la Estructura de Desglose de Trabajo (WBS) en proyectos reales a nivel mundial, “Razones por las cuales fallan los proyectos”**

Este trabajo pretende la estimación del costo de las actividades de los proyectos de transmisión de energía eléctrica contemplando las incertidumbres, propendiendo así por el éxito del proyecto.

Según Thamhain (2013), para ser eficaz en la gestión de riesgos se debe gestionar un amplio espectro de factores de riesgo, los líderes del proyecto deben ir más allá de la mecánica de analizar el trabajo y los componentes de la "triple restricción", el alcance, el

cronograma y el costo, examinando y entendiendo las fuentes de incertidumbre antes de iniciar el proyecto con el fin de poder gestionarlos adecuadamente. Para el caso específico de construcción de líneas de transmisión, Tummala y Burchett (1999), hacen una recopilación de algunos de los riesgos que se pueden presentar en un proyecto de transmisión energía, de allí se identifica que efectivamente los proyectos de transmisión energía son particulares, complejos y tienen un grado alto de incertidumbre en cada una de sus componentes y por lo tanto un alto nivel de riesgo, situación que exige mayor formalidad y análisis en las etapas previas de formulación y en su desarrollo.



**Ilustración 3 . Tummala and J. F. Burchett, 1999, International Journal of Project Management, 227: “Aplicación de un Proceso de Gestión de Riesgos (RMP) para gestionar el costo en un proyecto de una línea de transmisión de alta tensión”**

Partiendo de la existencia de incertidumbre asociada a diversos factores en el desarrollo de proyectos de transmisión eléctrica y de la experiencia en el país con algunos proyectos de transmisión: Nueva Esperanza en Cundinamarca, Chivor II-Norte en Cundinamarca, El

Bosque en Cartagena, Tulunú en el Tolima, entre otros, donde no se ha logrado ejecutar los proyectos en el tiempo ni en el CAPEX debido a la materialización de algunos riesgos que impactaron de manera negativa el desarrollo de los proyectos, a continuación, se describen algunos ellos:

| <b>Categoría del Riesgo</b>  | <b>Descriptor del Riesgo</b>   |
|------------------------------|--|
| <b><i>Prediales</i></b>      | <p>Las actividades prediales comprenden la valoración y negociación de los predios requeridos para ubicar las torres de líneas de transmisión y las subestaciones.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar financieramente el proyecto si las negociaciones superan el valor estimado en el CAPEX y el tiempo, debido a la imposibilidad de llegar acuerdos con propietarios y negativa de los mismos a la instalación de infraestructura, lo cual implica otras acciones legales.</p>   |
| <b><i>Ambientales</i></b>    | <p>Las actividades ambientales comprenden el desarrollo de los estudios de impacto ambiental y social, programa de participación e información con la comunidad, otorgamiento de la licencia, ejecución de planes de manejo ambiental, cambios de trazados, entre otros.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar financieramente el proyecto en caso de superar el valor estimado para actividades ambientales en el CAPEX y el tiempo, si el otorgamiento de la licencia ambiental toma más tiempo de los términos de ley y limita el inicio de las obras o por exigencias adicionales de la autoridad ambiental.</p> |
| <b><i>Sociopolíticos</i></b> | <p>Este riesgo se materializa cuando se presenta una oposición de sectores políticos o comunidades impactadas por el proyecto que podrían incluso llegar a bloquear el desarrollo del proyecto.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar el tiempo y financieramente, si hay exigencias para permitir el paso del proyecto más allá de lo estimado en el CAPEX.</p>   |

| Categoría del Riesgo                    | Descriptor del Riesgo   |
|---|---|
| <b><i>Financieros</i></b>               | <p>Las actividades financieras Impactan de manera directa en los recursos económicos del proyecto, algunas de ellas dependen incluso de variables macroeconómicas y están fuera de la gestión del proyecto, tales como la Inflación, cambios en la TRM (Tasa Representativa de Mercado COP/USD), precios de materias primas como el acero, aluminio y cobre, que impactan el precio de materiales y equipos requeridos en el proyecto. Otras variables pueden ser las condiciones de financiamiento, costos asociados a mano de obra y servicios de consultoría, entre otras.</p> <p>La materialización de este riesgo impacta financieramente el proyecto.</p> |
| <b><i>Legales y regulatorios</i></b>    | <p>Los riesgos legales y regulatorios comprenden los cambios en leyes y regulaciones, dificultades para el otorgamiento de permisos y licencias, cambio en aspectos de consultas y relacionamiento con comunidades, incumplimiento en los tiempos de trámites con entidades externas al proyecto, incumplimiento de la fecha de puesta en operación por parte del inversionista y pago de multas desde el proyecto, ejecución de garantías de cumplimiento, entre otros.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar el tiempo y financieramente el proyecto.</p>   |
| <b><i>Seguridad y orden público</i></b> | <p>El proyecto se puede ver impactado en el tiempo y en el costo derivado de acciones de grupos al margen de la ley que impidan acceso a sitios para los estudios, al desarrollo de los trabajos de construcción o realicen extorsiones, robo de materiales y equipos del proyecto, vandalismo, entre otras acciones.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar el tiempo y financieramente el proyecto</p>   |
| <b><i>Técnicos</i></b>                  | <p>Algunos aspectos técnicos que pueden impactar el costo y el tiempo del proyecto son: Diseños de mala calidad, cambios en los diseños, falta de materiales, adquisiciones inoportunas, errores de logística de materiales y equipos, mala calidad de los materiales y equipos, dificultades no contempladas para la construcción en sitio, que la</p>   |

| Categoría del Riesgo          | Descriptor del Riesgo   |
|-------------------------------|---|
|                               | <p>infraestructura construida no cumpla las condiciones técnicas mínimas, bajos rendimientos en la construcción, falta de recursos humanos y de capacidad de contratistas, pérdida de vidas humanas, cruce con otras infraestructuras (vías, trenes, líneas de transmisión, oleoductos, etc.), entre otros.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar el tiempo y financieramente el proyecto</p> |
| <i>Actos de la naturaleza</i> | <p>Eventos como desastres naturales, deslizamientos que generan dificultades de acceso, derrumbe de excavaciones, viento excesivo que limita el armado de las estructuras, lluvia que limita avance de obras, entre otros.</p> <p>La materialización de este riesgo puede impactar el tiempo y financieramente el proyecto.</p>   |

