ESTIMACIÓN DE POSIBLES COSTOS ADICIONALES.

PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN DEL TRAMO MAIRANA-BERMEJO

PRESTAMO BID BO-L1186

PROYECTO: TRAMO MAIRANA-BERMEJO DE LA CARRETERA ANGOSTURA-COMARAPA

Mayo de 2017

El presente documento fue elaborado por el Ing. Leonardo Vásquez Samacá, consultor contratado por el Banco Interamericano de Desarrollo en el marco de la preparación de la presente operación. Cualquier concepto vertido en este análisis es responsabilidad exclusiva del consultor y no refleja la posición oficial del BID

# Contenido

[Contenido 2](#_Toc484602598)

[Glosario 5](#_Toc484602599)

[1 Resumen Ejecutivo 6](#_Toc484602600)

[2 Introducción y Antecedentes 9](#_Toc484602601)

[3 Objetivo y Alcance 11](#_Toc484602602)

[4 Metodología 12](#_Toc484602603)

[4.1 Etapas Metodológicas 12](#_Toc484602604)

[4.2 Metodología para el Análisis de Riesgos y Simulación de Montecarlo 14](#_Toc484602605)

[4.3 Información Base 18](#_Toc484602606)

[5 Descripción del Proyecto 19](#_Toc484602607)

[6 Presupuesto del Proyecto 20](#_Toc484602608)

[7 Diagnóstico General de Costos 21](#_Toc484602609)

[7.1 Principales Insumos y su Incidencia en el Presupuesto de Referencia 21](#_Toc484602610)

[7.2 Variación entre precios de referencia y precios ofertados en el proceso licitatorio 22](#_Toc484602611)

[7.3 Variación de Precios de Mercado en el Tiempo 23](#_Toc484602612)

[7.4 Riesgo de Costos Adicionales 24](#_Toc484602613)

[8 Valoración del Riesgo de Costos Adicionales 27](#_Toc484602614)

[8.1 Valoración de variación entre precios de referencia y precios ofertados 31](#_Toc484602615)

[8.2 Valoración de Variación en Precios de Mercado en el Tiempo o Escalamiento 31](#_Toc484602616)

[8.3 Cálculo del Total Contingente 32](#_Toc484602617)

[9 Conclusiones y Recomendaciones 33](#_Toc484602618)

[10 Lista de referencias 35](#_Toc484602619)

[ANEXOS - Series Históricas de Precios y Resultados Modelo ARIMA 36](#_Toc484602620)

**INDICE DE TABLAS**

[Tabla 1. Categorías de probabilidad de los riesgos 15](#_Toc484602621)

[Tabla 2. Categorías de clasificación de los impactos 15](#_Toc484602622)

[Tabla 3. Matriz de riesgos e impactos 16](#_Toc484602623)

[Tabla 4. Presupuesto mejoramiento del camino TRAMO MAIRANA-BERMEJO (US$ de 2016) 20](#_Toc484602624)

[Tabla 5. Insumos Básicos e Incidencias 22](#_Toc484602625)

[Tabla 6. Presupuesto de Referencia vs Presupuesto Otros Proyectos 22](#_Toc484602626)

[Tabla 7. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos 23](#_Toc484602627)

[Tabla 8. Riesgos a Evaluar y Calificación 27](#_Toc484602628)

[Tabla 9. Riesgos: Asignación y Mitigación 28](#_Toc484602629)

[Tabla 10. Riesgos: Tratamiento en Modelación 29](#_Toc484602630)

[Tabla 11. Series Índices de Precios de Principales Insumos de Obra 36](#_Toc484602631)

[Tabla 12. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos 38](#_Toc484602632)

**INDICE DE ILUSTRACIONES**

[Ilustración 1 –Ubicación del TRAMO MAIRANA-BERMEJO 19](#_Toc484602633)

[Ilustración 2. Costo Promedio por Kilómetro de Algunos Proyectos ABC 26](#_Toc484602634)

[Ilustración 3. Curvas de Distribución de Probabilidad de Ocurrencia - Riesgo Variación Precios Ofertados vs Precios de Referencia. 31](#_Toc484602635)

[Ilustración 4. Curva de Probabilidad de Factor de Escalamiento (Calculado 2017-2021) 32](#_Toc484602636)

[Ilustración 5. Provisión de Costos Adicionales 33](#_Toc484602637)

[Ilustración 6. Índices de Precios Normalizados (Base 2008=100) 37](#_Toc484602638)

[Ilustración 7. Índice General de Costos - Proyección ARIMA 37](#_Toc484602639)

# Glosario

ABC: Administradora Boliviana de Carreteras.

ARIMA: Modelo autorregresivo integrado de promedio móvil o ARIMA (por sus siglas en inglés autoregressive integrated moving average) es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro. Se trata de un modelo dinámico de series temporales, es decir, las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado y no por variables independientes. Fue desarrollado a finales de los sesenta del siglo XX. Box y Jenkins (1976)

BCB: Banco Central de Bolivia

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

Estudio TESA: Estudio integral Técnico, Económico, Social y Ambiental.

INE: Instituto Nacional de Estadística

Método Montecarlo: Método de Montecarlo. El método Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias.

# Resumen Ejecutivo

El presente documento contiene el análisis de cuantificación de riesgo de costos adicionales que se puedan presentar durante la implementación del “Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo (BO-L1186)” en BOLIVIA, teniendo en cuenta el comportamiento histórico de las variables más representativas en un proyecto vial.

En este contexto se analiza como muestra representativa, el Proyecto “**TRAMO MAIRANA-BERMEJO DE LA CARRETERA ANGOSTURA-COMARAPA**”, el cual tiene una longitud aproximada de 58.24 kms, y consiste (de acuerdo con el estudio TESA[[1]](#footnote-1)) en una intervención de mantenimiento periódico y rehabilitación en segundo grado, que comprende: movimientos de tierras, pavimentación, obras de drenaje, obras de arte mayor y menor, obras complementarias (173 muros nuevos, y mantenimiento de 11 puentes), mitigación ambiental, señalización y seguridad vial, y la construcción del peaje de Samaipata; en cuanto a la pavimentación, se empleará el método de “Concreto Asfáltico con Polímeros de 8 cm”. El costo total de obra y servicios es de US$ 51,2 millones de dólares, que sumando: costos de supervisión (10% del costo de proyecto), costos de fiscalización (1,5% del costo de proyecto), e imprevistos (15%[[2]](#footnote-2) del costo de proyecto, que incluye reserva para escalamiento e imprevistos); asciende a US$ 65,59 millones de dólares[[3]](#footnote-3). En cuanto al plazo de ejecución del proyecto se estima en 40 meses, iniciando en el primer semestre de 2018[[4]](#footnote-4). Es importante resaltar que el proyecto se alinea con el objetivo general de la tercera fase del Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo (BO-L1186), que es contribuir a mejorar las condiciones de transitabilidad, reduciendo los tiempos de viaje y la accidentalidad, en el área de influencia de las vías intervenidas[[5]](#footnote-5).

En esencia se cuantifican en la estimación del riesgo de costos adicionales: i) incertidumbre asociada a precios unitarios del presupuesto de referencia vs precios unitarios de mercado y otros proyectos; ii) posibles eficiencias capturadas en la oferta licitatoria; iii) Riesgo de costos adicionales por mayores cantidades de obra y obras adicionales no previstas; iv) Variación de precios de mercado en el tiempo o Escalamiento; análisis que se realiza acorde al desarrollo metodológico conceptual del “Manual para la Estimación y Seguimiento del Costo Final de un Programa de Infraestructura” (BID, 2016, Monteverde, Pereyra y Pérez), y la información disponible para análisis.

El análisis se fundamenta en: **i)** Estudio Integral TESA del Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo[[6]](#footnote-6); **ii)** “Estudio de Costos de Proyectos de Transporte en Bolivia y Evaluación Económica y Social de Proyectos para el Programa de Inversión - ATN/OC–14682-BO // Valoración de la Incertidumbre Asociada a la Estimación de los Precios de Referencia y Estimación de Costos Adicionales // 2016”[[7]](#footnote-7), el cual contiene análisis de información histórica de proyectos viales ejecutados por la Administradora Boliviana de Carreteras – ABC (años de 2007 a 2014), información de precios unitarios útil para el presente análisis, y series históricas de variación de precios de materiales, equipos y mano de obra en Bolivia ; **iii)** Información de variación en el tiempo de costos de insumos de obra (materiales, mano de obra y equipos) provenientes de bases de datos de fuentes oficiales (Instituto Nacional de Estadística[[8]](#footnote-8), Administradora Boliviana de Carreteras[[9]](#footnote-9) ) y notas de prensa.