**Tabla 1. Descripción de los riesgos asociados a Proyectos de transmisión energía**

Cuando los proyectos de transmisión energía entran en operación en las fechas estimadas, implica para los inversionistas el pago de compensaciones (en el caso colombiano, la compensación equivale dos veces el ingreso esperado) y la posible ejecución de garantías financieras, pero probablemente el mayor impacto lo asume el sistema y los clientes, ya que no se pueden percibir los beneficios del proyecto y en ocasiones se pierde flexibilidad y/o se hace más costosa la operación del sistema, por el despacho de recursos energéticos menos competitivos con el fin de mantener la seguridad y confiabilidad en el suministro (en la tarifa se incluye, además del costo de Generación, Transmisión, Distribución, Comercialización y Pérdidas, un componente denominado Restricciones que representa el valor superior de despachar plantas menos competitivas que se requieren para la operación segura del sistema). De allí proviene la necesidad de que los agentes que asumen

compromisos para desarrollar un proyecto de transmisión, sean conscientes y tengan la capacidad para gestionar los riesgos presentes en la construcción de subestaciones y líneas de transmisión, ya que las consecuencias para el inversionista pueden ser muy importantes, así como las ocasionadas en el sistema cuando no se llega a tiempo con los proyectos de transmisión energía.

Partiendo de la definición, El riesgo es una condición que se da cuando emerge una incertidumbre con potencial de afectar de manera negativa uno o más de los objetivos de un proyecto y su funcionamiento (ISO, 2009; PMI, 2013), la identificación de los riesgos, la comprensión de las causas raíz y de la cuantificación del impacto, son aspectos muy importantes al momento de desarrollar proyectos. Hasta el momento se han identificado los riesgos asociados a proyectos de transmisión energía, los análisis de causa raíz y la cuantificación del impacto se desarrollarán en el próximo numeral. Sin embargo, es claro que por el nivel de complejidad de este tipo de proyectos se requiere de análisis cualitativo y numérico para determinar el impacto de los mismos en el proyecto (Buchtik, 2013: IV).

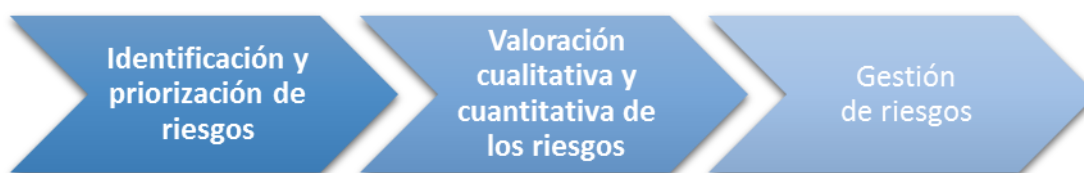
En relación con el análisis numérico de riesgos en la formulación de ofertas para proyectos de transmisión energía, existen diversas metodologías, muchas de ellas determinísticas y soportadas a partir de los conceptos de expertos que pueden ser muy subjetivas y llevar a sobrestimación o subestimación del costo ofertado, con las implicaciones del caso, sobrevaloración y pérdida de competitividad en la oferta, o subvaloración con riesgo de afectar la rentabilidad esperada y hasta pérdidas para el inversionista. De acuerdo a lo anterior, se busca promover y fortalecer el conocimiento de metodologías para valoración de riesgo(s) y su impacto en el costo y tiempo de los proyectos, mediante la aplicación de



modelos numéricos no lineales que incorporen variables como la probabilidad de ocurrencia del riesgo, valorando los impactos acumulativos y permitiendo una valoración más cercana a la realidad sin afectar la competitividad de la oferta, ni la rentabilidad del inversionista y permitiendo un desarrollo adecuado de la infraestructura requerida por el sistema eléctrico.

## **CAPITULO 3. METODOLOGÍA, PRINCIPALES RIESGOS Y DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD**

Las referencias Parihar (2014), Tummala y J. F. Burchett (1999), Buchtik (2013) y el capítulo 11 del PMI (ISO, 2009; PMI, 2013) plantean tres elementos comunes en la gestión de riesgos de un proyecto: Identificación, Evaluación y Gestión. Son los primeros dos elementos los que competen a este documento.



**Ilustración 4. Metodología propuesta para la Evaluación de los Riesgos**

### **3.1 Identificación y priorización de Riesgos**

El paso inicial en la gestión de riesgos es identificar los riesgos, esta actividad se desarrolla mediante la participación de expertos. Luego de la identificación, es necesario en todos los proyectos desarrollar un análisis cualitativo de riesgos y realizar un proceso de priorización de los riesgos con el fin de realizar gestión sobre los riesgos con la calificación más relevante para el proyecto y de esta manera maximizar el impacto de la gestión de los

riesgos (Buchtik, 2013: III), es decir, que se debe hacer énfasis en aquellos riesgos que la calificación es más alta, teniendo en cuenta que la Calificación del riesgo es función de la Probabilidad \* Impacto.

Para esta fase de identificación y priorización de riesgos aplicables al proyecto, se propone un taller con expertos, donde participa el todo el equipo interdisciplinario del proyecto, en un ejercicio tipo lluvia de ideas (Buchtik, 2013: IV), se recogen todas las propuestas, se clasifican en las categorías de riesgo descritas (ver Tabla 1) y se procede a la calificación, para en últimas priorizar en función su probabilidad e impacto en una matriz.

Para el caso de estudio, se realizaron varias sesiones de trabajo con el equipo interdisciplinario de expertos donde se identificaron 19 riesgos incluidos en las ocho categorías de la Tabla 1.

### **3.2 Valoración Cualitativa y Matriz de Riesgos**

La valoración cualitativa debe ir más allá de la descripción del riesgo, la matriz de probabilidad e impacto es usada para ubicar todos los riesgos de un proyecto y lograr una visión integral de los mismos y del nivel de criticidad del proyecto (Buchtik, 2013: III). El análisis cualitativo en la matriz probabilidad e impacto dependerá de las escalas de valoración definidas, de la experticia del equipo, de la calidad de información disponible y de la percepción del riesgo de los expertos que alimentan el análisis.

Para este se usarán colores para representar la calificación de los riesgos, es decir, si la calificación de los riesgos es alta quedarán ubicados en las casillas de color rojo (riesgos extremos), los de calificación alta en las casillas naranja (riesgos altos), los de calificación media en las casillas amarillas (riesgos con tolerancia media) y si son bajos en color verde (riesgos tolerables). La gestión de riesgos debe enfocarse en los riesgos extremos y altos, sin perder de vista los posibles cambios en los riesgos tolerables.

| PROBABILIDAD |   | IMPACTO |                   |            |       |        |
|--------------|---|---------|-------------------|------------|-------|--------|
|              |   | Mínima  | Menor             | Moderada   | Mayor | Máxima |
|              |   | 1       | 2                 | 4          | 8     | 16     |
| Muy alta     | 5 |         |                   |            |       |        |
| Alta         | 4 | R17     | R14               |            | R7    | R1     |
| Media        | 3 |         |                   | R8,R11,R12 | R9    | R2     |
| Baja         | 2 | R16,R19 | R3,R5,R13,R15,R18 | R4,R6,R10  |       |        |
| Muy baja     | 1 |         |                   |            |       |        |

**Tabla 2. Matriz de probabilidad e impacto de riesgos**

A partir de la identificación de los 19 riesgos incluidos en las ocho categorías de la Tabla 1, se calificaron en función de su impacto y probabilidad con el fin de priorizar los riesgos que impactarían de manera más relevante el CAPEX del proyecto. El resultado del ejercicio arrojó como priorizados los riesgos que aparecen a continuación:

- Prediales
- Ambientales
- Precio del Cobre
- Precio del Acero

Se aclara que en este trabajo se considerará el costo de capital como una variable determinística para el cálculo del VPN del proyecto, esto se realiza mediante la aplicación de métodos convencionales que contemplan el valor del dinero en el tiempo, incluyendo el

valor de mercado actual de los bonos del tesoro, la prima de riesgo del mercado accionario en Estados Unidos, la corrección por el tipo de sector (conocido como el Beta del sector), percepción de riesgo país, el apalancamiento de la empresa y el costo de la deuda nacional. En este sentido, el costo de capital no será objeto de análisis como variable aleatoria en el modelo.

### **3.3 Valoración Cuantitativa y Distribuciones de Probabilidad**

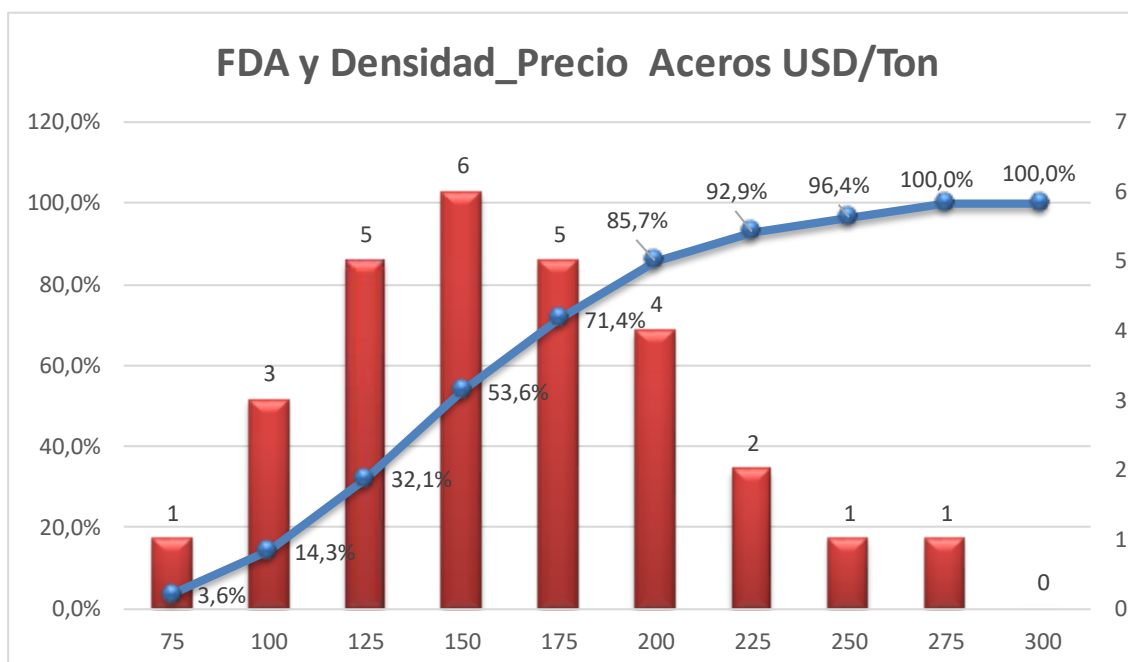
De acuerdo con los conceptos ya mencionados, el riesgo es una función de dos variables: la probabilidad de ocurrencia por el impacto en el proyecto. Sin embargo, para proyectos de alta complejidad, como los de transmisión eléctrica, se requiere de un análisis cuantitativo, que permita cuantificar el riesgo determinando los valores posibles que puede tomar una variable de riesgo (Buchtik, 2013: V). En este tipo de valoraciones ya no se habla de estimaciones determinísticas sino probabilísticas de las variables que impactan de manera más significativamente el tiempo y costo del proyecto.

Se debe caracterizar la probabilidad de ocurrencia del riesgo mediante una distribución estadística, ésta permite representar la incertidumbre de una variable, así como establecer el rango que puede tomar y la probabilidad de que ocurra cada valor del rango (Buchtik, 2013: V). La selección del tipo de distribución se hace dependiendo del nivel de incertidumbre, la probabilidad del rango de la variable y la disponibilidad de información histórica (distribuciones usadas: Uniforme, Triangular y Normal, este orden esta de menor a mayor disponibilidad de información).