Empleando la data histórica y expectativas futuras se desarrolla un modelo probabilístico siguiendo la metodología de simulación de Montecarlo, que parte de un modelo matemático que simula la problemática objeto de análisis (en este caso un modelo de costos del proyecto), sobre el cual se asignan distribuciones de probabilidad a las variables con incertidumbre (variables con riesgo de variación), para posteriormente generar números aleatorios acordes a esas distribuciones “simulando” la posible activación de riesgos en el futuro; por otro lado, se tiene una variable dependiente que mide el impacto de la activación de los diferentes riesgos, a la cual se le hace un seguimiento en el proceso de generación aleatoria de variables de riesgo, y al final de una serie de iteraciones, se obtiene una curva que relaciona impacto con probabilidad de ocurrencia del mismo (riesgo de costos adicionales).

Del análisis realizado **se encuentra necesario una provisión de 10% sobre el costo total del proyecto**, que cubriría: i) la variación entre el presupuesto actual y el presupuesto de adjudicación del proyecto + ii) el riesgo de costo de obras adicionales durante la ejecución del proyecto + iii) Escalamiento o variación de precios unitarios de mercado de los insumos de obra desde la actualidad hasta la entrega programada de obra (primer semestre de 2021), dicha provisión equivale a la suma de US$5,12 millones.

De otra parte se tienen las siguientes recomendaciones:

* Con respecto a la recomendación de asignación de riesgos analizados ver Tabla 9. Riesgos: Asignación y Mitigación
* Para la cuantificación de riesgos en proyectos futuros es necesario contar con bases de datos que reflejen el comportamiento de proyectos recientes y la mejora en gestión por parte del organismo ejecutor. En este sentido se sugiere en los proyectos financiados por BID (y en otros si es posible), insistir al organismo ejecutor sobre la importancia de constituir y mantener actualizada una base de datos donde se registren (con detalle de actividades y costos unitarios): los presupuestos iniciales, los presupuestos de adjudicación, los presupuestos finales, el plazo inicial estimado, el plazo real de ejecución, y aquellos hechos que motivaron costos adicionales y/o retrasos en los plazos de ejecución, así como ajustes por escalamiento vs lo inicialmente previsto.
* Con respecto a los mecanismos de mitigación del riesgo de costos adicionales por mayores cantidades de obra se recomienda:
  1. Profundizar en estudios de campo en etapa de preinversión.
  2. Formalizar las interacciones con la comunidad y consignar sus solicitudes, de tal forma que puedan ser analizadas como parte de los estudios TESA.
  3. Constituir una figura similar a “Asistente Técnico” empleada en países como Nicaragua, que apoye la gestión de control de costos y optimización de diseños.
  4. Regular y disminuir la provisión por contingencias, de manera que forcé en la ejecución del proyecto, a la entidad ejecutora y al constructor, al control de costos y optimización de diseños.

# Introducción y Antecedentes

Desde el año 2006, el nivel de inversiones en la red vial de Bolivia ha crecido sustancialmente entre el 500% y 600%. Esto ha originado necesidades para mejorar la capacidad de gestión de los activos viales, con base a metas de inversión en el corto y mediano plazo, para asegurar una gestión óptima de las inversiones realizadas. En este sentido, el “Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo” busca promover la mejora de la eficiencia en el gasto público sectorial, apoyando la gestión integral de los activos viales, que supone la incorporación de las obras ejecutadas a un sistema de gestión de mantenimiento vial[[10]](#footnote-10).

Las vías de Bolivia se dividen en Red Vial Fundamental (16.054 kms), Red Vial Departamental (19.285 kms), y Red Vial Municipal (39.492 kms), encontrándose tan solo el 7% de la red vial boliviana pavimentada. En cuanto a la Red vial fundamental (RVF) está a cargo del gobierno nacional, en cabeza de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), encontrándose el 34% pavimentada, 45% con ripio, y 21% en tierra, estado que ocasiona elevados costos de transporte de carga y pasajeros. Con el objeto de mejorar las condiciones de transitabilidad de dichas vías, el gobierno de Bolivia ha solicitado al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) financiación para continuar con la tercera fase del Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo (BO-L1186)”[[11]](#footnote-11).

De otra parte, y en consideración a que en el contexto de Latinoamérica los registros muestran que los proyectos de infraestructura presentan costos adicionales importantes (en ocasiones del orden de 50% del presupuesto inicial), el BID ha determinado la conveniencia de estimar los posibles costos adicionales asociados a la ejecución del proyecto.

En este marco, el presente documento contiene el análisis y cuantificación del riesgo de costos adicionales que se puedan presentar durante la implementación del Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo (BO-L1186), teniendo en cuenta el comportamiento histórico de las variables más representativas en un proyecto vial. Para lo cual se tomará como muestra representativa, el Proyecto “**TRAMO MAIRANA-BERMEJO DE LA CARRETERA ANGOSTURA-COMARAPA**”, con una longitud aproximada de 58.24 kms, consistente en mantenimiento periódico y rehabilitación en segundo grado. El análisis en cuestión se aborda desde tres perspectivas principales:

* *Variación de precios en el proceso licitatorio:* entendido como la variación entre Precios Unitarios de Referencia (empleados por la Administradora Boliviana de Carreteras – ABC - para establecer el presupuesto de referencia en el proceso licitatorio) y los precios unitarios ofertados por el proponente adjudicatario, así como la cesión de eficiencias que se refleje en la oferta licitatoria.
* *Riesgo de Costos Adicionales*: o riesgo de que el costo del proyecto se incremente por obras adicionales no previstas.
* *Variación de Precios de Mercado en el Tiempo:* o variación en el plazo de ejecución del proyecto de los precios de mercado de los insumos de obra (escalamiento).

Dichos aspectos se alinean con el desarrollo metodológico conceptual del “Manual para la Estimación y Seguimiento del Costo Final de un Programa de Infraestructura” (BID, 2016, Monteverde, Pereyra y Pérez), y la información disponible para análisis.

# Objetivo y Alcance

El presente estudio tiene por objeto determinar con la mayor precisión, los posibles costos adicionales que se puedan presentar durante la implementación del “Proyecto de Reconstrucción del Tramo Mairana-Bermejo (BO-L1186)” en BOLIVIA, teniendo en cuenta el comportamiento histórico de las variables más representativas en un proyecto vial. En este contexto se analiza como muestra representativa, el Proyecto “**TRAMO MAIRANA-BERMEJO DE LA CARRETERA ANGOSTURA-COMARAPA**”.

Para el logro del objetivo se desarrollaron las siguientes actividades:

1. Revisión y análisis de los informes, productos y otra documentación generada en el marco del diseño y estructuración del proyecto objeto de análisis, en especial la relacionada con su alcance, consideraciones para la estimación de su presupuesto, factores de riesgo de costos adicionales, y presupuesto detallado a nivel de actividades y costos unitarios.
2. Revisión y análisis de la información histórica de proyectos similares en Bolivia, identificando costos adicionales que se hayan presentado, los factores generadores de riesgo de los mismos, y su comportamiento estadístico.
3. Identificación de los principales insumos de obra (materiales, mano de obra y equipos), estimación de su incidencia en el costo del proyecto; revisión y análisis de la evolución histórica del precio de mercado de dichos insumos; proyección a futuro empleando modelos ARIMA.
4. Elaboración de un modelo matemático de costos del proyecto y desarrollo de un modelo probabilístico empleando el método de Montecarlo, considerando variables aleatorias relacionadas con los factores de: oferta licitatoria, riesgo de costos adicionales, escalamiento en el tiempo del precio de los insumos de obra.
5. Estudio analítico de las causas de posibles costos adicionales en las obras a ejecutar y valoración de la probabilidad de que se presenten costos adicionales durante la ejecución del proyecto y su cuantía.
6. Recomendaciones sobre la asignación de riesgos contractual, su cuantificación en proyectos futuros, y estrategias de prevención y mitigación.