Para las cuatro variables priorizadas (Predial, Ambiental, Cobre y Aceros), se proponen talleres de expertos y de datos reales de proyectos previos, para desarrollar un análisis con Función de Distribución Acumulada (FDA) con el fin de describir la probabilidad del evento para cada variable. A continuación, se muestra la tabla de construcción de la FDA de la variable Aceros a partir de la evaluación hecha por cada experto (Ei):

| Precio Acero USD /Ton | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | Total | Probabilidad | Probabilidad Acumulada |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|-------|--------------|------------------------|
| 75                    | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1     | 3,6%         | 3,6%                   |
| 100                   | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 3     | 10,7%        | 14,3%                  |
| 125                   | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     | 17,9%        | 32,1%                  |
| 150                   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 6     | 21,4%        | 53,6%                  |
| 175                   | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 5     | 17,9%        | 71,4%                  |
| 200                   | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 4     | 14,3%        | 85,7%                  |
| 225                   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2     | 7,1%         | 92,9%                  |
| 250                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     | 3,6%         | 96,4%                  |
| 275                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     | 3,6%         | 100,0%                 |
| 300                   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 100,0%                 |

**Tabla 3. Función de Distribución Acumulada para Aceros-Expertos**

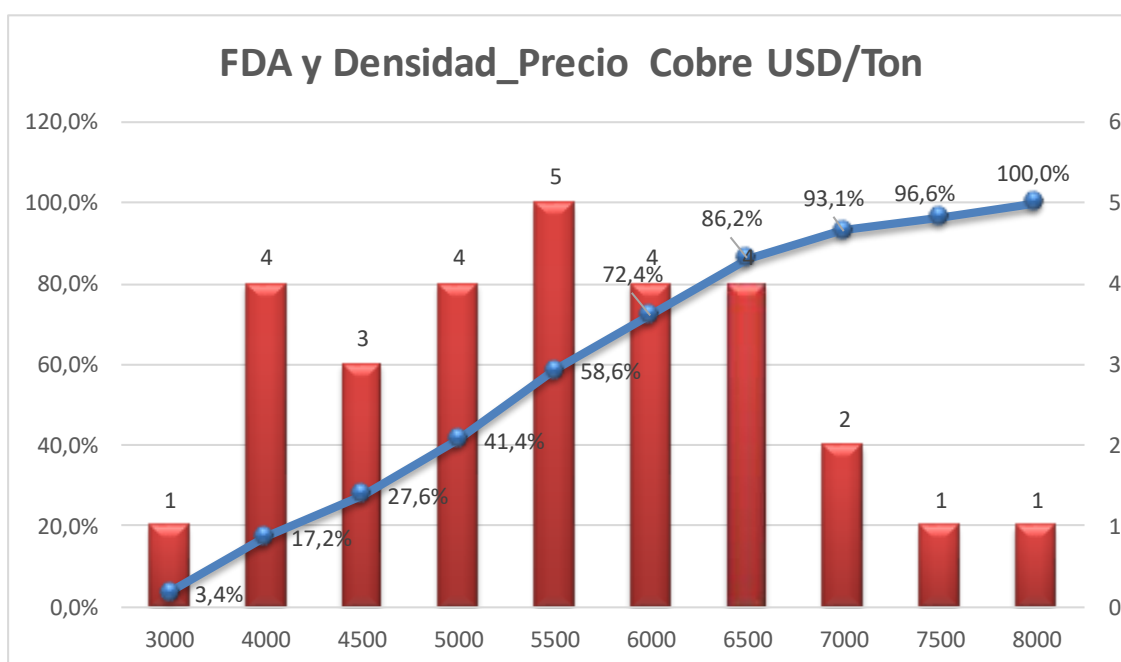


### Ilustración 5. Función de Distribución Acumulada para Aceros-Expertos

A continuación, las tablas e ilustraciones de FDA de las demás variables seleccionadas:

| Precio Cobre USD /Ton | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | Total | Probabilidad | Probabilidad Acumulada |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|-------|--------------|------------------------|
| 3000                  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     | 3,4%         | 3,4%                   |
| 4000                  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 4     | 13,8%        | 17,2%                  |
| 4500                  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 3     | 10,3%        | 27,6%                  |
| 5000                  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 4     | 13,8%        | 41,4%                  |
| 5500                  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 5     | 17,2%        | 58,6%                  |
| 6000                  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 4     | 13,8%        | 72,4%                  |
| 6500                  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 4     | 13,8%        | 86,2%                  |
| 7000                  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 2     | 6,9%         | 93,1%                  |
| 7500                  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     | 3,4%         | 96,6%                  |
| 8000                  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     | 3,4%         | 100,0%                 |

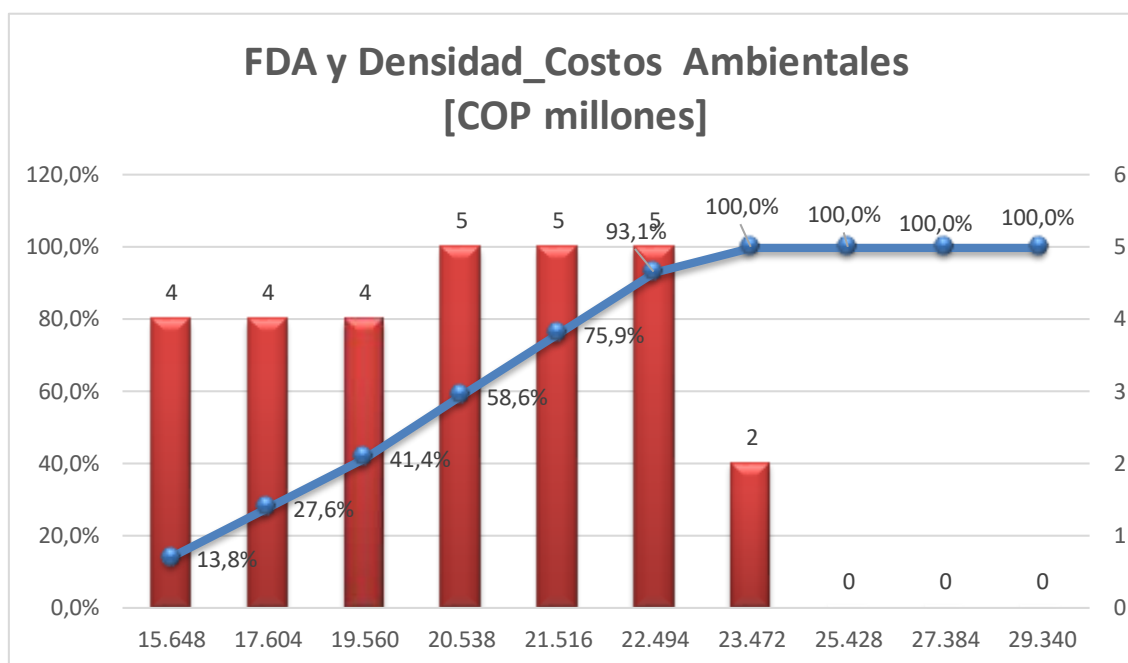
**Tabla 4. Función de Distribución Acumulada para Cobre**



**Ilustración 6. Función de Distribución Acumulada para Cobre-Expertos**

| Costos Ambientales [COP millones] | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | Total | Probabilidad | Probabilidad Acumulada |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|-------|--------------|------------------------|
| 15.648                            | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 4     | 13,8%        | 13,8%                  |
| 17.604                            | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 4     | 13,8%        | 27,6%                  |
| 19.560                            | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 4     | 13,8%        | 41,4%                  |
| 20.538                            | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     | 17,2%        | 58,6%                  |
| 21.516                            | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     | 17,2%        | 75,9%                  |
| 22.494                            | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     | 17,2%        | 93,1%                  |
| 23.472                            | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2     | 6,9%         | 100,0%                 |
| 25.428                            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 100,0%                 |
| 27.384                            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 100,0%                 |
| 29.340                            | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 100,0%                 |

**Tabla 5. Función de Distribución Acumulada para Costos Ambiental**

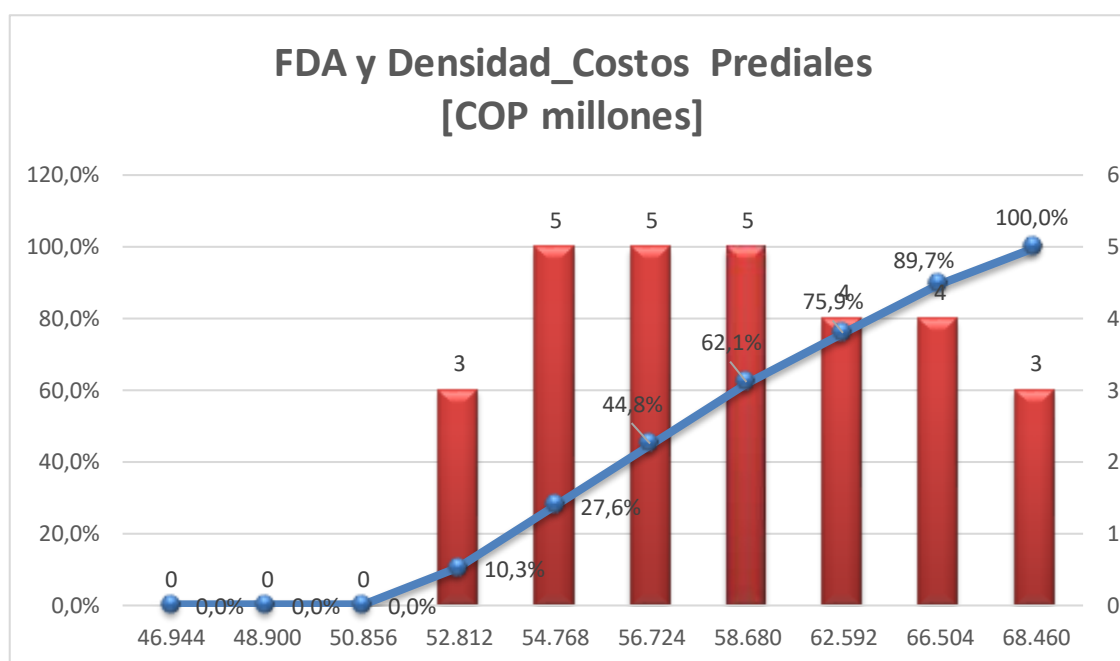


**Ilustración 7. Función de Distribución Acumulada Costos Ambientales-Expertos**



| Costos Prediales [COP millones] | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | Total | Probabilidad | Probabilidad Acumulada |
|---------------------------------|----|----|----|----|----|----|-------|--------------|------------------------|
| 46.944                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 0,0%                   |
| 48.900                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 0,0%                   |
| 50.856                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 0,0%         | 0,0%                   |
| 52.812                          | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 3     | 10,3%        | 10,3%                  |
| 54.768                          | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 5     | 17,2%        | 27,6%                  |
| 56.724                          | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 5     | 17,2%        | 44,8%                  |
| 58.680                          | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 5     | 17,2%        | 62,1%                  |
| 62.592                          | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 4     | 13,8%        | 75,9%                  |
| 66.504                          | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 4     | 13,8%        | 89,7%                  |
| 68.460                          | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 3     | 10,3%        | 100,0%                 |

**Tabla 6. Función de Distribución Acumulada para Costos Prediales**



**Ilustración 8. Función de Distribución Acumulada Costos Prediales-Expertos**

Al obtener las FDA se verifica que sean distribuciones coherentes, en tanto cumplen con los principios de no negatividad e inferior a la unidad que se deben imponer a una distribución de probabilidad, y que representen de buena manera la movilidad de las

variables priorizadas como relevantes en el proyecto de acuerdo con el criterio de los expertos.