# Metodología

La metodología adoptada parte de: la experiencia previa en estudios similares, el desarrollo metodológico y conceptual del “Manual para la Estimación y Seguimiento del Costo Final de un Programa de Infraestructura” (BID, 2016, Monteverde, Pereyra y Pérez), y la información disponible para análisis.

## Etapas Metodológicas

A continuación, se presentan las etapas de análisis ejecutadas:

1. **Levantamiento de Información**

Se realizaron entrevistas y levantamiento de información secundaria existente, con el propósito de:

* Relacionarse con las características del proyecto objeto de estudio y su presupuesto de referencia.
* Identificar aspectos clave de la problemática de costos adicionales en proyectos de infraestructura en Bolivia.
* Obtener series históricas que permitan caracterizar cualitativa y cuantitativamente comportamientos de: variaciones entre presupuestos de referencia y presupuestos adjudicados; costos adicionales en proyectos viales ejecutados por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC); variaciones en el tiempo de costos unitarios de insumos operacionales.

1. **Diagnostico**

Con la información secundaria obtenida se realizó un diagnóstico, abordando los tres aspectos identificados como de especial interés:

* **Variación de precios en el proceso licitatorio:** aspecto que se vincula a la variación entre los precios de referencia empleados por la entidad ejecutora (ABC) para la elaboración del presupuesto de referencia, y aquellos que se obtengan en la oferta licitatoria. La estimación de dicha variación parte de la comparación entre presupuestos de referencia para diferentes proyectos. En esta comparación se establecen rangos de variación por rubro de presupuesto, cuestión que se emplea para la simulación de Montecarlo en la siguiente etapa. De otra parte, se considera un orden de magnitud de eficiencias cedidas por los proponentes en el proceso licitatorio como parte de su “apuesta estratégica” para ser adjudicatarios del proyecto.
* **Riesgo de Costos Adicionales**: o riesgo de que el costo del proyecto se incremente por obras adicionales a solicitud de terceros o requerimientos del propietario. La base del análisis corresponde al acontecer histórico en proyectos de infraestructura ejecutados en Bolivia por ABC y la comparación del costo presupuestado por kilómetro para el proyecto objeto de análisis y el observado como costo final en proyectos ya ejecutados por ABC:
* **Variación de Precios de Mercado en el Tiempo (Escalamiento)**: punto en el cual se cuantifica la escalabilidad de costos del proyecto en el tiempo, por la variación de tendencia histórica del precio de mercado de sus insumos principales (pueden ser positivas o negativas). Partiendo del presupuesto de referencia del proyecto objeto de análisis y su desagregación por actividades, y estas a su vez detalladas en insumos, costos unitarios y cantidades de obra, se estableció una “canasta de costos de obra”, que comprende los principales insumos de obra (entre materiales, mano de obra, maquinaria y equipo), y su incidencia o participación porcentual en el costo total de obra.

Por otro lado, para cada uno de los principales insumos identificados anteriormente, se indagó sobre le evolución histórica del precio de mercado, con base en información de fuentes oficiales, y expectativas en el corto plazo, estableciendo tendencias y distribuciones de probabilidad de dichas tendencias, las cuales se emplearon para la simulación de Montecarlo en la siguiente etapa.

1. **Procesamiento y Análisis**

El procesamiento y análisis de la información, parte del diagnóstico realizado, y se enfoca a la obtención de:

* 1. La curva de distribución de probabilidad de la relación entre presupuesto de referencia y presupuesto adjudicado en el proceso licitatorio, lo que representa la probabilidad de obtener economías en el proceso de competencia por el proyecto que se surte en licitación.
  2. La curva de distribución de probabilidad de costos adicionales por obras adicionales no previstas como porcentaje del valor del presupuesto de referencia.
  3. Estimación de la provisión por escalamiento como porcentaje del presupuesto de referencia.
  4. La curva de distribución de probabilidad de costos adicionales como porcentaje del valor del presupuesto de referencia, que agrupe los efectos mencionados en los puntos anteriores.

El análisis se apoya en modelos matemáticos de costos y modelos probabilísticos de simulación empleando el Método de Montecarlo.

Para el caso del “escalamiento” o análisis de variación del precio de insumos de obra en el tiempo (materiales, mano de obra y equipos), es necesario proyectar a futuro la evolución del precio de mercado de dichos insumos con base en su comportamiento histórico, para lo cual se empleó un modelo de predicción ARIMA y se complementó el análisis con expectativas de mercado.

Finalmente, se dan recomendaciones sobre la asignación de riesgos contractual, su cuantificación en proyectos futuros, y estrategias de prevención y mitigación.

## Metodología para el Análisis de Riesgos y Simulación de Montecarlo

El manejo de los riesgos en un proyecto pasa por las siguientes etapas principales:

* Identificación del riesgo (asociado al alcance, costo, calidad o tiempo)
* Cuantificación del daño
* Evaluación de la probabilidad
* Respuesta al riesgo

Siguiendo los lineamientos establecidos por el PMI[[12]](#footnote-12) en la guía PMBoK[[13]](#footnote-13), la cuantificación del daño y la evaluación de la probabilidad se relacionan con la evaluación cualitativa y cuantitativa de los riesgos.

Una vez identificados los riesgos, **la evaluación cualitativa** busca determinar la importancia de cada uno de ellos, con base a un análisis donde a cada riesgo se le asigna una probabilidad de ocurrencia y un impacto en caso de ocurrir. Con esas dos variables se le asigna una categoría de riesgo a cada uno de ellos. Para ello se utiliza el criterio de experto y bases de datos de otros proyectos similares. A la probabilidad de ocurrencia se le puede asignar un número por categoría, yendo desde 100% probables (Altamente Probables) hasta 0% probables (Improbables), como se muestra en la Tabla 1. Por su parte, al impacto se le puede dar también una categoría dependiendo de la gravedad en caso de ocurrencia, según la clasificación que se observa en la Tabla 2. Al analizar la probabilidad y el impacto conjuntamente se pueden calificar los riesgos con miras a determinar a cuáles se les debe prestar mayor atención, lo cual se facilita construyendo una matriz como la que se muestra en la Tabla 3.

Tabla 1. Categorías de probabilidad de los riesgos



Fuente: Guía PMBoK – Gestión de riesgos. PMI

Tabla 2. Categorías de clasificación de los impactos



Fuente: Guía PMBoK – Gestión de riesgos. PMI

**Tabla 3. Matriz de riesgos e impactos**



Fuente: Guía PMBoK – Gestión de riesgos. PMI

Paso siguiente, es la **evaluación cuantitativa** del riesgo, caso en el cual se cuantifica su probabilidad de ocurrencia con base en el acontecer histórico en proyectos similares al objeto de análisis, definiendo distribuciones de probabilidad; en cuanto a su impacto, se determina como el costo en el proyecto que su ocurrencia acarrea. Específicamente para el caso de análisis, el resultado se resume en una curva de distribución de probabilidad, que indica la probabilidad de ocurrencia de costos adicionales como porcentaje del costo de obra del proyecto, y cuya lectura se realiza en función del valor esperado o de un nivel de certeza o cobertura requerido, cuestión que indica impacto y probabilidad del mismo.

En este contexto, uno de los métodos más utilizados es la simulación de Montecarlo, que parte de un modelo matemático que simula la problemática objeto de análisis (en este caso un modelo de costos del proyecto), sobre el cual se asignan distribuciones de frecuencias a las variables del modelo que tienen riesgo (variables con riesgo de variación, como costos unitarios y cantidades de obra), para posteriormente generar números aleatorios acordes a esas distribuciones “simulando” la posible activación de riesgos en el futuro; por otro lado, se tiene una variable dependiente que mide el impacto de la activación de los diferentes riesgos, a la cual se le hace un seguimiento en el proceso de generación aleatoria de variables de riesgo, y al final de una serie de iteraciones, se obtiene una curva que relaciona impacto con probabilidad de ocurrencia del mismo (costos adicionales).