Es posible que la muestra obtenida de los seis expertos para cada variable sea poco representativa, además de ser no paramétrica. Mediante simulación, se genera una muestra suficiente para estimar la media y desviación estándar, considerando el concepto del teorema del límite central, donde la distribución de estas variables sean distribuciones normales no paramétricas en distribuciones normales. El teorema del límite central dice que las medias de muestras grandes y aleatorias son aproximadamente normales.

| <b>Distribución Normal</b> | <b>Acero</b> | <b>Cobre</b> | <b>Ambiental</b> | <b>Predial</b> |
|----------------------------|--------------|--------------|------------------|----------------|
| Media                      | 163          | 5.436        | 19.979           | 58.849         |
| Desviación Estándar        | 47           | 1.099        | 2.396            | 4.564          |
| Coefficiente de Variación  | 29%          | 20%          | 12%              | 8%             |

**Tabla 7. Distribución normal de los riesgos priorizados**

De igual manera, al contar con una amplia disponibilidad de datos es posible generar incluso distribuciones triangulares definiéndolas a partir de un percentil 5%, una media y un percentil 95%.

| <b>Distribución Triangular</b> | <b>Acero</b> | <b>Cobre</b> | <b>Ambiental</b> | <b>Predial</b> |
|--------------------------------|--------------|--------------|------------------|----------------|
| Percentil 5%                   | 78           | 3.113        | 5.672            | 51.801         |
| Media                          | 163          | 5.436        | 19.979           | 58.849         |
| Percentil 95%                  | 240          | 7.275        | 22.763           | 67.515         |

**Tabla 8. Distribución triangular de los riesgos priorizados**

Por último, se simula en un modelo financiero del proyecto, el cual tiene como entradas el costo de las variables de riesgo priorizadas (predial, ambiental, cobre y aceros) con su respectiva distribución de probabilidad, en este caso se usarán las distribuciones normales y

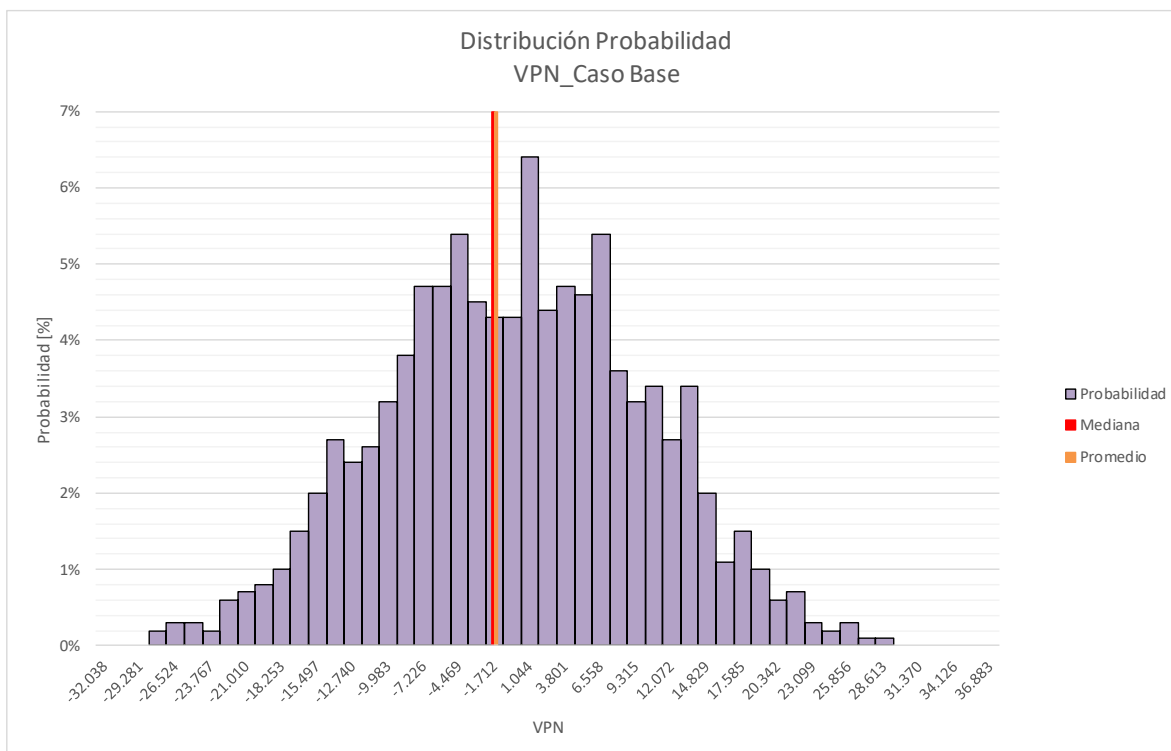
sus coeficientes de variación; y mediante la técnica de simulación de Montecarlo, prueban todas las posibles combinaciones de los valores de las variables de entrada para simular los posibles resultados del proyecto (Bulchik, 2013: V), con el fin de poder determinar la variable de salida Valor Presente Neto (VPN) del proyecto. La simulación entregará como resultado la probabilidad de ejecutar el proyecto dentro del CAPEX estimado (la media), el mínimo VPN posible (percentil 5%), entre otros datos que sirven como un insumo adicional para el tomador de decisión y que le aportan al momento de determinar la anualidad a ofertar en una Convocatoria Pública para ser adjudicatario de un proyecto de transmisión eléctrica.

## **CAPITULO 4. RESULTADOS CASO DE ESTUDIO**

Este análisis permite determinar reservas de costo, crear objetivos realistas en términos del VPN esperado en un proyecto, determinar cuáles son los riesgos que requieren mayor atención, analizar el riesgo general del proyecto y cuantificar la probabilidad de cumplir con un objetivo del proyecto.