Los análisis de riesgo tradicionales se efectuaban con base en la generación de escenarios estáticos y unidimensionales, por ejemplo, un escenario pesimista, uno medio y uno optimista prediciendo solo un resultado al sensibilizar las variables. A través de la simulación de Montecarlo es posible obtener no solo los puntos extremos sino todos aquellos escenarios intermedios.

La simulación Montecarlo tiene las ventajas que se mencionan a continuación:

* Resultados probabilísticos: Se muestra no sólo lo que puede suceder, sino lo probable que es un resultado.
* Análisis de sensibilidad: Se evidencia cuáles de las variables introducidas tienen mayor influencia sobre los resultados finales.
* Análisis de escenarios: Dado que es posible ver exactamente los valores que tiene cada variable cuando se producen ciertos resultados, se facilita profundizar en los análisis.
* Correlación de variables de entrada: Es posible modelar relaciones interdependientes entre diferentes variables de entrada.  Esto es importante para averiguar con precisión la razón real por la que, cuando algunos factores suben, otros suben o bajan paralelamente.
* Resultados gráficos: Los datos que genera la simulación de Montecarlo permiten la creación de gráficos de diferentes resultados y las posibilidades de que sucedan.
* El análisis de riesgo que se realiza con la simulación de Montecarlo puede ser cualitativo y cuantitativo. En los análisis cualitativos se incluyen evaluaciones instintivas, mientras que en el cuantitativo se asignan valores numéricos a los riesgos, ya sea con datos empíricos o cuantificando evaluaciones cualitativas. En el caso del análisis objeto de esta consultoría se utilizarán análisis cuantitativos.
* Mediante el uso de distribuciones de probabilidad se describe la incertidumbre en las variables de un análisis de riesgo.  Las distribuciones de probabilidad más comunes son:
* *Normal* – “curva de campana”.  Se define la media o valor esperado y una desviación estándar para describir la variación con respecto a la media.
* *Lognormal* – Los valores muestran una clara desviación, y no son simétricos como en la distribución normal.  Se utiliza para representar valores que no bajan por debajo del cero, pero tienen un potencial positivo ilimitado.
* *Uniforme* – Todos los valores tienen las mismas probabilidades de producirse, se deben definir el mínimo y el máximo.
* *Triangular* – Se definen los valores mínimo, más probable y máximo.
* *Extremo Máximo y Extremo Mínimo* – Se definen los valores mínimo, más probable o máximo, como en la distribución triangular, sin embargo, los valores situados entre el más probable y los extremos tienen más probabilidades de producirse que en la distribución triangular.
* *Discreta* – El usuario define los valores específicos que pueden ocurrir y la probabilidad de cada uno.

## Información Base

Con respecto a la información obtenida en el levantamiento y que sirvió de base para el análisis contenido en el presente documento, se tiene

1. Estudio Integral Técnico, Económico, Social y Ambiental - TESA – para el diseño de obras de mantenimiento periódico en la Red Vial Fundamental - Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016
2. “Estudio de Costos de Proyectos de Transporte en Bolivia y Evaluación Económica y Social de Proyectos para el Programa de Inversión - ATN/OC–14682-BO // Valoración de la Incertidumbre Asociada a la Estimación de los Precios de Referencia y Estimación de Costos Adicionales “ , Ing. Leonardo Vásquez para BID, 2016.

De este estudio se tomó la metodología de evaluación y la base de datos de proyectos de infraestructura con su respectivo análisis estadístico. Con respecto a la mencionada base de datos, se compone de información histórica de proyectos viales ejecutados por ABC (años de 2007 a 2014), la cual abarca:

1. Información de presupuestos iniciales y presupuestos finales de proyectos de construcción y rehabilitación de vías.
2. Series históricas de costos unitarios de insumos operacionales (asfalto, cemento portland, fierro, mano de obra, equipos).
3. Información de variación en el tiempo de costos de insumos (asfalto, cemento portland, fierro, mano de obra, equipos), en las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística[[14]](#footnote-14), Administradora Boliviana de Carreteras[[15]](#footnote-15), y Banco Central de Bolivia[[16]](#footnote-16).

# Descripción del Proyecto[[17]](#footnote-17)

El proyecto vial mantenimiento periódico y rehabilitación en segundo grado del “**TRAMO MAIRANA-BERMEJO DE LA CARRETERA ANGOSTURA-COMARAPA**” tiene como objetivo incrementar la accesibilidad física contribuyendo a mejorar las condiciones de transitabilidad, reduciendo los tiempos de viaje y la accidentalidad, en el área de influencia

El TRAMO MAIRANA-BERMEJO tiene una longitud aproximada de 58.24 kms, y está localizado en la región oriental de Bolivia, en las Provincias Ibáñez, Florida y Caballero (ver localización en

Ilustración 1). La vía se desarrolla sobre una topografía predominantemente llana, con alturas que oscilan entre los 642 m.s.n.m. a los 2135 m.s.n.m. El clima es cálido en toda la región, con frecuentes precipitaciones, una humedad relativa alta; corrientes frías polares (surazos) frecuentes en invierno. La zona tiene mucha actividad agrícola y agropecuaria, es una zona productora de maíz existiendo una abundante crianza de aves como el pollo[[18]](#footnote-18).

Ilustración 1 –Ubicación del TRAMO MAIRANA-BERMEJO



Fuente: Estudio TESA, 2016.

La obra en general, consiste en una intervención de mantenimiento periódico y rehabilitación en segundo grado, que comprende: movimientos de tierras, pavimentación, obras de drenaje, obras de arte mayor y menor, obras complementarias (173 muros nuevos, y mantenimiento de 11 puentes), mitigación ambiental, señalización y seguridad vial, y la construcción del peaje de Samaipata; en cuanto a la pavimentación, se empleará el método de “Concreto Asfáltico con Polímeros de 8 cm”.

# Presupuesto del Proyecto

En este numeral se presenta el presupuesto del proyecto “TRAMO MAIRANA-BERMEJO” actualizado en 2016, basado en una solución en pavimento de Concreto Asfáltico con Polímeros de espesor de ocho centímetros (8 cm), información suministrada por la Administradora Boliviana de Carreteras – ABC (TESA, 2016), a un nivel de detalle de actividades y costos unitarios, lo que permite establecer los principales insumos básicos del proyecto (materiales, mano de obra y equipos) y su incidencia en el costo total del proyecto.

Tabla 4. Presupuesto mejoramiento del camino TRAMO MAIRANA-BERMEJO (US$ de 2016)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **DESCRIPCIÓN** | **Costo Total (USD de 2016)** | **%** |
| MOVIMIENTO DE TIERRAS | 537.640 | 1,0% |
| PAVIMENTOS | 27.013.770 | 52,7% |
| DRENAJE | 7.877.876 | 15,4% |
| SITIOS CRITICOS | 3.277.108 | 6,4% |
| OBRAS DE ARTE MAYOR | 6.626.453 | 12,9% |
| SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL | 842.327 | 1,6% |
| OBRAS COMPLEMENTARIAS | 1.956.885 | 3,8% |
| MITIGACION AMBIENTAL | 39.680 | 0,1% |
| SERVICIO PARA SUPERVISION | 1.293.498 | 2,5% |
| PEAJE DE SAMAIPATA | 1.773.203 | 3,5% |
| TOTAL OBRA Y SERVICIOS | 51.238.439 | 100,0% |

Fuente: ABC

El proyecto tiene un costo de US$ 51,2 millones de dólares, lo que incluye el valor de obra, administración, utilidades, impuestos indirectos. A lo anterior se le adiciona en el estudio TESA: costos de supervisión (10% del costo de proyecto), costos de fiscalización (1,5% del costo de proyecto), e imprevistos [[19]](#footnote-19)(15% del costo de proyecto, que incluye reserva para escalamiento e imprevistos); para un gran total de US$ 65,59 millones de dólares[[20]](#footnote-20).

En cuanto al plazo de ejecución del proyecto se estima en 40 meses, iniciando en el primer semestre de 2018[[21]](#footnote-21), los cuales contemplan contingencia de paro de obra por periodo de lluvias[[22]](#footnote-22).