Para realizar las simulaciones se parte de un proyecto que tiene unas inversiones de COP 206.210,83 millones y se calcula en el modelo financiero una anualidad que hace el VPN igual a cero, el valor de la anualidad obtenido para el caso base es COP 43.163,16 millones. Si el proyecto se desarrolla sin imprevistos con este ingreso anual el proyecto retribuye el costo de capital esperado por los inversionistas. El costo de capital no será una variable en este ejercicio, dado que las empresas participantes en el negocio de transmisión energía ya tienen definido un costo de capital para determinar si un proyecto es atractivo o no, esta no será una variable de tipo aleatorio en el modelo; dejando a al director del proyecto la responsabilidad de gestionar los otros elementos que sí son modelados como factores con incertidumbre. Lo anterior, debido a que este es un factor estratégico de las compañías no se publica el valor usado en este ejercicio, más aún cuando es posible asociar el autor del trabajo con su rol empresarial.

Luego de conjugar todas las variables priorizadas (acero, cobre, ambiental y predial) y sus distribuciones de probabilidad en el modelo estocástico y financiero, se obtiene la siguiente distribución de probabilidad para el VPN del proyecto.



**Ilustración 9. Distribución de Probabilidad del VPN del proyecto, caso base**

Algunos de los resultados que se observan de la simulación del proyecto son:

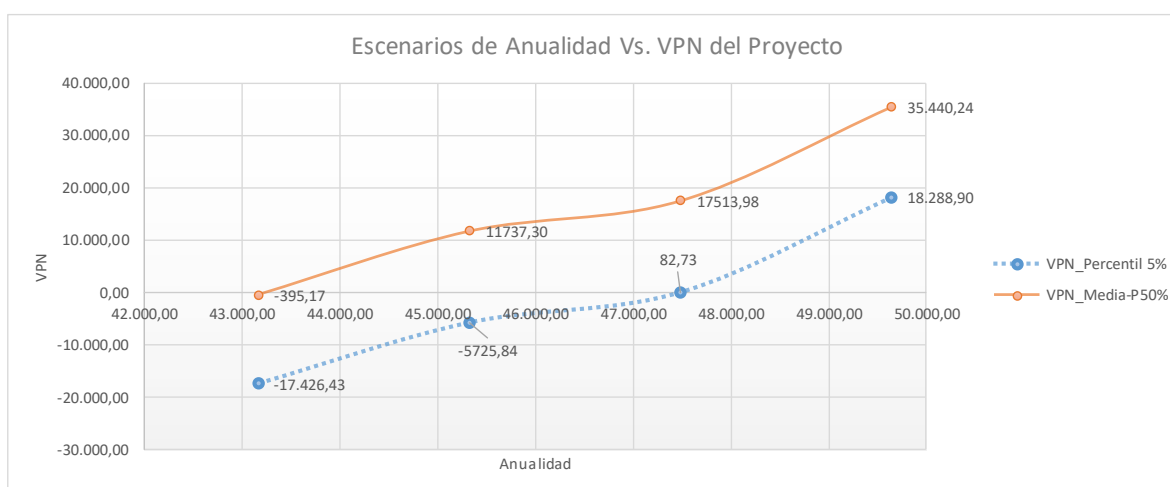
- El percentil 5% representa el mínimo VPN posible del proyecto con un valor de COP -17.426,43 millones, para este valor se tiene un nivel de confianza del 95% que todo VPN será mayor que este valor.
- La media tiene un VPN con valor de COP -395,17 millones, este valor sería el VPN esperado para el proyecto.
- El VPN del proyecto podría tomar con probabilidades mínimas, valores máximos de COP 36.883,30 millones y mínimos COP -32.037,65 millones.

A continuación, se plantean tres escenarios adicionales al caso base, en los cuales se modifica la anualidad incrementándola en pasos del 5%, con el fin de identificar los impactos en el VPN del proyecto.

| Escenarios            | Valor Anualidad | VPN Percentil 5% | VPN Media (P50%) |
|-----------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Anualidad 1_Caso base | 43.163,16       | -17.426,43       | -395,17          |
| Anualidad 2           | 45.321,32       | -5.725,84        | 11737,30         |
| Anualidad 3           | 47.479,48       | 82,73            | 17513,98         |
| Anualidad 4           | 49.637,63       | 18.288,90        | 35.440,24        |

**Tabla 9. Escenarios con diferentes anualidades y los VPN obtenidos**

En la siguiente ilustración, se muestra un resumen de los cuatro escenarios de anualidad con sus respectivos VPN del proyecto, tanto para el percentil 5% que representa el mínimo VPN a obtener, como para la media (percentil 50%) que representa el VPN esperado del proyecto.



**Ilustración 10. Escenarios de Anualidad e impactos en el VPN del proyecto**

Los resultados arrojados por el análisis de sensibilidad de las cuatro anualidades y dispuestos en la ilustración son coherentes, estos muestran que el VPN asociado al percentil 5% son inferiores a los de la media y que al aumentar el valor de la anualidad se cubren los

riesgos del proyecto haciendo el VPN más positivo, incluso para el percentil 5% que representa un nivel de confianza del 95% que todo VPN será mayor que este valor. También se identifica que la relación entre anualidad Vs. VPN no es lineal entre los escenarios, ya que a cambios del 5% en la anualidad, los cambios en el VPN no tienen una relación lineal. Al presentarse que tanto la media como el percentil cinco del VPN son crecientes, se nota que una estrategia de minimización de riesgos es en sí misma una estrategia de maximización de beneficio esperado.

Este tipo de análisis entrega información valiosa para el tomador de decisión, ya que le permite contar con información del impacto que tiene la anualidad a ofertar en el VPN del proyecto, con un valor agregado que es la incorporación de las posibles variaciones (distribuciones de probabilidad) de los principales riesgos del proyecto.

Adicional a la información de este análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos del proyecto, el tomador de decisión deberá mantener un balance entre la anualidad a ofertar, el cubrimiento de riesgos y la competitividad de su oferta en un mercado de libre competencia, si quiere ser adjudicatario del proyecto y continuar aumentando su participación de mercado de transmisión eléctrica.

## CONCLUSIONES

Este trabajo desarrolla una descripción de los riesgos que deben ser considerados para la ejecución de un proyecto de transmisión de electricidad, en Colombia, una evaluación y valoración del impacto que tendrían en el proyecto en caso de materializarse, así como el impacto sobre el VPN del proyecto y el cubrimiento de los riesgos mediante el cambio de la anualidad.