# Diagnóstico General de Costos

En este numeral se presenta el diagnóstico de costos encaminado a la identificación y cuantificación de costos adicionales, desarrollando los siguientes aspectos:

1. Principales insumos y su incidencia en el presupuesto de referencia
2. Variación entre precios de referencia del proyecto objeto de análisis y otros proyectos
3. Variación de precios de mercado en el tiempo
4. Riesgo de costos adicionales

## Principales Insumos y su Incidencia en el Presupuesto de Referencia

Como se mencionó anteriormente, el presupuesto del proyecto TRAMO MAIRANA-BERMEJO” proporcionado por Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) se encuentra a un nivel de detalle de actividades y costos unitarios por insumo básico (materiales, mano de obra y equipos), lo que permite establecer su incidencia en el costo total del proyecto. Dicha identificación de insumos básicos y cuantificación de su incidencia, conlleva a la formulación de una ecuación de escalamiento, la cual se emplea para proyectar la variación del costo del proyecto en el plazo de ejecución de su construcción, motivada por la variación en el tiempo de los precios de mercado de los insumos básicos. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 5. Insumos Básicos e Incidencias

| **MATERIAL** | **TOTAL PROYECTO** |
| --- | --- |
| Cemento asfaltico con polímero | 15,17% |
| Cemento portland | 7,66% |
| Fierro (acero) corrugado | 1,91% |
| Asfalto diluido | 1,73% |
| Otros | 7,34% |
| **TOTAL MATERIAL** | **33,82%** |
| Equipo y Herramientas | 24,26% |
| Gastos Generales | 13,49% |
| Mano de Obra Calificada  + Cargas Sociales + IVA | 8,86% |
| Mano de Obra No Calificada  + Cargas Sociales + IVA | 7,16% |
| Utilidad | 7,01% |
| Impuestos IT | 5,39% |
| **Costo Total** | **100,00%** |

Fuente: Elaboración propia con base en presupuesto del proyecto (2016) proporcionado por ABC (TESA, 2016)

## Variación entre precios de referencia y precios ofertados en el proceso licitatorio

En este punto se evalúa la variación que se observa entre el presupuesto de referencia empleado por la entidad ejecutora para establecer el precio de referencia del proyecto, y los precios de referencia de otros proyectos[[23]](#footnote-23), y los publicados por la Cámara Departamental de la Construcción.

Tabla 6. Presupuesto de Referencia vs Presupuesto Otros Proyectos

| **MATERIAL** | **VAR MIN** | **VAR MAX** |
| --- | --- | --- |
| Cemento asfaltico con polímero | 0,0% | 12,0% |
| Cemento portland | -3,5% | 0,0% |
| Acero corrugado | -33,8% | 0,0% |
| Asfalto diluido | 0,0% | 8,5% |
| Otros | -5,0% | 5,0% |
| Equipo y Herramientas | -20,0% | 0,0% |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA | -5,0% | 5,0% |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA | -5,0% | 5,0% |

Fuente: Elaboración propia con base en información ABC[[24]](#footnote-24)

En todos los casos se trabajará con una distribución uniforme entre el valor mínimo y el valor máximo encontrado.

De otra parte, sea observado que en el proceso licitatorio los oferentes en su “apuesta estratégica” por ser adjudicatarios ceden eficiencias, para este caso se opta por trabajar con un rango entre 0% y 5% del costo de obra, asumiendo una distribución uniforme.

## Variación de Precios de Mercado en el Tiempo

Con respecto a la variación en el tiempo de precios de mercado de los insumos básicos, se recurre a la base de datos de series históricas del Instituto Nacional de Estadística (INE)[[25]](#footnote-25), Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)[[26]](#footnote-26), y Banco Central de Bolivia (BCB)[[27]](#footnote-27), obteniéndose la siguiente caracterización de las variaciones anuales, con base en series históricas de su comportamiento en los últimos catorce (14) años (Ver Anexo Series Históricas de Precios y Resultados Modelo ARIMA):

Tabla 7. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos[[28]](#footnote-28)

| **MATERIAL** | **INCIDENCIA**  **% RECALC** | **MEDIA** | **DESVSTD** | **MAX** | **MIN** | **COEF CORR I+1** | **COEF**  **CORRLAC GRAL** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cemento asfaltico con polímero  (ABC) | 17,3% | -0,31% | 14,58% | 17,71% | -18,34% | -0,26 | 0,69 |
| Cemento portland  (ABC y INE) | 8,7% | -2,93% | 8,92% | 11,73% | -17,59% | -0,60 | 0,85 |
| Acero corrugado  (ABC y INE) | 2,2% | 0,00% | 5,83% | 6,00% | -13,21% | 0,49 | 0,92 |
| Asfalto diluido  (ABC y INE) | 2,0% | -0,31% | 14,58% | 17,71% | -18,34% | -0,26 | 0,69 |
| Otros (INE) | 8,4% | 4,32% | 15,77% | 23,82% | -15,19% | 0,97 | 0,99 |
| Equipo y Herramientas (INE) | 27,7% | -0,03% | 6,09% | 7,50% | -7,57% | 0,95 | -0,85 |
| Gastos generales (INE) | 15,4% | 1,88% | 8,62% | 12,53% | -8,78% | 0,94 |  |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA (INE) | 10,1% | 2,63% | 11,63% | 15,60% | 1,40% | 0,97 | 0,99 |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA (INE) | 8,2% | 2,63% | 11,63% | 17,01% | 2,40% | 0,97 | 0,99 |
| **Costo total** | 100,0% |  |  |  |  |  |  |
| Tasa de Cambio Boliviano vs USD (BCB) | Desde el año 2012 se mantiene paridad cambiaria. Precio compra 6,86 Bolivianos/USD, precio Venta 6,96 Bolivianos/USD. Se asumirá dicho comportamiento en el periodo de análisis. | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en información histórica INE, ABC, BCB

Los valores medios, desviación estándar, máximos y mínimos se obtuvieron mediante el análisis de series históricas empleando modelos ARIMA, y para la simulación se optó por trabajar con proyección de variaciones anuales desde 2017 a 2021, empleando distribuciones de probabilidad normales acotadas. Dicha caracterización permite proyectar escenarios futuros, en especial en el plazo de ejecución de la construcción del proyecto, permitiendo estimar efectos en costo por escalamiento de precios de mercado.

Se anota que las variaciones proyectadas son en dólares, y su efecto en moneda local es nulo dado que existe una paridad moneda local vs dólar.

## Riesgo de Costos Adicionales

En este aspecto se indagó en estudios previos y se entrevistó a funcionarios de ABC[[29]](#footnote-29) sobre los principales factores que originarían en este proyecto obras adicionales no previstas, esta opinión experta se empleará como soporte a la cuantificación de dicho riesgo.

De las entrevistas y documentos analizados, se concluye lo siguiente:

1. Estudios TESA:
   1. Se realizaron estudios encaminados a determinar el estado de la vía, geología, geotecnia, el tráfico de vehículos sobre la misma con el fin de determinar los requerimientos de la estructura de pavimento, e impactos ambientales.
   2. Con base en los estudios de campo y proyecciones de tráfico, se realizó el diseño del pavimento.
   3. Finalmente se cuenta con un cálculo de cantidades de material y presupuesto con base en costos unitarios.
   4. Los estudios previos se realizaron en la vigencia 2016.
2. Los funcionarios a cargo del proyecto en la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) manifestaron que se cuenta con un buen nivel de detalle de estudios técnicos y cuantificación de cantidades de obra.
3. Un factor de costos adicionales que se ha identificado en otros proyectos viales en el País, es el asociado al costo unitario y acarreo de agregados, por escasez de fuentes de aprovisionamiento de los mismos en el área de influencia del proyecto, o renegociación de precios durante el plazo de ejecución de la obra. En el caso específico se encuentran suficientes fuentes de materiales en el área de intervención del proyecto, y su requerimiento no es significativo en presupuesto.
4. Por tratarse de un mantenimiento periódico no se percibe mayor riesgo de costos adicionales por obras adicionales que solicite la comunidad en la ejecución del proyecto, ni de mitigación de impacto ambiental.
5. Con respecto al plazo de obra, dada la condición climática de la zona del proyecto, son altamente probables inundaciones que lleven a paralización de la obra en época de lluvias. La ABC manifiesta que dicho factor ya fue contemplado en el plazo inicial y presupuesto de obra.