La gestión de riesgos tiene por objetivo la maximización los resultados no solo del proyecto sino de la organización, al permitir la toma de decisiones de manera más estructurada y con mayor información. El manejo e implementación de este tipo de metodologías aporta a una adecuada gestión de riesgos en proyectos, además de generar una mayor competitividad de las ofertas y podría favorecer el aumento en la participación para una empresa con interés en el mercado de la transmisión de energía. Se debe mantener un sano balance y buscar otras alternativas de gestión de riesgos, ya que en los análisis reportados se muestra cómo la reducción de riesgos del proyecto puede darse mediante el aumento del valor esperado del mismo.



La gestión de los riesgos para proyectos inicia desde las etapas tempranas de formulación de los mismos, este tipo de metodologías permiten tomar decisiones de gestión de riesgos de manera anticipada, con información más objetiva y real, favoreciendo el buen desarrollo de los proyectos y apalancando los resultados de la organización.

Los riesgos más relevantes se identificaron provenientes de las variaciones del acero, el cobre que impacta directamente el valor de los equipos, la gestión ambiental y la gestión predial, ya que los cambios de estas variables pueden llevar a que un proyecto sea viable o no viable. Para el caso base el VPN del proyecto en el percentil cinco era de COP 17.426 millones y en la media el VPN era de -395 millones, ante estos altos montos, comunes en proyectos de infraestructura de transmisión eléctrica, se demuestra la conveniencia y necesidad de destinar recursos a la gestión de riesgos ya que retornan fácilmente grandes beneficios.

Al analizar el caso de estudio y sus sensibilidades, se identificó como para percentiles más bajos, donde se cubren mayores variaciones de los riesgos, el proyecto presenta menores VPN y para mayores percentiles, donde se cubren menores variaciones de los riesgos, el proyecto presenta mejores VPN. De igual manera, se logra demostrar que al aumentar el valor de la anualidad se cubren mayor cantidad de riesgos del proyecto haciendo el VPN más positivo.

Con el trabajo desarrollado se cumple el objetivo de valorar cualitativamente y cuantitativamente los riesgos e incertidumbres que se dan en un proyecto de transmisión energía, así como analizar el impacto en el costo y en el VPN del proyecto, al incorporar en los diferentes riesgos y sus variaciones. Se utilizó para la cuantificación de los riesgos el criterio de un grupo de expertos a través de una elicitación de mano alzada, esta metodología permitió no solo la cuantificación de los riesgos sino la socialización de los mismos.

Se identificó como un aspecto clave para desarrollar este tipo de análisis la experticia, experiencia y el conocimiento de los profesionales que participan en estos análisis, así como la participación de grupos interdisciplinarios. Estas condiciones limitan la subjetividad que puedan imprimirse en los análisis de riesgos y hace más competitivas las ofertas.

## BIBLIOGRAFÍA

Kundur Prabha, (1993) *Power System Stability and Control*. Palo Alto, California, USA. McGraw-Hill, Inc.

Buchtik Liliana, PMP, PMI-RMP, (2013) *Secret to mastering the WBS in real world projects*. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc.

Buchtik Liliana, PMP, PMI-RMP, (2013) *Secretos para dominar la Gestión de Riesgos en Proyectos*. Uruguay: buchtikglobal.

International Organization for Standardization (ISO) (2009). *ISO 31000, Risk management: Principles and guidelines*. Geneva, Switzerland: Author.

Project Management Institute. (2013). *A guide to the project Management body of knowledge (PMBOK® guide)*. Fifth ed. Newtown Square, PA: Author.PMI, 2013.

Shwetank Parihar, Chandan Bhar, Nishit Kumar Srivastava. (2014) “Risk Management by Scaling for Project Phases of Electrical Transmission Line Installation Projects”. *Skyline Business Journal*, 17. Recuperado el 21 de febrero de 2016 de <http://web.a.ebscohost.com.consultaremota.upb.edu.co/ehost/detail/detail?vid=4&sid=84d9>

[2112-ff64-4374-b105-80239a4d819a%40sessionmgr4003&hid=4206&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=101197793&db=bth](http://web.a.ebscohost.com/consultaremota.upb.edu.co/ehost/detail/detail?vid=2&sid=c22c649c-187f-4cb8-beeb-d739976eac6d%40sessionmgr4003&hid=4206&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=101197793&db=bth)

Thamhain, Hans. (2013) “Managing Risks in Complex Projects”. Project Management Journal, 20. © 2013 by the Project Management Institute. Recuperado el 20 de febrero de 2016 de

<http://web.a.ebscohost.com/consultaremota.upb.edu.co/ehost/detail/detail?vid=2&sid=c22c649c-187f-4cb8-beeb-d739976eac6d%40sessionmgr4001&hid=4206&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=86197592&db=bth>

Tummala and J. F. Burchett (1999) “Applying a Risk Management Process (RMP) to manage cost risk for an EHV transmission line project”. International Journal of Project Management, 223. © 1999 Elsevier Science Ltd and IPMA. Recuperado el 21 de febrero de 2016 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786398000386>

Francischetti, Carlos Eduardo; Bertassi, André Luis; Souza Girioli Camargo, Lumila; Padoveze, Clóvis Luís; Calil, José Francisco (2014). “El análisis de riesgos como herramienta para la toma de decisiones relativas a inversiones”. *Invenio*, vol. 17, No. 33, pp. 73-85. © 2014 Universidad del Centro Educativo Latinoamericano Rosario, Argentina. Recuperado el 09 de abril de 2017 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87732404006>

Hans Thamhain. “Managing Risks in Complex Projects”. Bentley University, Waltham, MA, USA. *Project Management Journal*, April 2013, vol. 44, No. 2, pp. 20-35 .Recuperado el 20 de febrero de 2016 desde: <http://web.a.ebscohost.com/consultaremota.upb.edu.co/ehost/detail/detail?vid=2&sid=c22c649c-187f-4cb8-beeb-d739976eac6d%40sessionmgr4001&hid=4206&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZTllaG9zdC1saXZl#AN=86197592&db=bth>