Finalmente, con el objeto de brindar argumentos que sirvan a la cuantificación de riesgos, se realiza un ejercicio de comparación de costos de los proyectos objeto de análisis por kilómetro de intervención, con proyectos de tipo similar. A continuación se presenta el costo promedio por kilómetro calculado para algunos proyectos reportados en la página de la ABC (<https://siin.abc.gob.bo/>) de Rehabilitación, Puesta a Punto y construcción.

Ilustración 2. Costo Promedio por Kilómetro de Algunos Proyectos ABC





Fuente : Elaboración Propia con base en información ABC, https://siin.abc.gob.bo/

Se observa lo siguiente:

* El costo de mantenimiento periódico y rehabilitación de segundo grado de la vía TRAMO MAIRANA-BERMEJO, se ha presupuestado en USD$ 880.386 USD/KM, lo que prácticamente dobla el promedio observado en los proyectos de ese tipo ya ejecutados.

En este orden de ideas, se opta por trabajar un riesgo de costos adicionales de un orden promedio de 3% como porcentaje del costo total de obra, siguiendo una distribución normal con desviación estándar de 1%.

# Valoración del Riesgo de Costos Adicionales

A continuación, se presenta sobre los riesgos identificados, los aspectos a considerar en su análisis y cuantificación:

Tabla 8. Riesgos a Evaluar y Calificación

| **RIESGO** | **DESCRIPCION** | **Probabilidad de Ocurrencia** | **Impacto de la Ocurrencia** |
| --- | --- | --- | --- |
| Costos Unitarios  Precios de Referencia vs Adjudicados | Se refiere a la variación existente entre los costos de referencia y los adjudicados, | Muy Probable | Impacto Menor.  La administración publica en la medida que avanza en los procesos de contratación tiene acceso a información de costos de mercado ciertos. |
| Cantidades de Obra | Mayores cantidades de obra a las previstas.  Se desprende de deficiencias en estudios previos de detalle. | Muy Probable | Impacto Menor.  Se observa que el costo presupuestado por kilómetro casi duplica el costo observado en otros proyectos ejecutados en años anteriores |
| Obras Adicionales NO Previstas | Obras No previstas, que en el momento de ejecución se encuentra necesario realizar, tales como:   * Paraderos * Obras de tipo social solicitadas por la comunidad * Accesos | Improbable  Por lo general la interacción con la comunidad se da en la etapa de preinversión. No se observa influencia de este riesgo en ejecución.  El tipo de obra es intervención de mantenimiento periódico y rehabilitación en segundo grado. | Impacto Menor |
| Variación en el tiempo de Costos Unitarios | Variación de Costos Unitarios en el tiempo, ya sea por fenómenos inflacionarios o dinámica propia de la oferta y demanda del mercado | Altamente Probable | Impacto Menor a Moderado. |
| Riesgo Cambiario | En los casos en que la remuneración de la obra, y los costos de su ejecución, se realizan en divisas diferentes (USD vs Bolivianos), la variación en tasa de cambio puede jugar a favor o en contra del equilibrio económico del contrato. | Improbable  Desde el año 2012 se mantiene paridad cambiaria (variación 0%) | Impacto Nulo (Estado interviene en el control de tasa de cambio) |
| Retrasos en tiempos de ejecución de obra por motivos ajenos al contratista | En este tópico se tiene el paro de obra por inundaciones  . | Altamente Probable | Impacto Menor, en la medida que ya se ha estimado sus implicaciones en costo y plazo para el proyecto. |

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se abordan aspectos relacionados con la asignación de riesgos entre contratantes y contratista y mecanismos de mitigación, para lo cual se recomienda lo siguiente:

Tabla 9. Riesgos: Asignación y Mitigación

| RIESGO | ASIGNACION DE RIESGO  (sugerida) | | OBSERVACIONES / MECANISMO DE MITIGACION (sugerido) |
| --- | --- | --- | --- |
| ESTADO | PRIVADO |
| Costos Unitarios Ofertados |  | X | Asumido completamente por el contratista, como conocedor del sector y negociador directo. |
| Variación en Cantidades de Obra | X | X | Históricamente se ha evidenciado que la variación por mayores cantidades de obra se origina en deficiencia de los estudios previos, en especial en levantamiento de información de campo, se sugiere este riesgo sea compartido entre el Estado y el Privado. Por el Estado cubriendo el costo por mayores cantidades de obra, y en conjunto bajo el compromiso de aplicar una adecuada gestión de control de costos y optimización de diseños y especificaciones en ejecución del proyecto, encaminada a minimizar el impacto en costo de mayores cantidades de obra en rubros sensibles. |
| Obras Adicionales NO Previstas | X |  | Se sugiere cubrir dicho riesgo con cargo a un fondo de imprevistos. |
| Variación en el tiempo de Costos Unitarios | X | X | Los costos de mercado varían con la ley de oferta y demanda, y dinámica inflacionaria, es algo previsible en algunos rangos, pero no gestionable por el constructor.  Se recomienda la existencia de una ecuación de ajuste (o formula de escalamiento) pactada de antemano en el contrato. |
| Riesgo Cambiario |  | X | Lo asume completamente el contratista.  En el caso de Bolivia este riesgo se percibe como nulo en el corto y mediano plazo. |
| Retrasos en tiempos de ejecución de obra | X | X | Riesgo compartido.  Si las causas son atribuibles a deficiencias en la gestión pública debe cubrirlas el Estado, de lo contrario el Privado debe preverlas y mitigar su impacto. |

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se tratarán los riesgos a analizar de la siguiente forma:

Tabla 10. Riesgos: Tratamiento en Modelación

| **RIESGO** | **TRATAMIENTO EN MODELACION** |
| --- | --- |
|
|  |
| Costos Unitarios  Precios de Referencia vs Adjudicados | *Variables Aleatorias:* Oferta licitatoria por rubro presupuestal, simula la diferencia porcentual con respecto a presupuesto de referencia.  (ver numeral 7.2 Variación entre precios de referencia y precios ofertados en el proceso licitatorio)  Se cuantifica con base en la diferencia encontrada entre el presupuesto de referencia vs presupuesto de proyectos similares.  Se determinan variaciones máximas y mínimas para cada rubro de presupuesto y se asume una distribución de probabilidad uniforme en el rango así definido (los valores observados en la muestra histórica se asumen igualmente probables). Ver rangos empleados en: Tabla 6. Presupuesto de Referencia vs Presupuesto Otros Proyectos  *Variable Resultado:* Oferta licitatoria como porcentaje del valor total del costo de obra, se obtiene la diferencia porcentual con respecto a presupuesto de referencia.  En función de resultados de simulación de variables aleatorias. |
| Oferta Licitatoria | En el proceso licitatorio los oferentes en su “apuesta estratégica” por ser adjudicatarios ceden eficiencias, para este caso se opta por trabajar con un rango entre 0% y 5% del costo de obra, asumiendo una distribución uniforme. |
| Variación en el tiempo de Costos Unitarios desde elaboración del presupuesto inicial hasta finalización de obra.  (Escalamiento) | *Variables Aleatorias:* Variación en el tiempo de precios de mercado por insumo básico (escalamiento de precios).  Se trabaja con la “canasta de costos de obra”.  Se evalúa la información histórica con el fin de determinar tendencias, correlaciones y volatilidad. (se emplea modelo ARIMA para proyectar a futuro)  Ver: Tabla 7. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos y ANEXOS - Series Históricas de Precios y Resultados Modelo ARIMA  Se asume una distribución de probabilidad normal con:  *Media*: igual al valor medio resultado del modelo ARIMA.  *Desviación estándar:* Igual al promedio de la diferencia entre el valor medio y los límites de rango entre 15% y 85% de probabilidad del modelo ARIMA  *Acotada*: Entre los límites de rango entre 10% y 90% de probabilidad del modelo ARIMA  *Variable Resultado:* Variación en el tiempo del costo total de obra por escalamiento de precios de insumos básicos.  *Plazo de Evaluación:*  Se tomará un plazo base sobre el cual se aplican factores de ajuste en función de expectativas en la variación de costos de los insumos de obra. El plazo del proyecto se estima en 40 meses, iniciando en el primer semestre de 2018, los cuales contemplan contingencia de paro de obra por periodo de lluvias  Para la variación de costos en el plazo de construcción se asumió la siguiente ejecución presupuestal:  Año 1: 30%  Año 2: 30%  Año 3: 30%  Año 4: 10% (primer cuatrimestre) |
| Variación en Cantidades de Obra | *Variables Aleatorias:* Variación en el tiempo de cantidades de obra por rubro de presupuesto.  Se opta por trabajar un riesgo de costos adicionales de un orden promedio de 3% como porcentaje del costo total de obra, siguiendo una distribución normal con desviación estándar de 1%. (ver numeral 7.4 Riesgo de Costos Adicionales)  *Variable Resultado:* Variación en el tiempo del costo total de obra por variaciones en cantidades de obra. |
| Obras Adicionales NO Previstas | Dado que la evidencia demuestra la baja probabilidad e impacto del evento, se asumió impacto cero (0). |
| Riesgo Cambiario | Se percibe nulo. |

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis se empleó el Método de Montecarlo empleando una macro comercial y como plataforma de cálculo la hoja electrónica Microsoft EXCEL. Las variables probabilísticas corresponden a costos y cantidades que hacen parte de un modelo simplificado de costos de obra, con base en los presupuestos hasta el momento oficiales suministrados por el ABC. Finalmente, se encontró la curva de distribución de probabilidad del porcentaje de costos adicionales sobre el valor base de la obra.

## Valoración de variación entre precios de referencia y precios ofertados

Considerando los supuestos presentados en el numeral 7.2 Variación entre precios de referencia y precios ofertados en el proceso licitatorio, y esquema de modelación presentado en la Tabla 10. Riesgos: Tratamiento en Modelación, de la simulación de Montecarlo se obtiene la siguiente curva de distribución de probabilidad:

Ilustración 3. Curvas de Distribución de Probabilidad de Ocurrencia - Riesgo Variación Precios Ofertados vs Precios de Referencia.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que con un 90% de nivel de confianza, la estimación de la diferencia entre los precios de referencia y los posibles ofertados (de mercado) es de 0,48%.

## Valoración de Variación en Precios de Mercado en el Tiempo o Escalamiento

En cuanto a la valoración de la provisión en costo del proyecto por la variación en el tiempo de los precios de mercado de los principales insumos, se procede a estimar la provisión de escalamiento, de acuerdo a los supuestos de variación y modelación que se presentan en la Tabla 7. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos y la Tabla 10. Riesgos: Tratamiento en Modelación.

En las siguientes ilustraciones se presenta la curva de distribución de probabilidad obtenida para el factor de escalamiento así calculado:

Ilustración 4. Curva de Probabilidad de Factor de Escalamiento (Calculado 2017-2021)



Fuente: Elaboración propia

Se tiene que la provisión de Escalamiento considerando un plazo de proyecto de 40 meses contados a partir de 2018 (Diseño+Construcción), se estima con un nivel de confianza de 90% en 11,36% sobre el costo de obra.

## Cálculo del Total Contingente

A continuación, se presenta el resultado obtenido de la valoración de la provisión para imprevistos como porcentaje del costo de obra, y que suma el efecto de: variación del precio en el proceso licitatorio, riesgo de costos de obras adicionales no previstas, y escalamiento de precios unitarios en el tiempo de ejecución del proyecto desde la fijación de presupuesto en 2016.

Del análisis de Montecarlo se obtiene que con un nivel de confianza de 90% se debe adoptar una provisión para cubrir posibles costos adicionales de 10% sobre el costo estimado de obra (ver siguiente ilustración), lo que representa la suma de USD $ 5,12 millones.

Ilustración 5. Provisión de Costos Adicionales



Fuente: Elaboración propia

# Conclusiones y Recomendaciones

Con base en los análisis realizados y resultados obtenidos se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Se encuentra necesario una provisión de 10% sobre el costo total del proyecto, que cubriría con un nivel de confianza de 90%: i) la variación entre el presupuesto actual y el presupuesto de adjudicación del proyecto + ii) el riesgo de costo de obras adicionales durante la ejecución del proyecto + iii) la variación de precios unitarios de mercado de los insumos de obra desde la actualidad hasta la entrega programada de obra (primer semestre de 2021). Dicha provisión equivale a la suma de USD $ 5,12 millones.
2. Con respecto a la recomendación de asignación de riesgos analizados ver Tabla 9. Riesgos: Asignación y Mitigación
3. Para la cuantificación de riesgos en proyectos futuros es necesario contar con bases de datos que reflejen el comportamiento de proyectos recientes y la mejora en gestión por parte del organismo ejecutor. En este sentido se sugiere en los proyectos financiados por BID (y en otros si es posible), insistir al organismo ejecutor sobre la importancia de constituir y mantener actualizada una base de datos donde se registren (con detalle de actividades y costos unitarios): los presupuestos iniciales, los presupuestos de adjudicación, los presupuestos finales, el plazo inicial estimado, el plazo real de ejecución, y aquellos hechos que motivaron costos adicionales y/o retrasos en los plazos de ejecución, así como ajustes por escalamiento vs lo inicialmente previsto.
4. Con respecto a los mecanismos de mitigación del riesgo de costos adicionales por mayores cantidades de obra se recomienda:
   1. Profundizar en estudios de campo en etapa de preinversión.
   2. Formalizar las interacciones con la comunidad y consignar sus solicitudes, de tal forma que puedan ser analizadas como parte de los estudios TESA.
   3. Constituir una figura similar a “Asistente Técnico” empleada en países como Nicaragua, que apoye la gestión de control de costos y optimización de diseños.
   4. Regular y disminuir la provisión por contingencias, de manera que forcé en la ejecución del proyecto, a la entidad ejecutora y al constructor, al control de costos y optimización de diseños.

# Lista de referencias

* “Estudio de Costos de Proyectos de Transporte en Bolivia y Evaluación Económica y Social de Proyectos para el Programa de Inversión - ATN/OC–14682-BO // Valoración de la Incertidumbre Asociada a la Estimación de los Precios de Referencia y Estimación de Costos Adicionales // 2016” . Ing. Leonardo Vásquez (BID, Febrero de 2016)
* Estudio TESA – Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo, Resumen Ejecutivo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016
* “Manual para la Estimación y Seguimiento del Costo Final de un Programa de Infraestructura” (BID, 2016, Monteverde, Pereyra y Pérez)
* Revista de Precios Unitarios, Cámara Departamental de la Construcción 2017
* Términos de Referencia contratación costos adicionales (BID, 2017)
* Páginas WEB:
  + Instituto Nacional de Estadística: http://www.ine.gob.bo
  + Administradora Boliviana de Carreteras: http://www.abc.gob.bo
  + Banco Central de Bolivia: https://www.bcb.gob.bo/

# ANEXOS - Series Históricas de Precios y Resultados Modelo ARIMA

En la siguiente tabla presentan las series empleadas de índices de precios para estimar la variación de precios de mercado de los principales insumos de obra, dichas series reflejan la variación nominal de precios en el Departamento de Santa Cruz de la Sierra:

Tabla 11. Series Índices de Precios de Principales Insumos de Obra

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Fuente | ABC | ABC, INE | ABC, INE | INE | INE | INE | INE |
| AÑO | ASFALTO | CEMENTO | FIERRO | GENERAL | MATERIALES | EQUIPOS | MANO DE OBRA |
| 2002 |  | 41,70 | 15,74 | 104,34 | 95,23 | 1,00 | 102,29 |
| 2003 |  | 43,40 | 18,81 | 103,90 | 107,06 | 1,04 | 96,92 |
| 2004 |  | 46,30 | 30,95 | 112,49 | 122,49 | 1,08 | 99,88 |
| 2005 |  | 47,00 | 30,39 | 117,95 | 131,65 | 1,08 | 102,38 |
| 2006 |  | 47,60 | 33,36 | 124,06 | 142,92 | 1,07 | 105,45 |
| 2007 |  | 53,36 | 38,80 | 137,11 | 162,74 | 1,02 | 122,33 |
| 2008 | 1.100 | 59,20 | 65,34 | 169,74 | 214,84 | 0,95 | 159,89 |
| 2009 | 1.000 | 55,40 | 34,32 | 160,73 | 186,91 | 0,95 | 175,34 |
| 2010 | 850 | 55,05 | 37,30 | 161,21 | 176,21 | 0,94 | 196,13 |
| 2011 | 1.250 | 62,80 | 44,98 | 183,88 | 217,85 | 0,93 | 213,29 |
| 2012 | 1.000 | 61,00 | 44,54 | 195,98 | 236,70 | 0,93 | 228,61 |
| 2013 | 1.205 | 61,26 | 45,52 | 197,70 | 237,70 | 0,93 | 230,54 |
| 2014 | 1.410 | 59,00 | 42,95 | 197,72 | 234,99 | 0,93 | 236,67 |
| 2015 | 1.284 | 58,80 | 40,43 | 198,28 | 224,46 | 0,93 | 258,07 |
| 2016 | 1.158 | 58,00 | 35,09 | 198,39 | 216,54 | 0,93 | 272,68 |
| Variación Promedio Anual 2008-2016 | 0,64% | -0,26% | -7,48% | 1,97% | 0,10% | -0,20% | 6,90% |

Fuente: Elaboración propia a partir de Indicadores de precios, paginas: ABC e INE

Se reporta en la última fila de la tabla la variación promedio anual 2008-2016, destacándose: i) la variación negativa del acero (fierro) de -7,48% anual producto de la influencia de la oferta de mercado chino; y ii) la variación positiva del costo de mano de obra 6,90% anual, consecuencia de la política de gobierno en este sentido.

Dichos índices al normalizarse (base 2008 = 100) presentan el siguiente comportamiento:

Ilustración 6. Índices de Precios Normalizados (Base 2008=100)



Fuente: Elaboración propia a partir de Indicadores de precios, paginas: ABC e INE

Reflejando el índice general de precios de la construcción la media del comportamiento de los demás insumos, con una variación promedio anual entre 2008 y 2016 de 1,97%.

Empleando dichas series se corrió un modelo ARIMA para estimar la variación promedio anual en el corto y mediano plazo (2017 a 2021), mediante el modelo ARIMA se llegó a la proyección del valor del índice entre 2017 y 2021, y se obtienen rangos de nivel de confianza, del siguiente tipo:

Ilustración 7. Índice General de Costos - Proyección ARIMA



Fuente: Elaboración propia

Dichos índices proyectados se emplean para establecer las variaciones de costos de la siguiente forma:

* Se asume una distribución de probabilidad normal.
* Como media de la variación, se toma el valor promedio de las variaciones de las proyecciones del índice entre 2017 a 2021.
* La desviación estándar se calcula como el promedio de la diferencia entre el valor medio de la variación de los valores promedio del indice y los límites de rango entre 15% y 85% de probabilidad del modelo ARIMA
* La curva de probabilidad se acota entre los límites de rango entre 10% y 90% de probabilidad del modelo ARIMA
* Finalmente se establecen correlaciones entre la proyección en l momento i e i+1, y correlación con el índice general, lo que vincula las proyecciones de todos los insumos según el comportamiento histórico.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los índices de costos analizados:

Tabla 12. Caracterización de la Variación Anual de Precios de Mercado de Insumos Básicos

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **MATERIAL** | **MEDIA** | **DESVSTD** | **MAX** | **MIN** | **COEF CORR I+1** | **COEF**  **CORRLAC GRAL** |
| Cemento asfaltico con polímero  (ABC) | -0,31% | 14,58% | 17,71% | -18,34% | -0,26 | 0,69 |
| Cemento portland  (ABC y INE) | -2,93% | 8,92% | 11,73% | -17,59% | -0,60 | 0,85 |
| Acero corrugado  (ABC y INE) | 0,00% | 5,83% | 6,00% | -13,21% | 0,49 | 0,92 |
| Asfalto diluido  (ABC y INE) | -0,31% | 14,58% | 17,71% | -18,34% | -0,26 | 0,69 |
| Otros (INE) | 4,32% | 15,77% | 23,82% | -15,19% | 0,97 | 0,99 |
| Equipo y Herramientas (INE) | -0,03% | 6,09% | 7,50% | -7,57% | 0,95 | -0,85 |
| Gastos generales (INE) | 1,88% | 8,62% | 12,53% | -8,78% | 0,94 |  |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA (INE) | 2,63% | 11,63% | 15,60% | 1,40% | 0,97 | 0,99 |
| Mano de Obra + Cargas Sociales + IVA (INE) | 2,63% | 11,63% | 17,01% | 2,40% | 0,97 | 0,99 |

Fuente: Elaboración propia

1. Estudio TESA – Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo, Resumen Ejecutivo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016 [↑](#footnote-ref-1)
2. **Provisión empleada en los estudios TESA y objeto de revisión en el marco del presente estudio**. [↑](#footnote-ref-2)
3. Estudio TESA – Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo, Resumen Ejecutivo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016 [↑](#footnote-ref-3)
4. Idem [↑](#footnote-ref-4)
5. Términos de referencia contratación estudio costos adicionales – BID. [↑](#footnote-ref-5)
6. Estudio Integral Técnico, Económico, Social y Ambiental - TESA – para el diseño de obras de mantenimiento periódico en la Red Vial Fundamental - Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016 [↑](#footnote-ref-6)
7. Ing. Leonardo Vásquez para BID, Febrero de 2016. [↑](#footnote-ref-7)
8. http://www.ine.gob.bo [↑](#footnote-ref-8)
9. http://www.abc.gob.bo/informacion-estadistica-0 [↑](#footnote-ref-9)
10. (BID, 2015) [↑](#footnote-ref-10)
11. (BID, 2017) Términos de Referencia contratación costos adicionales [↑](#footnote-ref-11)
12. Project Management Institute [↑](#footnote-ref-12)
13. Project Management Body of Knowledge del Project Management Institute, guía ampliamente aceptada como estándar en la gestión de proyectos. [↑](#footnote-ref-13)
14. http://www.ine.gob.bo [↑](#footnote-ref-14)
15. http://www.abc.gob.bo/informacion-estadistica-0 [↑](#footnote-ref-15)
16. https://www.bcb.gob.bo/ [↑](#footnote-ref-16)
17. Estudio Integral Técnico, Económico, Social y Ambiental - TESA – para el diseño de obras de mantenimiento periódico en la Red Vial Fundamental - Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016 [↑](#footnote-ref-17)
18. Idem [↑](#footnote-ref-18)
19. **Factor a evaluar en el marco del presente estudio.** [↑](#footnote-ref-19)
20. Estudio TESA – Tramo Angostura-Comarapa / Subtramo III – Mairana-Bermejo, Resumen Ejecutivo. ABC – BID, CPS DE INGEGNIERÍA S.A.C. - BELMONTE INGENIEROS SRL, 2016 [↑](#footnote-ref-20)
21. TESA, 2016. [↑](#footnote-ref-21)
22. Información funcionarios ABC [↑](#footnote-ref-22)
23. Precios base tomados del “Estudio de Costos de Proyectos de Transporte en Bolivia y Evaluación Económica y Social de Proyectos para el Programa de Inversión - ATN/OC–14682-BO // Valoración de la Incertidumbre Asociada a la Estimación de los Precios de Referencia y Estimación de Costos Adicionales // 2016” . Ing. Leonardo Vásquez (BID, Febrero de 2016), actualizados a 2016 con índices de costos, fuentes: INE, BCB, ABC. [↑](#footnote-ref-23)
24. Idem. [↑](#footnote-ref-24)
25. http://www.ine.gob.bo [↑](#footnote-ref-25)
26. http://www.abc.gob.bo/informacion-estadistica-0 [↑](#footnote-ref-26)
27. https://www.bcb.gob.bo/ [↑](#footnote-ref-27)
28. Se reporta proyección de la variación nominal de precios según modelo ARIMA, tomando como base series de precios para el Departamento de Santa Cruz de la Sierra. [↑](#footnote-ref-28)
29. Considerando su experiencia en la planeación y seguimiento a la ejecución de la construcción de proyectos viales [↑](#footnote-ref-29)